



---

**Commission économique pour l'Europe**

Comité des transports intérieurs

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

**Résolution d'ensemble n° 7 (R.E.7) concernant la mesure  
du nombre de particules ultrafines d'échappement  
pour les moteurs de véhicules utilitaires lourds**

Le texte ci-après, établi par le groupe de travail informel du Programme de mesure des particules (groupe PMP), a été adopté par le Forum mondial de l'harmonisation des Règlements concernant les véhicules (WP.29) à sa session de juin 2022 sur la base du document ECE/TRANS/WP.29/2022/105.



## **Résolution d'ensemble n° 7 (R.E.7) sur la mesure du nombre de particules ultrafines d'échappement pour les moteurs de véhicules utilitaires lourds**

### Table des matières

	<i>Page</i>
I. Exposé du raisonnement et de la justification techniques .....	3
A. Introduction .....	3
B. Contexte procédural.....	4
C. Réglementations et normes existantes .....	5
D. Raisonnement et justification techniques.....	5
E. Faisabilité technique, coûts et avantages prévus.....	9
F. Application de la présente Résolution d'ensemble .....	9
II. Modifications à apporter à la série 07 d'amendements au Règlement ONU n° 49 tel que modifié.....	10
Annexe 4 – Procédure d'essai .....	10
Annexe 4 – Appendice 8 – Appareillage de mesure du nombre de particules émises.....	100

## I. Exposé du raisonnement et de la justification techniques

### A. Introduction

1. Depuis sa création, le groupe de travail informel du Programme de mesure des particules (groupe PMP) a axé ses activités sur l'élaboration d'un système de remplacement, dont la sensibilité serait accrue par rapport au système existant, pour la mesure de la masse des particules émises par les moteurs des véhicules utilitaires lourds et des voitures particulières et véhicules utilitaires légers (véhicules des catégories M et N).

2. Cette phase s'est terminée par l'élaboration et l'adoption dans les Règlements ONU n<sup>os</sup> 83 (Émissions des véhicules des catégories M<sub>1</sub> et N<sub>1</sub>) et 49 (Émissions des moteurs à allumage par compression et des moteurs à allumage commandé (gaz de pétrole liquéfié (GPL) et gaz naturel comprimé (GNC)) d'une méthode de comptage du nombre de particules solides (Solid Particle Number – SPN) pour les particules solides ultrafines, ainsi que par des améliorations de la procédure de mesure des particules pour le Règlement ONU n<sup>o</sup> 83. Initialement, le protocole de comptage du SPN était appliqué aux moteurs des véhicules diesel uniquement dans la série 06 d'amendements au Règlement ONU n<sup>o</sup> 83 et dans la série 06 d'amendements au Règlement ONU n<sup>o</sup> 49 ; il a ensuite été étendu aux véhicules utilisant des moteurs à allumage commandé et à injection directe dans la série 06 d'amendements au Règlement ONU n<sup>o</sup> 83.

3. L'Union européenne (UE) et la Suisse ont demandé en 2013 une étude plus approfondie des émissions de particules des moteurs à allumage commandé en ce qui concernait la taille des particules et les émissions dans des conditions de mélange riche. Pour donner suite à cette demande, le groupe PMP a recensé les émissions de particules d'une grande variété de technologies de moteurs pour voitures particulières et véhicules utilitaires légers. L'attention s'est principalement portée sur la différence entre le nombre de particules mesurées avec la méthode de mesure existante (efficacité de comptage de 50 % (d50) autour de 23 nm) et avec des systèmes dont le d50 se situe à des dimensions inférieures. La fraction des particules émises par les moteurs contrôlés qui n'est pas captée ni comptée par la méthode de mesure existante s'est révélée extrêmement variable et dépend de la technologie du moteur ainsi que du d50 considéré. La méthodologie réglementaire dont le d50 est fixé à 23 nm (SPN23) a semblé convenir encore aux technologies de moteurs actuelles auxquelles la limite du SPN est applicable (c'est-à-dire les moteurs diesel et les moteurs à essence à injection directe), étant donné que les moteurs à émissions élevées étaient encore détectés sans équivoque. Cependant, il est évident que des technologies spécifiques comme les moteurs à injection indirecte et à gaz naturel comprimé peuvent présenter, dans certains cas, des émissions de particules proches de la limite d'émission existante et en même temps une fraction significativement élevée de particules de moins de 23 nm et même de moins de 10 nm.

4. En vue d'une éventuelle extension de la limite du nombre de particules à tous les moteurs à combustion, la Commission européenne et d'autres Parties contractantes avaient exprimé l'intérêt d'une procédure d'essai comportant un seuil de taille inférieur afin d'améliorer le contrôle des émissions de particules quelle que soit la taille moyenne des particules émises. Le groupe PMP a conclu qu'il serait extrêmement difficile de mettre au point une méthode fiable de comptage des particules dont le d50 serait inférieur à 10 nm, alors qu'un seuil de 50 % à environ 10 nm (SPN10) serait réalisable en adaptant correctement la méthode existante.

5. Le groupe PMP a dressé la liste des changements qui permettraient d'augmenter la gamme de tailles des particules comptées tout en maintenant un niveau approprié de répétabilité et de reproductibilité, et en réduisant au minimum les incidences sur la complexité des essais et le matériel de mesure requis. La nouvelle procédure proposée a été évaluée au moyen de travaux réunissant plusieurs laboratoires situés en Europe et en Asie. Cet exercice a montré que le niveau de variabilité des résultats obtenus avec un SPN10 est du même ordre que celui des valeurs obtenues avec un SPN23.

6. La liste des changements à apporter a été soumise au Groupe de travail de la pollution et de l'énergie (GRPE) en juin 2020 en tant qu'amendement à la procédure de mesure du SPN telle que définie dans le RTM ONU n<sup>o</sup> 15 pour les voitures particulières et véhicules

utilitaires légers. Étant donné que quelques Parties contractantes avaient demandé le maintien de la méthode existante dont le seuil de 50 % est fixé à 23 nm, il a été décidé, en accord avec le secrétariat du Groupe de travail, de conserver ladite méthode dans le RTM ONU n° 15 tel que modifié et d'introduire la nouvelle procédure comportant un seuil de 10 nm à titre d'option supplémentaire.

7. Le groupe PMP a ensuite axé son activité sur l'extension de la nouvelle procédure avec seuil réduit aux moteurs des véhicules utilitaires lourds. La décision d'effectuer cette extension a principalement été prise en raison d'éléments montrant que les moteurs des véhicules alimentés au GNC peuvent présenter, dans certains cas, des émissions de particules proches de la limite d'émissions existante en même temps qu'une fraction élevée de particules d'une taille inférieure à 23 nm. Pour cette raison, le groupe de travail informel a recensé les modifications à apporter à la procédure de mesure du SPN définie dans le Règlement ONU n° 49 afin de réduire le seuil à 10 nm. Ces modifications sont fondamentalement les mêmes que celles déjà introduites dans le RTM ONU n° 15 pour les voitures particulières et véhicules utilitaires légers.

8. En outre, une option de prélèvement supplémentaire pour mesurer les émissions en nombre de particules a été évaluée par le groupe PMP. La procédure de mesure du SPN définie dans le Règlement ONU n° 49 permet d'échantillonner les gaz d'échappement dilués soit à partir du tunnel de dilution du flux total, soit à partir de systèmes proportionnels de dilution du flux partiel. Afin de limiter la complexité des essais, certaines Parties ont demandé d'introduire le prélèvement des gaz d'échappement bruts au moyen d'une dilution fixe à titre d'option supplémentaire. Tant les modifications visant à réduire le seuil à 10 nm que la méthode de prélèvement de rechange ont été évaluées au moyen d'un programme d'essai international mené par des laboratoires situés en Europe et en Asie.

9. Étant donné que la procédure de mesure du SPN pour les moteurs des véhicules utilitaires lourds est décrite uniquement dans le Règlement ONU n° 49 et dans le RTM ONU n° 4, et que les normes ultérieures à la norme Euro VI sont encore en cours d'élaboration en Europe, la Commission européenne a demandé que la nouvelle procédure ne soit pas soumise en tant qu'amendement au Règlement ONU n° 49. Toute décision sur le moment où la nouvelle procédure sera incluse dans un texte réglementaire et la manière dont cela se fera sera donc prise à un stade ultérieur.

10. Dans la présente Résolution d'ensemble est décrite la nouvelle procédure de mesure du SPN pour les moteurs pour véhicules utilitaires lourds, y compris les options pour le prélèvement des gaz d'échappement avec un seuil de taille des particules inférieur à 23 nm et des gaz d'échappement bruts. Cette nouvelle résolution propose donc l'actualisation de la procédure de mesure du SPN pour les moteurs pour véhicules utilitaires lourds à toutes les Parties contractantes qui pourraient avoir un intérêt à le faire.

## B. Contexte procédural

11. À sa quatre-vingt-unième session, tenue en juin 2020, le Groupe de travail a approuvé le nouveau mandat du groupe PMP, dans lequel figure un résultat à atteindre, à savoir la soumission d'une proposition informelle concernant le prélèvement en vue de la mesure du SPN des gaz d'échappement bruts des moteurs de véhicules utilitaires lourds et l'extension à ces moteurs de la procédure de mesure comportant un seuil inférieur à 23 nm (janvier 2021).

12. Le groupe PMP a élaboré une proposition correspondant à l'objectif ci-dessus et l'a soumise en tant que document informel au Groupe de travail à sa quatre-vingt-deuxième session, en janvier 2021, pour examen par les Parties contractantes.

13. La Résolution d'ensemble (R.E.[X<sup>1</sup>]) prévoit les dispositions relatives à la mesure du nombre de particules émises par les moteurs des véhicules utilitaires lourds.

<sup>1</sup> À remplacer une fois que le numéro sera déterminé.

## C. Réglementations et normes existantes

14. De nombreux pays du monde ont déjà mis en place des normes relatives aux particules émises par les moteurs. En raison de l'intention qu'avaient plusieurs pays d'étendre à tous les moteurs à combustion les normes relatives au nombre de particules solides émises, la procédure a dû être modifiée pour adapter le seuil afin de prendre en compte des technologies autres que les moteurs diesel.

15. Pour les voitures particulières et véhicules utilitaires légers, la procédure de mesure du SPN est décrite à la fois dans le Règlement ONU n° 83 et dans le RTM ONU n° 15. Le RTM ONU n° 15 a été modifié lors de la session de novembre 2020 du WP.29 (document ECE/TRANS/WP.29/2020/128, soumis par le GRPE, intitulé « Rapport technique sur l'élaboration de l'amendement 6 au RTM ONU n° 15 (Procédure d'essai mondiale harmonisée pour les voitures particulières et véhicules utilitaires légers (WLTP) »). L'amendement en question comporte une option supplémentaire pour la mesure du SPN avec un seuil de 10 nm et quelques autres modifications visant à améliorer la procédure elle-même.

16. La procédure de mesure du SPN pour les moteurs des véhicules utilitaires lourds est décrite uniquement dans le Règlement ONU n° 49 et ne figure pas dans le RTM ONU n° 4. Pour cette raison, il n'a pas été possible de soumettre la nouvelle procédure en tant qu'amendement au RTM ONU n° 4.

## D. Raisonement et justification techniques

17. Dans la présente section sont exposées les principales modifications apportées à la procédure décrite dans le Règlement ONU n° 49 afin d'y introduire deux options supplémentaires. La première est la possibilité de mesurer le SPN avec un seuil à 10 nm, tandis que la seconde est la possibilité de prélever les gaz d'échappement bruts en utilisant un taux de dilution fixe.

### 1. Option de mesure des particules avec un seuil à 10 nm

18. L'un des points les plus débattus au sein du groupe PMP a concerné l'élimination des particules volatiles et plus particulièrement la question de savoir si, pour le SPN10, elle devait être basée sur un réacteur catalytique ou si le tube d'évaporation habituel devait également être autorisé. Les résultats des corrélations entre laboratoires pour les voitures particulières et véhicules utilitaires légers n'ont pas fourni d'éléments clairs en faveur d'une solution plutôt que l'autre. La comparaison entre laboratoires pour les véhicules utilitaires lourds a montré qu'il pouvait exister des cas dans lesquels le réacteur catalytique était plus efficace pour éliminer les particules volatiles (par exemple, pendant les régénérations). Un examen des méthodes d'élimination des particules volatiles a conclu que le réacteur catalytique était plus efficace que le tube d'évaporation, en particulier lorsque de l'acide sulfurique était présent dans les gaz d'échappement. Pour ces raisons, il a été décidé de n'autoriser que l'utilisation du réacteur catalytique pour le SPN10 (système recommandé).

19. Toutefois, afin de garder ouverte la possibilité d'utiliser également pour la mesure du SPN23 des systèmes de prélèvement conçus pour celle du SPN10, le groupe PMP a aussi proposé de modifier la procédure actuelle en levant la restriction excluant que des éléments du système de prélèvement réagissent avec les composants des gaz d'échappement. Ainsi, un système de prélèvement comportant un réacteur catalytique équipé d'un compteur de particules à condensation correctement étalonné peut être utilisé pour mesurer le SPN23. Plusieurs données expérimentales confirment que les différences de pertes entre un réacteur catalytique et un tube d'évaporation ne deviennent importantes qu'en dessous de 23 nm et, par conséquent, permettre d'utiliser les deux types de dispositif pour le SPN23 ne devrait pas entraîner une augmentation de la variabilité des mesures.

20. On trouvera résumées dans le tableau 1 les principales modifications apportées à la procédure prévue dans le Règlement ONU n° 49, objet de la présente Résolution d'ensemble.

Tableau 1  
**Principales modifications apportées à la mesure du SPN23 et modifications et ajouts concernant la mesure du SPN10**

<i>Objet</i>	<i>Annexe 4 au Règlement ONU n° 49, telle qu'énoncée dans la série 07 d'amendements</i>	<i>Modifications proposées pour la mesure du SPN23</i>	<i>Modifications proposées pour la mesure du SPN10</i>	<i>Motif</i>
Efficacité du compteur du nombre de particules (PNC)	50 ± 12 % à 23 nm, >90 % à 41 nm	Aucune	65 ± 15 % à 10 nm, >90 % à 15 nm	Efficacité typique du compteur du nombre de particules, bien vérifiée sur le terrain
Perte maximale du séparateur de particules volatiles (VPR)	Supérieure de 30 % à 30 nm et de 20 % à 50 nm par rapport à 100 nm	Aucune	Ajout Supérieure de 100 % à 15 nm par rapport à 100 nm	Pas de prescription supplémentaire en dessous de 15 nm car la génération de particules inférieures à 15 nm est difficile et les incertitudes sont élevées
Validation polydispersée du séparateur de particules volatiles	Un aérosol polydispersé de 50 nm peut être utilisé pour la validation	Aucune	Suppression	Incertaines à 15 nm ou en dessous, donc l'essai ne sert à rien
Validation du séparateur de particules volatiles	>99,0 % de vaporisation des particules de tétracontane de 30 nm, avec une concentration d'entrée supérieure ou égale à 10 000 par cm <sup>3</sup> (monodispersé)	Aucune	Efficacité d'élimination supérieure à 99,9 % des particules de tétracontane ayant un diamètre médian de comptage supérieur à 50 nm et une masse supérieure à 1 mg/m <sup>3</sup> (polydispersé)	Garantir le bon fonctionnement du séparateur de particules volatiles également pour les compteurs du nombre de particules, avec 65 ± 15 % à 10 nm et >90 % à 15 nm
Séparateur de particules volatiles	Aucune partie (du système de mesure du SPN) ne doit réagir avec les composants des gaz d'échappement	Le séparateur de particules volatiles peut être catalysé (le tube d'évaporation chauffé et le réacteur catalytique sont tous deux autorisés).	Le séparateur de particules volatiles doit être catalysé (utilisation d'un réacteur catalytique uniquement) (système recommandé)	Réduire au minimum le risque d'artefacts pour le SPN10. Comparabilité du SPN10 et du SPN23 et possibilité d'utiliser de nouveaux systèmes de prélèvement avec réacteur catalytique pour mesurer le SPN23 en adaptant un compteur du nombre de particules avec un d50 à 23 nm

SPN = Nombre de particules solides.

## 2. Objectif et résumé des mesures directes du SPN au tuyau d'échappement en utilisant l'option de dilution fixe

21. Les modifications apportées au Règlement ONU n° 49 visent principalement à introduire à titre d'option supplémentaire la possibilité de mesurer le nombre de particules solides (SPN) directement au tuyau d'échappement avec un taux de dilution fixe, en plus des options actuellement autorisées de mesurer à partir d'un système à flux partiel proportionnel ou du tunnel à dilution totale.

22. Cette initiative découle du besoin de procédures plus simples, demandant moins de place et ne nécessitant pas d'utiliser un dispositif de dilution en flux partiel ou total. La réglementation sur les moteurs des véhicules utilitaires lourds autorise le prélèvement direct des polluants gazeux au tuyau d'échappement, et autoriser la mesure du SPN par ce moyen en résulte naturellement. Les particules peuvent cependant être perdues ou transformées dans les conduites de prélèvement, ce qui impose de porter une attention particulière aux conditions dudit prélèvement. Sur la base de l'expérience acquise avec les mesures du SPN au tuyau d'échappement des voitures particulières et véhicules utilitaires légers, en utilisant des systèmes portables de mesure des émissions pour les voitures particulières et les véhicules utilitaires légers et lourds, il a été supposé que les mesures du SPN directement au tuyau d'échappement avec une dilution fixe seraient réalisables pour l'homologation des moteurs des véhicules utilitaires lourds. Les deux méthodes possibles sont les suivantes : la dilution directe à chaud avec les systèmes de mesure existants ou l'utilisation d'un prédilueur à froid, toutes deux s'appliquant avec un taux de dilution fixe.

23. Des travaux de comparaison des résultats de plusieurs laboratoires ont été réalisés en Europe, dans lesquels un système « Golden » mesurant directement au tuyau d'échappement avec une dilution fixe à chaud (150 °C) a été comparé aux systèmes réglementaires des laboratoires. Les résultats des instruments « Golden » se situaient à moins de 25 % dans la plupart des cas, atteignant 40 % dans deux laboratoires pour les particules supérieures à 23 nm et pour celles supérieures à 10 nm. La répétabilité des mesures (10 % à 40 %) est restée la même pour les deux systèmes avec les deux seuils. Un autre système mesurant au tuyau d'échappement avec une dilution fixe à froid (à température ambiante) a donné des différences allant jusqu'à 50 % dans la plupart des cas (en moyenne +26 %). Des essais avec ce système ont montré que les différences étaient les mêmes avec une dilution fixe ou proportionnelle, ce qui indique que ce n'était pas le principe lui-même qui avait entraîné la surestimation, mais l'étalonnage du système. Des essais réalisés en Chine avec des moteurs conformes aux normes Chine II à VI équipés du même système « Golden » ont révélé des différences moyennes de -25 % pour les systèmes de mesure des particules supérieures à 23 nm et de celles supérieures à 10 nm par rapport à un tunnel à dilution totale. Des essais supplémentaires réalisés en Europe ont montré une différence de -25 % pour le système mesurant au tuyau d'échappement avec une dilution « à chaud » et de +25 % pour le système mesurant au tuyau d'échappement avec une dilution « à froid » par rapport au système de référence (système à flux partiel proportionnel).

24. Dans le tableau 2 sont résumés les principaux ajouts pour la nouvelle option de mesure du SPN par prélèvement direct au tuyau d'échappement avec un taux de dilution fixe. Le principal ajout à retenir concerne les dispositions techniques relatives au prédilueur à froid, lorsqu'il est utilisé.

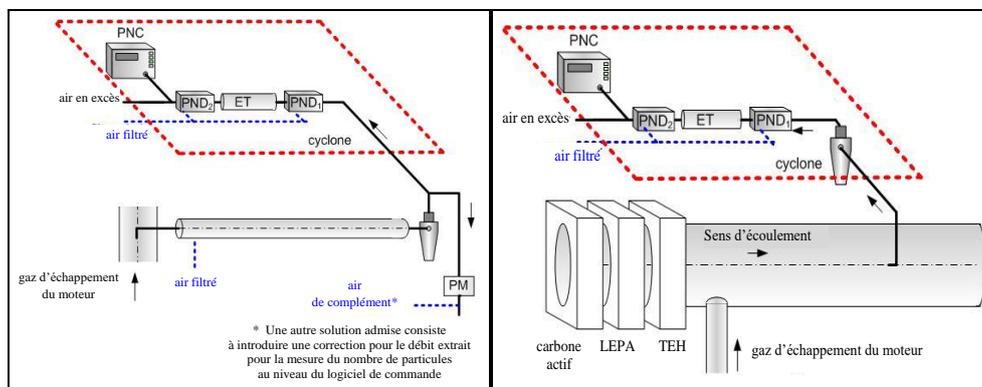
Tableau 2  
**Principaux ajouts à la procédure prévue par le Règlement ONU n° 49 pour la mesure du SPN par prélèvement direct**

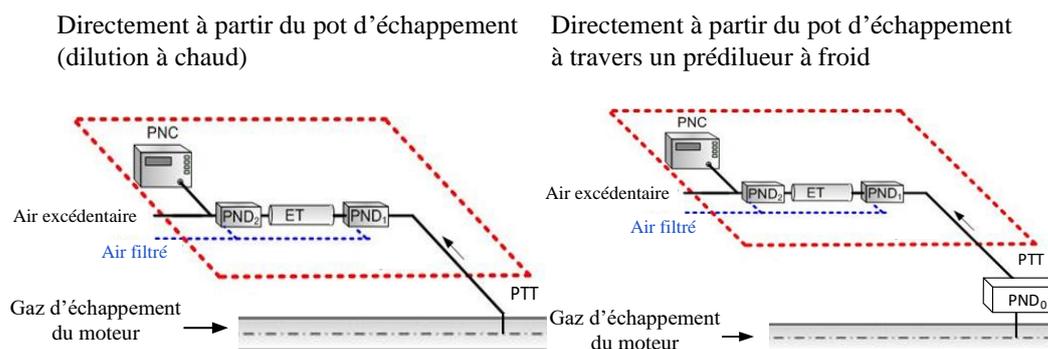
Objet	Modifications proposées pour le prélèvement direct en vue de la mesure du SPN avec un taux de dilution fixe	Motif
Prédilueur	Un prédilueur à froid ou à chaud peut être placé à l'extrémité de la sonde de prélèvement des particules et devant le tube de transfert desdites particules. Un taux de dilution fixe >5:1 doit être appliqué à l'étape de dilution à froid ou à chaud. La dilution à froid est définie comme une dilution avec de l'air de dilution (non chauffé) ou une température du dilueur $\geq 20$ °C	Une dilution à froid similaire à celle des systèmes à flux partiel proportionnel devrait être acceptable
Pertes	La pénétration pour chaque modèle de prédilueur doit être déterminée comme décrit au paragraphe A.8.2.2.4, individuellement ou en combinaison avec le séparateur de particules volatiles. La pénétration finale dans le système (prédilueur, tube de transfert des particules et séparateur de particules volatiles) ne doit pas être inférieure de plus de 10 % aux prescriptions énoncées au paragraphe A.8.1.3.3.6.  Les facteurs de réduction de la concentration de particules de chaque prédilueur doivent être déterminés comme décrit au paragraphe A.8.2.2.2, individuellement ou en combinaison avec le séparateur de particules volatiles, et pris en compte dans le calcul des émissions. Le système complet (prédilueur, tube de transfert des particules et séparateur de particules volatiles) ne doit pas dépasser de plus de 0 % pour 50 nm, 10 % pour 30 nm et 25 % pour 15 nm (le cas échéant) les prescriptions relatives au rapport $fr(di)/fr(100)$ énoncées au paragraphe A.8.1.3.3.4.	Le prédilueur doit être caractérisé
Conduite de prélèvement	En cas de prélèvement direct au tuyau d'échappement, le temps de séjour jusqu'au prédilueur ou au séparateur de particules volatiles doit être inférieur ou égal à 1 s. La tubulure doit être chauffée à une température supérieure ou égale à 150°C si elle est supérieure ou égale à 10 cm. Il convient d'appliquer une méthode conforme aux règles techniques reconnues pour réduire au minimum les pertes de particules et isoler les parties non chauffées.	Temps de séjour réduit, conduite de prélèvement chaude afin d'éviter la condensation et réduire au minimum les pertes de particules

Exemples de configurations de prélèvement en vue de la mesure du SPN :

Du système à flux partiel proportionnel

Du tunnel de dilution





## E. Faisabilité technique, coûts et avantages prévus

25. La présente Résolution d'ensemble a été élaborée en s'appuyant sur l'expérience de nombreuses parties prenantes, notamment autorités réglementaires, constructeurs de véhicules et consultants techniques. Elle a été conçue pour actualiser et améliorer les normes existantes. Ses dispositions sont fondées sur des principes existant déjà dans les normes actuellement en vigueur chez différentes Parties contractantes.

26. Étant donné que la Résolution est fondée sur des normes existantes, les Parties contractantes qui adopteraient la procédure ici décrite n'encourraient que des incidences limitées sur les procédures, la complexité des essais et le matériel de mesure requis.

27. La présente Résolution d'ensemble n'a pas de statut réglementaire sur le territoire des Parties contractantes. Celles-ci ainsi que les constructeurs peuvent s'y référer pour évaluer les émissions de particules selon les prescriptions techniques de leurs propres normes ou règlements.

28. Le principal avantage économique de la procédure visée, une fois adoptée, sera la réduction des émissions de particules des nouveaux moteurs à combustion ainsi que la simplification de la procédure d'essai pour la certification des émissions des moteurs des véhicules utilitaires lourds.

29. Il n'est pas possible d'évaluer, à l'heure actuelle, les coûts totaux liés à la présente Résolution d'ensemble. Toutefois, étant donné que les modifications introduites ont des incidences minimales sur les procédures et le matériel d'essai existants, une incidence limitée sur les coûts est également attendue.

30. Des avantages en matière de sécurité sont prévus, mais il n'est pas encore possible de déterminer leur effet global sur la santé humaine.

Note : Dans la présente Résolution d'ensemble, l'abréviation SPN (*solid particle number*) signifie « nombre de particules solides ».

## F. Application de la présente Résolution d'ensemble

31. Pour faciliter la référence et la lecture, dans la présente Résolution d'ensemble ne figurent que les sections qui ont été modifiées pour introduire les nouvelles options. Ces sections, à savoir l'annexe 4 et l'appendice 8 de l'annexe 4 de la série 07 d'amendements au Règlement ONU n° 49, conservent la même numérotation que les sections correspondantes de ladite série 07 d'amendements au Règlement ONU n° 49 tel que modifié. En cas d'application de la présente Résolution d'ensemble, lesdites sections peuvent simplement remplacer les sections correspondantes du Règlement ONU n° 49.

32. Les Parties contractantes désireuses d'adopter la méthode décrite pour mesurer le SPN10 substitueront la partie II de la présente Résolution d'ensemble aux sections pertinentes de la série 07 d'amendements au Règlement ONU n° 49 tel que modifié.

## II. Modifications à apporter à la série 07 d'amendements au Règlement ONU n° 49 tel que modifié

### Annexe 4

#### Procédure d'essai

##### 1. Introduction

La présente annexe est fondée sur le Règlement technique mondial ONU n° 4, relatif à la procédure mondiale harmonisée d'homologation des véhicules utilitaires lourds.

##### 2. Réservé<sup>2</sup>

##### 3. Définitions, symboles et abréviations

##### 3.1 Définitions

Aux fins du présent Règlement, on entend :

3.1.1 Par « *puissance maximale déclarée ( $P_{max}$ )* », la puissance maximale en kW CEE (puissance nette) qui est déclarée par le constructeur dans sa demande d'homologation ;

3.1.2 Par « *temps de retard* », l'écart de temps entre une variation d'un constituant à mesurer au point de référence et une réponse du système de mesure de 10 % de la valeur de lecture finale ( $t_{10}$ ), la sonde de prélèvement étant définie comme point de référence. Pour les constituants gazeux, ce temps est égal au temps de transport du constituant mesuré depuis la sonde de prélèvement jusqu'au détecteur ;

3.1.3 Par « *dérive* », la différence entre les réponses au zéro ou au point final d'étalonnage de l'instrument de mesure avant et après un essai de mesure des émissions ;

3.1.4 Par « *méthode de la dilution du flux total* », le procédé consistant à mélanger le flux total de gaz d'échappement au diluant avant de séparer une fraction du flux de gaz d'échappement dilué pour analyse ;

3.1.5 Par « *régime haut ( $n_{hi}$ )* », le régime moteur le plus élevé, où l'on obtient 70 % de la puissance maximale déclarée ;

3.1.6 Par « *régime bas ( $n_{lo}$ )* », le régime moteur le plus bas, où l'on obtient 55 % de la puissance maximale déclarée ;

3.1.7 Par « *puissance maximale ( $P_{max}$ )* », la puissance maximale en kW spécifiée par le constructeur ;

3.1.8 Par « *régime du couple maximal* », le régime moteur où l'on obtient le couple maximal tel que spécifié par le constructeur ;

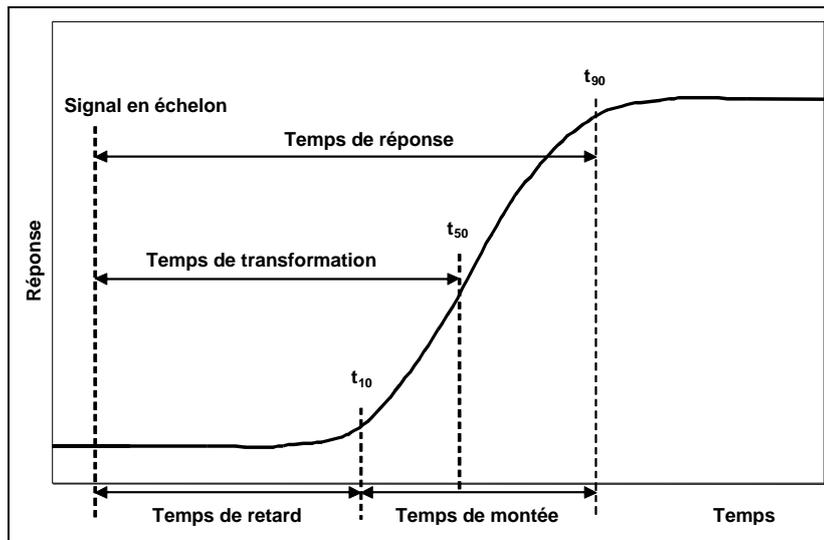
3.1.9 Par « *couple normalisé* », le couple du moteur en pourcentage normalisé par rapport au couple maximal disponible à un régime moteur donné ;

3.1.10 Par « *demande de l'opérateur* », une intervention de l'opérateur visant à régler la puissance du moteur. L'opérateur peut être une personne (intervention manuelle) ou un régulateur (intervention automatique) qui envoie au moteur, mécaniquement ou électroniquement, un signal lui commandant de fournir une certaine puissance. Ce signal peut être une action sur une pédale d'accélérateur,

<sup>2</sup> La numérotation de la présente annexe correspond à celle du Règlement technique mondial ONU n° 4, relatif à la procédure mondiale harmonisée d'homologation des véhicules utilitaires lourds. Toutefois, certaines parties dudit Règlement technique ne sont pas nécessaires ici.

- un levier de commande des gaz, un levier de commande de l'alimentation en carburant, un levier de commande de la vitesse ou un point de consigne du régulateur, ou un signal de commande électronique correspondant remplaçant chacune de ces actions ;
- 3.1.11 Par « *méthode de dilution du flux partiel* », le procédé consistant à séparer une partie du flux total, puis à la mélanger à une quantité appropriée de diluant avant de l'envoyer au filtre de collecte des particules ;
- 3.1.12 Par « *cycle d'essai en conditions stabilisées avec rampes de transition* », un cycle d'essai comportant une séquence de modes de fonctionnement du moteur en conditions stationnaires à des valeurs définies de régime et de couple, avec rampes de transition définies entre modes (WHSC) ;
- 3.1.13 Par « *régime nominal* », le régime maximal à pleine charge autorisé par le régulateur comme spécifié par le constructeur dans sa documentation de vente et de service, ou en l'absence d'un tel régulateur, le régime auquel la puissance maximale du moteur est obtenue, comme spécifié par le constructeur dans sa documentation de vente et de service ;
- 3.1.14 Par « *temps de réponse* », l'écart de temps entre la variation du constituant à mesurer au point de référence et une réponse du système de 90 % de la valeur de lecture finale ( $t_{90}$ ), la sonde de prélèvement étant définie comme point de référence ; la variation du constituant mesuré doit être d'au moins 60 % de l'échelle et se faire en moins de 0,1 s. Le temps de réponse du système est constitué du temps de retard du système et du temps de montée du système ;
- 3.1.15 Par « *temps de montée* », l'écart de temps entre une réponse de 10 % et une réponse de 90 % de la valeur finale de mesure ( $t_{90} - t_{10}$ ) ;
- 3.1.16 Par « *réponse au point final* », la réponse moyenne à un gaz de calibration sur une durée de 30 s ;
- 3.1.17 Par « *émissions spécifiques* », les émissions en masse exprimées en g/kWh ;
- 3.1.18 Par « *cycle d'essai* », une séquence de points d'essai correspondant chacun à des valeurs définies de régime et de couple, à exécuter avec le moteur en conditions stabilisées (essai WHSC) ou en conditions transitoires (essai WHTC) ;
- 3.1.19 Par « *temps de transformation* », l'écart de temps entre la variation du constituant à mesurer au point de référence et une réponse du système de mesure de 50 % de la valeur finale de mesure ( $t_{50}$ ), la sonde de prélèvement étant choisie comme point de référence. Le temps de transformation est utilisé pour le recalage des signaux des différents appareils de mesure ;
- 3.1.20 Par « *cycle d'essai en conditions transitoires* », un cycle d'essai comportant une séquence de valeurs normalisées de régime et de couple présentant des variations relativement rapides dans le temps (WHTC) ;
- 3.1.21 Par « *réponse zéro* », la réponse moyenne à un gaz de mise à zéro au cours d'une durée de 30 s.

Figure 1  
Définitions relatives à la réponse du système



### 3.2 Symboles généraux

Symbole	Unité	Terme
$a_1$	-	Pente de la droite de régression
$a_0$	-	Ordonnée à l'origine de la droite de régression
$A/F_{st}$	-	Rapport air/carburant stœchiométrique
$c$	ppm/ % vol	Concentration
$c_d$	ppm/ % vol	Concentration sur base sèche
$c_w$	ppm/ % vol	Concentration sur base humide
$c_b$	ppm/ % vol	Concentration ambiante
$C_d$	-	Coefficient de décharge du venturi subsonique (SSV)
$c_{gas}$	ppm/ % vol	Concentration des constituants gazeux
$\bar{C}_s$	particules par $cm^3$	Concentration moyenne de particules dans les gaz d'échappement dilués, corrigée pour tenir compte des conditions normales (273,2 K et 101,33 kPa)
$c_{s,i}$	particules par $cm^3$	Mesure discrète de la concentration de particules dans les gaz d'échappement dilués, indiquée par le compteur de particules, corrigée pour tenir compte des conditions normales (273,2 K et 101,33 kPa)
$d$	m	Diamètre
$d_i$		Diamètre de mobilité électrique des particules (30, 50 ou 100 nm)
$d_v$	m	Diamètre du col du venturi
$D_0$	$m^3/s$	Ordonnée à l'origine de la fonction d'étalonnage de la pompe volumétrique
$D$	-	Facteur de dilution
$\Delta t$	s	Intervalle de temps

<i>Symbole</i>	<i>Unité</i>	<i>Terme</i>
$e$		Nombre de particules émises par kWh
$e_{\text{gas}}$	g/kWh	Émissions spécifiques de constituants gazeux
$e_{\text{PM}}$	g/kWh	Émissions spécifiques de particules
$e_r$	g/kWh	Émissions spécifiques pendant la régénération
$e_w$	g/kWh	Émissions spécifiques pondérées
$E_{\text{CO}_2}$	%	Facteur d'extinction par le CO <sub>2</sub> de l'analyseur de NO <sub>x</sub>
$E_E$	%	Efficacité pour l'éthane
$E_{\text{H}_2\text{O}}$	%	Facteur d'extinction par l'eau de l'analyseur de NO <sub>x</sub>
$E_M$	%	Efficacité pour le méthane
$E_{\text{NO}_x}$	%	Efficacité du convertisseur de NO <sub>x</sub>
$f$	Hz	Fréquence d'acquisition des données
$f_a$	-	Facteur atmosphérique du laboratoire
$F_s$	-	Facteur stœchiométrique
$\overline{f_r}$	-	Facteur de réduction de la concentration moyenne de particules de l'extracteur de particules volatiles s'appliquant spécifiquement aux conditions de dilution utilisées pour l'essai
$H_a$	g/kg	Humidité absolue de l'air d'admission
$H_d$	g/kg	Humidité absolue du diluant
$i$	-	Indice s'appliquant à une mesure instantanée
$k$	-	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, la valeur 1 doit être appliquée à $k$ dans l'équation ci-dessus.
$k_c$	-	Facteur spécifique du carbone
$k_{f,d}$	m <sup>3</sup> /kg de carburant	Volume supplémentaire de gaz d'échappement secs résultant de la combustion
$k_{f,w}$	m <sup>3</sup> /kg de carburant	Volume supplémentaire de gaz d'échappement humides résultant de la combustion
$k_{h,D}$	-	Facteur de correction d'humidité des NO <sub>x</sub> pour les moteurs à allumage par compression
$k_{h,G}$	-	Facteur de correction d'humidité des NO <sub>x</sub> pour les moteurs à allumage commandé
$k_r$		Correction de régénération, conformément au paragraphe 6.6.2, ou, dans le cas de moteurs non munis d'un système de traitement aval à régénération périodique, $k_r = 1$

<i>Symbole</i>	<i>Unité</i>	<i>Terme</i>
$k_{r,d}$	-	Facteur d'ajustement de la régénération à la baisse
$k_{r,u}$	-	Facteur d'ajustement de la régénération à la hausse
$k_{w,a}$	-	Facteur de correction base sèche/base humide pour l'air d'admission
$k_{w,d}$	-	Facteur de correction base sèche/base humide pour le diluant
$k_{w,e}$	-	Facteur de correction base sèche/base humide pour les gaz d'échappement dilués
$k_{w,r}$	-	Facteur de correction base sèche/base humide pour les gaz d'échappement bruts
$K_V$	-	Fonction d'étalonnage du CFV
$\lambda$	-	Facteur d'excédent d'air
$m_b$	mg	Masse des particules recueillies dans le diluant
$m_d$	kg	Masse de l'échantillon du diluant étant passé à travers les filtres de collecte des particules
$m_{ed}$	kg	Masse totale des gaz d'échappement dilués sur tout le cycle
$m_{edf}$	kg	Masse des gaz d'échappement dilués équivalents sur tout le cycle
$m_{ew}$	kg	Masse totale de gaz d'échappement sur tout le cycle
$m_{ex}$	kg	Masse totale de gaz d'échappement dilués extraits du tunnel de dilution pour le prélèvement de mesure du nombre de particules
$m_f$	mg	Masse du filtre de collecte des particules
$m_{gas}$	g	Masse des émissions gazeuses sur tout le cycle
$m_p$	mg	Masse des particules recueillies
$m_{PM}$	g	Masse des émissions de particules sur tout le cycle
$m_{PM,corr}$	g/essai	Masse de particules corrigée pour tenir compte du débit de prélèvement extrait
$m_{se}$	kg	Masse des gaz d'échappement prélevés sur tout le cycle
$m_{sed}$	kg	Masse des gaz d'échappement dilués passant par le tunnel de dilution
$m_{sep}$	kg	Masse des gaz d'échappement dilués passant par les filtres de collecte des particules
$m_{ssd}$	kg	Masse du diluant secondaire
$M$	Nm	Couple
$M_a$	g/mol	Masse molaire de l'air d'admission
$M_d$	g/mol	Masse molaire du diluant

<i>Symbole</i>	<i>Unité</i>	<i>Terme</i>
$M_e$	g/mol	Masse molaire des gaz d'échappement
$M_f$	Nm	Couple absorbé par les accessoires/équipements à monter
$M_{gas}$	g/mol	Masse molaire des constituants gazeux
$M_r$	Nm	Couple absorbé par les accessoires/équipements à démonter
$N$	-	Nombre de particules émises sur le cycle d'essai
$n$	-	Nombre de mesures
$n_r$	-	Nombre de mesures avec la régénération
$n$	min <sup>-1</sup>	Régime de rotation du moteur
$n_{hi}$	min <sup>-1</sup>	Régime haut
$n_{lo}$	min <sup>-1</sup>	Régime bas
$n_{pref}$	min <sup>-1</sup>	Régime recommandé
$n_p$	tr/s	Régime de la pompe volumétrique
$N_{cold}$	-	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
$N_{in}$		Concentration de particules en amont
$N_{out}$		Concentration de particules en aval
$p_a$	kPa	Pression de vapeur saturante de l'air d'admission
$p_b$	kPa	Pression atmosphérique totale
$p_d$	kPa	Pression de vapeur saturante du diluant
$p_p$	kPa	Pression absolue
$p_r$	kPa	Pression de vapeur d'eau après le bain de refroidissement
$p_s$	kPa	Pression atmosphérique en conditions sèches
$P$	kW	Puissance
$P_f$	kW	Puissance absorbée par les accessoires/équipements à monter
$P_r$	kW	Puissance absorbée par les accessoires/équipements à démonter
$q_{ex}$	kg/s	Débit massique de prélèvement de mesure du nombre de particules
$q_{mad}$	kg/s	Débit-masse d'air d'admission sur base sèche
$q_{maw}$	kg/s	Débit-masse d'air d'admission sur base humide
$q_{mCe}$	kg/s	Débit-masse de carbone dans les gaz d'échappement bruts
$q_{mCf}$	kg/s	Débit-masse de carbone dans le moteur
$q_{mCp}$	kg/s	Débit-masse de carbone dans le système de dilution du flux partiel

<i>Symbole</i>	<i>Unité</i>	<i>Terme</i>
$q_{mdew}$	kg/s	Débit-masse des gaz d'échappement dilués en conditions humides
$q_{mdw}$	kg/s	Débit-masse du diluant en conditions humides
$q_{medf}$	kg/s	Débit-masse équivalent de gaz d'échappement dilués sur base sèche
$q_{mew}$	kg/s	Débit-masse de gaz d'échappement sur base humide
$q_{mex}$	kg/s	Débit-masse de prélèvement extrait du tunnel de dilution
$q_{mf}$	kg/s	Débit-masse du carburant
$q_{mp}$	kg/s	Débit-masse de gaz d'échappement entrant dans le système de dilution du flux partiel
$q_{sw}$	kg/s	Débit massique réintroduit dans le tunnel de dilution pour compenser le débit de prélèvement extrait
$q_{vCVS}$	m <sup>3</sup> /s	Débit-volume du prélèvement à volume constant
$q_{vs}$	dm <sup>3</sup> /min	Débit du système d'analyseur des gaz d'échappement
$q_{vt}$	cm <sup>3</sup> /min	Débit du gaz témoin
$r^2$	-	Coefficient de détermination
$r_d$	-	Taux de dilution
$r_D$	-	Rapport de diamètre du venturi subsonique
$r_h$	-	Facteur de réponse du FID aux hydrocarbures
$r_m$	-	Facteur de réponse du FID au méthanol
$r_p$	-	Rapport de pression du venturi subsonique
$r_s$	-	Taux de prélèvement moyen
$s$		Écart type
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Densité
$\rho_e$	kg/m <sup>3</sup>	Masse volumique des gaz d'échappement
$\sigma$	-	Écart type
$T$	K	Température absolue
$T_a$	K	Température absolue de l'air d'admission
$t$	s	Temps
$t_{10}$	s	Temps écoulé entre l'application du signal en échelon et l'affichage de 10 % de la valeur finale
$t_{50}$	s	Temps écoulé entre l'application du signal en échelon et l'affichage de 50 % de la valeur finale
$t_{90}$	s	Temps écoulé entre l'application du signal en échelon et l'affichage de 90 % de la valeur finale

<i>Symbole</i>	<i>Unité</i>	<i>Terme</i>
$u$	-	Rapport entre les masses volumiques (ou les masses molaires) des constituants gazeux et du gaz d'échappement divisé par 1 000
$V_0$	m <sup>3</sup> /tr	Volume de gaz pompé par tour de la pompe volumétrique
$V_s$	dm <sup>3</sup>	Volume net du banc d'analyse des gaz d'échappement
$W_{act}$	kWh	Travail du cycle d'essai effectif
$W_{act, cold}$	kWh	Travail effectif sur le cycle pendant la durée du cycle d'essai WHTC à froid conformément au paragraphe 7.8.6
$W_{act, hot}$	kWh	Travail effectif sur le cycle pendant la durée du cycle d'essai WHTC à chaud conformément au paragraphe 7.8.6
$W_{ref}$	kWh	Travail du cycle d'essai de référence
$X_0$	m <sup>3</sup> /tr	Fonction d'étalonnage de la pompe volumétrique

### 3.3 Symboles et abréviations concernant la composition du carburant

$w_{ALF}$	Teneur en hydrogène du carburant, en pourcentage masse
$w_{BET}$	Teneur en carbone du carburant, en pourcentage masse
$w_{GAM}$	Teneur en soufre du carburant, en pourcentage masse
$w_{DEL}$	Teneur en azote du carburant, en pourcentage masse
$w_{EPS}$	Teneur en oxygène du carburant, en pourcentage masse
$\alpha$	Rapport molaire pour l'hydrogène (H/C)
$\gamma$	Rapport molaire pour le soufre (S/C)
$\delta$	Rapport molaire pour l'azote (N/C)
$\varepsilon$	Rapport molaire pour l'oxygène (O/C)

sur la base d'un carburant  $CH_\alpha O_\varepsilon N_\delta S_\gamma$

### 3.4 Symboles et abréviations pour les constituants chimiques

C1	Hydrocarbures équivalents en carbone 1
CH <sub>4</sub>	Méthane
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Éthane
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Propane
CO	Monoxyde de carbone
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
DOP	Di-octylphtalate
HC	Hydrocarbures
H <sub>2</sub> O	Eau
HCNM	Hydrocarbures non méthaniques
NO <sub>x</sub>	Oxydes d'azote
NO	Oxyde nitrique

NO <sub>2</sub>	Dioxyde d'azote
PM	Matières particulaires
SPN	Nombre de particules solides

### 3.5 Abréviations

CFV	Venturi-tuyère en régime critique
CG	Chromatographie en phase gazeuse
CLD	Détecteur par chimiluminescence
CVS	Prélèvement à volume constant
DeNO <sub>x</sub>	Système de traitement aval des oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> )
ET	Tube d'évaporation
FID	Détecteur à ionisation de flamme
FTIR	Analyseur infrarouge par transformation de Fourier
GN	Gaz naturel
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
HCLD	Détecteur par chimiluminescence chauffé
HFID	Détecteur à ionisation de flamme chauffé
LDS	Spectromètre à diode laser
NDIR	Analyseur infrarouge non dispersif
NMC	Convertisseur de HCNM
OT	Tuyau de sortie
PCF	Séparateur primaire granulométrique
PDP	Pompe volumétrique
% FS	Pourcentage de l'échelle
PFS	Système à flux partiel
PNC	Compteur du nombre de particules
PND	Dilueur du nombre de particules
PTS	Système de transfert des particules
PTT	Tube de transfert des particules
RGE	Recyclage des gaz d'échappement
SSV	Venturi subsonique
VGT	Turbine à géométrie variable
VPR	Séparateur de particules volatiles
WHSC	Cycle d'essai mondial harmonisé en conditions stabilisées
WHTC	Cycle d'essai mondial harmonisé en conditions transitoires

4. Prescriptions générales
- Le système moteur doit être conçu, construit et installé de manière à permettre au moteur, en utilisation normale, de satisfaire aux prescriptions de la présente annexe pendant sa durée de service, telle qu'elle est définie dans le présent Règlement, y compris lorsqu'il est installé sur le véhicule.
5. Prescriptions fonctionnelles
- 5.1 Émission de polluants gazeux et particulaires
- Les émissions de polluants gazeux et particulaires du moteur doivent être déterminées conformément aux cycles d'essai WHTC et WHSC, tels qu'ils sont définis au paragraphe 7. Les systèmes de mesure doivent satisfaire aux conditions de linéarité énoncées au paragraphe 9.2 et aux caractéristiques énoncées au paragraphe 9.3 (mesure des émissions gazeuses), au paragraphe 9.4 (mesure des particules) et à l'appendice 2 de la présente annexe.
- D'autres systèmes ou analyseurs peuvent être approuvés par l'autorité d'homologation de type, s'il est démontré qu'ils donnent des résultats équivalents au sens du paragraphe 5.1.1.
- 5.1.1 Équivalence d'un système
- La détermination de l'équivalence d'un système doit s'appuyer sur une étude de corrélation portant sur sept paires d'échantillons (ou plus) entre le système envisagé et l'un des systèmes de la présente annexe.
- Par « résultats », on entend la valeur spécifique des émissions pondérées par cycle. Les essais de corrélation doivent être effectués par le même laboratoire, dans la même chambre d'essai et sur le même moteur et de préférence conjointement. L'équivalence des moyennes de paires d'échantillons doit être déterminée sur la base de statistiques de test-F et de test-t comme indiqué au paragraphe A.3.3 de l'appendice 3, obtenues dans la chambre d'essai et avec les conditions moteur décrites ci-dessus. Les valeurs aberrantes doivent être déterminées conformément à la norme ISO 5725 et exclues de la base de données. Les systèmes utilisés pour les essais de corrélation doivent être soumis à l'agrément de l'autorité d'homologation de type.
- 5.2 Famille de moteurs
- 5.2.1 Dispositions générales
- Une famille de moteurs est caractérisée par ses paramètres de conception. Ceux-ci doivent être communs à tous les moteurs d'une famille. Le constructeur de moteurs peut déterminer quels moteurs appartiennent à une famille, pour autant que les critères d'appartenance énumérés au paragraphe 5.2.3 soient respectés. La famille de moteurs doit être approuvée par l'autorité d'homologation de type. Le constructeur doit fournir à cette autorité les informations utiles relatives aux niveaux d'émissions des membres de cette famille.
- 5.2.2 Cas spéciaux
- Dans certains cas, il peut y avoir des interactions entre paramètres. Ce facteur doit être pris en considération afin que seuls les moteurs ayant des caractéristiques semblables en matière d'émissions d'échappement soient compris dans la même famille. Ces cas doivent être identifiés par le constructeur et notifiés à l'autorité d'homologation de type. Ils seront alors pris en considération comme critères pour l'établissement d'une nouvelle famille de moteurs.
- Dans le cas de dispositifs ou de caractéristiques qui ne sont pas répertoriés au paragraphe 5.2.3, mais qui ont une forte incidence sur le niveau d'émissions, ces équipements doivent être identifiés par le constructeur conformément aux principes techniques reconnus et doivent être notifiés à l'autorité

d'homologation de type. Ils seront alors pris en considération comme critères pour l'établissement d'une nouvelle famille de moteurs.

Outre les paramètres énumérés au paragraphe 5.2.3, le constructeur peut prendre en compte d'autres critères permettant de définir plus étroitement les familles. Ces paramètres ne sont pas nécessairement des paramètres qui influent sur le niveau d'émissions.

### 5.2.3 Paramètres définissant une famille de moteurs

#### 5.2.3.1 Cycle de fonctionnement

- a) Cycle à deux temps ;
- b) Cycle à quatre temps ;
- c) Moteur à piston rotatif ;
- d) Autres.

#### 5.2.3.2 Configuration des cylindres

##### 5.2.3.2.1 Disposition des cylindres dans le bloc

- a) En V ;
- b) En ligne ;
- c) En étoile ;
- d) Autre (en F, en W, etc.).

##### 5.2.3.2.2 Entraxe entre cylindres

Les moteurs ayant un même bloc peuvent appartenir à la même famille pour autant que l'entraxe entre cylindres soit le même.

#### 5.2.3.3 Mode de refroidissement principal

- a) Par air ;
- b) Par eau ;
- c) Par huile.

#### 5.2.3.4 Cylindrée unitaire

##### 5.2.3.4.1 Moteurs ayant une cylindrée unitaire supérieure ou égale à 0,75 dm<sup>3</sup>

Pour que des moteurs ayant une cylindrée unitaire supérieure ou égale à 0,75 dm<sup>3</sup> soient considérés comme des membres d'une même famille, la plage de variation de leurs cylindrées unitaires ne doit pas dépasser 15 % de la plus forte cylindrée unitaire dans la famille.

##### 5.2.3.4.2 Moteurs ayant une cylindrée unitaire inférieure à 0,75 dm<sup>3</sup>

Pour que des moteurs ayant une cylindrée unitaire inférieure à 0,75 dm<sup>3</sup> soient considérés comme des membres d'une même famille, la plage de variation de leurs cylindrées unitaires ne doit pas dépasser 30 % de la plus forte cylindrée unitaire dans la famille.

##### 5.2.3.4.3 Moteurs ne répondant pas à ces limites de variation

Les moteurs qui, du point de vue de la cylindrée unitaire, sortent des limites de variation définies aux paragraphes 5.2.3.4.1 et 5.2.3.4.2 peuvent être considérés comme des membres d'une même famille avec l'accord de l'autorité d'homologation de type. Cet accord doit se fonder sur des éléments techniques (calculs, simulations, résultats d'essais, etc.) démontrant que le dépassement des limites n'a pas d'incidence notable sur les émissions d'échappement.

- 5.2.3.5 Modes d'aspiration
  - a) Atmosphérique ;
  - b) Suralimentation ;
  - c) Suralimentation avec refroidisseur intermédiaire.
- 5.2.3.6 Types de carburant
  - a) Gazole ;
  - b) Gaz naturel (GN) ;
  - c) Gaz de pétrole liquéfié (GPL) ;
  - d) Éthanol.
- 5.2.3.7 Types de chambre de combustion
  - a) Chambre ouverte ;
  - b) Chambre fractionnée ;
  - c) Autres types.
- 5.2.3.8 Modes d'allumage
  - a) Allumage commandé ;
  - b) Allumage par compression.
- 5.2.3.9 Soupapes et conduits
  - a) Configuration ;
  - b) Nombre de soupapes par cylindre.
- 5.2.3.10 Modes d'alimentation en carburant
  - a) Alimentation en carburant liquide
    - i) Pompe, tuyauterie (haute pression) et injecteur ;
    - ii) Pompe en ligne ou à distributeur ;
    - iii) Pompe unitaire ou injecteur unitaire ;
    - iv) Rampe haute pression ;
    - v) Carburateur(s) ;
    - vi) Autres.
  - b) Alimentation en carburant gazeux
    - i) Gaz ;
    - ii) Liquide ;
    - iii) Mélangeurs ;
    - iv) Autres.
  - c) Autres types.
- 5.2.3.11 Dispositifs divers
  - a) Système de recyclage des gaz d'échappement (RGE) ;
  - b) Injection d'eau ;
  - c) Injection d'air ;
  - d) Autres.

### 5.2.3.12 Stratégie de gestion électronique

La présence ou l'absence d'un module électronique de gestion sur le moteur est considérée comme un paramètre de base de la famille.

Dans le cas des moteurs à gestion électronique, le constructeur doit exposer les arguments techniques justifiant de regrouper ces moteurs dans une même famille, c'est-à-dire les raisons pour lesquelles il est prévisible que ces moteurs répondent aux mêmes exigences en matière d'émissions.

Ces éléments de décision peuvent être des calculs, des simulations, des estimations, une description des paramètres d'injection, des résultats d'essais, etc.

Exemples de paramètres commandés électroniquement :

- a) Point d'injection ou point d'allumage ;
- b) Pression d'injection ;
- c) Injections multiples ;
- d) Pression de suralimentation ;
- e) Variation de géométrie sur la turbine ;
- f) Recyclage des gaz d'échappement.

### 5.2.3.13 Systèmes de traitement aval des gaz d'échappement

La présence individuelle ou combinée des dispositifs ci-après est considérée comme un critère d'appartenance à une famille de moteurs :

- a) Catalyseur d'oxydation ;
- b) Catalyseur trifonctionnel ;
- c) Système DeNO<sub>x</sub> avec réduction sélective des NO<sub>x</sub> (adjonction d'un agent réducteur) ;
- d) Autre système DeNO<sub>x</sub> ;
- e) Filtre à particules avec régénération passive ;
- f) Filtre à particules avec régénération active ;
- g) Autres filtres à particules ;
- h) Autres dispositifs.

Lorsqu'un moteur a été homologué sans système de traitement aval, que ce soit en tant que moteur de base ou en tant que membre d'une famille, ce moteur, lorsqu'il est équipé d'un catalyseur d'oxydation, peut être inclus dans la même famille, s'il ne nécessite pas de carburant ayant des caractéristiques différentes.

Si un carburant ayant des caractéristiques différentes est utilisé (cas par exemple des filtres à particules nécessitant la présence d'additifs spéciaux dans le carburant pour le processus de régénération), la décision de l'inclure ou non dans la famille se fondera sur les éléments techniques communiqués par le constructeur. Ces éléments doivent indiquer que le niveau d'émissions prévu du moteur équipé respecte les valeurs limites s'appliquant aux moteurs non équipés.

Lorsqu'un moteur a été homologué avec un système de traitement aval, que ce soit en tant que moteur de base ou en tant que membre d'une famille dont le moteur de base est équipé du même système de traitement aval, ce moteur, lorsqu'il n'est pas équipé du système de traitement aval, ne doit pas être inclus dans la même famille.

## 5.2.4 Choix du moteur de base

## 5.2.4.1 Moteurs à allumage par compression

Une fois la famille de moteurs reconnue par l'autorité d'homologation de type, le moteur de base de la famille doit être sélectionné sur la base du critère primaire de la plus grande quantité de carburant injectée par course au régime déclaré du couple maximal. Si plusieurs moteurs répondent à ce critère primaire, le moteur de base doit être choisi en fonction du critère secondaire de la plus grande quantité de carburant injectée par course au régime nominal.

## 5.2.4.2 Moteurs à allumage commandé

Une fois la famille de moteurs reconnue par l'autorité d'homologation de type, le moteur de base doit être choisi en fonction du critère primaire de la plus grande cylindrée. Si plusieurs moteurs répondent à ce critère primaire, le moteur de base doit être choisi en fonction du critère secondaire, celui-ci étant sélectionné dans l'ordre de priorité suivant :

- a) La plus grande quantité de carburant par course au régime de la puissance nominale déclarée ;
- b) La plus grande avance à l'allumage ;
- c) Le plus faible taux de recyclage des gaz d'échappement.

## 5.2.4.3 Remarques concernant le choix du moteur de base

L'autorité d'homologation de type peut considérer que la meilleure manière de déterminer les émissions de la famille de moteurs dans le cas le plus défavorable consiste à essayer d'autres moteurs. Dans ce cas, le constructeur du moteur doit présenter les informations nécessaires pour permettre de déterminer les moteurs de la famille susceptibles d'avoir les niveaux d'émissions les plus élevés.

Si les moteurs de la famille incluent d'autres caractéristiques dont on peut considérer qu'elles ont une incidence sur les émissions d'échappement, ces caractéristiques doivent aussi être identifiées et prises en compte dans le choix du moteur de base.

Si les moteurs de la même famille satisfont aux mêmes valeurs d'émissions sur des durées de service différentes, ce point doit être pris en compte dans le choix du moteur de base.

## 6. Conditions d'essai

## 6.1 Conditions moteur

La température absolue ( $T_a$ ) de l'air d'admission du moteur exprimée en Kelvin et la pression atmosphérique en conditions sèches ( $p_s$ ) exprimée en kPa doivent être mesurées et le paramètre  $f_a$  doit être déterminé en fonction des dispositions qui suivent. Dans le cas des moteurs multicylindres ayant plusieurs collecteurs d'admission distincts, comme les moteurs à configuration en V, la température moyenne des différents collecteurs doit être mesurée. Le paramètre  $f_a$  doit être consigné dans les résultats d'essais. Pour améliorer la répétabilité et la reproductibilité des résultats d'essais, il est recommandé que le paramètre  $f_a$  soit choisi tel que  $0,93 \leq f_a \leq 1,07$ .

- a) Moteurs à allumage par compression :

Moteurs à aspiration naturelle et moteurs à suralimentation mécanique :

$$f_a = \left( \frac{99}{p_s} \right) \times \left( \frac{T_a}{298} \right)^{0,7} \quad (1)$$

Moteurs à turbocompresseur avec ou sans refroidisseur intermédiaire :

$$f_a = \left( \frac{99}{p_s} \right)^{0,7} \times \left( \frac{T_a}{298} \right)^{1,5} \quad (2)$$

b) Moteurs à allumage commandé :

$$f_a = \left( \frac{99}{p_s} \right)^{1,2} \times \left( \frac{T_a}{298} \right)^{0,6} \quad (3)$$

## 6.2 Moteurs à refroidisseur intermédiaire

La température de l'air d'admission doit être enregistrée ; au régime nominal et à pleine charge elle doit se situer à  $\pm 5$  K de la température maximale de l'air d'admission spécifiée par le constructeur. La température du fluide de refroidissement doit être d'au moins 293 K (20 °C).

Si l'on utilise un dispositif du laboratoire d'essai ou un ventilateur extérieur, le débit du fluide de refroidissement doit être réglé de telle sorte que la température de l'air d'admission se situe à  $\pm 5$  K de la température maximale de l'air d'admission spécifiée par le constructeur au régime nominal et à pleine charge. La température et le débit du fluide de refroidissement du refroidisseur intermédiaire au point de consigne ci-dessus ne doivent pas être modifiés pendant tout le cycle d'essai, à moins que ces conditions ne causent un refroidissement excessif de l'air d'admission. Le volume du refroidisseur intermédiaire doit être déterminé sur la base des règles techniques reconnues et doit être représentatif de l'installation du moteur en service. L'équipement de laboratoire doit être conçu de façon à réduire le plus possible l'accumulation de condensat. Tout condensat accumulé doit être drainé et tous les drains doivent être hermétiquement fermés avant les essais de mesure des émissions.

Si le constructeur du moteur précise les limites de perte de pression de l'air traversant le refroidisseur, il doit être vérifié que la perte de pression aux conditions moteur spécifiées par le constructeur reste à l'intérieur de ces limites. La perte de pression doit être mesurée aux endroits spécifiés par le constructeur.

## 6.3 Puissance du moteur

La base de la mesure des émissions spécifiques est la puissance du moteur et le travail du cycle déterminés conformément aux paragraphes 6.3.1 à 6.3.5.

### 6.3.1 Généralités concernant l'installation du moteur

Le moteur doit être essayé avec les accessoires et les équipements énumérés à l'appendice 6.

Si les accessoires et les équipements ne sont pas installés comme prévu, leur puissance doit être prise en compte conformément aux paragraphes 6.3.2 à 6.3.5.

### 6.3.2 Accessoires et équipements devant être montés pour l'essai de mesure des émissions

S'il n'est pas possible d'installer sur le banc d'essai les accessoires et les équipements prévus conformément à l'appendice 6 de la présente annexe, la puissance qu'ils absorbent doit être déterminée et soustraite de la puissance mesurée du moteur (de référence et effective) sur la totalité de la plage de régimes moteur du WHTC et sur les vitesses d'essai du WHSC.

### 6.3.3 Accessoires et équipements devant être démontés pour l'essai

Lorsque des accessoires et équipements ne figurant pas parmi ceux qui doivent être montés conformément à l'appendice 6 de la présente annexe ne peuvent

pas être démontés, la puissance qu'ils absorbent peut être déterminée et ajoutée à la puissance mesurée du moteur (de référence et effective) sur la totalité de la plage de régimes moteur du WHTC et sur les vitesses d'essai du WHSC. Si cette valeur est supérieure à 3 % de la puissance maximale au régime d'essai, la preuve doit en être fournie à l'autorité d'homologation de type.

#### 6.3.4 Détermination de la puissance absorbée par les accessoires

Il est nécessaire de déterminer la puissance absorbée par les accessoires et les équipements dans les cas suivants uniquement :

- a) Les accessoires et équipements qui doivent être montés conformément à l'appendice 6 ne sont pas montés sur le moteur ;  
et/ou
- b) Les accessoires et équipements qui ne figurent pas parmi ceux qui doivent être montés conformément à l'appendice 6 sont montés sur le moteur.

Les valeurs de la puissance absorbée par les accessoires et la méthode de calcul ou de mesure utilisées pour déterminer cette puissance doivent être soumises par le constructeur du moteur pour toute la plage de fonctionnement des cycles d'essai et approuvées par l'autorité d'homologation de type.

#### 6.3.5 Travail au cours du cycle du moteur

Le calcul du travail de référence et du travail effectif au cours du cycle (voir par. 7.4.8 et 7.8.6) doit être effectué sur la base de la puissance du moteur conformément au paragraphe 6.3.1. Dans ce cas,  $P_f$  et  $P_r$  dans l'équation 4 sont nuls, et  $P$  est égal à  $P_m$ .

Si des accessoires ou des équipements sont installés conformément aux paragraphes 6.3.2 et 6.3.3, la puissance qu'ils absorbent doit être utilisée pour corriger comme suit chaque puissance instantanée  $P_{m,i}$  au cours du cycle :

$$P_i = P_{m,i} - P_{f,i} + P_{r,i} \quad (4)$$

où :

$P_{m,i}$  est la puissance mesurée du moteur, en kW ;

$P_{f,i}$  est la puissance absorbée par les accessoires/équipements à monter, en kW ;

$P_{r,i}$  est la puissance absorbée par les accessoires/équipements à démonter, en kW.

#### 6.4 Système d'admission d'air du moteur

Il convient d'utiliser un système d'admission d'air du moteur ou un système faisant partie du laboratoire d'essai produisant une perte de pression de l'air d'admission se situant à  $\pm 300$  Pa de la valeur maximale spécifiée par le constructeur pour un filtre à air propre au régime nominal et à pleine charge. La pression statique différentielle correspondante doit être mesurée à l'emplacement spécifié par le constructeur.

#### 6.5 Système d'échappement du moteur

Il convient d'utiliser un système d'échappement du moteur ou un système faisant partie du laboratoire d'essai produisant une contrepression à l'échappement se situant dans une fourchette comprise entre 80 % et 100 % de la valeur maximale spécifiée par le constructeur au régime nominal et à pleine charge. Si la contrepression maximale est égale ou inférieure à 5 kPa, la valeur de réglage ne doit pas être située à moins de 1,0 kPa du maximum. Le système d'échappement doit être conforme aux conditions nécessaires pour le prélèvement des gaz d'échappement, comme indiqué aux paragraphes 9.3.10 et 9.3.11.

## 6.6 Moteur équipé d'un système de traitement aval des gaz d'échappement

Si le moteur est équipé d'un système de traitement aval des gaz d'échappement, le tuyau d'échappement doit avoir un diamètre identique à celui du tuyau de série, ou le diamètre spécifié par le constructeur, sur une longueur égale à au moins quatre diamètres de tuyau en amont de l'entrée de la section divergente contenant le dispositif de traitement aval. La distance entre la bride du collecteur d'échappement ou la bride de sortie du turbocompresseur et le dispositif de traitement aval doit être la même que sur le véhicule ou être conforme aux spécifications du constructeur concernant cette distance. La contrepression ou la restriction à l'échappement doit satisfaire aux critères énoncés plus haut ; elle peut être réglable au moyen d'une soupape. Pour les dispositifs de traitement aval à contrepression variable, la contrepression maximale des gaz d'échappement doit être déterminée dans les conditions du système de traitement aval (niveau de rodage/vieillessement et de régénération/encrassement) spécifiées par le constructeur. Si la contrepression maximale est égale ou inférieure à 5 kPa, la valeur de réglage ne doit pas être située à moins de 1,0 kPa du maximum. L'enceinte contenant le dispositif de traitement aval peut être démontée lors des essais de préparation et de contrôle de la cartographie du moteur, et remplacée par une enceinte équivalente contenant un élément catalyseur passif.

Les émissions mesurées au cours du cycle d'essai doivent être représentatives des émissions en service. Dans le cas d'un moteur équipé d'un système de traitement aval nécessitant l'utilisation d'un réactif, le réactif utilisé pour tous les essais doit être indiqué par le constructeur.

Les moteurs équipés d'un système de traitement aval à régénération continue ne nécessitent pas de procédure d'essai spéciale, mais le fonctionnement de l'opération de régénération doit être démontré conformément au paragraphe 6.6.1.

Pour les moteurs équipés d'un système de traitement aval avec régénération périodique, comme indiqué au paragraphe 6.6.2, les résultats d'émissions doivent être ajustés pour tenir compte des cycles de régénération. Dans ce cas, les émissions moyennes dépendent de la fréquence des cycles de régénération, et donc de la fraction de la durée des essais pendant laquelle il y a régénération.

### 6.6.1 Régénération continue

Les émissions doivent être mesurées sur un système de traitement aval dont les caractéristiques ont été stabilisées de manière à permettre la répétabilité des valeurs d'émissions mesurées. L'opération de régénération doit se produire au moins une fois au cours de l'essai WHTC de démarrage à chaud et le constructeur doit déclarer les conditions dans lesquelles la régénération a normalement lieu (charge en particules, température, contrepression d'échappement, etc.).

Afin de démontrer que l'opération de régénération est continue, il convient d'exécuter au moins trois essais WHTC de démarrage à chaud. Aux fins de cette démonstration, le moteur doit être mis en température conformément au paragraphe 7.4.1, subir une phase de stabilisation à chaud conformément au paragraphe 7.6.3 et subir le premier essai de démarrage à chaud du cycle transitoire WHTC. Les essais de démarrage à chaud suivants doivent être effectués après une phase de stabilisation à chaud conforme aux dispositions du paragraphe 7.6.3. Au cours des essais, les températures et les pressions des gaz d'échappement doivent être enregistrées (température en amont et en aval du système de traitement, contrepression d'échappement, etc.).

Si les conditions déclarées par le constructeur sont observées durant les essais et si les résultats des trois (ou plus) essais WHTC de démarrage à chaud ne donnent pas une dispersion supérieure à  $\pm 25$  % ou 0,005 g/kWh, la plus grande de ces valeurs étant retenue, le système de traitement aval est considéré comme

un système du type à régénération continue et les prescriptions générales d'essai des paragraphes 7.6 (WHTC) et 7.7 (WHSC) s'appliquent.

Si le système de traitement aval comporte un mode par défaut qui consiste en un passage à un mode de régénération périodique, il convient de le contrôler conformément aux dispositions du paragraphe 6.6.2. Dans ce cas particulier, les limites d'émissions applicables peuvent être dépassées et elles ne sont pas pondérées.

#### 6.6.2 Régénération périodique

Pour un système de traitement aval des gaz d'échappement fonctionnant par régénération périodique, les émissions doivent être mesurées sur au moins trois essais WHTC de démarrage à chaud, un avec un cycle de régénération et deux sans cycles de régénération, sur un système de traitement aval dont les caractéristiques sont stabilisées, et les résultats doivent être pondérés conformément à l'équation 5.

L'opération de régénération doit avoir lieu au moins une fois pendant l'essai WHTC de démarrage à chaud. Le moteur peut être équipé d'un interrupteur inhibant ou permettant l'opération de régénération à condition que cette fonction n'ait pas d'incidence sur les réglages d'origine du moteur.

Le constructeur doit déclarer les conditions normales dans lesquelles l'opération de régénération a lieu (charge en particules, température, contrepression d'échappement, etc.) ainsi que la durée de l'opération. Il doit aussi communiquer la fréquence des cycles de régénération, à savoir le nombre d'essais pendant lesquels il y a régénération par rapport au nombre d'essais sans régénération. La méthode exacte pour déterminer cette fréquence doit être fondée sur les données concernant les moteurs en service et les règles techniques reconnues et doit être approuvée par l'autorité d'homologation de type ou de certification.

Le constructeur doit fournir un système de traitement aval qui a subi un traitement préliminaire d'encrassement de manière à ce que la régénération se produise au cours d'un essai WHTC. Aux fins de l'essai, le moteur doit être mis en température conformément au paragraphe 7.4.1, subir une phase de stabilisation à chaud conformément au paragraphe 7.6.3 et subir l'essai de démarrage à chaud du cycle transitoire WHTC. La régénération ne doit pas se produire durant la mise en température du moteur.

Les émissions spécifiques moyennes entre les phases de régénération doivent être déterminées sur la base de la moyenne arithmétique de plusieurs résultats d'essais WHTC de démarrage à chaud également espacés (g/kWh). Il convient au minimum d'exécuter au moins un essai WHTC de démarrage à chaud le plus tard possible avant un essai où il y a régénération et un essai WHTC de démarrage à chaud immédiatement après un tel essai. Le constructeur peut également communiquer des données démontrant que les émissions demeurent constantes ( $\pm 25\%$  ou 0,005 g/kWh, la plus grande de ces deux valeurs étant retenue) entre les phases de régénération. Dans ce cas, on peut prendre en compte les émissions d'un seul essai WHTC de démarrage à chaud.

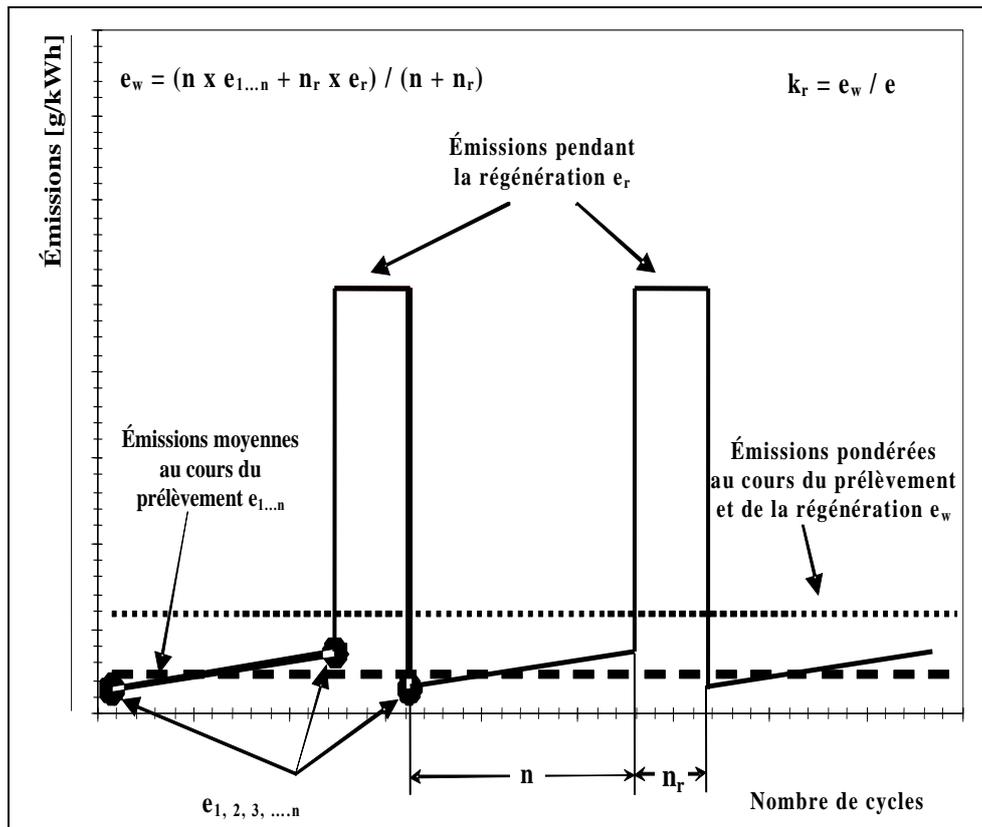
Au cours de l'essai où il y a régénération, toutes les données nécessaires pour détecter cette phase doivent être enregistrées (émissions de CO ou NO<sub>x</sub>, température en amont et en aval du système de traitement, contrepression d'échappement, etc.).

Au cours de l'essai de régénération, les limites d'émissions applicables peuvent être dépassées.

La procédure d'essai est représentée à la figure 2.

Figure 2

## Prise en compte de la régénération périodique dans les résultats



Les émissions lors de l'essai de démarrage à chaud WHTC doivent être pondérées comme suit :

$$e_w = \frac{n \times \bar{e} + n_r \times \bar{e}_r}{n + n_r} \quad (5)$$

où :

$n$  est le nombre d'essais de démarrage à chaud WHTC sans régénération ;

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

$\bar{e}$  est la valeur moyenne des émissions spécifiques sans régénération, en g/kWh ;

$\bar{e}_r$  est la valeur moyenne des émissions spécifiques avec régénération, en g/kWh.

Pour la détermination de  $\bar{e}_r$ , les dispositions suivantes s'appliquent :

- 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 ;
- Si la régénération s'achève au cours de l'un quelconque des essais WHTC de démarrage à chaud, l'essai doit être poursuivi pendant toute sa durée.

En accord avec l'autorité d'homologation de type, il est possible d'appliquer un facteur de correction multiplicatif c) ou additif d) sur la base des règles techniques reconnues.

c) Les facteurs de correction multiplicatifs sont calculés comme suit :

$$k_{r,u} = \frac{e_w}{e} \quad (\text{vers le haut}) \quad (6)$$

$$k_{r,d} = \frac{e_w}{e_r} \quad (\text{vers le bas}) \quad (6a)$$

d) Les facteurs de correction additifs sont calculés comme suit :

$$k_{r,u} = e_w - e \quad (\text{vers le haut}) \quad (7)$$

$$k_{r,d} = e_w - e_r \quad (\text{vers le bas}) \quad (8)$$

Pour le calcul des émissions spécifiques comme prescrit au paragraphe 8.6.3, les facteurs d'ajustement de la régénération doivent être appliqués comme suit :

- e) Pour un essai sans régénération,  $k_{r,u}$  doit, respectivement, être multiplié par la valeur  $e$  des émissions spécifiques ou lui être ajouté dans les équations 69 ou 70 ;
- f) Pour un essai avec régénération,  $k_{r,d}$  doit, respectivement, être multiplié par la valeur  $e$  des émissions spécifiques ou lui être ajouté dans les équations 69 ou 70.

À la demande du constructeur, les facteurs de régénération appropriés :

- g) Peuvent être étendus à d'autres membres de la même famille de moteurs ;
- h) Peuvent être étendus à d'autres familles de moteurs utilisant le même système de traitement aval, avec l'autorisation préalable de l'autorité d'homologation de type ou de certification, accordée sur la base d'une documentation technique fournie par le constructeur, démontrant que les émissions sont semblables.

#### 6.7 Système de refroidissement

Il convient d'utiliser un système de refroidissement moteur d'une capacité suffisante pour maintenir le moteur aux températures de fonctionnement normales prescrites par le constructeur.

#### 6.8 Lubrifiant moteur

Le lubrifiant moteur doit être spécifié par le constructeur et être représentatif des lubrifiants disponibles sur le marché ; les spécifications du lubrifiant utilisé pour l'essai doivent être enregistrées et communiquées avec les résultats de l'essai.

#### 6.9 Caractéristiques techniques du carburant de référence

Les carburants de référence sont énumérés à l'annexe 5.

La température du carburant doit être conforme aux recommandations du constructeur.

#### 6.10 Émissions de gaz de carter

Les émissions de gaz de carter ne doivent pas être rejetées directement dans l'atmosphère ambiante, sauf dans le cas suivant : les moteurs équipés de turbocompresseurs, de pompes, de soufflantes ou de compresseurs de suralimentation pour l'admission d'air peuvent le faire à condition que ces émissions soient ajoutées aux émissions d'échappement (soit physiquement soit mathématiquement) lors de tous les essais de mesure des émissions.

Les constructeurs qui font usage de cette exception doivent installer les moteurs de telle sorte que toutes les émissions de gaz de carter puissent être réacheminées vers le dispositif de prélèvement des émissions.

Au sens du présent paragraphe, les émissions de gaz de carter qui sont réacheminées vers le dispositif d'échappement en amont du système de traitement aval des émissions dans toutes les phases de fonctionnement ne sont pas considérées comme des émissions rejetées directement dans l'atmosphère ambiante.

Dans le cas d'un système à carter ouvert, le circuit de renvoi des émissions de gaz de carter dans le système d'échappement en vue de la mesure des émissions doit remplir les conditions suivantes :

- a) Les tuyaux doivent avoir une paroi lisse, être électriquement conducteurs et ne pas être réactifs au contact des gaz de carter. Ils doivent en outre être aussi courts que possible ;
- b) Les tuyaux utilisés dans le laboratoire pour recueillir les émissions de gaz de carter doivent présenter le minimum de coudes ; lorsqu'un coude est inévitable, son rayon de courbure doit être aussi grand que possible ;
- c) Les tuyaux utilisés dans le laboratoire pour recueillir les émissions de gaz de carter doivent être chauffés, dotés d'une paroi mince ou isolés, et doivent satisfaire aux spécifications du constructeur du moteur relatives à la contrepression dans le carter ;
- d) Les tuyaux utilisés pour recueillir les émissions de gaz de carter doivent être raccordés au dispositif d'évacuation des gaz d'échappement bruts en aval de tout système de traitement aval, en aval de tout dispositif restreignant le flux, et suffisamment en amont des sondes de prélèvement pour permettre un mélange intime avec les gaz d'échappement du moteur avant le prélèvement. Le tuyau qui achemine les émissions de gaz de carter doit faire saillie jusque dans la veine libre de gaz d'échappement afin d'éviter les effets de couche limite et faciliter le brassage. L'orifice de sortie du tuyau acheminant les émissions de gaz de carter peut être orienté dans toute direction par rapport au flux des gaz d'échappement bruts.

6.11 Les paragraphes 6.11.1 et 6.11.2 s'appliquent aux moteurs à allumage commandé alimentés à l'essence ou au carburant E85.

6.11.1 La pression dans le carter doit être mesurée pendant toute la durée des cycles d'essai, à un endroit approprié. La pression dans le collecteur d'admission doit être mesurée à  $\pm 1$  kPa près.

6.11.2 La conformité aux dispositions du paragraphe 6.10 est jugée satisfaisante si, pour toute condition de mesure indiquée au paragraphe 6.11.1, la pression mesurée dans le carter ne dépasse pas la pression atmosphérique constatée au moment de la mesure.

7. Mode opératoire

7.1 Principes de la mesure des émissions

Pour la mesure des émissions spécifiques, le moteur doit subir les cycles d'essai définis aux paragraphes 7.2.1 et 7.2.2. La mesure consiste à quantifier la masse ou le nombre d'unités des constituants spécifiques désignés qui sont présents dans les émissions d'échappement et le travail du cycle du moteur correspondant. Les constituants sont prélevés au moyen des méthodes décrites aux paragraphes 7.1.1 et 7.1.2.

7.1.1 Prélèvement continu

Dans le cadre d'un prélèvement continu, la concentration des constituants est mesurée en continu à partir des gaz d'échappement bruts ou dilués. Cette

concentration est multipliée par le débit continu de gaz d'échappement (bruts ou dilués) au point de prélèvement des émissions, afin de déterminer le débit massique ou le débit unitaire du constituant. Les émissions de constituants sont continuellement cumulées sur l'ensemble du cycle. Cette somme correspond à la masse totale ou au nombre total d'unités du constituant émis.

#### 7.1.2 Prélèvement par lot

Dans le cadre d'un prélèvement par lot, un échantillon de gaz d'échappement bruts ou dilués est prélevé en continu et stocké avant d'être mesuré. L'échantillon prélevé doit être proportionnel au débit des gaz d'échappement bruts ou dilués. La collecte des constituants gazeux dilués dans un sac et la collecte des matières particulaires sur un filtre sont des exemples d'application de la méthode de prélèvement par lot. Les concentrations recueillies par prélèvement par lot sont multipliées par la masse totale ou le débit-masse des gaz d'échappement (bruts ou dilués) d'où elles ont été extraites pendant le cycle d'essai. Ce produit est la masse totale (ou le nombre total d'unités) ou le débit massique (ou le débit unitaire) du constituant émis. Pour le calcul de la concentration de matières particulaires, la quantité de matières particulaires déposées sur un filtre à partir d'un prélèvement proportionnel de gaz d'échappement doit être divisée par la quantité de gaz d'échappement filtrés.

#### 7.1.3 Méthodes de mesure

Le présent Règlement prévoit l'emploi de deux méthodes de mesure qui sont fonctionnellement équivalentes. L'une et l'autre peuvent être appliquées, aussi bien au cycle d'essai WHTC qu'au cycle WHSC :

- a) Les constituants gazeux sont prélevés en continu dans les gaz d'échappement bruts, et les particules sont mesurées au moyen d'un système à dilution du flux partiel ;
- b) Les constituants gazeux et les particules sont mesurés à l'aide d'un système à dilution du flux total (système CVS).

Toute combinaison des deux principes (par exemple, mesure des constituants gazeux dans les gaz bruts et mesure des particules par dilution du flux total) est admise.

Le nombre de particules solides (SPN) peut être déterminé au moyen d'un système de mesure approprié utilisant pour l'étape de dilution initiale soit une dilution à taux fixe, soit une dilution proportionnelle avec un système de dilution du flux partiel ou un système de dilution du flux total.

### 7.2 Cycles d'essai

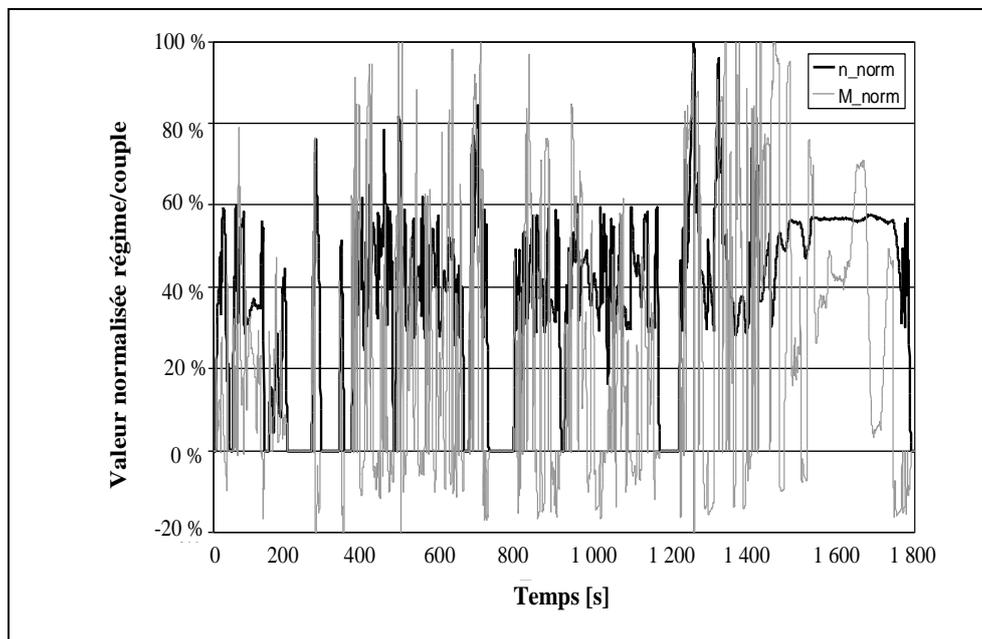
#### 7.2.1 Cycle d'essai en conditions transitoires (WHTC)

Le cycle d'essai en conditions transitoires (WHTC) est décrit dans l'appendice 1 sous la forme d'une séquence seconde par seconde de valeurs normalisées de régime et de couple. Aux fins de l'exécution de l'essai dans une chambre d'essai, les valeurs normalisées doivent être converties en valeurs réelles pour le moteur en cause, sur la base de la courbe de conversion du moteur. Cette conversion est appelée dénormalisation, et le cycle d'essai ainsi établi est appelé cycle de référence du moteur à essayer. Avec ces valeurs de référence de régime et de couple, le cycle est exécuté dans la chambre d'essai, et les valeurs réelles de régime, de couple et de puissance sont enregistrées. Pour la validation de l'essai, une analyse de régression entre les valeurs de référence et les valeurs réelles de régime, de couple et de puissance doit être effectuée après ce dernier.

Pour le calcul des émissions spécifiques au banc, le travail effectif au cours du cycle doit être calculé par intégration de la puissance réelle du moteur au cours du cycle. Pour la validation du cycle, le travail effectif au cours du cycle doit être situé dans les limites du travail au cours du cycle de référence.

Pour les polluants gazeux, on peut utiliser le prélèvement continu (gaz d'échappement bruts ou dilués) ou le prélèvement par lot (gaz d'échappement dilués). L'échantillon contenant les particules doit être dilué avec un gaz diluant conditionné (tel que l'air ambiant), et les particules doivent être collectées sur un filtre unique approprié. Le nombre de particules solides (SPN) peut être déterminé au moyen d'un système de mesure approprié utilisant pour l'étape de dilution initiale soit une dilution à taux fixe, soit une dilution proportionnelle avec un système de dilution du flux partiel ou un système de dilution du flux total. Le cycle WHTC est représenté à la figure 3.

Figure 3  
Cycle d'essai WHTC



### 7.2.2 Cycle d'essai en conditions stabilisées avec rampes de transition WHSC

Le cycle d'essai en conditions stabilisées avec rampes de transition WHSC se compose d'un certain nombre de modes de régime et de charge normalisés qui doivent être convertis en valeurs de références pour le moteur en cause, sur la base de la courbe de conversion du moteur. Le moteur doit fonctionner pendant la durée prescrite sur chaque mode, les changements de régime moteur et de charge devant se faire linéairement sur une durée de  $20 \pm 1$  s. Pour la validation de l'essai, une analyse de régression entre les valeurs de référence et les valeurs réelles de régime, de couple et de puissance doit être effectuée après ce dernier.

La concentration de chaque polluant gazeux, le débit de gaz d'échappement et la puissance doivent être déterminés pendant tout le cycle d'essai. Les émissions de polluants gazeux peuvent être enregistrées en continu ou prélevées dans un sac de collecte. L'échantillon contenant les particules doit être dilué avec un gaz diluant conditionné (tel que l'air ambiant). Un seul échantillon doit être prélevé durant toute la procédure d'essai, et les particules doivent être collectées sur un filtre unique approprié. Le nombre de particules solides (SPN) peut être déterminé au moyen d'un système de mesure approprié utilisant pour l'étape de dilution initiale soit une dilution à taux fixe, soit une dilution proportionnelle avec un système de dilution du flux partiel ou un système de dilution du flux total.

Pour le calcul des émissions spécifiques au banc de freinage, le travail effectif au cours du cycle doit être calculé par intégration de la puissance réelle du moteur au cours du cycle.

Le cycle WHSC est détaillé au tableau 1. À l'exception du mode 1, chaque mode commence au point de départ de la rampe à partir du mode précédent.

Tableau 1  
Cycle d'essai WHSC

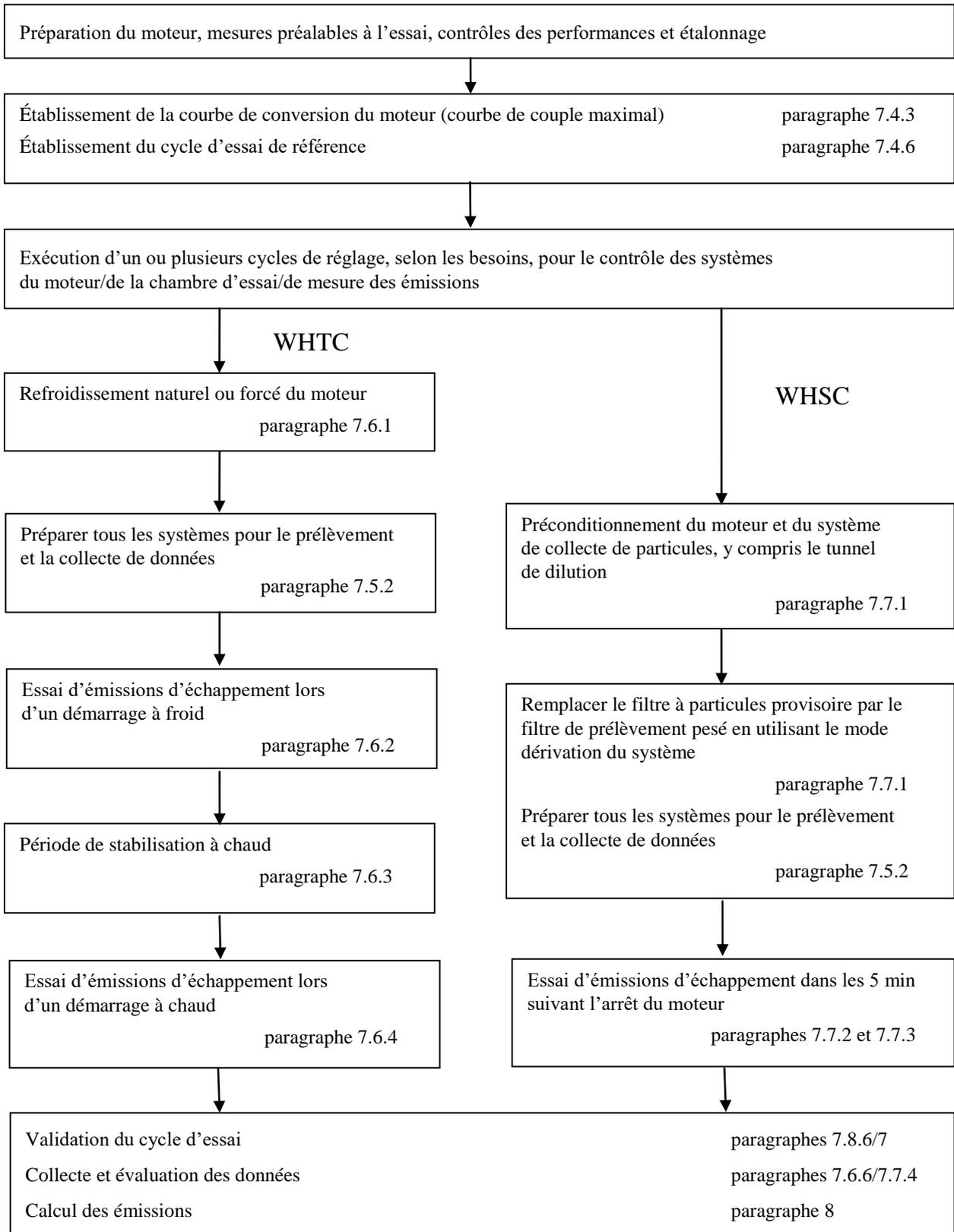
<i>Mode</i>	<i>Régime normalisé (%)</i>	<i>Couple normalisé (%)</i>	<i>Durée du mode (s), y compris la transition de 20 s</i>
1	0	0	210
2	55	100	50
3	55	25	250
4	55	70	75
5	35	100	50
6	25	25	200
7	45	70	75
8	45	25	150
9	55	50	125
10	75	100	50
11	35	50	200
12	35	25	250
13	0	0	210
Total			1 895

### 7.3 Instructions générales concernant la séquence d'essai

Le diagramme logique ci-après décrit dans les grandes lignes la procédure à suivre au cours des essais. Les caractéristiques détaillées de chaque étape sont décrites dans les paragraphes correspondants. Des écarts par rapport à la séquence recommandée sont autorisés en cas de besoin, mais les dispositions spécifiques des paragraphes pertinents doivent obligatoirement être appliquées.

Pour l'essai WHTC, la procédure d'essai comprend un essai de démarrage à froid suivant un refroidissement naturel ou bien un refroidissement forcé du moteur, une phase de stabilisation à chaud et un essai de démarrage à chaud.

Pour l'essai WHSC, la procédure d'essai comprend un essai de démarrage à chaud faisant suite à un conditionnement du moteur sur le mode 9 de l'essai WHSC.



#### 7.4 Établissement de la courbe de conversion du moteur et du cycle de référence

Les mesures moteur préalables à l'essai, les contrôles de performances préalables du moteur et les opérations d'étalonnage préalables du système doivent être effectués avant l'exécution de la courbe de conversion du moteur, conformément au diagramme logique d'ensemble du paragraphe 7.3.

En tant que base d'établissement du cycle de référence WHTC et WHSC, la courbe de conversion du moteur fonctionnant à pleine charge doit être établie pour déterminer les courbes régime/couple maximal et régime/puissance maximale. La courbe de conversion doit être utilisée pour dénormaliser le régime du moteur (par. 7.4.6) et le couple du moteur (par. 7.4.7).

#### 7.4.1 Mise en température du moteur

Le moteur doit être mis en température par fonctionnement entre 75 % et 100 % de sa puissance maximale, conformément aux recommandations du constructeur et aux pratiques reconnues. Vers la fin de la mise en température, le moteur doit fonctionner de manière que les températures du liquide de refroidissement et de l'huile de lubrification se situent à  $\pm 2$  % près à leur valeur moyenne pendant au moins 2 min ou jusqu'à ce que le thermostat du moteur règle la température de celui-ci.

#### 7.4.2 Détermination de la plage de régimes de la courbe de conversion

Le régime minimal et le régime maximal de la courbe de conversion sont définis comme suit :

Régime minimal = régime de ralenti

Régime maximal =  $n_{hi} \times 1,02$ , ou régime où le couple à pleine charge tombe à 0, la valeur la plus basse étant retenue.

#### 7.4.3 Traçage des courbes moteur

Lorsque les conditions moteur sont stabilisées conformément au paragraphe 7.4.1, la courbe de conversion est établie comme suit :

- a) Le moteur doit tourner à vide au régime de ralenti ;
- b) Le moteur doit fonctionner avec une demande maximale de puissance de l'opérateur au régime minimal de la cartographie ;
- c) Le régime doit être progressivement accéléré au taux moyen de  $8 \pm 1 \text{ min}^{-1}/\text{s}$  depuis le régime minimal jusqu'au régime maximal de la cartographie, ou à un taux constant tel qu'il faille entre 4 et 6 min pour passer du régime minimal au régime maximal de la cartographie. Les points régime/couple sont enregistrés à une fréquence d'acquisition d'au moins un point par seconde.

Lorsque l'option b) du paragraphe 7.4.7 est choisie pour déterminer les valeurs négatives du couple de référence, la courbe de conversion peut se poursuivre directement avec une demande minimale de puissance de l'opérateur depuis le régime maximal jusqu'au régime minimal de la cartographie.

#### 7.4.4 Autres techniques de cartographie

Si un constructeur estime que les techniques de cartographie décrites ci-dessus présentent un risque pour le moteur ou ne sont pas représentatives pour un moteur donné, il peut appliquer d'autres techniques. Ces autres techniques doivent répondre à l'intention des procédures de cartographie spécifiées, à savoir déterminer le couple maximal disponible à tous les régimes moteur atteints au cours des cycles d'essai. Toute technique de cartographie s'écartant des techniques spécifiées dans le présent paragraphe pour des raisons de sécurité ou de représentativité doit être approuvée par l'autorité d'homologation de type avec justification à l'appui. En aucun cas, toutefois, la courbe de couple ne doit être tracée en suivant un régime décroissant pour les moteurs à régulateur ou à turbocompresseur.

## 7.4.5 Répétition des essais

Il n'est pas nécessaire d'établir une courbe de conversion du moteur avant chaque cycle d'essai. Cette opération doit toutefois être exécutée avant un cycle d'essai si :

- a) En vertu d'une appréciation technique, un laps de temps excessif s'est écoulé depuis la dernière cartographie ; ou
- b) Le moteur a subi des modifications physiques ou des modifications de réglage susceptibles d'influer sur ses performances.

## 7.4.6 Dénormalisation du régime moteur

Pour l'établissement des cycles de référence, les vitesses normalisées de l'appendice 1 (WHTC) et du tableau 1 (WHSC) doivent être dénormalisées au moyen de l'équation suivante :

$$n_{ref} = n_{norm} \times (0,45 \times n_{lo} + 0,45 \times n_{pref} + 0,1 \times n_{hi} - n_{idle}) \times 2,0327 + n_{idle} \quad (9)$$

Pour déterminer  $n_{pref}$ , on calcule l'intégrale du couple maximal de  $n_{idle}$  à  $n_{95h}$  à partir de la courbe déterminée conformément au paragraphe 7.4.3.

Les régimes du moteur représentés aux figures 4 et 5 sont définis comme suit :

$n_{norm}$  est le régime normalisé (voir l'appendice 1 et le tableau 1) divisé par 100 ;

$n_{lo}$  est le régime bas, où la puissance est égale à 55 % de la puissance maximale ;

$n_{pref}$  est le régime où l'intégrale du couple maximal selon la cartographie est égale à 51 % de l'intégrale totale entre  $n_{idle}$  et  $n_{95h}$  ;

$n_{hi}$  est le régime haut, où la puissance est égale à 70 % de la puissance maximale ;

$n_{idle}$  est le régime de ralenti ;

$n_{95h}$  est le régime le plus élevé, où la puissance est égale à 95 % de la puissance maximale.

Pour les moteurs (principalement les moteurs à allumage commandé) ayant une courbe de régulation abrupte avec laquelle la coupure de l'alimentation en carburant ne permet pas de faire fonctionner le moteur jusqu'à  $n_{hi}$  ou  $n_{95h}$ , les dispositions suivantes s'appliquent :

$n_{hi}$  dans l'équation 9 est remplacé par  $n_{Pmax} \times 1,02$  ;

$n_{95h}$  est remplacé par  $n_{Pmax} \times 1,02$ .

Figure 4  
Définition des régimes d'essai

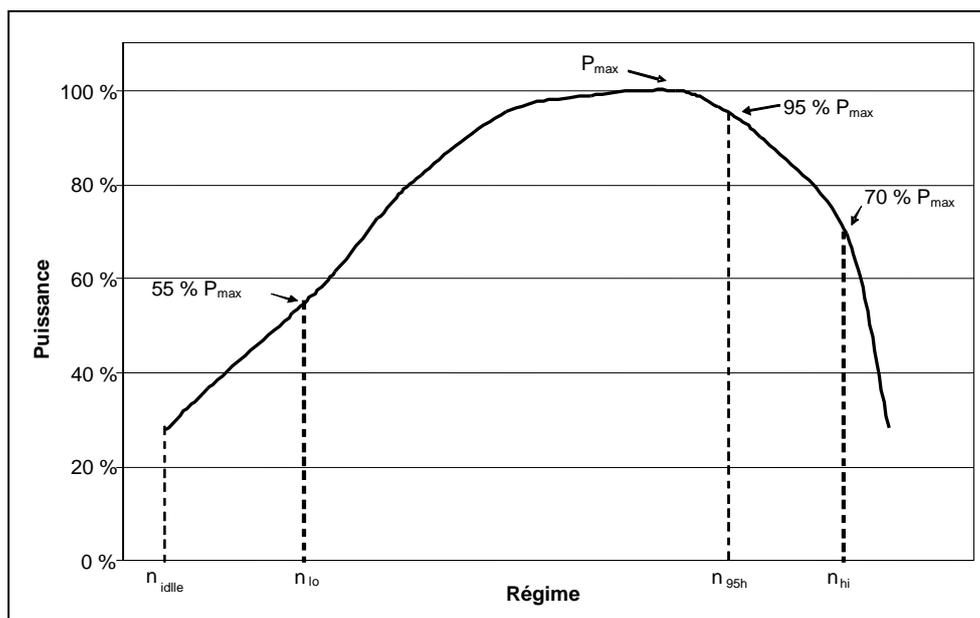
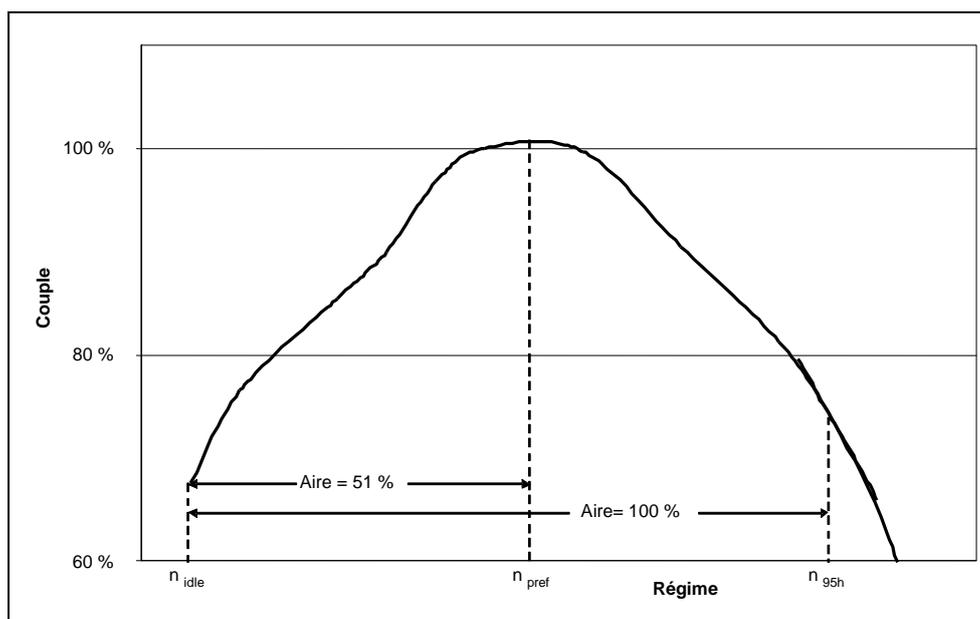


Figure 5  
Définition de  $n_{pref}$



#### 7.4.7 Dénormalisation des valeurs du couple du moteur

Les valeurs de couple dans la fiche de programmation du banc moteur de l'appendice 1 (WHTC) et du tableau 1 (WHSC) sont normalisées au couple maximal au régime respectif. Pour l'établissement des cycles de référence, les valeurs de couple pour chaque valeur de référence de régime déterminées au paragraphe 7.4.6 doivent être dénormalisées au moyen de la courbe de conversion déterminée conformément au paragraphe 7.4.3, comme suit :

$$M_{ref,i} = \frac{M_{norm,i}}{100} \times M_{max,i} + M_{f,i} - M_{r,i}$$

où :

$M_{norm,i}$  est le couple normalisé, en % ;

$M_{\max,i}$  est le couple maximal d'après la courbe de conversion, en Nm ;

$M_{f,i}$  est le couple absorbé par les accessoires/équipements à monter, en Nm ;

$M_{r,i}$  est le couple absorbé par les accessoires/équipements à démonter, en Nm.

Si les accessoires/équipements sont montés conformément au paragraphe 6.3.1 et à l'appendice 6 de la présente annexe,  $M_f$  et  $M_r$  sont nuls.

Pour l'établissement du cycle de référence, les valeurs de couple négatives des points « entraînement par le banc » (« m » dans l'appendice 1) sont des valeurs de référence calculées selon une des méthodes ci-dessous :

- a) 40 % négatifs du couple positif disponible au point de régime associé ;
- b) Relevé du couple négatif requis pour l'entraînement du moteur entre le régime de cartographie maximal et le régime de cartographie minimal ;
- c) Calcul du couple négatif requis pour l'entraînement du moteur aux régimes de ralenti et de  $n_{hi}$  et interpolation linéaire entre ces deux points.

#### 7.4.8 Calcul du travail du cycle d'essai de référence

On détermine le travail du cycle d'essai de référence sur la durée du cycle d'essai en calculant, d'une manière synchrone, les valeurs instantanées pour la puissance du moteur à partir du régime de référence et du couple de référence, comme défini aux paragraphes 7.4.6 et 7.4.7. Les valeurs instantanées de la puissance du moteur doivent être intégrées sur la durée du cycle pour calculer le travail du cycle de référence  $W_{ref}$  (kWh). Si les accessoires ne sont pas montés conformément aux dispositions du paragraphe 6.3.1, les valeurs instantanées de la puissance doivent être corrigées au moyen de l'équation 4 du paragraphe 6.3.5.

La même méthode doit être appliquée pour l'intégration de la puissance de référence et de la puissance effective. Lorsqu'il s'agit de déterminer des valeurs intermédiaires entre valeurs de référence ou valeurs mesurées adjacentes, on applique une interpolation linéaire. Pour l'intégration du travail effectif sur le cycle, toutes les valeurs de couple négatives doivent être ramenées à zéro et incluses. Si l'intégration est effectuée à une fréquence inférieure à 5 Hz et si, au cours d'un intervalle de temps donné, la valeur de couple passe de positive à négative ou de négative à positive, la portion négative doit être calculée et ramenée à zéro. La portion positive doit être incluse dans la valeur intégrée.

### 7.5 Opérations préalables à l'essai

#### 7.5.1 Installation de l'équipement de mesure

L'appareillage et les sondes de prélèvement doivent être installés conformément aux prescriptions. La sortie du tuyau d'échappement doit être raccordée au système de dilution du flux total, si celui-ci est utilisé.

#### 7.5.2 Préparation de l'équipement de mesure pour le prélèvement

Les opérations suivantes doivent être exécutées avant le début du prélèvement des émissions :

- a) Des contrôles d'étanchéité doivent être effectués au cours des 8 h précédant le prélèvement des émissions, conformément au paragraphe 9.3.4 ;
- b) Pour le prélèvement par lot, des moyens de stockage propres, tels que des sacs vidés d'air, doivent être raccordés au système de prélèvement ;
- c) Chaque instrument de mesure doit être mis en marche conformément aux instructions du constructeur et aux règles de l'art ;

- d) Les systèmes de dilution, les pompes de prélèvement, les ventilateurs et le système de collecte des données doivent être mis en marche ;
- e) Les débits d'échantillons doivent être réglés au niveau souhaité, en recourant au débit en dérivation s'il y a lieu ;
- f) Les échangeurs de chaleur du système de prélèvement doivent être préchauffés ou prérefroidis pour amener leur température dans la plage de températures de fonctionnement prévue pour un essai ;
- g) Les éléments chauffés ou refroidis, tels que les conduites de prélèvement, les filtres, les refroidisseurs et les pompes, doivent être stabilisés à leur température de fonctionnement ;
- h) Le flux du système de dilution des gaz d'échappement doit être mis en marche au moins 10 min avant une séquence d'essai ;
- i) Tous les dispositifs électroniques d'intégration doivent être mis à zéro ou remis à zéro avant le début de toute période d'essai.

#### 7.5.3 Vérification des analyseurs de gaz

Les gammes de mesure des analyseurs de gaz doivent être sélectionnées. Les analyseurs d'émissions dotés d'une fonction de sélection automatique ou manuelle de la gamme de mesure sont autorisés. Pendant le cycle d'essai, la gamme de mesure des analyseurs d'émissions ne doit pas être changée. Il en va de même pour la valeur de gain de l'amplificateur opérationnel analogique de l'analyseur.

La réponse au zéro et la réponse au gaz de calibrage doivent être déterminées pour tous les analyseurs à l'aide de gaz internationalement traçables qui satisfont aux spécifications du paragraphe 9.3.3. Les analyseurs FID doivent être étalonnés sur une base carbone 1 (C1).

#### 7.5.4 Préparation du filtre de collecte des particules

Une heure au moins avant l'essai, chaque filtre doit être déposé dans une boîte de Pétri protégée contre la contamination par les poussières mais permettant la circulation de l'air, placée dans une chambre de pesée pendant une période de stabilisation. À la fin de cette période, chaque filtre est pesé, et la tare est enregistrée. Le filtre est ensuite stocké dans une boîte de Pétri fermée ou dans un porte-filtre scellé jusqu'à l'essai. Le filtre doit être utilisé dans les 8 heures suivant son retrait de la chambre de pesée.

#### 7.5.5 Réglage du système de dilution

Le débit total de gaz d'échappement dilués dans un système de dilution du flux total ou le débit de gaz d'échappement dilués dans un système de dilution du flux partiel doit être réglé de manière à éviter toute condensation d'eau dans le système et à obtenir une température au droit du filtre comprise entre 315 et 325 K (42 et 52 °C).

#### 7.5.6 Mise en marche du système de collecte des particules

Le système de collecte des particules doit être mis en marche et réglé sur le mode dérivation. Le niveau ambiant de particules dans le gaz diluant peut être déterminé par prélèvement du gaz diluant en amont de l'entrée des gaz d'échappement dans le tunnel de dilution. La mesure peut se faire avant ou après l'essai. Si elle a lieu au début et à la fin du cycle, on peut calculer la moyenne des valeurs. En cas d'utilisation d'un système de prélèvement différent pour la mesure de la concentration ambiante, la mesure doit se faire parallèlement à l'essai lui-même.

- 7.6 Exécution du cycle WHTC
- 7.6.1 Refroidissement du moteur
- Il est possible de procéder à un refroidissement naturel ou forcé. Pour un refroidissement forcé, on utilise une méthode conforme aux règles techniques reconnues, telle que le soufflage d'air froid sur le moteur, la circulation d'huile froide dans le circuit de graissage du moteur, le refroidissement du liquide de refroidissement dans le circuit du moteur et l'extraction de la chaleur d'un système de traitement aval. Dans le cas d'un refroidissement forcé du système de traitement aval, l'air de refroidissement ne doit pas être appliqué avant que ce système ne soit tombé au-dessous de sa température d'activation catalytique. L'emploi d'une méthode de refroidissement aboutissant à des résultats d'émissions non représentatifs n'est pas admis.
- 7.6.2 Essai de démarrage à froid
- L'essai de démarrage à froid s'effectue lorsque les températures du lubrifiant moteur, du liquide de refroidissement et du système de traitement aval sont toutes comprises entre 293 et 303 K (20 et 30 °C). Le moteur doit être démarré de l'une des façons suivantes :
- Comme recommandé par le constructeur dans le manuel d'utilisation, c'est-à-dire au moyen du démarreur de série et d'une batterie chargée ou d'un système d'alimentation extérieur ;
  - Au moyen du dynamomètre. Le moteur est entraîné par le banc à sa vitesse normale de démarrage en service  $\pm 25\%$ . L'entraînement doit être coupé dans un délai de 1 s après le démarrage du moteur. Si le moteur ne démarre pas après 15 s d'entraînement, on interrompt l'opération et on recherche la raison de l'échec du démarrage, à moins que le manuel d'utilisation ou le manuel de service et de réparation n'indiquent qu'une durée de démarrage plus longue est normale.
- 7.6.3 Période de stabilisation à chaud
- Immédiatement après l'exécution de l'essai de démarrage à froid, le moteur doit être conditionné pour l'essai de démarrage à chaud. Pour cela, on le soumet à une période de stabilisation à chaud d'une durée de  $10 \pm 1$  min.
- 7.6.4 Essai de démarrage à chaud
- On démarre le moteur à la fin de la période de stabilisation à chaud (voir le paragraphe 7.6.3) en appliquant l'une des méthodes de démarrage décrites au paragraphe 7.6.2.
- 7.6.5 Séquence d'essai
- La séquence d'essai de l'essai de démarrage à froid aussi bien que de l'essai de démarrage à chaud commence lors du démarrage du moteur. Le moteur une fois démarré, l'exécution du cycle doit être lancée de telle sorte que le fonctionnement du moteur coïncide avec le premier point de consigne du cycle.
- L'essai WHTC est exécuté conformément au cycle de référence tel qu'il est décrit au paragraphe 7.4. Les valeurs de commande de régime et de couple sont émises à une fréquence égale ou supérieure à 5 Hz (valeur recommandée : 10 Hz). Les valeurs de consigne sont déterminées par interpolation linéaire entre les valeurs de consigne à 1 Hz du cycle de référence. Les valeurs réelles de régime et de couple doivent être enregistrées au moins une fois par seconde (fréquence 1 Hz) pendant le cycle d'essai, les signaux pouvant être filtrés électroniquement.
- 7.6.6 Collecte des données d'émissions pertinentes
- Au début de la séquence d'essai, il convient de mettre en marche l'équipement de mesure et d'effectuer simultanément les opérations suivantes :

- a) Collecte ou analyse du gaz diluant, si un système de dilution à flux total est utilisé ;
- b) Collecte ou analyse des gaz d'échappement bruts ou dilués, selon la méthode utilisée ;
- c) Mesure de la quantité de gaz d'échappement dilués ainsi que des températures et pressions requises ;
- d) Enregistrement du débit-masse de gaz d'échappement, en cas d'analyse des gaz d'échappement bruts ;
- e) Enregistrement des données effectives de régime et de couple du dynamomètre.

Si la mesure des émissions se fait sur les gaz d'échappement bruts, les concentrations de polluants (SPN, HC(NM), CO et NO<sub>x</sub>) et le débit-masse de gaz d'échappement doivent être mesurés en continu et enregistrés avec une fréquence minimale de 2 Hz sur un système informatique. Toutes les autres données peuvent être enregistrées avec une fréquence minimale de 1 Hz. Pour les analyseurs analogiques, les caractéristiques de réponse doivent être enregistrées, et les données d'étalonnage peuvent être appliquées en ligne ou hors ligne au cours de l'évaluation des données.

Si la mesure s'effectue avec un système de dilution du flux total, les HC et les NO<sub>x</sub> doivent être mesurés en continu dans le tunnel de dilution, avec une fréquence minimale de 2 Hz. Les concentrations moyennes sont déterminées par intégration des signaux de l'analyseur au cours du cycle d'essai. Le temps de réponse du système ne doit pas être supérieur à 20 s, et il doit être coordonné si nécessaire avec les fluctuations de débit du système de prélèvement à volume constant (CVS) et les décalages s'appliquant à la durée de prélèvement et au cycle d'essai. Les valeurs pour le CO, le CO<sub>2</sub> et les HCNM peuvent être déterminées par intégration des signaux de mesure en continu ou par analyse des concentrations recueillies dans le sac de prélèvement au cours du cycle. Les concentrations de polluants gazeux dans le gaz diluant doivent être déterminées en amont du point où les gaz d'échappement entrent dans le tunnel de dilution, par intégration ou par collecte dans le sac de prélèvement pour les concentrations ambiantes. Tous les autres paramètres à mesurer doivent être enregistrés avec une fréquence minimale d'une mesure par seconde (1 Hz).

#### 7.6.7 Collecte des particules

Au début de la séquence d'essai, le système de collecte des particules doit être commuté du mode dérivation sur le mode collecte.

Si l'on utilise un système de dilution du flux partiel, la ou les pompes de prélèvement doivent être réglées de telle manière que le débit dans la sonde de prélèvement ou dans le tube de transfert de particules soit maintenu proportionnel au débit-masse de gaz d'échappement tel que déterminé au paragraphe 9.4.6.1.

Si l'on utilise un système de dilution du flux total, la ou les pompes de prélèvement doivent être réglées de telle manière que le débit dans la sonde de prélèvement ou dans le tube de transfert de particules soit maintenu à une valeur située à  $\pm 2,5$  % de la valeur de réglage. S'il existe une compensation du débit (commande proportionnelle du débit de prélèvement), il doit être démontré que le rapport du débit du tunnel principal à celui du prélèvement ne s'écarte pas de plus de  $\pm 2,5$  % de la valeur de réglage (à l'exception des 10 premières secondes de prélèvement). Les valeurs moyennes de température et de pression à l'entrée des compteurs de gaz ou des instruments de mesure du débit doivent être enregistrées. Si le débit de réglage ne peut pas être maintenu pendant le cycle complet à  $\pm 2,5$  % près à cause de l'encrassement du filtre, il convient d'annuler l'essai. L'essai doit alors être répété avec un débit de prélèvement plus faible.

- 7.6.8 Calage du moteur et défaut de fonctionnement de l'équipement
- Si le moteur cale à un stade quelconque de l'essai de démarrage à froid, l'essai doit être annulé. Le moteur doit alors subir un préconditionnement et être redémarré conformément aux dispositions du paragraphe 7.6.2, et l'essai doit être répété.
- Si le moteur cale à un stade quelconque de l'essai de démarrage à chaud, celui-ci doit être annulé. Après une période de stabilisation à chaud, conformément aux dispositions du paragraphe 7.6.3, l'essai de démarrage à chaud doit être répété. Dans ce cas, l'essai de démarrage à froid ne doit pas être répété.
- Si un défaut de fonctionnement de l'un quelconque des appareils d'essai prescrits se produit au cours du cycle d'essai, l'essai doit être annulé et répété conformément aux dispositions ci-dessus.
- 7.7 Exécution du cycle WHSC
- 7.7.1 Préconditionnement du système de dilution et du moteur
- Le système de dilution et le moteur à l'essai sont mis en marche et portés à la température requise conformément au paragraphe 7.4.1. Après la mise en température, le moteur et le système de prélèvement sont préconditionnés en faisant fonctionner le moteur sur le mode 9 (voir par. 7.2.2, tableau 1) pendant une durée minimale de 10 min, le système de dilution étant simultanément en fonction. Des échantillons provisoires de particules peuvent être collectés. Lors de cette opération, les filtres n'ont pas à être stabilisés ni pesés, et ils peuvent être mis au rebut après usage. Les débits doivent être réglés approximativement aux valeurs de débit prévues pour l'essai. Le moteur doit être arrêté après le préconditionnement.
- 7.7.2 Démarrage du moteur
- $5 \pm 1$  min après la fin du préconditionnement sur le mode 9, comme indiqué au paragraphe 7.7.1, on démarre le moteur conformément aux instructions du constructeur dans le manuel d'utilisation, c'est-à-dire au moyen du démarreur de série, ou bien par entraînement par le banc, conformément au paragraphe 7.6.2.
- 7.7.3 Séquence d'essai
- La séquence d'essai commence après le démarrage du moteur et dans un délai de 1 min à compter du moment où le fonctionnement du moteur est réglé pour coïncider avec le premier mode du cycle (ralenti).
- L'essai WHSC doit être exécuté conformément à l'ordre des modes d'essai indiqué au tableau 1 du paragraphe 7.2.2.
- 7.7.4 Collecte des données d'émissions pertinentes
- Au début de la séquence d'essai, il convient de mettre en marche l'équipement de mesure et de lancer simultanément les opérations suivantes :
- Collecte ou analyse du gaz diluant, si un système de dilution à flux total est utilisé ;
  - Collecte ou analyse des gaz d'échappement bruts ou dilués, selon la méthode utilisée ;
  - Mesure de la quantité de gaz d'échappement dilués ainsi que des températures et pressions requises ;
  - Enregistrement du débit-masse de gaz d'échappement, en cas d'analyse des gaz d'échappement bruts ;
  - Enregistrement des données effectives de régime et de couple du dynamomètre.

Si la mesure des émissions se fait sur les gaz d'échappement bruts, les concentrations de polluants (SPN, HC(NM), CO et NO<sub>x</sub>) et le débit-masse de gaz d'échappement doivent être mesurés en continu et enregistrés avec une fréquence minimale de 2 Hz sur un système informatique. Toutes les autres données peuvent être enregistrées avec une fréquence minimale de 1 Hz. Pour les analyseurs analogiques, les caractéristiques de réponse doivent être enregistrées, et les données d'étalonnage peuvent être appliquées en ligne ou hors ligne au cours de l'évaluation des données.

Si la mesure s'effectue avec un système de dilution du flux total, les HC et les NO<sub>x</sub> doivent être mesurés en continu dans le tunnel de dilution, avec une fréquence minimale de 2 Hz. Les concentrations moyennes sont déterminées par intégration des signaux de l'analyseur au cours du cycle d'essai. Le temps de réponse du système ne doit pas être supérieur à 20 s, et il doit être coordonné si nécessaire avec les fluctuations de débit du système de prélèvement à volume constant (CVS) et la durée de prélèvement et les décalages du cycle d'essai. Les valeurs pour le CO, le CO<sub>2</sub> et les HCNM peuvent être déterminées par intégration des signaux de mesure en continu ou par analyse des concentrations recueillies dans le sac de prélèvement au cours du cycle. Les concentrations de polluants gazeux dans le gaz diluant doivent être déterminées en amont du point où les gaz d'échappement entrent dans le tunnel de dilution, par intégration ou par collecte dans le sac de prélèvement pour les concentrations ambiantes. Tous les autres paramètres à mesurer doivent être enregistrés avec une fréquence minimale d'une mesure par seconde (1 Hz).

#### 7.7.5 Collecte des particules

Au début de la séquence d'essai, le système de collecte des particules doit être commuté du mode dérivation sur le mode collecte. Si l'on utilise un système de dilution du flux partiel, la ou les pompes de prélèvement doivent être réglées de telle manière que le débit dans la sonde de prélèvement des particules ou dans le tube de transfert soit maintenu proportionnel au débit-masse de gaz d'échappement tel que déterminé au paragraphe 9.4.6.1.

Si l'on utilise un système de dilution du flux total, la ou les pompes de prélèvement doivent être réglées de telle manière que le débit dans la sonde de prélèvement des particules ou dans le tube de transfert soit maintenu à une valeur située à  $\pm 2,5$  % de la valeur de réglage. S'il existe une compensation du débit (commande proportionnelle du débit de prélèvement), il doit être démontré que le rapport du débit du tunnel principal à celui du prélèvement ne s'écarte pas de plus de  $\pm 2,5$  % de la valeur de réglage (à l'exception des 10 premières secondes de prélèvement). Les valeurs moyennes de température et de pression à l'entrée des compteurs de gaz ou des instruments de mesure du débit doivent être enregistrées. Si le débit de réglage ne peut pas être maintenu pendant le cycle complet à  $\pm 2,5$  % près à cause de l'encrassement du filtre, il convient d'annuler l'essai. L'essai doit alors être répété avec un débit de prélèvement plus faible.

#### 7.7.6 Calage du moteur et défaut de fonctionnement de l'équipement

Si le moteur cale à un stade quelconque du cycle, l'essai doit être annulé. Le moteur doit alors subir un préconditionnement conformément au paragraphe 7.7.1 et être redémarré conformément au paragraphe 7.7.2, et l'essai doit être répété.

En cas de défaut de fonctionnement de l'un quelconque des appareils d'essai prescrits au cours du cycle d'essai, l'essai doit être annulé et répété conformément aux dispositions ci-dessus.

- 7.8 Procédures exécutées après l'essai
- 7.8.1 Opérations exécutées après l'essai
- À la fin de l'essai, la mesure du débit-masse de gaz d'échappement, du volume de gaz d'échappement dilués et du débit de gaz prélevé dans les sacs de collecte et dans la pompe de prélèvement des particules est arrêtée. Dans le cas d'un analyseur intégrateur, le prélèvement doit se poursuivre jusqu'à ce que les temps de réponse du système se soient écoulés.
- 7.8.2 Vérification de l'échantillon proportionnel
- Pour tout prélèvement par lot proportionnel, tel que prélèvement d'un sac de collecte ou prélèvement de matières particulaires, il doit être vérifié que la proportionnalité de l'échantillon a été maintenue conformément aux dispositions des paragraphes 7.6.7 et 7.7.5. Tout échantillon qui ne satisfait pas aux prescriptions doit être écarté.
- 7.8.3 Conditionnement et pesée des matières particulaires
- Les filtres à particules doivent être placés dans des récipients fermés par un couvercle ou scellés, ou les porte-filtres doivent être eux-mêmes fermés, de façon à protéger les filtres contre toute contamination ambiante. Ainsi protégés, les filtres doivent être ramenés dans la chambre de pesée et conditionnés pendant au moins 1 h, puis pesés conformément aux dispositions du paragraphe 9.4.5. Le poids brut des filtres doit être enregistré.
- 7.8.4 Vérification de la dérive
- Dès que possible mais au plus tard 30 min après l'achèvement du cycle d'essai, ou pendant la phase de stabilisation à chaud, la réponse au zéro et la réponse au gaz de calibrage des gammes de l'analyseur de gaz utilisées doivent être déterminées. Aux fins du présent paragraphe, le cycle d'essai est défini comme suit :
- a) Pour le cycle WHTC : la séquence complète démarrage à froid – stabilisation à chaud – démarrage à chaud ;
  - b) Pour l'essai de démarrage à chaud du cycle WHTC (par. 6.6) : la séquence stabilisation à chaud – démarrage à chaud ;
  - c) Pour l'essai de démarrage à chaud du cycle WHTC avec régénération multiple (par. 6.6) : le nombre total d'essais de démarrage à chaud ;
  - d) Pour le cycle WHSC : le cycle d'essai.
- En ce qui concerne la dérive de l'analyseur, les dispositions suivantes s'appliquent :
- a) Les réponses au zéro et au gaz de calibrage avant et après l'essai peuvent être directement insérées dans l'équation 66 du paragraphe 8.6.1 sans qu'il y ait à déterminer la dérive ;
  - b) Si la dérive entre les résultats avant et après l'essai est inférieure à 1 % de la pleine échelle, les concentrations mesurées peuvent être utilisées sans correction, ou bien être corrigées en fonction de la dérive conformément au paragraphe 8.6.1 ;
  - c) Si la dérive entre les résultats avant et après l'essai est égale ou supérieure à 1 % de la pleine échelle, l'essai doit être annulé ou les concentrations mesurées doivent être corrigées en fonction de la dérive conformément au paragraphe 8.6.1.
- 7.8.5 Analyse des échantillons de gaz recueillis dans les sacs
- Les opérations suivantes doivent être exécutées dès que possible :
- a) Les échantillons de gaz recueillis dans les sacs doivent être analysés au plus tard 30 min après l'achèvement de l'essai de démarrage à chaud,

ou pendant la phase de stabilisation à chaud pour l'essai de démarrage à froid ;

- b) Les échantillons de concentrations ambiantes doivent être analysés au plus tard 60 min après l'achèvement de l'essai de démarrage à chaud.

#### 7.8.6 Validation du travail sur le cycle

Avant le calcul du travail effectif sur le cycle, les points enregistrés au cours du démarrage du moteur doivent être omis. Le travail effectif au cours du cycle doit être déterminé pendant le cycle d'essai, en utilisant d'une manière synchrone les valeurs de régime et de couple effectives afin de calculer les valeurs instantanées de la puissance du moteur. Les valeurs instantanées de la puissance du moteur doivent être intégrées sur la durée du cycle, aux fins du calcul du travail effectif du cycle, représenté par  $W_{act}$  (kWh). Si les accessoires ou les équipements ne sont pas montés conformément aux dispositions du paragraphe 6.3.1, les valeurs instantanées de la puissance doivent être corrigées au moyen de l'équation 4 du paragraphe 6.3.5.

La même méthode que celle décrite au paragraphe 7.4.8 doit être appliquée pour l'intégration de la puissance effective.

Le travail effectif au cours du cycle,  $W_{act}$ , est utilisé pour la comparaison avec le travail au cours du cycle de référence,  $W_{ref}$ , et pour le calcul des émissions spécifiques au banc (voir par. 8.6.3).

$W_{act}$  doit se situer entre 85 % et 105 % de  $W_{ref}$ .

#### 7.8.7 Opérations statistiques de validation du cycle d'essai

On doit effectuer des régressions linéaires des valeurs réelles ( $n_{act}$ ,  $M_{act}$ ,  $P_{act}$ ) par rapport aux valeurs de référence ( $n_{ref}$ ,  $M_{ref}$ ,  $P_{ref}$ ), aussi bien pour le cycle WHTC que pour le cycle WHSC.

Afin de réduire le plus possible le biais résultant du décalage dans le temps entre les valeurs réelles et les valeurs de référence au cours du cycle, toute la séquence des signaux de régime et de couple réels peut être avancée ou retardée par rapport à la séquence des signaux de régime et de couple de référence. Si les signaux réels sont décalés, le régime et le couple doivent l'être de la même valeur et dans le même sens.

On applique la méthode des moindres carrés, l'équation de meilleur ajustement ayant la forme suivante :

$$y = a_1x + a_0 \quad (11)$$

où :

$y$  est la valeur réelle du régime ( $\text{min}^{-1}$ ), du couple (Nm) ou de la puissance (kW) ;

$a_1$  est la pente de la droite de régression ;

$x$  est la valeur de référence du régime ( $\text{min}^{-1}$ ), du couple (Nm) ou de la puissance (kW) ;

$a_0$  est l'ordonnée à l'origine de la droite de régression.

L'erreur type d'estimation de  $y$  sur  $x$  et le coefficient de détermination ( $r^2$ ) doivent être calculés pour chaque droite de régression.

Il est recommandé d'effectuer cette analyse à 1 Hz. Pour la validation d'un essai, il doit être satisfait aux critères du tableau 2 (WHTC) ou 3 (WHSC).

Tableau 2  
**Tolérances de la droite de régression pour le cycle WHTC**

	<i>Régime</i>	<i>Couple</i>	<i>Puissance</i>
Erreur type d'estimation de y sur x	Au maximum 5 % du régime d'essai maximal	Au maximum 10 % du couple maximal du moteur	Au maximum 10 % de la puissance maximale du moteur
Pente de la droite de régression, $a_1$	0,95 – 1,03	0,83 – 1,03	0,89 – 1,03
Coefficient de détermination, $r^2$	Au minimum 0,970	au minimum 0,850	Au minimum 0,910
Ordonnée à l'origine de la droite de régression, $a_0$	Au maximum 10 % du régime de ralenti	$\pm 20$ Nm ou $\pm 2$ % du couple maximal, la valeur supérieure étant retenue	$\pm 4$ kW ou $\pm 2$ % de la puissance maximale, la valeur supérieure étant retenue

Tableau 3  
**Tolérances de la droite de régression pour le cycle WHSC**

	<i>Régime</i>	<i>Couple</i>	<i>Puissance</i>
Erreur type d'estimation de y sur x	au maximum 1 % du régime d'essai maximal	au maximum 2 % du couple maximal du moteur	au maximum 2 % de la puissance maximale du moteur
Pente de la droite de régression, $a_1$	0,99 – 1,01	0,98 – 1,02	0,98 – 1,02
Coefficient de détermination, $r^2$	au minimum 0,990	au minimum 0,950	au minimum 0,950
Ordonnée à l'origine de la droite de régression, $a_0$	au maximum 1 % du régime d'essai maximal	$\pm 20$ Nm ou $\pm 2$ % du couple maximal, la valeur supérieure étant retenue	$\pm 4$ kW ou $\pm 2$ % de la puissance maximale, la valeur supérieure étant retenue

Pour les calculs de régression exclusivement, des omissions de points sont admises dans les cas prévus au tableau 4. Par contre, ces omissions ne sont pas autorisées pour le calcul du travail et des émissions au cours du cycle. L'omission de points peut être appliquée à l'ensemble du cycle ou à l'une de ses parties.

Tableau 4  
**Omissions de points admises dans l'analyse de régression**

<i>Événement</i>	<i>Conditions</i>	<i>Omissions de points autorisées</i>
Demande minimale de l'opérateur (point de ralenti)	$n_{ref} = 0$ % et $M_{ref} = 0$ % et $M_{act} > (M_{ref} - 0,02 M_{max. mapped torque})$ et $M_{act} < (M_{ref} + 0,02 M_{max. mapped torque})$	régime et puissance
Demande minimale de l'opérateur (point d'entraînement par le banc)	$M_{ref} < 0$ %	puissance et couple

Événement	Conditions	Omissions de points autorisées
Demande minimale de l'opérateur	$n_{act} \leq 1,02 n_{ref}$ et $M_{act} > M_{ref}$ ou $n_{act} > n_{ref}$ et $M_{act} \leq M_{ref}$ ou $n_{act} > 1,02 n_{ref}$ et $M_{ref} < M_{act} \leq M_{act} \leq (M_{ref} + 0,02 M_{max. mapped torque})$	puissance et, soit couple, soit régime
Demande maximale de l'opérateur	$n_{act} < n_{ref}$ et $M_{act} \geq M_{ref}$ ou $n_{act} \geq 0,98 n_{ref}$ et $M_{act} < M_{ref}$ ou $n_{act} < 0,98 n_{ref}$ et $M_{ref} > M_{act} \geq (M_{ref} - 0,02 M_{max. mapped torque})$	puissance et, soit couple, soit régime

## 8. Calcul des émissions

Le résultat d'essai définitif doit être arrondi en une seule étape au nombre de décimales indiqué par la norme d'émissions applicable, plus un chiffre significatif, conformément à la norme ASTM E 29-06B. Il n'est pas permis d'arrondir les valeurs intermédiaires utilisées pour déterminer le résultat final en ce qui concerne les émissions spécifiques au banc.

Le calcul des hydrocarbures et/ou des hydrocarbures non méthaniques est fondé sur les rapports molaires carbone/hydrogène/oxygène suivants pour le carburant considéré :

$CH_{1,86}O_{0,006}$  pour le gazole (B7) ;

$CH_{2,92}O_{0,46}$  pour l'éthanol destiné aux moteurs à allumage par compression spéciaux (ED95) ;

$CH_{1,93}O_{0,032}$  pour l'essence (E10) ;

$CH_{2,74}O_{0,385}$  pour l'éthanol (E85) ;

$CH_{2,525}$  pour le GPL (gaz de pétrole liquéfié) ;

$CH_4$  pour le GN (gaz naturel) et le biométhane.

Des exemples d'opérations de calcul sont donnés à l'appendice 5 de la présente annexe.

Le calcul des émissions sur une base molaire, conformément à l'annexe 7 du RTM ONU n° 11 concernant le protocole d'essai pour la mesure des émissions de gaz d'échappement des engins mobiles non routiers (NRMM), est admis avec l'accord préalable de l'autorité d'homologation de type.

### 8.1 Correction base sèche/base humide

Si les émissions sont mesurées en conditions sèches, la concentration mesurée doit être convertie aux conditions humides conformément à l'équation suivante :

$$c_w = k_w \times c_d \quad (12)$$

où :

$c_d$  est la concentration en conditions sèches, exprimée en ppm ou en pourcentage en volume ;

$k_w$  est le facteur de correction base sèche/base humide ( $k_{w,a}$ ,  $k_{w,e}$  ou  $k_{w,d}$ , selon l'équation utilisée).

## 8.1.1 Gaz d'échappement bruts

$$k_{w,a} = \left( 1 - \frac{1,2442 \times H_a + 111,19 \times w_{ALF} \times \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}}}{773,4 + 1,2442 \times H_a + \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}} \times k_f \times 1\,000} \right) \times 1,008 \quad (13)$$

ou

$$k_{w,a} = \left( 1 - \frac{1,2442 \times H_a + 111,19 \times w_{ALF} \times \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}}}{773,4 + 1,2442 \times H_a + \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}} \times k_f \times 1\,000} \right) \left/ \left( 1 - \frac{P_r}{P_b} \right) \right. \quad (14)$$

ou

$$k_{w,a} = \left( 1 - \frac{1}{1 + \alpha \times 0,005 \times (c_{CO_2} + c_{CO})} - k_{w1} \right) \times 1,008 \quad (15)$$

avec

$$k_{fw} = 0,055594 \times W_{ALF} + 0,0080021 \times W_{DEL} + 0,0070046 \times W_{EPS} \quad (16)$$

et

$$k_{w1} = \frac{1,608 \times H_a}{1\,000 + (1,608 \times H_a)} \quad (17)$$

où :

$H_a$  est l'humidité de l'air d'admission, en g d'eau par kg d'air sec ;

$w_{ALF}$  est la teneur en hydrogène du carburant, en pourcentage masse ;

$q_{mf,i}$  est le débit-masse instantané de carburant, en kg/s ;

$q_{mad,i}$  est le débit-masse instantané d'air d'admission sec, en kg/s ;

$p_r$  est la pression de vapeur d'eau après le bain de refroidissement, en kPa ;

$p_b$  est la pression atmosphérique totale, en kPa ;

$w_{DEL}$  est la teneur en azote du carburant, en pourcentage masse ;

$w_{EPS}$  est la teneur en oxygène du carburant, en pourcentage masse ;

$\alpha$  est le rapport molaire pour l'hydrogène du carburant ;

$c_{CO_2}$  est la concentration de  $CO_2$  en conditions sèches, exprimée en pourcentage ;

$c_{CO}$  est la concentration de  $CO$  en conditions sèches, exprimée en pourcentage.

Les équations 13 et 14 sont pour l'essentiel identiques, le facteur de 1,008 utilisé dans les équations 13 et 15 étant une approximation pour le dénominateur plus précis utilisé dans l'équation 14.

## 8.1.2 Gaz d'échappement dilués

$$k_{w,e} = \left[ \left( 1 - \frac{\alpha \times c_{CO_2w}}{200} \right) - k_{w2} \right] \times 1,008 \quad (18)$$

ou

$$k_{w,e} = \left[ \frac{(1 - k_{w2})}{1 + \frac{\alpha \times c_{CO2d}}{200}} \right] \times 1,008 \quad (19)$$

avec

$$k_{w2} = \frac{1,608 \times \left[ H_d \times \left( 1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \times \left( \frac{1}{D} \right) \right]}{1000 + \left\{ 1,608 \times \left[ H_d \times \left( 1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \times \left( \frac{1}{D} \right) \right] \right\}} \quad (20)$$

où :

$\alpha$  est le rapport molaire pour l'hydrogène du carburant ;

$c_{CO2w}$  est la concentration de  $CO_2$  en conditions humides, exprimée en pourcentage ;

$c_{CO2d}$  est la concentration de  $CO_2$  en conditions sèches, exprimée en pourcentage ;

$H_d$  est l'humidité du gaz diluant, en g d'eau par kg d'air sec ;

$H_a$  est l'humidité de l'air d'admission, en g d'eau par kg d'air sec ;

$D$  est le facteur de dilution (voir par. 8.5.2.3.2).

### 8.1.3 Gaz diluant

$$k_{w,d} = (1 - k_{w3}) \times 1,008 \quad (21)$$

avec

$$k_{w3} = \frac{1,608 \times H_d}{1000 + (1,608 \times H_d)} \quad (22)$$

où :

$H_d$  est l'humidité du gaz diluant, en g d'eau par kg d'air sec.

## 8.2 Correction des valeurs d'oxyde d'azote pour l'humidité

Étant donné que les émissions d'oxyde d'azote dépendent des conditions atmosphériques ambiantes, les concentrations d'oxyde d'azote ( $NO_x$ ) doivent être corrigées pour l'humidité avec les facteurs indiqués au paragraphe 8.2.1 ou 8.2.2. L'humidité de l'air d'admission  $H_a$  peut être calculée à partir de la mesure de l'humidité relative, de la mesure du point de rosée, de la mesure de la pression de vapeur ou de la mesure par psychromètre, en appliquant les équations universellement acceptées.

### 8.2.1 Moteurs à allumage par compression

$$k_{h,D} = \frac{15,698 \times H_a}{1000} + 0,832 \quad (23)$$

où :

$H_a$  est l'humidité de l'air d'admission, en g d'eau par kg d'air sec.

### 8.2.2 Moteurs à allumage commandé

$$k_{h,G} = 0,6272 + 44,030 \times 10^{-3} \times H_a - 0,862 \times 10^{-3} \times H_a^2 \quad (24)$$

où :

$H_a$  est l'humidité de l'air d'admission, en g d'eau par kg d'air sec.

## 8.3 Correction pour les effets de flottabilité du filtre à particules

La masse du filtre de collecte doit être corrigée compte tenu de sa flottabilité dans l'air. La correction de flottabilité dépend de la masse volumique du filtre, de la masse volumique de l'air et de la masse volumique des poids de tarage de la balance, et ne tient pas compte de la flottabilité des matières particulaires elles-mêmes. La correction de flottabilité s'applique à la fois à la masse à vide du filtre et à la masse brute du filtre.

Si la masse volumique du matériau du filtre n'est pas connue, les valeurs suivantes de masse volumique doivent être appliquées :

- a) Filtre en fibre de verre revêtu de PTFE : 2 300 kg/m<sup>3</sup> ;
- b) Filtre à membrane en PTFE : 2 144 kg/m<sup>3</sup> ;
- c) Filtre à membrane en PTFE avec anneau de support en polyméthylpentène : 920 kg/m<sup>3</sup>.

Pour les poids de tarage en acier inoxydable, on se base sur un matériau ayant une masse volumique de 8 000 kg/m<sup>3</sup>. Si le matériau est différent, sa masse volumique doit être connue.

L'équation ci-après doit être appliquée :

$$m_f = m_{\text{uncor}} \times \left( \frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_w}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho_f}} \right) \quad (25)$$

avec

$$p_a = \frac{p_b \times 28,836}{8,3144 \times T_a} \quad (26)$$

où :

$m_{\text{uncor}}$  est la masse du filtre à particules non corrigée, en mg ;

$\rho_a$  est la masse volumique de l'air, en kg/m<sup>3</sup> ;

$\rho_w$  est la masse volumique du poids de tarage de la balance, en kg/m<sup>3</sup> ;

$\rho_f$  est la masse volumique du filtre de collecte des particules, en kg/m<sup>3</sup> ;

$p_b$  est la pression atmosphérique totale, en kPa ;

$T_a$  est la température de l'air ambiant dans l'environnement de la balance, en K ;

28,836 est la masse molaire de l'air à l'humidité de référence (282,5 K), en g/mol ;

8,3144 est la constante molaire des gaz.

La masse  $m_p$  des particules collectées utilisée dans les paragraphes 8.4.3 et 8.5.3 est calculée comme suit :

$$m_p = m_{f,G} - m_{f,T} \quad (27)$$

où :

$m_{f,G}$  est la masse brute du filtre à particules corrigée des effets de la flottabilité, en mg ;

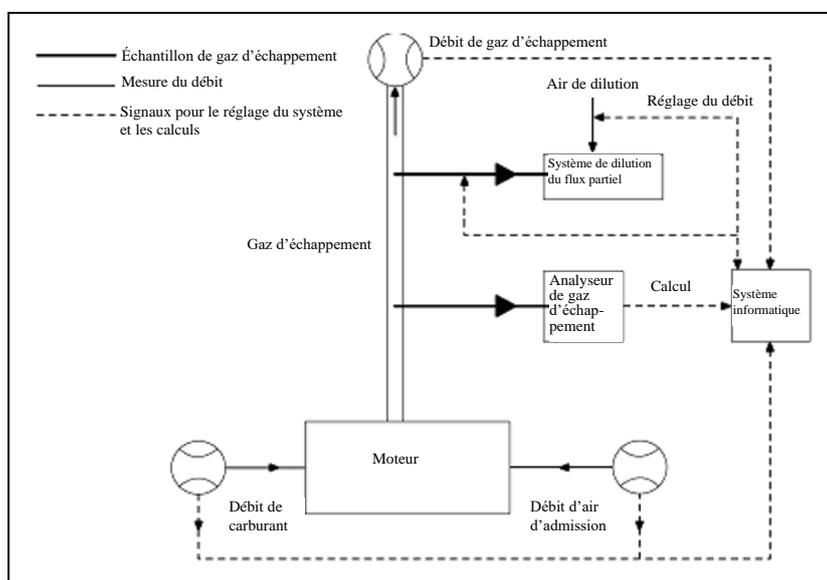
$m_{f,T}$  est la masse à vide du filtre à particules corrigée des effets de la flottabilité, en mg.

## 8.4 Dilution du flux partiel et mesure des émissions gazeuses brutes

Les signaux instantanés de concentration des constituants gazeux sont utilisés pour le calcul des émissions-masse par multiplication par le débit-masse instantané de gaz d'échappement. Le débit-masse de gaz d'échappement peut être mesuré directement, ou bien calculé en appliquant la méthode de la mesure du débit d'air d'admission et de carburant, la méthode du gaz témoin ou la méthode de la mesure du débit d'air d'admission et du rapport air/carburant. Une attention particulière doit être portée au temps de réponse des différents appareils. Il doit être tenu compte de ces différences en effectuant un recalage des signaux dans le temps. En ce qui concerne les particules, les signaux de débit-masse de gaz d'échappement sont utilisés pour régler le système de dilution du flux partiel de manière à prélever un échantillon proportionnel au débit-masse de gaz d'échappement. La proportionnalité doit être contrôlée par application d'une analyse de régression entre échantillon et débit de gaz d'échappement, comme indiqué au paragraphe 9.4.6.1. Le schéma de principe du système complet est représenté à la figure 6.

Figure 6

### Schéma de principe du système de mesure du débit brut/débit partiel



#### 8.4.1 Détermination du débit-masse de gaz d'échappement

##### 8.4.1.1 Introduction

Pour le calcul des émissions dans les gaz d'échappement bruts et pour le réglage d'un système de dilution du flux partiel, il est nécessaire de connaître le débit-masse de gaz d'échappement. Pour déterminer le débit-masse de gaz d'échappement, on peut appliquer l'une ou l'autre des méthodes décrites aux paragraphes 8.4.1.3 à 8.4.1.7.

Si cela est nécessaire pour le calcul des émissions gazeuses, le débit des gaz d'échappement doit être corrigé en fonction des débits extraits. Le cas échéant, les résultats du tunnel de dilution totale sont corrigés en fonction du débit extrait, sauf si :

$$Q(\text{extracted}) < 0,5 \% \text{ du débit d'échappement moyen du cycle.}$$

Dans ce cas, la correction est facultative.

##### 8.4.1.2 Temps de réponse

Pour le calcul des émissions, le temps de réponse de l'une ou l'autre des méthodes décrites aux paragraphes 8.4.1.3 à 8.4.1.7 doit être égal ou inférieur au temps de réponse de l'analyseur, qui est inférieur ou égal à 10 s, comme prescrit au paragraphe 9.3.5.

Pour le réglage d'un système de dilution du flux partiel, une réponse plus rapide est nécessaire. Pour les systèmes de dilution du flux partiel à réglage en ligne, le temps de réponse doit être inférieur ou égal à 0,3 s. Pour les systèmes de dilution du flux partiel à réglage prédictif basé sur un essai préenregistré, le temps de réponse du système de mesure du débit de gaz d'échappement doit être inférieur ou égal à 5 s, avec un temps de montée inférieur ou égal à 1 s. Le temps de réponse du système doit être spécifié par le fabricant de l'appareillage. Les prescriptions relatives au temps de réponse pour le débit de gaz d'échappement et le système de dilution du flux partiel sont indiquées au paragraphe 9.4.6.1.

#### 8.4.1.3 Méthode de la mesure directe

La mesure directe du débit instantané de gaz d'échappement doit s'effectuer au moyen de dispositifs tels que :

- a) Un dispositif de mesure des pressions différentielles, comme le débitmètre à venturi (pour plus de précisions, voir la norme ISO 5167) ;
- b) Un débitmètre à ultrasons ;
- c) Un débitmètre à vortex.

Des précautions doivent être prises pour éviter des erreurs de mesure qui entraîneraient des erreurs sur les valeurs d'émissions. Il faut notamment veiller à installer soigneusement le dispositif dans le système d'échappement du moteur, conformément aux recommandations du fabricant et aux règles d'usage. Il faut aussi veiller à ce que les performances et les valeurs d'émissions du moteur ne soient pas faussées par l'installation du dispositif.

Les débitmètres doivent satisfaire aux conditions de linéarité énoncées au paragraphe 9.2.

#### 8.4.1.4 Méthode de la mesure du débit d'air et de carburant

Le débit d'air et le débit de carburant doivent être mesurés avec des débitmètres appropriés. Le calcul du débit instantané de gaz d'échappement s'effectue comme suit :

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} + q_{mf,i} \quad (28)$$

où :

$q_{mew,i}$  est le débit-masse instantané de gaz d'échappement, en kg/s ;

$q_{maw,i}$  est le débit-masse instantané d'air d'admission, en kg/s ;

$q_{mf,i}$  est le débit-masse instantané de carburant, en kg/s.

Les débitmètres doivent satisfaire aux conditions de linéarité énoncées au paragraphe 9.2, tout en étant suffisamment précis pour satisfaire également aux conditions de linéarité pour la mesure du débit de gaz d'échappement.

#### 8.4.1.5 Méthode de la mesure avec un gaz témoin

Cette méthode consiste à mesurer la concentration d'un gaz témoin dans les gaz d'échappement.

Une quantité connue d'un gaz inerte (hélium pur, par exemple) est injectée dans le flux de gaz d'échappement comme gaz témoin. Le gaz est mélangé et dilué aux gaz d'échappement, mais il ne doit pas réagir dans le tuyau d'échappement. La concentration de gaz témoin est ensuite mesurée dans l'échantillon de gaz d'échappement.

Pour assurer un mélange intime du gaz témoin, la sonde de prélèvement des gaz d'échappement doit être située à au moins 1 m, ou 30 fois le diamètre du tuyau d'échappement, la valeur la plus élevée étant retenue, en aval du point d'injection du gaz témoin. La sonde peut être située plus près du point

d'injection si la condition du mélange intime est vérifiée par comparaison entre la concentration du gaz témoin et la concentration de référence lorsque le gaz est injecté en amont du moteur.

Le débit de gaz témoin doit être réglé de telle manière que la concentration de ce gaz au régime de ralenti après mélange soit inférieure à la valeur de pleine échelle de l'analyseur de gaz.

Le calcul du débit de gaz d'échappement s'effectue comme suit :

$$q_{mew,i} = \frac{q_{vt} \times \rho_e}{60 \times (c_{mix,i} - c_b)} \quad (29)$$

où :

$q_{mew,i}$  est le débit-masse instantané de gaz d'échappement, en kg/s ;

$q_{vt}$  est le débit de gaz témoin, en cm<sup>3</sup>/min ;

$c_{mix,i}$  est la concentration instantanée de gaz témoin après mélange, en ppm ;

$\rho_e$  est la masse volumique des gaz d'échappement, en kg/m<sup>3</sup> (voir le tableau 5) ;

$c_b$  est la concentration ambiante du gaz témoin dans l'air d'admission, en ppm.

La concentration ambiante du gaz témoin ( $c_b$ ) peut être déterminée en calculant la moyenne des concentrations ambiantes mesurées immédiatement avant l'essai et après l'essai.

Si la concentration ambiante est inférieure à 1 % de la concentration du gaz témoin après mélange ( $c_{mix,i}$ ) au débit maximal de gaz d'échappement, elle peut être ignorée.

L'ensemble du système doit satisfaire aux conditions de linéarité requises pour la mesure du débit de gaz d'échappement, énoncées au paragraphe 9.2.

#### 8.4.1.6 Méthode de la mesure du débit d'air et du rapport air/carburant

Cette méthode consiste à déterminer le débit-masse de gaz d'échappement d'après le débit d'air et le rapport air/carburant. Le débit-masse instantané de gaz d'échappement est calculé comme suit :

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} \times \left( 1 + \frac{1}{A/F_{st} \times \lambda_i} \right) \quad (30)$$

avec

$$A/F_{st} = \frac{138,0 \times \left( 1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma \right)}{12,011 + 1,00794 \times \alpha + 15,9994 \times \varepsilon + 14,0067 \times \delta + 32,065 \times \gamma} \quad (31)$$

$$\lambda_i = \frac{\left( 100 - \frac{c_{COd} \times 10^{-4}}{2} - c_{HCw} \times 10^{-4} \right) + \left[ \frac{\alpha}{4} \times \frac{1 - \frac{2 \times c_{COd} \times 10^{-4}}{3,5 \times c_{CO2d}} - \frac{\varepsilon}{2} - \frac{\delta}{2}}{1 + \frac{c_{CO} \times 10^{-4}}{3,5 \times c_{CO2d}}} \right] \times (c_{CO2d} + c_{COd} \times 10^{-4})}{4,764 \times \left( 1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma \right) \times (c_{CO2d} + c_{COd} \times 10^{-4} + c_{HCw} \times 10^{-4})} \quad (32)$$

où :

$q_{maw,i}$  est le débit-masse instantané d'air d'admission, en kg/s ;

$A/F_{st}$  est le rapport air/carburant stœchiométrique, en kg/kg ;

$\lambda_i$  est le facteur d'excédent d'air instantané ;

$c_{CO_2d}$  est la concentration de  $CO_2$  en conditions sèches, exprimée en pourcentage ;

$c_{COd}$  est la concentration de CO en conditions sèches, en ppm ;

$c_{HCw}$  est la concentration d'hydrocarbures en conditions humides, en ppm.

Les débitmètres et analyseurs d'air doivent satisfaire aux conditions de linéarité énoncées au paragraphe 9.2, et le système complet doit satisfaire aux conditions de linéarité pour la mesure du débit de gaz d'échappement énoncées au paragraphe 9.2.

Si un appareil de mesure du rapport air/carburant, tel qu'un capteur à oxyde de zirconium, est utilisé pour la mesure du facteur d'excédent d'air, il doit satisfaire aux caractéristiques prescrites au paragraphe 9.3.2.7.

#### 8.4.1.7 Méthode du bilan carbone

Cette méthode consiste à calculer la masse des émissions d'échappement à partir du débit du carburant et des constituants gazeux des émissions d'échappement qui comprennent du carbone. Le débit-masse instantané de gaz d'échappement est calculé comme suit :

$$q_{mew,i} = q_{mf,i} \times \left( \frac{w_{BET}^2 \times 1,4}{(1,0828 \times w_{BET} + k_{fd} \times k_c) \times k_c} \left( 1 + \frac{H_a}{1000} \right) + 1 \right) \quad (33)$$

avec

$$k_c = (c_{CO_2d} - c_{CO_2d,a}) \times 0,5441 + \frac{c_{COd}}{18522} + \frac{c_{HCw}}{17355} \quad (34)$$

et

$$k_{fd} = -0,055586 \times w_{ALF} + 0,0080021 \times w_{DEL} + 0,0070046 \times w_{EPS} \quad (35)$$

où :

$q_{mf,i}$  est le débit-masse instantané de carburant, en kg/s ;

$H_a$  est l'humidité de l'air d'admission, en g d'eau par kg d'air sec ;

$w_{BET}$  est la teneur en carbone du carburant, en pourcentage masse ;

$w_{ALF}$  est la teneur en hydrogène du carburant, en pourcentage masse ;

$w_{DEL}$  est la teneur en azote du carburant, en pourcentage masse ;

$w_{EPS}$  est la teneur en oxygène du carburant, en pourcentage masse ;

$c_{CO_2d}$  est la concentration de  $CO_2$  en conditions sèches, exprimée en pourcentage ;

$c_{CO_2d,a}$  est la concentration de  $CO_2$  en conditions sèches dans l'air d'admission, exprimée en pourcentage ;

$c_{CO}$  est la concentration de CO en conditions sèches, exprimée en ppm ;

$c_{HCw}$  est la concentration d'hydrocarbures en conditions humides, exprimée en ppm.

#### 8.4.2 Mesure des constituants gazeux

##### 8.4.2.1 Introduction

Les constituants gazeux présents dans les gaz d'échappement bruts émis par le moteur à l'essai doivent être mesurés avec les systèmes de mesure et de prélèvement décrits au paragraphe 9.3 et à l'appendice 2 de la présente annexe. L'évaluation des données doit se faire conformément aux dispositions du paragraphe 8.4.2.2.

Deux méthodes de calcul sont décrites aux paragraphes 8.4.2.3 et 8.4.2.4 ; elles sont équivalentes pour le carburant de référence de l'appendice 5. La méthode du paragraphe 8.4.2.3 est d'une application plus simple, car elle consiste à utiliser des valeurs  $u$  mises en tableau pour le rapport entre le constituant et la masse volumique des gaz d'échappement. Celle du paragraphe 8.4.2.4 est plus précise pour les qualités de carburant s'écartant des caractéristiques de l'appendice 5, mais elle nécessite une analyse élémentaire de la composition du carburant.

#### 8.4.2.2 Évaluation des données

Les données d'émissions pertinentes doivent être enregistrées et conservées conformément aux dispositions du paragraphe 7.6.6.

Pour le calcul des émissions massiques des constituants gazeux, les traces des concentrations enregistrées et la trace du débit-masse de gaz d'échappement doivent être recalées en fonction du temps de transformation tel qu'il est défini au paragraphe 3.1. Le temps de réponse de chaque analyseur d'émissions gazeuses et du système de mesure du débit-masse de gaz d'échappement doit être déterminé conformément aux paragraphes 8.4.1.2 et 9.3.5 respectivement, et enregistré.

#### 8.4.2.3 Calcul des émissions massiques sur la base des valeurs du tableau

La masse des polluants (en g/essai) doit être déterminée par calcul des émissions massiques instantanées à partir des concentrations brutes de polluants et du débit-masse de gaz d'échappement, recalés pour tenir compte du temps de transformation comme indiqué au paragraphe 8.4.2.2, en intégrant les valeurs instantanées sur tout le cycle et en multipliant les valeurs intégrées par les valeurs de  $u$  tirées du tableau 5. Si la mesure s'effectue sur une base sèche, l'opération de correction base sèche/base humide conformément au paragraphe 8.1 doit être appliquée aux valeurs de concentration instantanées avant tout autre calcul.

Pour le calcul des valeurs d'oxyde d'azote, les émissions massiques doivent être multipliées, s'il y a lieu, par le facteur de correction d'humidité  $k_{h,D}$  ou  $k_{h,G}$ , comme indiqué au paragraphe 8.2.

L'équation suivante doit être appliquée :

$$m_{\text{gas}} = u_{\text{gas}} \times \sum_{i=1}^{i=n} \left( c_{\text{gas},i} \times q_{\text{mew},i} \times \frac{1}{f} \right) \quad (\text{en g/essai}) \quad (36)$$

où :

$u_{\text{gas}}$  est la valeur respective du constituant mesuré, indiquée dans le tableau 5 ;

$c_{\text{gas},i}$  est la concentration instantanée du constituant dans les gaz d'échappement, en ppm ;

$q_{\text{mew},i}$  est le débit-masse instantané de gaz d'échappement, en kg/s ;

$f$  est la fréquence d'acquisition des données, en Hz ;

$n$  est le nombre de mesures.

Tableau 5  
Valeurs de  $u$  pour les gaz d'échappement bruts et masses volumiques des constituants

Carburant	$\rho_e$	Gaz					
		$NO_x$	$CO$	$HC$	$CO_2$	$O_2$	$CH_4$
		$\rho_{gas} [kg/m^3]$					
		2,053	1,250	<sup>a</sup>	1,9636	1,4277	0,716
$u_{gas}^b$							
Gazole (B7)	1,2943	0,001586	0,000966	0,000482	0,001517	0,001103	0,000553
Éthanol (ED95)	1,2768	0,001609	0,000980	0,000780	0,001539	0,001119	0,000561
GNC <sup>c</sup>	1,2661	0,001621	0,000987	0,000528 <sup>d</sup>	0,001551	0,001128	0,000565
Propane	1,2805	0,001603	0,000976	0,000512	0,001533	0,001115	0,000559
Butane	1,2832	0,001600	0,000974	0,000505	0,001530	0,001113	0,000558
GPL <sup>e</sup>	1,2811	0,001602	0,000976	0,000510	0,001533	0,001115	0,000559
Essence (E10)	1,2931	0,001587	0,000966	0,000499	0,001518	0,001104	0,000553
Éthanol (E85)	1,2797	0,001604	0,000977	0,000730	0,001534	0,001116	0,000559

<sup>a</sup> Selon le carburant.  
<sup>b</sup> à  $\lambda = 2$ , air sec, 273 K, 101,3 kPa.  
<sup>c</sup>  $u$  juste à 0,2 % près pour la composition (en masse) suivante : C = 66-76 % ; H = 22-25 % ; N = 0-12 %.  
<sup>d</sup> HCNM sur la base de  $CH_{2,93}$  (pour les HC totaux, le coefficient  $u_{gas}$  de  $CH_4$  doit être utilisé).  
<sup>e</sup>  $u$  juste à 0,2 % près pour la composition (en masse) suivante : C3 = 70-90 % ; C4 = 10-30 %.

#### 8.4.2.4 Calcul des émissions massiques sur la base d'équations exactes

On détermine la masse des polluants (en g/essai) en calculant les émissions massiques instantanées à partir des concentrations brutes de polluants, des valeurs  $u$  et du débit-masse de gaz d'échappement, recalés pour tenir compte du temps de transformation, comme indiqué au paragraphe 8.4.2.2, et en intégrant les valeurs instantanées sur tout le cycle. Si la mesure s'effectue sur base sèche, l'opération de correction base sèche/base humide conformément au paragraphe 8.1 doit être appliquée aux valeurs de concentration instantanées avant tout autre calcul.

Pour le calcul des valeurs d'oxyde d'azote, les émissions massiques doivent être multipliées par le facteur de correction d'humidité  $k_{h,D}$  ou  $k_{h,G}$ , comme indiqué au paragraphe 8.2.

L'équation suivante doit être appliquée :

$$m_{gas} = \sum_{i=1}^n \left( u_{gas,i} \times c_{gas,i} \times q_{mew,i} \times \frac{1}{f} \right) \text{ (en g/essai)} \quad (37)$$

où :

$u_{gas}$  est calculé à partir de l'équation 38 ou 39 ;

$c_{gas,i}$  est la concentration instantanée du constituant dans les gaz d'échappement, en ppm ;

$q_{mew,i}$  est le débit-masse instantané de gaz d'échappement, en kg/s ;

$f$  est la fréquence d'acquisition des données, en Hz ;

$n$  est le nombre de mesures.

Les valeurs  $u$  instantanées sont calculées comme suit :

$$u_{gas,i} = M_{gas} / (M_{e,i} \times 1\,000) \quad (38)$$

ou

$$u_{\text{gas},i} = \rho_{\text{gas}} / (\rho_{e,i} \times 1\,000) \quad (39)$$

avec

$$\rho_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} / 22,414 \quad (40)$$

où :

$M_{\text{gas}}$  est la masse molaire du constituant gazeux, en g/mol (voir l'appendice 5 de la présente annexe) ;

$M_{e,i}$  est la masse molaire instantanée des gaz d'échappement, en g/mol ;

$\rho_{\text{gas}}$  est la masse volumique du constituant gazeux, en kg/m<sup>3</sup> ;

$\rho_{e,i}$  est la masse volumique instantanée des gaz d'échappement, en kg/m<sup>3</sup>.

La masse molaire des gaz d'échappement ( $M_e$ ) est calculée comme suit pour une composition générale du carburant de  $\text{CH}_\alpha\text{O}_\varepsilon\text{N}_\delta\text{S}_\gamma$ , dans l'hypothèse d'une combustion complète :

$$M_{e,i} = \frac{1 + \frac{q_{mf,i}}{q_{maw,i}}}{\frac{q_{mf,i}}{q_{maw,i}} \times \frac{\frac{\alpha}{4} + \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\delta}{2}}{12,011 + 1,00794 \times \alpha + 15,9994 \times \varepsilon + 14,0067 \times \delta + 32,065 \times \gamma} + \frac{\frac{H_a \times 10^{-3}}{2 \times 1,00794 + 15,9994} + \frac{1}{M_a}}{1 + H_a \times 10^{-3}}} \quad (41)$$

où :

$q_{maw,i}$  est le débit-masse instantané d'air d'admission sur base humide, en kg/s ;

$q_{mf,i}$  est le débit-masse instantané de carburant, en kg/s ;

$H_a$  est l'humidité de l'air d'admission, en g d'eau par kg d'air sec ;

$M_a$  est la masse molaire de l'air d'admission sec, soit 28,965 g/mol.

La masse volumique des gaz d'échappement ( $\rho_e$ ) est calculée comme suit :

$$\rho_{e,i} = \frac{1\,000 + H_a + 1\,000 \times (q_{mf,i} / q_{mad,i})}{773,4 + 1,2434 \times H_a + k_{fw} \times 1\,000 \times (q_{mf,i} / q_{mad,i})} \quad (42)$$

où :

$q_{mad,i}$  est le débit-masse instantané d'air d'admission sur base sèche, en kg/s ;

$q_{mf,i}$  est le débit-masse instantané de carburant, en kg/s ;

$H_a$  est l'humidité de l'air d'admission, en g d'eau par kg d'air sec ;

$k_{fw}$  est le facteur spécifique pour les gaz d'échappement en conditions humides (équation 16 au paragraphe 8.1.1).

#### 8.4.3 Mesure des émissions de particules

##### 8.4.3.1 Évaluation des données

La masse de particules doit être calculée conformément à l'équation 27 du paragraphe 8.3. Pour l'évaluation de la concentration des particules, la masse totale du prélèvement ( $m_{\text{sep}}$ ) ayant traversé le filtre pendant le cycle d'essai doit être enregistrée.

Avec l'accord préalable de l'autorité d'homologation de type, la masse de particules peut être corrigée, pour tenir compte de la teneur en particules du diluant, déterminée conformément au paragraphe 7.5.6, conformément aux règles de l'art et aux caractéristiques de conception du système de mesure des émissions de particules utilisé.

## 8.4.3.2 Calcul des émissions massiques

En fonction du type de système, on calcule la masse des particules (en g/essai) par l'une des méthodes décrites au paragraphe 8.4.3.2.1 ou 8.4.3.2.2, après correction pour les effets de flottabilité du filtre de collecte des particules, conformément au paragraphe 8.3.

## 8.4.3.2.1 Calcul sur la base du taux de prélèvement

$$m_{PM} = m_p / (r_s \times 1\,000) \quad (43)$$

où :

$m_p$  est la masse de particules collectées sur tout le cycle, en mg ;

$r_s$  est le taux de prélèvement moyen au cours du cycle ;

avec

$$r_s = \frac{m_{se}}{m_{ew}} \times \frac{m_{sep}}{m_{sed}} \quad (44)$$

où :

$m_{se}$  est la masse de l'échantillon prélevé au cours du cycle, en kg ;

$m_{ew}$  est le débit-masse total de gaz d'échappement au cours du cycle, en kg ;

$m_{sep}$  est la masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte des particules, en kg ;

$m_{sed}$  est la masse de gaz d'échappement dilués traversant le tunnel de dilution, en kg.

Dans le cas du système à prélèvement total,  $m_{sep}$  et  $m_{sed}$  sont identiques.

## 8.4.3.2.2 Calcul sur la base du taux de dilution

$$m_{pm} = \frac{m_p}{m_{sep}} \times \frac{m_{edf}}{1,000} \quad (45)$$

où :

$m_p$  est la masse de particules collectées sur tout le cycle, en mg ;

$m_{sep}$  est la masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte des particules, en kg ;

$m_{edf}$  est la masse de gaz d'échappement dilués équivalents pendant tout le cycle, en kg.

La masse totale de gaz d'échappement dilués équivalents pendant tout le cycle est déterminée comme suit :

$$m_{edf} = \sum_{i=1}^{i=n} q_{medf,i} \times \frac{1}{f} \quad (46)$$

$$q_{medf,i} = q_{mew,i} \times r_{d,i} \quad (47)$$

$$r_{d,i} = \frac{q_{mdew,i}}{(q_{mdew,i} - q_{mdw,i})} \quad (48)$$

où :

$q_{medf,i}$  est le débit-masse instantané de gaz d'échappement dilués équivalents, en kg/s ;

$q_{mew,i}$  est le débit-masse instantané de gaz d'échappement, en kg/s ;

$r_{d,i}$  est le taux de dilution instantané ;

- $q_{\text{mdew},i}$  est le débit-masse instantané de gaz d'échappement dilués, en kg/s ;  
 $q_{\text{mdw},i}$  est le débit-masse instantané du diluant, en kg/s ;  
 $f$  est la fréquence d'acquisition des données, en Hz ;  
 $n$  est le nombre de mesures.

### 8.5 Mesure des émissions par dilution du flux total (système CVS)

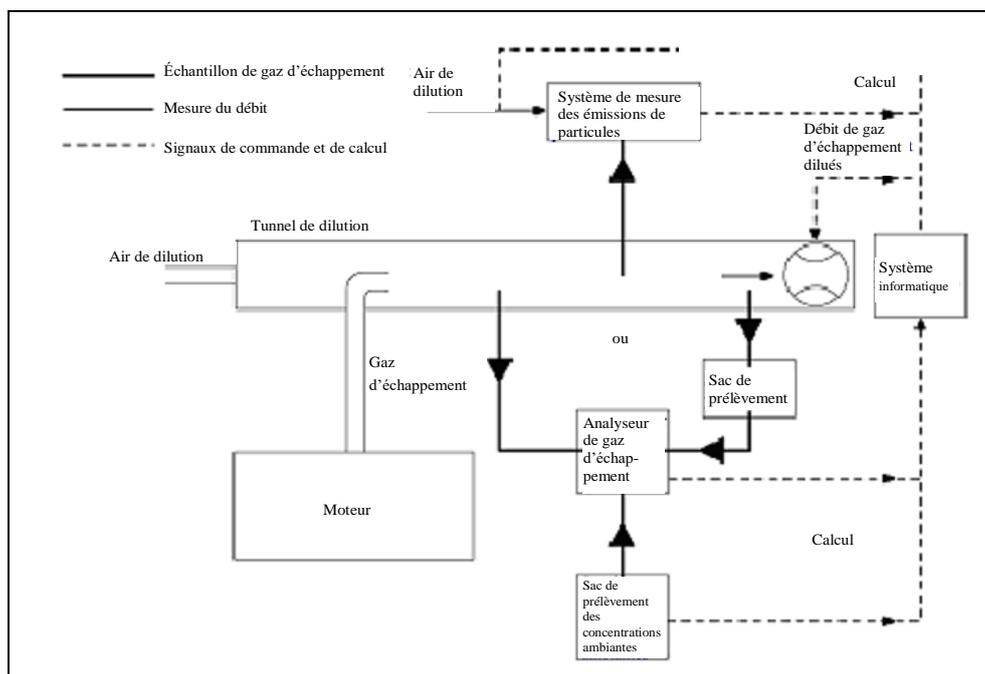
On utilise les signaux de mesure des concentrations des constituants gazeux, obtenus soit par intégration sur tout le cycle, soit par collecte dans des sacs de prélèvement, aux fins du calcul des émissions massiques par multiplication par le débit-masse de gaz d'échappement dilués. Le débit-masse de gaz d'échappement doit être mesuré avec un système de prélèvement à volume constant (CVS), qui peut comprendre une pompe volumétrique, un venturi-tuyère en régime critique (CFV) ou un venturi subsonique (SSV) avec ou sans compensation du débit.

Pour la collecte dans des sacs de prélèvement et le prélèvement des particules, on prélève un échantillon proportionnel à partir des gaz d'échappement dilués provenant du système CVS. Pour un système sans compensation du débit, le rapport entre le débit de prélèvement et le débit du système CVS ne doit pas s'écarter de plus de  $\pm 2,5$  % du point de consigne de l'essai. Pour un système avec compensation du débit, chacun des débits ne doit pas s'écarter de plus de  $\pm 2,5$  % de sa valeur de consigne.

Le schéma de principe du système complet est représenté à la figure 7.

Figure 7

#### Schéma de principe du système de mesure sur le flux total



#### 8.5.1 Détermination du débit de gaz d'échappement dilués

##### 8.5.1.1 Introduction

Pour calculer les émissions présentes dans les gaz d'échappement dilués, il est nécessaire de connaître le débit-masse de gaz d'échappement dilués. Le débit-masse total de gaz d'échappement dilués au cours du cycle (en kg/essai) doit être calculé à partir des valeurs de mesure obtenues durant le cycle et des données d'étalonnage correspondantes du dispositif de mesure du débit ( $V_0$  pour une pompe volumétrique,  $K_V$  pour un venturi-tuyère en régime critique ou  $C_d$  pour un venturi subsonique), par l'une des méthodes décrites aux

paragraphes 8.5.1.2 à 8.5.1.4. Si le débit total de particules ( $m_{sep}$ ) dans le prélèvement dépasse 0,5 % du débit total du système CVS ( $m_{ed}$ ), ce dernier doit être corrigé pour  $m_{sep}$ , ou le débit de prélèvement des particules doit être renvoyé dans le système CVS en amont du dispositif de mesure du débit.

#### 8.5.1.2 Système PDP-CVS

Le calcul du débit-masse sur tout le cycle s'effectue comme suit, à condition que la température des gaz d'échappement dilués soit maintenue constante à  $\pm 6$  K près au cours du cycle, au moyen d'un échangeur de chaleur :

$$m_{ed} = 1,293 \times V_0 \times n_p \times p_p \times 273 / (101,3 \times T) \quad (49)$$

où :

$V_0$  est le volume de gaz déplacé par tour de pompe dans les conditions d'essai, en  $m^3/tr$  ;

$n_p$  est le nombre total de tours de pompe par essai ;

$p_p$  est la pression absolue à l'entrée de la pompe, en kPa ;

$T$  est la température moyenne des gaz d'échappement dilués à l'entrée de la pompe, en K.

Si l'on utilise un système à compensation de débit (c'est-à-dire sans échangeur de chaleur), les émissions massiques instantanées doivent être calculées et intégrées sur la durée du cycle. Dans ce cas, la masse instantanée de gaz d'échappement dilués doit être calculée comme suit :

$$m_{ed,i} = 1,293 \times V_0 \times n_{p,i} \times p_p \times 273 / (101,3 \times T) \quad (50)$$

où :

$n_{p,i}$  est le nombre total de tours de pompe par intervalle de temps.

#### 8.5.1.3 Système CFV-CVS

Le calcul du débit-masse sur tout le cycle s'effectue comme suit, à condition que la température des gaz d'échappement dilués soit maintenue constante à  $\pm 11$  K près au cours du cycle, au moyen d'un échangeur de chaleur :

$$m_{ed} = 1,293 \times t \times K_v \times p_p / T^{0,5} \quad (51)$$

où :

$t$  est la durée du cycle, en s ;

$K_v$  est le coefficient d'étalonnage du venturi-tuyère en régime critique dans les conditions normales ;

$p_p$  est la pression absolue à l'entrée du venturi, en kPa ;

$T$  est la température absolue à l'entrée du venturi, en K.

Si l'on utilise un système à compensation de débit (c'est-à-dire sans échangeur de chaleur), les émissions massiques instantanées doivent être calculées et intégrées sur la durée du cycle. Dans ce cas, la masse instantanée de gaz d'échappement dilués doit être calculée comme suit :

$$m_{ed,i} = 1,293 \times \Delta t_i \times K_v \times p_p / T^{0,5} \quad (52)$$

où :

$\Delta t_i$  est l'intervalle de temps, en s.

#### 8.5.1.4 Système SSV-CVS

Le calcul du débit massique au cours du cycle s'effectue comme suit, à condition que la température des gaz d'échappement dilués soit maintenue constante à  $\pm 11$  K près pendant le cycle, au moyen d'un échangeur de chaleur :

$$m_{ed} = 1,293 \times Q_{SSV} \quad (53)$$

avec

$$Q_{SSV} = \frac{A_0}{60} d_V^2 C_d p_p \sqrt{\left[ \frac{1}{T} (r_p^{1,4286} - r_p^{1,7143}) \cdot \left( \frac{1}{1 - r_D^4 r_p^{1,4286}} \right) \right]} \quad (54)$$

où :

$$A_0 \quad \text{est égal à } 0,005692 \text{ dans les unités SI suivantes : } \left( \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right) \left( \frac{\text{K}^{\frac{1}{2}}}{\text{kPa}} \right) \left( \frac{1}{\text{mm}^2} \right);$$

$d_V$  est le diamètre du col du SSV, en mm ;

$C_d$  est le coefficient de décharge du SSV ;

$p_p$  est la pression absolue à l'entrée du venturi, en kPa ;

$T$  est la température à l'entrée du venturi, en K ;

$r_p$  est le rapport de la pression au col du SSV à la pression statique absolue à l'entrée,  $1 - \frac{\Delta p}{p_a}$  ;

$r_D$  est le rapport du diamètre du col du SSV,  $d$ , au diamètre intérieur du tuyau d'entrée,  $D$ .

Si l'on utilise un système à compensation de débit (c'est-à-dire sans échangeur de chaleur), les émissions massiques instantanées doivent être calculées et intégrées sur la durée du cycle. Dans ce cas, la masse instantanée de gaz d'échappement dilués doit être calculée comme suit :

$$m_{ed} = 1,293 \times Q_{SSV} \times \Delta t_i \quad (55)$$

où :

$\Delta t_i$  est l'intervalle de temps, en s.

Le calcul en temps réel doit être initialement effectué soit avec une valeur plausible de  $C_d$ , telle que 0,98, soit avec une valeur plausible de  $Q_{SSV}$ . Si le calcul s'effectue avec  $Q_{SSV}$ , la valeur initiale de  $Q_{SSV}$  doit être utilisée pour évaluer le nombre de Reynolds.

Durant tous les essais de mesure des émissions, le nombre de Reynolds au col du SSV doit se trouver dans la plage des nombres de Reynolds utilisés pour établir la courbe d'étalonnage décrite au paragraphe 9.5.4.

## 8.5.2 Mesure des constituants gazeux

### 8.5.2.1 Introduction

Les constituants gazeux présents dans les gaz d'échappement dilués émis par le moteur à l'essai doivent être mesurés à l'aide des méthodes décrites à l'appendice 2 de la présente annexe. La dilution des gaz d'échappement doit s'effectuer avec de l'air ambiant filtré, de l'air synthétique ou de l'azote. La capacité de débit du système à flux total doit être suffisamment grande pour permettre l'élimination complète de la condensation d'eau dans les systèmes de dilution et de prélèvement. L'évaluation des données et les opérations de calcul sont décrites aux paragraphes 8.5.2.2 et 8.5.2.3.

### 8.5.2.2 Évaluation des données

Les données d'émissions pertinentes doivent être enregistrées et conservées conformément aux dispositions du paragraphe 7.6.6.

## 8.5.2.3 Calcul des émissions massiques

## 8.5.2.3.1 Systèmes à débit massique constant

Pour les systèmes dotés d'un échangeur de chaleur, la masse des polluants doit être déterminée au moyen de l'équation suivante :

$$m_{\text{gas}} = u_{\text{gas}} \times c_{\text{gas}} \times m_{\text{ed}} \text{ (en g/essai)} \quad (56)$$

où :

$u_{\text{gas}}$  est la valeur respective du constituant mesuré, indiquée dans le tableau 6 ;

$c_{\text{gas}}$  est la concentration ambiante moyenne corrigée du constituant, en ppm ;

$m_{\text{ed}}$  est la masse totale de gaz d'échappement dilués sur tout le cycle, en kg.

Si la mesure s'effectue sur une base sèche, il convient d'appliquer la correction base sèche/base humide conformément au paragraphe 8.1.

Pour le calcul des valeurs d'oxyde d'azote, les émissions massiques doivent être multipliées, s'il y a lieu, par le facteur de correction d'humidité  $k_{h,D}$  ou  $k_{h,G}$ , comme indiqué au paragraphe 8.2.

Les valeurs de  $u$  sont données au tableau 6. Pour le calcul des valeurs de  $u_{\text{gas}}$ , il est admis que la masse volumique des gaz d'échappement dilués est égale à la masse volumique de l'air. Les valeurs de  $u_{\text{gas}}$  sont donc identiques pour les constituants gazeux individuels, mais différentes pour les HC.

Tableau 6

**Valeurs de  $u$  pour les gaz d'échappement dilués et masses volumiques des constituants**

Carburant	$\rho_{\text{de}}$	Gaz					
		$NO_x$	$CO$	$HC$	$CO_2$	$O_2$	$CH_4$
		$\rho_{\text{gas}} \text{ [kg/m}^3\text{]}$					
		2,053	1,250	<sup>a</sup>	1,9636	1,4277	0,716
$u_{\text{gas}}^b$							
Gazole (B7)	1,293	0,001588	0,000967	0,000483	0,001519	0,001104	0,000553
Éthanol (ED95)	1,293	0,001588	0,000967	0,000770	0,001519	0,001104	0,000553
GNC <sup>c</sup>	1,293	0,001588	0,000967	0,000517 <sup>d</sup>	0,001519	0,001104	0,000553
Propane	1,293	0,001588	0,000967	0,000507	0,001519	0,001104	0,000553
Butane	1,293	0,001588	0,000967	0,000501	0,001519	0,001104	0,000553
GPL <sup>e</sup>	1,293	0,001588	0,000967	0,000505	0,001519	0,001104	0,000553
Essence (E10)	1,293	0,001588	0,000967	0,000499	0,001519	0,001104	0,000554
Éthanol (E85)	1,293	0,001588	0,000967	0,000722	0,001519	0,001104	0,000554

<sup>a</sup> selon le carburant.  
<sup>b</sup> à  $\lambda = 2$ , air sec, 273 K, 101,3 kPa.  
<sup>c</sup>  $u$  juste à 0,2 % près pour la composition (en masse) suivante : C = 66-76 % ; H = 22-25 % ; N = 0-12 %.  
<sup>d</sup> HCNM sur la base de  $CH_{2,93}$  (pour les HC totaux, le coefficient  $u_{\text{gas}}$  de  $CH_4$  doit être utilisé).  
<sup>e</sup>  $u$  juste à 0,2 % près pour la composition (en masse) suivante: C3 = 70-90 % ; C4 = 10-30 %.

À titre de variante, on peut calculer les valeurs de  $u$  en utilisant la méthode de calcul exact décrite en termes généraux au paragraphe 8.4.2.4, comme suit :

$$u_{\text{gas}} = \frac{M_{\text{gas}}}{M_d \times \left(1 - \frac{1}{D}\right) + M_e \times \left(\frac{1}{D}\right)} \times \frac{1}{1000} \quad (57)$$

où :

$M_{\text{gas}}$  est la masse molaire du constituant gazeux, en g/mol (voir l'appendice 5) ;

$M_e$  est la masse molaire des gaz d'échappement, en g/mol ;

$M_d$  est la masse molaire du diluant, soit 28,965 g/mol ;

$D$  est le facteur de dilution (voir par. 8.5.2.3.2).

#### 8.5.2.3.2 Détermination des concentrations ambiantes corrigées

La concentration ambiante moyenne des polluants gazeux dans le diluant doit être soustraite des concentrations mesurées pour obtenir les concentrations nettes de polluants. Les valeurs moyennes des concentrations ambiantes peuvent être déterminées par la méthode du sac de collecte ou par celle de la mesure continue avec intégration. L'équation ci-après doit être appliquée :

$$c_{\text{gas}} = c_{\text{gas,e}} - c_d \times (1 - (1/D)) \quad (58)$$

où :

$c_{\text{gas,e}}$  est la concentration du constituant mesurée dans les gaz d'échappement dilués, en ppm ;

$c_d$  est la concentration du constituant mesurée dans le diluant, en ppm ;

$D$  est le facteur de dilution.

Le facteur de dilution est calculé comme suit :

a) Pour les moteurs diesel et les moteurs à gaz alimentés au GPL :

$$D = \frac{F_S}{c_{\text{CO}_2,e} + (c_{\text{HC,e}} + c_{\text{CO,e}}) \times 10^{-4}} \quad (59)$$

b) Pour les moteurs à gaz alimentés au gaz naturel :

$$D = \frac{F_S}{c_{\text{CO}_2,e} + (c_{\text{NMHC,e}} + c_{\text{CO,e}}) \times 10^{-4}} \quad (60)$$

où :

$c_{\text{CO}_2,e}$  est la concentration de  $\text{CO}_2$  dans les gaz d'échappement dilués en conditions humides, en % vol ;

$c_{\text{HC,e}}$  est la concentration de HC dans les gaz d'échappement dilués en conditions humides, en ppm C1 ;

$c_{\text{NMHC,e}}$  est la concentration de HCNM dans les gaz d'échappement dilués en conditions humides, en ppm C1 ;

$c_{\text{CO,e}}$  est la concentration de CO dans les gaz d'échappement dilués en conditions humides, en ppm ;

$F_S$  est le facteur stœchiométrique.

Le facteur stœchiométrique est calculé comme suit :

$$F_S = 100 \times \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{2} + 3,76 \times \left(1 + \frac{\alpha}{4}\right)} \quad (61)$$

où :

$\alpha$  est le rapport molaire pour l'hydrogène du carburant (H/C).

Si la composition du carburant n'est pas connue, les facteurs stœchiométriques suivants peuvent être appliqués :

$F_S$ (gazole)	=	13,4 ;
$F_S$ (GPL)	=	11,6 ;
$F_S$ (GN)	=	9,5 ;
$F_S$ (E10)	=	13,3 ;
$F_S$ (E85)	=	11,5.

#### 8.5.2.3.3 Systèmes à compensation de débit

Pour les systèmes sans échangeur de chaleur, on détermine la masse de polluants (en g/essai) en calculant les émissions massiques instantanées et en intégrant les valeurs instantanées sur tout le cycle. La correction pour les concentrations ambiantes doit également être appliquée directement à la valeur instantanée des concentrations. L'équation suivante doit être appliquée :

$$m_{\text{gas}} = \sum_{i=1}^n \left[ (m_{\text{ed},i} \times c_{\text{gas},e} \times u_{\text{gas}}) \right] - \left[ (m_{\text{ed}} \times c_d \times (1 - 1/D) \times u_{\text{gas}}) \right] \quad (62)$$

où :

$c_{\text{gas},e}$  est la concentration du constituant mesurée dans les gaz d'échappement dilués, en ppm ;

$c_d$  est la concentration du constituant mesurée dans le diluant, en ppm ;

$m_{\text{ed},i}$  est la masse instantanée de gaz d'échappement dilués, en kg ;

$m_{\text{ed}}$  est la masse totale de gaz d'échappement dilués sur tout le cycle, en kg ;

$u_{\text{gas}}$  est la valeur indiquée dans le tableau 6 ;

$D$  est le facteur de dilution.

### 8.5.3 Mesure des émissions de particules

#### 8.5.3.1 Calcul des émissions massiques

La masse de particules (en g/essai) doit être calculée après correction pour les effets de flottabilité du filtre de collecte des particules conformément au paragraphe 8.3, comme suit :

$$m_{\text{PM}} = \frac{m_p}{m_{\text{sep}}} \times \frac{m_{\text{ed}}}{1,000} \quad (63)$$

où :

$m_p$  est la masse de particules collectées sur tout le cycle, en mg ;

$m_{\text{sep}}$  est la masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte des particules, en kg ;

$m_{\text{ed}}$  est la masse de gaz d'échappement dilués sur tout le cycle, en kg ;

avec

$$m_{\text{sep}} = m_{\text{set}} - m_{\text{ssd}} \quad (64)$$

où :

$m_{\text{set}}$  est la masse des gaz d'échappement doublement dilués traversant le filtre à particules, en kg ;

$m_{\text{ssd}}$  est la masse du diluant secondaire, en kg.

Si la concentration ambiante de particules dans le diluant est déterminée conformément au paragraphe 7.5.6, la masse des particules peut être corrigée

en fonction de la concentration ambiante. Dans ce cas, la masse des particules (en g/essai) doit être calculée comme suit :

$$m_{PM} = \left[ \frac{m_p}{m_{sep}} - \left( \frac{m_b}{m_{sd}} \times \left( 1 - \frac{1}{D} \right) \right) \right] \times \frac{m_{ed}}{1000} \quad (65)$$

où :

$m_{sep}$  est la masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte des particules, en kg ;

$m_{ed}$  est la masse de gaz d'échappement dilués sur tout le cycle, en kg ;

$m_{sd}$  est la masse du diluant prélevé pour la mesure des concentrations ambiantes en particules, en kg ;

$m_b$  est la masse des particules d'origine ambiante collectées dans le diluant, en mg ;

$D$  est le facteur de dilution déterminé selon le paragraphe 8.5.2.3.2.

## 8.6 Calculs généraux

### 8.6.1 Correction de la dérive

En ce qui concerne la vérification de la dérive visée au paragraphe 7.8.4, la valeur de la concentration corrigée est calculée comme suit :

$$c_{cor} = c_{ref,z} + (c_{ref,s} - c_{ref,z}) \left( \frac{2 \cdot c_{gas} - (c_{pre,z} + c_{post,z})}{(c_{pre,s} + c_{post,s}) - (c_{pre,z} + c_{post,z})} \right) \quad (66)$$

où :

$c_{ref,z}$  est la concentration de référence du gaz de zéro (généralement égale à zéro), en ppm ;

$c_{ref,s}$  est la concentration de référence du gaz de calibrage, en ppm ;

$c_{pre,z}$  est la concentration du gaz de zéro mesurée par l'analyseur avant l'essai, en ppm ;

$c_{pre,s}$  est la concentration du gaz de calibrage mesurée par l'analyseur avant l'essai, en ppm ;

$c_{post,z}$  est la concentration du gaz de zéro mesurée par l'analyseur après l'essai, en ppm ;

$c_{post,s}$  est la concentration du gaz de calibrage mesurée par l'analyseur après l'essai, en ppm ;

$c_{gas}$  est la concentration des gaz prélevés, en ppm.

Deux séries de résultats de mesures d'émissions spécifiques doivent être calculées pour chaque constituant conformément au paragraphe 8.6.3, après application de toute autre correction nécessaire. On calcule la première série en utilisant des concentrations non corrigées et la seconde en utilisant des concentrations corrigées des effets de la dérive conformément à l'équation 66.

Les résultats des émissions non corrigées sont calculés au moyen des équations 36, 37, 56, 58 ou 62, respectivement, en fonction du système de mesure et de la méthode de calcul utilisés. Pour le calcul des émissions corrigées,  $c_{gas}$ , dans les équations 36, 37, 56, 58 ou 62, respectivement, doit être remplacé par  $c_{cor}$  de l'équation 66. Si les valeurs de concentration instantanées  $c_{gas,i}$  sont utilisées dans l'équation respective, la valeur corrigée doit aussi être appliquée en tant que valeur instantanée  $c_{cor,i}$ . Dans les équations 58 et 62, la correction doit être appliquée à la fois à la concentration mesurée et à la concentration ambiante.

La comparaison se fait sur la base d'un pourcentage des résultats non corrigés. La différence entre les valeurs des émissions spécifiques au banc non corrigées et corrigées ne doit pas excéder  $\pm 4$  % des valeurs des émissions spécifiques au banc non corrigées ou de la valeur limite respective, la plus grande de ces deux valeurs étant retenue. Si la dérive est supérieure à 4 %, l'essai est annulé.

Si la correction de la dérive est appliquée, seuls les résultats des émissions corrigés des effets de la dérive doivent être utilisés dans le compte rendu des mesures d'émissions.

#### 8.6.2 Calcul des HCNM et du CH<sub>4</sub>

Le calcul des HCNM et du CH<sub>4</sub> est fonction de la méthode d'étalonnage utilisée. L'analyseur FID pour la mesure sans convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques (circuit inférieur de la figure 11 de l'appendice 2 de la présente annexe) doit être étalonné avec du propane. Pour l'étalonnage de l'analyseur FID en série avec convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques (circuit supérieur de la figure 11 de l'appendice 2), les méthodes suivantes sont autorisées :

- Gaz d'étalonnage – propane ; le propane contourne le convertisseur ;
- Gaz d'étalonnage – méthane ; le méthane traverse le convertisseur.

Les concentrations de HCNM et de CH<sub>4</sub> sont calculées comme suit dans la situation a) :

$$c_{NMHC} = \frac{c_{HC(w/NMC)} - c_{HC(w/oNMC)} \times (1 - E_E)}{r_h \times (E_E - E_M)} \quad (67)$$

$$c_{CH_4} = \frac{c_{HC(w/oNMC)} \times (1 - E_M) - c_{HC(w/NMC)}}{E_E - E_M} \quad (68)$$

Les concentrations de HCNM et de CH<sub>4</sub> sont calculées comme suit dans la situation b) :

$$c_{NMHC} = \frac{c_{HC(w/oNMC)} \times (1 - E_M) - c_{HC(w/NMC)} \times r_h \times (1 - E_M)}{E_E - E_M} \quad (67a)$$

$$c_{CH_4} = \frac{c_{HC(w/NMC)} \times r_h \times (1 - E_M) - c_{HC(w/oNMC)} \times (1 - E_E)}{r_h \times (E_E - E_M)} \quad (68a)$$

où :

$c_{HC(w/NMC)}$  est la concentration de HC lorsque les gaz prélevés traversent le convertisseur de NMC, en ppm ;

$c_{HC(w/oNMC)}$  est la concentration de HC lorsque les gaz prélevés contournent le convertisseur de NMC, en ppm ;

$r_h$  est le facteur de réponse au méthane tel que déterminé selon le paragraphe 9.3.7.2 ;

$E_M$  est l'efficacité pour le méthane telle que déterminée selon le paragraphe 9.3.8.1 ;

$E_E$  est l'efficacité pour l'éthane telle que déterminée selon le paragraphe 9.3.8.2.

Si  $r_h < 1,05$ , il peut être omis des équations 67, 67a et 68a.

### 8.6.3 Calcul des émissions spécifiques

Les émissions spécifiques  $e_{\text{gas}}$  ou  $e_{\text{PM}}$  (en g/kWh) doivent être calculées pour chaque constituant de la manière indiquée ci-après, qui dépend du type de cycle d'essai.

Pour l'essai WHSC, l'essai WHTC à chaud, ou l'essai WHTC à froid, l'équation ci-après doit être utilisée :

$$e = \frac{m}{W_{\text{act}}} \quad (69)$$

où :

$m$  est la masse des émissions du constituant, en g/essai ;

$W_{\text{act}}$  est le travail effectif au cours du cycle, déterminé conformément au paragraphe 7.8.6, en kWh.

Pour l'essai WHTC, le résultat final doit être une moyenne pondérée des résultats de l'essai de démarrage à froid et de l'essai de démarrage à chaud, calculée selon l'équation suivante :

$$e = \frac{(0,14 \times m_{\text{cold}}) + (0,86 \times m_{\text{hot}})}{(0,14 \times W_{\text{act,cold}}) + (0,86 \times W_{\text{act,hot}})} \quad (70)$$

où :

$m_{\text{cold}}$  est la masse des émissions du constituant pendant l'essai de démarrage à froid, en g/essai ;

$m_{\text{hot}}$  est la masse des émissions du constituant pendant l'essai de démarrage à chaud, en g/essai ;

$W_{\text{act,cold}}$  est le travail effectif au cours du cycle pendant l'essai de démarrage à froid, en kWh ;

$W_{\text{act,hot}}$  est le travail effectif au cours du cycle pendant l'essai de démarrage à chaud, en kWh.

Si la régénération périodique est appliquée conformément au paragraphe 6.6.2, les facteurs de réglage  $k_{r,u}$  ou  $k_{r,d}$  doivent respectivement être multipliés par la valeur  $e$  des émissions spécifiques ou lui être ajoutés comme indiqué dans les équations 69 et 70.

## 9. Spécifications et vérification des équipements

La présente annexe ne donne pas de précisions sur les équipements ou systèmes de mesure du débit, de la pression et de la température à utiliser. Par contre, des prescriptions concernant la linéarité que doivent avoir ces équipements ou systèmes pour l'exécution d'un essai de mesure des émissions sont énoncées au paragraphe 9.2.

### 9.1 Caractéristiques du banc dynamométrique

Un banc moteur répondant aux caractéristiques nécessaires pour l'exécution du cycle d'essai approprié, comme décrit aux paragraphes 7.2.1 et 7.2.2, doit être utilisé.

L'appareillage de mesure du couple et du régime doit permettre une mesure de la puissance sur arbre suffisamment précise pour satisfaire aux critères de validation du cycle. Des calculs supplémentaires peuvent être nécessaires. La justesse de l'appareillage de mesure doit être telle que les valeurs limites de linéarité fixées au tableau 7 du paragraphe 9.2 soient respectées.

## 9.2 Conditions concernant la linéarité

L'étalonnage de tous les appareils et systèmes de mesure conformément à des normes nationales (ou internationales) doit être certifié. Les appareils et systèmes de mesure doivent satisfaire aux conditions de linéarité énoncées au tableau 7. La vérification de la linéarité comme prescrit au paragraphe 9.2.1 doit être exécutée pour les analyseurs de gaz à la fréquence d'au moins tous les 3 mois ou toutes les fois qu'une réparation ou une modification pouvant influencer sur l'étalonnage est apportée au système. Pour les autres appareils et systèmes, la vérification de la linéarité doit être effectuée comme prescrit par les procédures de contrôle internes ou par le fabricant de l'appareillage ou conformément aux dispositions de la norme ISO 9000.

Tableau 7

### Conditions de linéarité s'appliquant aux instruments et systèmes de mesure

<i>Système de mesure</i>	$ \chi_{\min} \times (a_1 - 1) + a_0 $	<i>Pente <math>a_1</math></i>	<i>Erreur type SEE</i>	<i>Coefficient de détermination <math>r^2</math></i>
Régime moteur	≤0,05 % max	0,98 - 1,02	≤2 % max	≥0,990
Couple moteur	≤1 % max	0,98 - 1,02	≤2 % max	≥0,990
Débit de carburant	≤1 % max	0,98 - 1,02	≤2 % max	≥0,990
Débit d'air	≤1 % max	0,98 - 1,02	≤2 % max	≥0,990
Débit de gaz d'échappement	≤1 % max	0,98 - 1,02	≤2 % max	≥0,990
Débit du diluant	≤1 % max	0,98 - 1,02	≤2 % max	≥0,990
Débit de gaz d'échappement dilués	≤1 % max	0,98 - 1,02	≤2 % max	≥0,990
Débit de prélèvement	≤1 % max	0,98 - 1,02	≤2 % max	≥0,990
Analyseurs de gaz	≤0,5 % max	0,99 - 1,01	≤1 % max	≥0,998
Mélangeurs-doseurs de gaz	≤0,5 % max	0,98 - 1,02	≤2 % max	≥0,990
Températures	≤1 % max	0,99 - 1,01	≤1 % max	≥0,998
Pressions	≤1 % max	0,99 - 1,01	≤1 % max	≥0,998
Balance de pesage des particules	≤1 % max	0,99 - 1,01	≤1 % max	≥0,998

### 9.2.1 Vérification de la linéarité

#### 9.2.1.1 Introduction

Une vérification de la linéarité doit être exécutée pour chaque système de mesure énuméré au tableau 7. Il doit être appliqué au moins 10 valeurs de référence, ou toute autre valeur spécifiée, au système de mesure contrôlé. Pour les vérifications indépendantes de la linéarité de la pression et de la température, au moins trois valeurs de référence doivent être sélectionnées. Les valeurs mesurées doivent être comparées aux valeurs de référence par régression linéaire par les moindres carrés conformément à l'équation 11 au paragraphe 7.8.7. Les limites maximales du tableau 7 sont les limites maximales à prévoir lors des essais.

#### 9.2.1.2 Conditions générales

Le système de mesure doit être porté à la température de fonctionnement conformément aux recommandations du fabricant de l'appareillage. Les systèmes de mesure doivent être utilisés à leurs valeurs spécifiées de température, de pression et de débit.

#### 9.2.1.3 Procédure

La vérification de la linéarité doit être effectuée pour chaque gamme normalement utilisée conformément à la séquence d'opérations suivante :

- a) L'appareil doit être mis à zéro par application d'un signal de zéro. Pour les analyseurs de gaz, de l'air synthétique purifié ou de l'azote est introduit directement par le raccord d'entrée de l'analyseur ;
- b) On effectue le calibrage de l'appareil en appliquant le signal approprié. Pour les analyseurs de gaz, un gaz de point final approprié est introduit directement par le raccord d'entrée de l'analyseur ;
- c) L'opération a) de réglage du zéro est répétée ;
- d) On effectue la vérification en appliquant au moins 10 valeurs de référence (y compris le zéro) qui se situent dans la plage comprise entre le zéro et les valeurs les plus élevées qu'il est prévu de rencontrer au cours des essais de mesure des émissions. Pour les analyseurs de gaz, des concentrations de gaz connues conformément au paragraphe 9.3.3.2 doivent être introduites directement par le raccord d'entrée de l'analyseur ;
- e) Les valeurs de référence doivent être mesurées et les valeurs mesurées doivent être enregistrées pendant 30 s à une fréquence d'enregistrement d'au moins 1 Hz ;
- f) Les valeurs moyennes arithmétiques sur la période de 30 s sont utilisées pour calculer les paramètres de régression linéaire par les moindres carrés conformément à l'équation 11 du paragraphe 7.8.7 ;
- g) Les paramètres de régression linéaire doivent satisfaire aux conditions du tableau 7 du paragraphe 9.2 ;
- h) Le point zéro doit être à nouveau contrôlé et la procédure de vérification doit être répétée si nécessaire.

### 9.3 Système de mesure et de prélèvement des émissions gazeuses

#### 9.3.1 Caractéristiques des analyseurs

##### 9.3.1.1 Caractéristiques générales

Les analyseurs doivent avoir une gamme de mesure et un temps de réponse permettant d'obtenir la justesse nécessaire pour la mesure des concentrations des constituants des gaz d'échappement en conditions transitoires ou stationnaires.

La compatibilité électromagnétique de l'appareil doit être suffisante pour réduire au minimum les risques d'erreurs additionnelles.

##### 9.3.1.2 Justesse

La justesse, définie comme l'écart de la valeur lue par rapport à la valeur de référence, doit être conforme à la limite de  $\pm 2$  % de la valeur lue ou de  $\pm 0,3$  % de l'échelle, la valeur la plus grande étant retenue.

##### 9.3.1.3 Précision

La précision est définie comme égale à 2,5 fois l'écart type de 10 réponses successives à un gaz d'étalonnage ou un gaz de calibrage donné ; elle doit être conforme à la limite de 1 % de la concentration maximale d'échelle pour chaque gamme utilisée au-dessus de 155 ppm (ou ppm C) ou de 2 % de chaque gamme utilisée au-dessous de 155 ppm (ou ppm C).

##### 9.3.1.4 Bruit

La réponse de bruit (de crête à crête) de l'analyseur au gaz de zéro et d'étalonnage ou de calibrage sur une période quelconque de 10 s ne doit pas être supérieure à 2 % de l'échelle sur toutes les gammes utilisées.

- 9.3.1.5 Dérive du zéro  
La dérive de la réponse au zéro doit être spécifiée par le fabricant de l'appareillage.
- 9.3.1.6 Dérive du point final  
La dérive de la réponse au point final doit être spécifiée par le fabricant de l'appareillage.
- 9.3.1.7 Temps de montée  
Le temps de montée de l'analyseur, lorsqu'il est installé dans le système de mesure, ne doit pas dépasser 2,5 s.
- 9.3.1.8 Séchage des gaz  
Les émissions d'échappement peuvent être mesurées en conditions humides ou en conditions sèches. Si un dispositif de séchage est utilisé, il doit avoir un effet minimal sur la composition des gaz mesurés. Les procédés chimiques de déshumidification de l'échantillon ne sont pas acceptables.
- 9.3.2 Types d'analyseurs de gaz
- 9.3.2.1 Introduction  
Les paragraphes 9.3.2.2 à 9.3.2.7 décrivent les principes de mesure à appliquer. Une description détaillée des systèmes de mesure est donnée à l'appendice 2 de la présente annexe. Les gaz à mesurer doivent être analysés avec les appareils énumérés ci-après. Pour les analyseurs non linéaires, l'utilisation de circuits de linéarisation est autorisée.
- 9.3.2.2 Analyse du monoxyde de carbone (CO)  
L'analyseur de monoxyde de carbone doit être de type non dispersif à absorption dans l'infrarouge (NDIR).
- 9.3.2.3 Analyse du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)  
L'analyseur de dioxyde de carbone doit être de type non dispersif à absorption dans l'infrarouge (NDIR).
- 9.3.2.4 Analyse des hydrocarbures (HC)  
L'analyseur d'hydrocarbures doit être du type détecteur à ionisation de flamme chauffé (HFID), dans lequel le détecteur, les vannes et les tuyauteries, notamment, sont chauffés de manière à maintenir une température des gaz de  $463 \pm 10$  K ( $190 \pm 10$  °C). À titre de variante, pour les moteurs alimentés au gaz naturel et à allumage commandé, l'analyseur d'hydrocarbures peut être du type détecteur à ionisation de flamme (FID) non chauffé si la méthode appliquée le permet (voir l'appendice 2, par. A.2.1.3).
- 9.3.2.5 Analyse du méthane (CH<sub>4</sub>) et des hydrocarbures non méthaniques (HCNM)  
La mesure de la fraction de méthane et d'hydrocarbures non méthaniques doit être exécutée avec un convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques chauffé et deux analyseurs FID, conformément aux paragraphes A.2.1.4 et A.2.1.5 de l'appendice 2. Les concentrations des constituants doivent être déterminées conformément au paragraphe 8.6.2.
- 9.3.2.6 Analyse des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)  
Deux instruments de mesure sont spécifiés pour la mesure des NO<sub>x</sub> ; il est possible d'utiliser l'un ou l'autre de ces instruments pourvu qu'il réponde aux critères énoncés au paragraphe 9.3.2.6.1 ou au paragraphe 9.3.2.6.2, respectivement. Pour la détermination de l'équivalence d'une autre méthode de mesure conformément au paragraphe 5.1.1, seul le détecteur CLD est autorisé.

## 9.3.2.6.1 Détecteur par chimiluminescence (CLD)

Si la mesure se fait sur base sèche, l'analyseur d'oxydes d'azote doit être du type détecteur par chimiluminescence (CLD) ou détecteur par chimiluminescence chauffé (HCLD) avec convertisseur NO<sub>2</sub>/NO. Si la mesure se fait sur base humide, il convient d'utiliser un HCLD avec convertisseur chauffé à une température supérieure à 328 K (55 °C) ; celui-ci doit alors satisfaire au contrôle du facteur d'extinction par l'eau (voir par. 9.3.9.2.2). Pour le CLD et le HCLD, le canal de prélèvement doit être maintenu à une température de paroi de 328 à 473 K (55 à 200 °C) jusqu'au convertisseur pour la mesure sur base sèche et jusqu'à l'analyseur pour la mesure sur base humide.

## 9.3.2.6.2 Analyseur non dispersif à absorption dans l'ultraviolet (NDUV)

Un analyseur non dispersif à absorption dans l'ultraviolet (NDUV) est utilisé pour mesurer les concentrations de NO<sub>x</sub>. Si l'analyseur mesure uniquement le NO, un convertisseur NO<sub>2</sub>/NO doit être placé à l'amont de l'analyseur. La température de l'analyseur doit être maintenue à un niveau tel qu'il ne puisse pas y avoir de condensation aqueuse, à moins qu'un sécheur d'échantillons ne soit placé à l'amont du convertisseur NO<sub>2</sub>/NO, si celui-ci est utilisé, ou à l'amont de l'analyseur.

## 9.3.2.7 Mesure du rapport air/carburant

L'appareillage de mesure du rapport air/carburant utilisé pour déterminer le débit de gaz d'échappement comme prescrit au paragraphe 8.4.1.6 doit utiliser un capteur de rapport air/carburant ou un capteur lambda du type à oxyde de zirconium à large plage de mesure. Le capteur doit être monté directement sur le tuyau d'échappement en un point où la température des gaz d'échappement est suffisamment élevée pour éviter toute condensation de l'eau.

La justesse du capteur, y compris son électronique intégrée, doit être conforme aux limites suivantes :

±3 % de la valeur de lecture pour  $\lambda < 2$  ;

±5 % de la valeur de lecture pour  $2 \leq \lambda < 5$  ;

±10 % de la valeur de lecture pour  $5 \leq \lambda$ .

Pour satisfaire aux prescriptions de justesse énoncées ci-dessus, il convient d'étalonner le capteur conformément aux spécifications du fabricant de l'appareillage.

## 9.3.3 Gaz

La durée limite de conservation de tous les gaz doit être respectée.

## 9.3.3.1 Gaz purs

Le degré de pureté requis pour les gaz est défini par les limites de contamination indiquées ci-dessous. Les gaz suivants doivent être disponibles pour les mesures :

## a) Pour les gaz d'échappement bruts

Azote purifié

(contamination ≤1 ppm C1, ≤1 ppm CO, ≤400 ppm CO<sub>2</sub> et ≤0,1 ppm NO)

Oxygène purifié

(pureté >99,5 % vol. O<sub>2</sub>)

Mélange hydrogène-hélium (carburant du brûleur de l'analyseur FID)

(hydrogène à 40 ± 1 % ; hélium pour le reste)

(contamination ≤1 ppm C1 et ≤400 ppm CO<sub>2</sub>)

Air synthétique purifié  
(contamination  $\leq 1$  ppm C1 et  $\leq 1$  ppm CO,  $\leq 400$  ppm CO<sub>2</sub> et  $\leq 0,1$  ppm NO)  
(teneur en oxygène de 18-21 % vol.)

- b) Pour les gaz d'échappement dilués (facultativement pour les gaz d'échappement bruts)

Azote purifié  
(contamination  $\leq 0,05$  ppm C1,  $\leq 1$  ppm CO,  $\leq 10$  ppm CO<sub>2</sub> et  $\leq 0,02$  ppm NO)

Oxygène purifié  
(pureté  $> 99,5$  % vol. O<sub>2</sub>)

Mélange hydrogène-hélium (carburant du brûleur de l'analyseur FID)  
(hydrogène à  $40 \pm 1$  % ; hélium pour le reste)  
(contamination  $\leq 0,05$  ppm C1 et  $\leq 10$  ppm CO<sub>2</sub>)

Air synthétique purifié  
(contamination  $\leq 0,05$  ppm C1,  $\leq 1$  ppm CO,  $\leq 10$  ppm CO<sub>2</sub> et  $\leq 0,02$  ppm NO)  
(teneur en oxygène de 20,5-21,5 % vol.)

Si l'on ne dispose pas de gaz en bouteilles, on peut utiliser du gaz traité dans un purificateur à condition de pouvoir prouver que les niveaux de contamination sont satisfaisants.

#### 9.3.3.2 Gaz d'étalonnage et de calibrage

Des mélanges de gaz ayant les compositions chimiques suivantes doivent être disponibles, s'il y a lieu. Des combinaisons d'autres gaz sont admises à condition qu'ils ne réagissent pas entre eux. La date limite d'utilisation déclarée par le fabricant doit être enregistrée.

C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> et air synthétique purifié (voir par. 9.3.3.1) ;

CO et azote purifié ;

NO et azote purifié ;

NO<sub>2</sub> et air synthétique purifié ;

CO<sub>2</sub> et azote purifié ;

CH<sub>4</sub> et air synthétique purifié ;

C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> et air synthétique purifié.

La concentration réelle d'un gaz d'étalonnage et d'un gaz de calibrage doit être conforme à  $\pm 1$  % près à la valeur nominale et correspondre à des normes nationales ou internationales. Toutes les concentrations de gaz d'étalonnage doivent être spécifiées en volume ( % vol. ou ppm vol.).

#### 9.3.3.3 Mélangeurs-doseurs de gaz

Les gaz utilisés pour l'étalonnage et le calibrage peuvent aussi être obtenus au moyen de mélangeurs-doseurs de précision, par dilution avec du N<sub>2</sub> purifié ou de l'air synthétique purifié. La justesse du mélangeur-doseur doit être telle que la concentration des gaz d'étalonnage produits par mélange soit juste à  $\pm 2$  % près. Cette condition implique que les gaz primaires utilisés pour produire le mélange soient d'une concentration connue à  $\pm 1$  % près, et certifiés conformes à des normes nationales ou internationales pour les gaz. La vérification doit être effectuée à une valeur comprise entre 15 % et 50 % de l'échelle pour chaque opération d'étalonnage incluant un mélangeur-doseur. Une vérification supplémentaire peut être exécutée avec un autre gaz d'étalonnage, en cas d'échec de la première.

À titre de variante, le mélangeur peut être contrôlé avec un appareil qui est par nature linéaire (exemple : lecture d'un gaz NO avec un DLC). La valeur d'échelle de l'instrument doit être ajustée lorsque le gaz d'étalonnage est directement introduit dans celui-ci. Les mélangeurs-doseurs de gaz doivent être contrôlés aux valeurs de réglage utilisées et la valeur nominale doit être comparée à la concentration mesurée par l'instrument. Sur chaque point, l'écart doit être au maximum de  $\pm 1$  % de la valeur nominale.

Aux fins de la vérification de la linéarité, conformément au paragraphe 9.2.1, le mélangeur-doseur de gaz doit être juste à  $\pm 1$  % près.

#### 9.3.3.4 Gaz de contrôle de l'interaction avec l'oxygène

Le contrôle de l'interaction avec l'oxygène s'effectue avec des gaz qui sont un mélange de propane, d'oxygène et d'azote. Ces gaz doivent contenir du propane titrant  $350 \text{ ppm C} \pm 75 \text{ ppm C}$  d'hydrocarbures. La valeur de concentration doit être déterminée aux tolérances s'appliquant aux gaz d'étalonnage par analyse chromatographique des hydrocarbures totaux plus les impuretés, ou par mélange dynamique. Les concentrations d'oxygène nécessaires pour les essais de moteurs à allumage commandé et à allumage par compression sont indiquées au tableau 8, la fraction restante des gaz étant constituée d'azote purifié.

Tableau 8

#### Gaz de contrôle de l'interaction avec l'oxygène

Type de moteur	Concentration de O <sub>2</sub> (%)
Allumage par compression	21 (20 à 22)
Allumage par compression et allumage commandé	10 (9 à 11)
Allumage par compression et allumage commandé	5 (4 à 6)
Allumage commandé	0 (0 à 1)

#### 9.3.4 Essai d'étanchéité

Il convient d'effectuer un essai d'étanchéité. À cette fin, la sonde doit être déconnectée du système d'échappement et son extrémité doit être bouchée. La pompe de l'analyseur doit être mise en marche. Après une période initiale de stabilisation, tous les débitmètres doivent afficher approximativement zéro en l'absence de fuite. Dans le cas contraire, les tuyaux de prélèvement doivent être contrôlés et le défaut corrigé.

Le taux maximal admissible de fuites côté dépression doit être de 0,5 % du débit en utilisation réelle pour la portion du système contrôlée. Les débits de l'analyseur et les débits de dérivation peuvent servir de base pour l'estimation des débits en utilisation réelle.

À titre de variante, on soumet le circuit à une dépression d'au moins 20 kPa (80 kPa en pression absolue). Après une période initiale de stabilisation, la remontée de pression  $\Delta p$  (kPa/min) dans le système ne doit pas dépasser :

$$\Delta p = p / V_s \times 0.005 \times q_{vs} \quad (71)$$

où :

$V_s$  est le volume dans le système, en l ;

$q_{vs}$  est le débit du système, en l/min.

Une autre méthode consiste à appliquer un signal en échelon de variation de la concentration à l'entrée du tuyau de prélèvement par passage du gaz de zéro au gaz de calibrage. Si pour un analyseur correctement étalonné, après un délai suffisant, la lecture est  $\leq 99$  % de la concentration appliquée, cela indique un problème de fuite qui doit être corrigé.

### 9.3.5 Contrôle du temps de réponse du système d'analyse

Les réglages du système pour l'évaluation du temps de réponse doivent être exactement les mêmes que pour les mesures en essai réel (pression, débit, réglage des filtres sur les analyseurs et tous autres facteurs influant sur le temps de réponse). La détermination du temps de réponse doit s'effectuer avec un changement de gaz appliqué directement à l'entrée de la sonde de prélèvement. Le changement de gaz doit s'effectuer en moins de 0,1 s. Les gaz utilisés pour l'essai doivent causer une variation de la concentration d'au moins 60 % de l'échelle.

La concentration de chaque constituant des gaz d'échappement doit être enregistrée. Le temps de réponse est défini comme l'écart dans le temps entre le changement de gaz et la variation correspondante de la concentration enregistrée. Le temps de réponse du système ( $t_{90}$ ) est la somme du temps de retard au détecteur de mesure et du temps de montée du détecteur. Le temps de retard est défini comme le temps écoulé entre l'instant de la variation ( $t_0$ ) et celui où la réponse est égale à 10 % de la valeur finale affichée ( $t_{10}$ ). Le temps de montée est défini comme le temps écoulé entre l'instant où la réponse correspond à 10 % et celui où elle correspond à 90 % de la valeur finale affichée ( $t_{90} - t_{10}$ ).

Pour la synchronisation des signaux de l'analyseur et du débit de gaz d'échappement, le temps de transformation est défini comme le temps écoulé entre l'instant de la variation ( $t_0$ ) et celui où la réponse correspond à 50 % de la valeur finale affichée ( $t_{50}$ ).

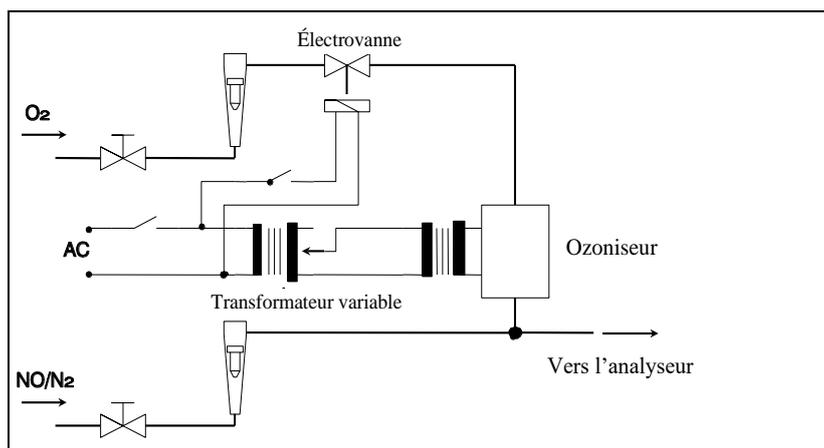
Le temps de réponse du système doit être  $\leq 10$  s et le temps de montée  $\leq 2,5$  s conformément aux dispositions du paragraphe 9.3.1.7 pour tous les constituants réglementés (CO, NO<sub>x</sub>, HC ou HCNM) et toutes les gammes utilisées. Lors de l'utilisation d'un NMC pour la mesure des HCNM, le temps de réponse du système peut dépasser 10 s.

### 9.3.6 Essai d'efficacité du convertisseur de NO<sub>x</sub>

L'efficacité du convertisseur utilisé pour convertir les NO<sub>2</sub> en NO doit être vérifiée comme indiqué aux paragraphes 9.3.6.1 à 9.3.6.8 (voir fig. 8).

Figure 8

#### Schéma du système de contrôle de l'efficacité du convertisseur de NO<sub>2</sub>



#### 9.3.6.1 Installation d'essai

L'efficacité du convertisseur doit être vérifiée au moyen d'un ozoniseur installé selon le schéma indiqué à la figure 8 et conformément à la procédure ci-dessous.

## 9.3.6.2 Étalonnage

Les analyseurs CLD et HCLD doivent être étalonnés sur la gamme la plus courante conformément aux instructions du fabricant, au moyen d'un gaz de zéro et d'un gaz de calibrage (la teneur en NO doit correspondre à 80 % approximativement de la valeur maximale de la gamme utilisée et la teneur en NO<sub>2</sub> du mélange de gaz doit être inférieure à 5 % de la teneur en NO). L'analyseur de NO<sub>x</sub> doit être réglé sur le mode NO de manière que le gaz de calibrage ne traverse pas le convertisseur. La concentration indiquée doit être enregistrée.

## 9.3.6.3 Calcul

L'efficacité en pourcentage du convertisseur est calculée comme suit :

$$E_{\text{NO}_x} = \left( 1 + \frac{a - b}{c - d} \right) \times 100 \quad (72)$$

où :

*a* est la concentration de NO<sub>x</sub> conformément au paragraphe 9.3.6.6 ;

*b* est la concentration de NO<sub>x</sub> conformément au paragraphe 9.3.6.7 ;

*c* est la concentration de NO conformément au paragraphe 9.3.6.4 ;

*d* est la concentration de NO conformément au paragraphe 9.3.6.5.

## 9.3.6.4 Addition d'oxygène

De l'oxygène ou de l'air synthétique est ajouté en continu au flux de gaz par un raccord en T jusqu'à ce que la concentration indiquée soit inférieure de 20 % environ à la concentration d'étalonnage spécifiée au paragraphe 9.3.6.2 (l'analyseur est réglé sur le mode NO).

La concentration indiquée (*c*) doit être enregistrée. L'ozoniseur est maintenu hors fonction pendant toute cette opération.

## 9.3.6.5 Mise en fonction de l'ozoniseur

L'ozoniseur est mis en fonction de manière à produire suffisamment d'ozone pour faire tomber la concentration de NO à environ 20 % (la valeur minimale étant 10 %) de la concentration d'étalonnage spécifiée au paragraphe 9.3.6.2. La concentration indiquée (*d*) doit être enregistrée (l'analyseur est sur le mode NO).

9.3.6.6 Mode NO<sub>x</sub>

L'analyseur est commuté sur le mode NO<sub>x</sub>, de telle manière que le mélange de gaz (constitué de NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> et N<sub>2</sub>) traverse le convertisseur. La concentration indiquée (*a*) doit être enregistrée (l'analyseur est sur le mode NO<sub>x</sub>).

## 9.3.6.7 Mise hors fonction de l'ozoniseur

L'ozoniseur est mis hors fonction. Le mélange de gaz mentionné au paragraphe 9.3.6.6 traverse le convertisseur et parvient au détecteur. La concentration indiquée (*b*) doit être enregistrée (l'analyseur est sur le mode NO<sub>x</sub>).

## 9.3.6.8 Mode NO

L'analyseur est commuté sur le mode NO, l'ozoniseur étant hors fonction ; le débit d'oxygène ou d'air synthétique est aussi coupé. La valeur de NO<sub>x</sub> indiquée par l'analyseur ne doit pas s'écarter de plus de ±5 % de la valeur mesurée conformément au paragraphe 9.3.6.2 (l'analyseur est réglé sur le mode NO).

- 9.3.6.9 Périodicité des vérifications  
L'efficacité du convertisseur doit être vérifiée au moins une fois par mois.
- 9.3.6.10 Efficacité minimale prescrite  
L'efficacité du convertisseur  $E_{NOx}$  ne doit pas être inférieure à 95 %.  
Si, lorsque l'analyseur est réglé sur la gamme la plus courante, l'ozoniseur ne permet pas d'obtenir une réduction de 80 % à 20 % de la concentration comme prescrit au paragraphe 9.3.6.5, on doit utiliser la gamme la plus élevée qui permette d'obtenir cette réduction.
- 9.3.7 Réglage de l'analyseur FID
- 9.3.7.1 Optimisation de la réponse du détecteur  
L'analyseur FID doit être réglé conformément aux spécifications du fabricant de l'instrument. Un gaz de calibrage constitué par un mélange air/propane doit être utilisé pour optimiser la réponse sur la gamme d'utilisation la plus courante.  
Les débits de carburant et d'air étant réglés selon les recommandations du fabricant, on introduit un gaz de calibrage de  $350 \pm 75$  ppm C dans l'analyseur. La réponse à un débit de carburant donné doit être déterminée d'après la différence entre la réponse au gaz de calibrage et la réponse au gaz de zéro. Le débit de carburant doit être augmenté ou réduit par paliers par rapport à la valeur prescrite par le fabricant. La réponse au calibrage et à la mise à zéro de l'appareil à ces débits de carburant doit être enregistrée. La courbe de l'écart entre la réponse à ces deux valeurs doit être tracée et le débit de carburant doit être réglé côté riche de la courbe. Ce réglage correspond au réglage initial de débit qui pourra devoir être optimisé encore en fonction des résultats des facteurs de réponse aux hydrocarbures et des contrôles de l'interaction avec l'oxygène conformément aux paragraphes 9.3.7.2 et 9.3.7.3. Si les effets d'interaction avec l'oxygène ou les facteurs de réponse aux hydrocarbures ne remplissent pas les conditions énoncées ci-après, le débit d'air doit être augmenté ou réduit par paliers par rapport à la valeur prescrite par le fabricant, et les opérations des paragraphes 9.3.7.2 et 9.3.7.3 doivent être répétées pour chaque valeur du débit.  
À titre de variante, l'opération d'optimisation peut être effectuée selon les procédures décrites dans le document SAE n° 770141.
- 9.3.7.2 Facteurs de réponse aux hydrocarbures  
On effectue une vérification de la linéarité de l'analyseur avec un mélange propane/air et de l'air synthétique purifié conformément au paragraphe 9.2.1.3.  
Les facteurs de réponse doivent être déterminés lors de la mise en service d'un analyseur et lors des principales opérations d'entretien. Le facteur de réponse  $r_h$  pour un type particulier d'hydrocarbure est le rapport de la valeur C1 indiquée par l'analyseur FID à la concentration de gaz étalon dans la bouteille exprimée en ppm C1.  
La concentration du gaz d'essai doit être suffisamment élevée pour donner une réponse correspondant à environ 80 % de l'échelle. Cette concentration doit être connue avec une justesse de  $\pm 2$  % par rapport à un étalon gravimétrique exprimé en volume. En outre, la bouteille de gaz doit être préconditionnée pendant 24 h à une température de  $298 \pm 5$  K ( $25 \pm 5$  °C).  
Les gaz d'essai à utiliser et les plages de facteurs de réponse correspondantes sont les suivants :
- Méthane et air synthétique purifié  $1,00 \leq r_h \leq 1,15$  ;
  - Propylène et air synthétique purifié  $0,90 \leq r_h \leq 1,1$  ;

- c) Toluène et air synthétique purifié  $0,90 \leq r_h \leq 1,1$ .

Ces valeurs se rapportent à un facteur de réponse  $r_h$  de 1 pour le propane et l'air synthétique purifié.

### 9.3.7.3 Contrôle de l'interaction avec l'oxygène

Pour les analyseurs utilisés aux fins de l'analyse des gaz d'échappement bruts seulement, le contrôle de l'interaction avec l'oxygène doit être effectué lors de la mise en service de l'analyseur et lors des opérations principales d'entretien.

Il convient de choisir une gamme de mesure sur laquelle les valeurs des gaz de contrôle de l'interaction avec l'oxygène se situent dans la moitié supérieure. L'essai doit être exécuté en réglant la température de l'enceinte chauffée comme prescrit. Les caractéristiques des gaz de contrôle de l'interaction avec l'oxygène sont définies au paragraphe 9.3.3.4.

- L'analyseur doit être mis à zéro ;
- Il doit être calibré avec le mélange à 0 % d'oxygène pour les moteurs à allumage commandé, et avec le mélange à 21 % d'oxygène pour les moteurs à allumage par compression ;
- La réponse au point zéro doit être de nouveau contrôlée. Si elle a varié de plus de 0,5 % de l'échelle, les étapes a) et b) du présent paragraphe doivent être répétées ;
- Les gaz de contrôle de l'interaction avec l'oxygène à 5 et à 10 % doivent être appliqués ;
- La réponse au point zéro doit être de nouveau contrôlée. Si elle a varié de plus de  $\pm 1$  % de l'échelle, l'essai doit être répété ;
- L'effet de l'interaction avec l'oxygène,  $E_{O_2}$ , doit être calculé pour chaque mélange utilisé à l'étape d) comme suit :

$$E_{O_2} = (c_{\text{ref,d}} - c) \times 100 / c_{\text{ref,d}} \quad (73)$$

la réponse de l'analyseur étant :

$$c = \frac{c_{\text{ref,b}} \times c_{\text{FS,b}}}{c_{\text{m,b}}} \times \frac{c_{\text{m,d}}}{c_{\text{FS,d}}} \quad (74)$$

où :

$c_{\text{ref,b}}$  est la concentration de HC de référence à l'étape b), en ppm C ;

$c_{\text{ref,d}}$  est la concentration de HC de référence à l'étape d), en ppm C ;

$c_{\text{FS,b}}$  est la concentration de HC d'échelle à l'étape b), en ppm C ;

$c_{\text{FS,d}}$  est la concentration de HC d'échelle à l'étape d), en ppm C ;

$c_{\text{m,b}}$  est la concentration de HC mesurée à l'étape b), en ppm C ;

$c_{\text{m,d}}$  est la concentration de HC mesurée à l'étape d), en ppm C.

- L'effet de l'interaction avec l'oxygène ( $E_{O_2}$ ) doit être inférieur à  $\pm 1,5$  % pour tous les gaz de contrôle prescrits, le contrôle étant effectué avant l'essai ;
- Si l'effet de l'interaction avec l'oxygène ( $E_{O_2}$ ) est supérieur à  $\pm 1,5$  %, on peut le corriger en augmentant ou en réduisant par paliers le débit d'air par rapport aux spécifications du fabricant, ainsi que le débit de carburant et le débit de prélèvement ;
- Le contrôle de l'interaction avec l'oxygène doit être répété à chaque nouveau réglage.

### 9.3.8 Efficacité du convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques

Le convertisseur est utilisé pour éliminer les hydrocarbures non méthaniques du gaz prélevé en oxydant tous les hydrocarbures sauf le méthane. Dans l'idéal, l'efficacité de la conversion est de 0 % pour le méthane et de 100 % pour les autres hydrocarbures, représentés par l'éthane. Pour la mesure précise des HCNM, les deux efficacités doivent être déterminées et servir de base au calcul du débit-masse d'émissions de HCNM (voir par. 8.6.2).

#### 9.3.8.1 Efficacité pour le méthane

On fait passer le gaz d'étalonnage méthane dans l'analyseur FID, respectivement avec et sans contournement du convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques, et on enregistre les deux concentrations mesurées. L'efficacité se calcule comme suit :

$$E_M = 1 - \frac{c_{HC(w/NMC)}}{c_{HC(w/o NMC)}} \quad (75)$$

où :

$c_{HC(w/NMC)}$  est la concentration de HC lorsque le  $CH_4$  passe par le convertisseur, en ppm C ;

$c_{HC(w/o NMC)}$  est la concentration de HC lorsque le  $CH_4$  contourne le convertisseur, en ppm C.

#### 9.3.8.2 Efficacité pour l'éthane

On fait passer le gaz d'étalonnage éthane dans l'analyseur FID, respectivement avec et sans contournement du convertisseur, et on enregistre les deux concentrations. L'efficacité doit être déterminée comme suit :

$$E_E = 1 - \frac{c_{HC(w/NMC)}}{c_{HC(w/o NMC)}} \quad (76)$$

où :

$c_{HC(w/NMC)}$  est la concentration de HC lorsque  $C_2H_6$  passe par le convertisseur, en ppm C ;

$c_{HC(w/o NMC)}$  est la concentration de HC lorsque  $C_2H_6$  contourne le convertisseur, en ppm C.

### 9.3.9 Effets d'interaction

Des gaz autres que le gaz analysé présents dans les gaz d'échappement peuvent interférer de plusieurs manières avec les valeurs indiquées. Il y a interaction positive dans les analyseurs NDIR lorsque le gaz parasite cause le même effet que le gaz mesuré mais à un degré moindre. Il y a interaction négative dans les analyseurs NDIR lorsque le gaz parasite élargit la bande d'absorption du gaz mesuré, et dans les analyseurs CLD lorsque ce gaz cause l'extinction de la réaction. Les contrôles d'interaction prescrits aux paragraphes 9.3.9.1 et 9.3.9.3 doivent être exécutés avant la mise en service d'un analyseur et après les principales opérations d'entretien.

#### 9.3.9.1 Contrôle d'interaction pour l'analyseur de CO

L'eau et le  $CO_2$  peuvent interférer avec les résultats donnés par l'analyseur de CO. C'est pourquoi il convient d'effectuer un contrôle avec un gaz de calibrage  $CO_2$  ayant une concentration de 80 à 100 % de l'échelle de la gamme la plus élevée utilisée pendant les essais, qui est envoyé dans l'analyseur après barbotage dans un bain d'eau à température ambiante ; la réponse de l'analyseur est alors enregistrée. Elle ne doit pas dépasser 2 % de la concentration moyenne de CO escomptée lors de l'essai.

Les procédures de contrôle de l'interaction pour CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O peuvent aussi être menées séparément. Si les niveaux de CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O utilisés sont supérieurs aux niveaux maximaux escomptés pendant l'essai, chaque valeur d'interaction observée doit être réduite en multipliant l'interaction observée par le quotient de la valeur de concentration escomptée maximale par la valeur réelle utilisée pendant cette procédure. Des procédures d'interaction séparées à des concentrations de H<sub>2</sub>O qui sont inférieures aux niveaux maximaux escomptés pendant l'essai peuvent être appliquées, mais la valeur d'interaction avec H<sub>2</sub>O observée doit être corrigée vers le haut en multipliant l'interaction observée par le quotient de la valeur de la concentration de H<sub>2</sub>O maximale escomptée par la valeur réelle utilisée pendant cette procédure. La somme de ces deux valeurs d'interaction ainsi corrigées doit satisfaire aux limites de tolérance indiquées dans le présent paragraphe.

#### 9.3.9.2 Contrôle des effets d'extinction pour les analyseurs de NO<sub>x</sub> en ce qui concerne les analyseurs CLD

Les deux gaz à considérer pour les analyseurs CLD (et HCLD) sont le CO<sub>2</sub> et la vapeur d'eau. Ils causent des effets d'extinction proportionnels à leur concentration, ce qui nécessite des méthodes d'essai permettant de déterminer l'extinction aux plus fortes concentrations rencontrées lors de l'essai. Si l'analyseur CLD utilise des algorithmes de compensation des effets d'extinction qui font appel à des instruments de mesure de H<sub>2</sub>O et/ou CO<sub>2</sub>, l'effet d'extinction doit être évalué avec ces instruments en fonctionnement et en appliquant les algorithmes de compensation.

##### 9.3.9.2.1 Contrôle de l'effet d'extinction par le CO<sub>2</sub>

Un gaz de calibrage CO<sub>2</sub> ayant une concentration de 80 % à 100 % de l'échelle de la gamme la plus élevée utilisée doit être envoyé dans l'analyseur NDIR et la valeur de CO<sub>2</sub> enregistrée en tant que valeur A. Il doit ensuite être dilué à 50 % environ avec le gaz de calibrage NO et envoyé dans l'analyseur NDIR et l'analyseur CLD, les valeurs de CO<sub>2</sub> et de NO étant enregistrées en tant que valeurs B et C respectivement. L'arrivée de CO<sub>2</sub> doit alors être coupée et seul le gaz de calibrage NO doit passer par l'analyseur (H)CLD. La valeur mesurée de NO est enregistrée en tant que valeur D.

Le coefficient d'extinction (en %) doit être calculé comme suit :

$$E_{\text{CO}_2} = \left[ 1 - \left( \frac{C \times A}{(D \times A) - (D \times B)} \right) \right] \times 100 \quad (77)$$

où :

- A est la concentration de gaz CO<sub>2</sub> non dilué mesurée avec l'analyseur NDIR, en % ;
- B est la concentration de gaz CO<sub>2</sub> dilué mesurée avec l'analyseur NDIR, en % ;
- C est la concentration de gaz NO dilué mesurée avec l'analyseur (H)CLD, en ppm ;
- D est la concentration de gaz NO dilué mesurée avec l'analyseur (H)CLD, en ppm.

D'autres méthodes de dilution et de quantification des valeurs des gaz de calibrage CO<sub>2</sub> et NO, telles que le mélange/dosage dynamique, peuvent être utilisées avec l'accord de l'autorité d'homologation de type.

##### 9.3.9.2.2 Contrôle de l'effet d'extinction par l'eau

Ce contrôle s'applique seulement aux mesures de la concentration des gaz en conditions humides. Le calcul de l'effet d'extinction par l'eau doit tenir compte

de la dilution du gaz de calibrage NO par la vapeur d'eau et de l'adaptation de la concentration de vapeur d'eau du mélange à la valeur prévue lors de l'essai.

Un gaz de calibrage NO ayant une concentration de 80 % à 100 % de l'échelle de la gamme normalement utilisée doit être envoyé dans l'analyseur (H)CLD et la valeur NO doit être enregistrée en tant que valeur *D*. Le gaz de calibrage NO, après barbotage dans un bain d'eau à température ambiante, est envoyé dans l'analyseur (H)CLD et la valeur de NO est enregistrée en tant que valeur *C*. La température de l'eau doit être déterminée et enregistrée en tant que valeur *F*. La pression de vapeur saturante du mélange qui correspond à la température de l'eau du barboteur (*F*) doit être déterminée et enregistrée en tant que valeur *G*.

La concentration de vapeur d'eau (*H*, en %) du mélange doit être calculée comme suit :

$$H = 100 \times (G/p_b) \quad (78)$$

La concentration escomptée du gaz de calibrage NO dilué (dans la vapeur d'eau) (*D<sub>e</sub>*) doit être calculée comme suit :

$$D_e = D \times (1 - H/100) \quad (79)$$

La concentration maximale de vapeur d'eau dans les gaz d'échappement (*H<sub>m</sub>*, en %) escomptée lors de l'essai doit être évaluée à partir de la concentration maximale de CO<sub>2</sub> dans les gaz d'échappement *A*, comme suit :

$$H_m = \alpha/2 \times A \quad (80)$$

Le coefficient d'extinction par l'eau (en %) doit être calculé comme suit :

$$E_{H_2O} = 100 \times ((D_e - C)/D_e) \times (H_m/H) \quad (81)$$

où :

*D<sub>e</sub>* est la concentration escomptée de gaz NO dilué, en ppm ;

*C* est la concentration mesurée de gaz NO dilué, en ppm ;

*H<sub>m</sub>* est la concentration maximale de vapeur d'eau, en % ;

*H* est la concentration réelle de vapeur d'eau, en %.

#### 9.3.9.2.3 Coefficient d'extinction maximal admis

Le coefficient combiné pour le CO<sub>2</sub> et pour l'eau ne doit pas être supérieur à 2 % de l'échelle intégrale.

#### 9.3.9.3 Contrôle des effets d'extinction pour les analyseurs de NO<sub>x</sub> en ce qui concerne les analyseurs non dispersifs à absorption dans l'ultraviolet (NDUV)

Les hydrocarbures et le H<sub>2</sub>O peuvent interagir positivement avec un analyseur NDUV en causant une réaction similaire à celle des NO<sub>x</sub>. Si l'analyseur NDUV utilise des algorithmes de compensation qui font appel à des mesures d'autres gaz pour satisfaire à cette vérification d'interaction, de telles mesures doivent être effectuées simultanément pour contrôler les algorithmes lors de la vérification de l'interaction.

##### 9.3.9.3.1 Procédure

L'analyseur NDUV doit être mis en marche, utilisé, remis à zéro et étalonné conformément aux instructions du fabricant de l'appareil. Il est recommandé de prélever des gaz d'échappement du moteur pour procéder à cette vérification. Un analyseur CLD doit être utilisé pour déterminer les NO<sub>x</sub> dans les gaz d'échappement. La réponse de l'analyseur CLD est utilisée comme valeur de référence. Les HC présents dans les gaz d'échappement sont également mesurés au moyen d'un analyseur FID. La réponse de l'analyseur FID est utilisée comme valeur de référence pour les hydrocarbures.

En amont du sécheur d'échantillon, si un tel dispositif est utilisé pendant l'essai, les émissions d'échappement du moteur sont introduites dans l'analyseur NDUV. Il faut attendre que la réponse de l'analyseur se stabilise. Le temps nécessaire à la stabilisation peut inclure le temps nécessaire pour purger la conduite de transfert et le temps de réponse de l'analyseur. Pendant que tous les analyseurs mesurent la concentration du prélèvement, 30 s de données recueillies doivent être enregistrées et les moyennes arithmétiques calculées pour les trois analyseurs.

La valeur moyenne donnée par l'analyseur CLD doit être soustraite de la valeur moyenne donnée par l'analyseur NDUV. La différence doit être multipliée par le quotient de la concentration moyenne de HC escomptée par la concentration de HC mesurée pendant la vérification, au moyen de la formule suivante :

$$E_{\text{HC/H}_2\text{O}} = (c_{\text{NO}_x,\text{CLD}} - c_{\text{NO}_x,\text{NDUV}}) \times \left( \frac{c_{\text{HC},e}}{c_{\text{HC},m}} \right) \quad (82)$$

où :

$c_{\text{NO}_x,\text{CLD}}$  est la concentration de  $\text{NO}_x$  mesurée par l'analyseur CLD, en ppm ;

$c_{\text{NO}_x,\text{NDUV}}$  est la concentration de  $\text{NO}_x$  mesurée par l'analyseur NDUV, en ppm ;

$c_{\text{HC},e}$  est la concentration de HC maximale escomptée, en ppm ;

$c_{\text{HC},m}$  est la concentration de HC mesurée, en ppm.

#### 9.3.9.3.2 Coefficient d'extinction maximal admis

L'effet d'extinction combiné par les HC et par l'eau ne doit pas dépasser 2 % de la concentration de  $\text{NO}_x$  escomptée pendant l'essai.

#### 9.3.9.4 Sécheur d'échantillon

Un sécheur doit éliminer de l'échantillon l'eau qui risquerait de fausser la mesure des  $\text{NO}_x$ .

##### 9.3.9.4.1 Efficacité du sécheur d'échantillon

Pour les analyseurs CLD par voie sèche, il doit être démontré que, pour la plus forte concentration de vapeur d'eau  $H_m$  prévisible (voir par. 9.3.9.2.2), le sécheur d'échantillon maintient l'humidité du CLD à  $\leq 5$  g eau/kg air sec (ou environ 0,8 %  $\text{H}_2\text{O}$  en volume), ce qui correspond à 100 % d'humidité relative à 3,9 °C et 101,3 kPa, et équivaut également à 25 % environ d'humidité relative à 25 °C et 101,3 kPa. Ce contrôle peut être effectué par mesure de la température à la sortie d'un déshumidificateur thermique, ou par mesure de l'humidité en un point situé juste en amont du CLD. On peut aussi mesurer le taux d'humidité à la sortie du CLD à condition que le seul flux traversant celui-ci soit celui sortant du déshumidificateur.

##### 9.3.9.4.2 Pénétration de $\text{NO}_2$ dans le sécheur d'échantillon

L'eau qui subsiste dans le cas d'un sécheur d'échantillon mal conçu peut éliminer le  $\text{NO}_2$  de l'échantillon. Si un sécheur d'échantillon est utilisé en combinaison avec un analyseur NDUV sans qu'un convertisseur  $\text{NO}_2/\text{NO}$  soit placé en amont, il risque d'éliminer le  $\text{NO}_2$  de l'échantillon avant la mesure des  $\text{NO}_x$ .

Le sécheur d'échantillon doit permettre de mesurer au moins 95 % du  $\text{NO}_2$  total à sa concentration maximale escomptée.

#### 9.3.10 Prélèvement pour la détermination des émissions gazeuses brutes, s'il y a lieu

Les sondes de prélèvement pour la mesure des émissions gazeuses doivent être installées à au moins 0,5 m, ou trois fois le diamètre du tuyau d'échappement,

la plus grande dimension étant retenue, en amont de la sortie du système d'échappement, mais suffisamment près du moteur pour garantir une température des gaz d'échappement d'au moins 343 K (70 °C) au droit de la sonde.

Dans le cas d'un moteur multicylindres à collecteur d'échappement à plusieurs branches, l'entrée de la sonde doit être placée suffisamment loin en aval de la jonction pour permettre le prélèvement d'un échantillon représentatif des émissions d'échappement moyennes de tous les cylindres. Pour les moteurs multicylindres à plusieurs collecteurs séparés, tels que les moteurs en V, il est recommandé de réunir les flux des collecteurs en amont de la sonde de prélèvement. Si cette solution n'est pas possible pour des raisons pratiques, il est admis de prélever un échantillon sur le groupe ayant les plus fortes émissions de CO<sub>2</sub>. Pour le calcul des émissions d'échappement, le débit-masse total de gaz d'échappement du collecteur doit être pris en compte.

Si le moteur est équipé d'un système de traitement aval, l'échantillon de gaz d'échappement doit être prélevé en aval de ce dernier.

#### 9.3.11 Prélèvement pour la détermination des émissions gazeuses diluées, s'il y a lieu

Le tuyau d'échappement raccordant le moteur au système de dilution du flux total doit être conforme aux prescriptions énoncées à l'appendice 2 de la présente annexe. La ou les sondes de prélèvement des émissions gazeuses doivent être installées dans le tunnel de dilution en un point où le diluant et les gaz d'échappement sont intimement mélangés, et à proximité immédiate de la sonde de prélèvement des émissions particulières.

Le prélèvement peut se faire de deux manières principalement :

- a) Les émissions sont recueillies dans un sac de collecte sur tout le cycle et mesurées après l'essai ; pour les HC, le sac de collecte doit être chauffé à  $464 \pm 11$  K ( $191 \pm 11$  °C) ; pour les NO<sub>x</sub>, la température du sac doit être située au-dessus du point de rosée ;
- b) Les émissions sont prélevées en continu et leurs concentrations intégrées sur tout le cycle.

Les concentrations ambiantes doivent être déterminées en amont du tunnel de dilution selon a) ou b), et doivent être soustraites des concentrations d'émissions déterminées conformément au paragraphe 8.5.2.3.2.

### 9.4 Système de collecte et de mesure des particules

#### 9.4.1 Caractéristiques générales

Aux fins de la détermination de la masse des particules, le matériel nécessaire se compose d'un système de dilution et de prélèvement des particules, d'un filtre de collecte, d'une balance au microgramme et d'une chambre de pesée à température et humidité réglées. Le système de prélèvement des particules doit être conçu pour permettre de prélever un échantillon représentatif des particules, proportionnel au débit des gaz d'échappement.

#### 9.4.2 Prescriptions générales concernant le système de dilution

Pour la mesure des émissions de particules, il est nécessaire de diluer l'échantillon avec de l'air ambiant filtré ou de l'air synthétique ou de l'azote (le diluant). Le système de dilution doit satisfaire aux conditions suivantes :

- a) Éliminer complètement toute condensation d'eau dans les systèmes de dilution et de prélèvement ;
- b) Maintenir la température des gaz d'échappement dilués à une valeur comprise entre 315 et 325 K (42 et 52 °C) sur les 20 cm situés en amont ou en aval du ou des porte-filtres ;

- c) Maintenir la température du gaz diluant entre 293 et 325 K (42 et 52 °C) à proximité immédiate de l'entrée dans le tunnel de dilution ;
- d) Le taux de dilution minimal doit se situer entre 5:1 et 7:1 et ne pas être inférieur à 2:1 pour la phase de dilution primaire sur la base du débit maximal des émissions d'échappement du moteur ;
- e) Pour un système à dilution du flux partiel, le temps de séjour dans le système du point d'introduction du gaz diluant jusqu'au(x) porte-filtre(s) doit être compris entre 0,5 et 5 s ;
- f) Pour un système à dilution du flux total, le temps de séjour total dans le système du point d'introduction du gaz diluant jusqu'au(x) porte-filtre(s) doit être compris entre 1 et 5 s, et le temps de séjour dans le système de dilution secondaire, si un tel système est utilisé, du point d'introduction du gaz diluant secondaire jusqu'au(x) porte-filtre(s) doit être d'au moins 0,5 s.

Une déshumidification du gaz diluant avant que celui-ci entre dans le système de dilution est admise ; elle est particulièrement utile si l'humidité du gaz diluant est élevée.

#### 9.4.3 Prélèvement de l'échantillon de particules

##### 9.4.3.1 Système de dilution du flux partiel

En général, la sonde de prélèvement de l'échantillon de particules doit être installée à proximité de la sonde de prélèvement des émissions gazeuses, mais à une distance suffisante pour ne pas causer d'interférence. Les dispositions concernant l'installation énoncées au paragraphe 9.3.10 s'appliquent donc également au prélèvement des particules. La tuyauterie de prélèvement doit être conforme aux prescriptions énoncées à l'appendice 2.

Dans le cas d'un moteur multicylindres à collecteur d'échappement à plusieurs branches, l'entrée de la sonde doit être placée suffisamment loin en aval de la jonction pour permettre le prélèvement d'un échantillon représentatif des émissions d'échappement moyennes de tous les cylindres. Pour les moteurs multicylindres à plusieurs collecteurs séparés, tels que les moteurs en V, il est recommandé de réunir les flux des collecteurs en amont de la sonde de prélèvement. Si cette solution n'est pas possible pour des raisons pratiques, il est admis de prélever un échantillon sur le groupe ayant les plus fortes émissions de particules. Pour le calcul des émissions d'échappement, le débit-masse total de gaz d'échappement du collecteur doit être pris en compte.

##### 9.4.3.2 Système de dilution du flux total

La sonde de prélèvement de l'échantillon de particules doit être installée à proximité de la sonde de prélèvement des échantillons d'émissions gazeuses, mais à une distance suffisante de celle-ci pour qu'il n'y ait pas d'interférence dans le tunnel de dilution. Les dispositions concernant l'installation énoncées au paragraphe 9.3.11 s'appliquent donc également au prélèvement des particules. La tuyauterie de prélèvement doit être conforme aux prescriptions énoncées à l'appendice 2.

#### 9.4.4 Filtre de collecte des particules

Les gaz d'échappement dilués doivent être filtrés au moyen d'un filtre qui satisfait aux conditions énoncées aux paragraphes 9.4.4.1 à 9.4.4.3 ci-dessous, au cours de la séquence d'essai.

##### 9.4.4.1 Caractéristiques techniques du filtre

Quel que soit son type, le filtre doit avoir un coefficient de rétention des particules de DOP (di-octylphtalate) ou de PAO (polyalphaoléfine) de 0,3 µm d'au moins 99 %. Les mesures déclarées par le fabricant pour son filtre de

collecte peuvent être utilisées pour démontrer qu'il est satisfait à cette condition. Le matériau filtrant doit être :

- a) Soit de la fibre de verre revêtue de PTFE ;
- b) Soit une membrane de PTFE.

#### 9.4.4.2 Dimensions du filtre

Le filtre doit être circulaire ; son diamètre nominal doit être de 47 mm (tolérance  $46,50 \pm 0,6$  mm) et son diamètre exposé (diamètre efficace) de 38 mm au minimum.

#### 9.4.4.3 Vitesse d'entrée dans le filtre

La vitesse d'entrée dans le filtre doit être comprise entre 0,90 et 1,00 m/s, la proportion des valeurs de débit situées à l'extérieur de cette plage devant être inférieure à 5 %. Si la masse totale des matières particulaires présentes sur le filtre est supérieure à 400 µg, la vitesse d'entrée dans le filtre peut être abaissée à 0,50 m/s. La vitesse d'entrée est calculée en divisant le débit volumique du prélèvement à la pression amont du filtre et à la température de surface du filtre par la superficie exposée du filtre.

#### 9.4.5 Caractéristiques de la chambre de pesée et de la balance

L'atmosphère de la chambre doit être exempte de tout contaminant ambiant (tel que poussière, aérosol ou matériau semi-volatile) susceptible de contaminer les filtres à particules. La chambre de pesée doit satisfaire aux conditions prescrites au minimum pendant les 60 min précédant la pesée des filtres.

##### 9.4.5.1 Conditions dans la chambre de pesée

La température de la chambre où les filtres à particules sont conditionnés et pesés doit être maintenue constante à  $295 \pm 1$  K ( $22 \pm 1$  °C) pendant toutes les opérations de conditionnement et de pesée. L'humidité doit être maintenue au point de rosée à  $282,5 \pm 1$  K ( $9,5 \pm 1$  °C).

Si l'environnement de stabilisation et l'environnement de pesée sont séparés, la température de l'environnement de stabilisation doit être maintenue à  $295 \pm 3$  K ( $22 \pm 3$  °C), mais la prescription relative au point de rosée reste à  $282,5 \pm 1$  K ( $9,5 \pm 1$  °C).

L'humidité et la température ambiante doivent être enregistrées.

##### 9.4.5.2 Pesée des filtres de référence

Deux filtres de référence non utilisés au moins doivent être pesés, de préférence en même temps que les filtres de collecte, mais en tout cas dans un délai maximum de 12 h. Ils doivent être du même matériau que les filtres de collecte. Les résultats des pesées doivent être corrigés des effets de la flottabilité.

Si le poids de l'un quelconque des filtres de référence change de plus de 10 µg entre les pesées des filtres de collecte, tous les filtres de collecte doivent être rejetés et l'essai de mesure des émissions répété.

Les filtres de référence doivent être remplacés périodiquement, conformément aux règles d'usage, et au moins une fois par an.

##### 9.4.5.3 Balance de laboratoire

La balance utilisée pour déterminer le poids de tous les filtres doit satisfaire aux critères de vérification de la linéarité formulés au tableau 7 du paragraphe 9.2. Cela implique une précision (écart type) d'au moins 2 µg et une résolution d'au moins 1 µg (1 chiffre = 1 µg).

Pour s'assurer de la justesse de la pesée des filtres, il est recommandé de prendre les mesures suivantes :

- a) Installer la balance sur un socle isolé des bruits extérieurs et vibrations ;

- b) Protéger la balance contre les courants d'air convectifs au moyen d'un pare-vent antistatique mis à la terre.

#### 9.4.5.4 Élimination des effets de l'électricité statique

Le filtre doit être neutralisé électrostatiquement avant la pesée, par exemple avec un éliminateur au polonium ou par un autre procédé de même efficacité. Si un filtre muni d'une membrane de PTFE est utilisé, le potentiel statique doit être mesuré ; il est recommandé qu'il soit neutre à  $\pm 2,0$  V près.

À proximité de la balance, les charges d'électricité statique doivent être réduites au minimum, notamment par les mesures suivantes :

- a) La balance doit être mise à la terre électriquement ;
- b) Des pincettes en acier inoxydable doivent être utilisées lorsque les prélèvements de matières particulaires sont manipulés à la main ;
- c) Les pincettes doivent être mises à la terre au moyen d'une sangle, ou l'opérateur doit porter un bracelet de mise à la terre commune avec la balance. Les bracelets de mise à la terre doivent être munis d'une résistance appropriée pour protéger les opérateurs contre les chocs électriques accidentels.

#### 9.4.5.5 Autres prescriptions

Tous les éléments du système de dilution et du système de prélèvement compris entre le tuyau d'échappement et le porte-filtre qui entrent en contact avec les gaz d'échappement bruts et dilués doivent être conçus pour réduire au minimum le dépôt ou l'altération des matières particulaires. Ils doivent être réalisés dans des matériaux électriquement conducteurs qui ne réagissent pas avec les constituants des gaz d'échappement, et ils doivent être mis à la terre électriquement pour prévenir les effets électrostatiques.

#### 9.4.5.6 Étalonnage de l'appareillage de mesure du débit

Chaque débitmètre utilisé dans le cadre d'un prélèvement de particules et dans un système de dilution du flux partiel doit faire l'objet d'une vérification de la linéarité, telle que décrite au paragraphe 9.2.1, aussi fréquemment qu'il est nécessaire pour satisfaire aux prescriptions de justesse énoncées dans le présent Règlement. Pour les valeurs de référence du débit, on doit utiliser un débitmètre précis, certifié conforme aux normes internationales et/ou nationales. Pour l'étalonnage de l'appareil de mesure de la différence de débit, voir le paragraphe 9.4.6.2.

#### 9.4.6 Conditions spéciales relatives au système de dilution du flux partiel

Le système de dilution du flux partiel doit être conçu pour le prélèvement d'un échantillon proportionnel de gaz d'échappement bruts dans le flux des gaz d'échappement du moteur, ce prélèvement devant donc suivre les variations du débit des gaz d'échappement. À cette fin, il est indispensable que le taux de dilution ou le taux de prélèvement  $r_d$  ou  $r_s$  soit déterminé de telle manière que les conditions de justesse du paragraphe 9.4.6.2 soient remplies.

##### 9.4.6.1 Temps de réponse du système

Pour le réglage d'un système de dilution du flux partiel, une réponse rapide du système est nécessaire. Le temps de transformation du système doit être déterminé conformément à la procédure du paragraphe 9.4.6.6. Si le temps de transformation combiné de la mesure du débit de gaz d'échappement (voir par. 8.4.1.2) et du système de dilution du flux partiel est  $\leq 0,3$  s, un réglage en ligne doit être appliqué. Si le temps de transformation est supérieur à 0,3 s, une commande par réglage prédictif basé sur un essai préenregistré doit être utilisée. Dans ce cas, le temps de montée combiné doit être  $\leq 1$  s et le temps de retard combiné  $\leq 10$  s.

La réponse totale du système doit être conçue pour permettre l'obtention d'un échantillon représentatif des particules,  $q_{mp,i}$ , proportionnel au débit-masse des gaz d'échappement. Pour déterminer la proportionnalité, une analyse de régression de  $q_{mp,i}$  par rapport à  $q_{mew,i}$  doit être effectuée à une fréquence d'acquisition des données d'au moins 5 Hz, et les critères suivants doivent être remplis :

- Le coefficient de détermination  $r^2$  de la régression linéaire entre  $q_{mp,i}$  et  $q_{mew,i}$  ne doit pas être inférieur à 0,95 ;
- L'erreur type d'estimation de  $q_{mp,i}$  par rapport à  $q_{mew,i}$  ne doit pas dépasser 5 % de  $q_{mp}$  au maximum ;
- L'ordonnée à l'origine  $q_{mp}$  de la droite de régression ne doit pas être inférieure à  $\pm 2$  % de  $q_{mp}$  au maximum.

Une commande par réglage prédictif est nécessaire si les temps de transformation combinés du système de mesure des particules,  $t_{50,P}$  et du signal de débit-masse de gaz d'échappement,  $t_{50,F}$  sont  $>0,3$  s. Dans ce cas, un essai préalable doit être effectué et le signal de débit-masse de gaz d'échappement obtenu lors de l'essai préalable doit être utilisé pour régler le débit de prélèvement dans le système de mesure des particules. On considère qu'un réglage correct du système de dilution partielle a été obtenu si la trace temporelle de  $q_{mew,pre}$  de l'essai préalable, qui contrôle  $q_{mp}$ , est corrigée d'un décalage prédictif de  $t_{50,P} + t_{50,F}$ .

Pour contrôler la corrélation entre  $q_{mp,i}$  et  $q_{mew,i}$ , on utilise les données collectées au cours de l'essai réel, en synchronisant  $q_{mew,i}$  de  $t_{50,F}$  par rapport à  $q_{mp,i}$  (la synchronisation ne fait pas intervenir  $t_{50,P}$ ). Ainsi, le décalage temporaire entre  $q_{mew}$  et  $q_{mp}$  correspond à la différence des temps de transformation déterminés conformément au paragraphe 9.4.6.6.

#### 9.4.6.2 Conditions relatives à la mesure de la différence de débit

Pour les systèmes de dilution du flux partiel, la justesse de la mesure du débit de prélèvement  $q_{mp}$  doit faire l'objet d'une attention particulière si cette mesure n'est pas effectuée directement, mais par calcul de la différence de débit selon la formule suivante :

$$q_{mp} = q_{mdew} - q_{mdw} \quad (83)$$

Dans ce cas, l'erreur maximale sur le calcul de la différence doit être telle que la justesse de la valeur de  $q_{mp}$  reste dans les limites de  $\pm 5$  % lorsque le taux de dilution est inférieur à 15. Cette erreur peut être calculée sur la base de la valeur moyenne quadratique de l'erreur de chaque instrument.

Une valeur acceptable pour la justesse de  $q_{mp}$  peut être obtenue si l'une des conditions suivantes est remplie :

- Si les justesses absolues de  $q_{mdew}$  et  $q_{mdw}$  sont de  $\pm 0,2$  %, ce qui garantit une justesse de  $q_{mp} \leq 5$  % à un taux de dilution de 15. Les erreurs seront toutefois supérieures à des taux de dilution plus élevés ;
- Si l'étalonnage de  $q_{mdw}$  par rapport à  $q_{mdew}$  est effectué de manière à obtenir les mêmes valeurs de justesse pour  $q_{mp}$  que dans le cas a) ci-dessus. Pour plus de précisions, voir le paragraphe 9.4.6.3 ;
- Si la justesse de  $q_{mp}$  est déterminée indirectement d'après la justesse du taux de dilution, tel qu'il est déterminé au moyen d'un gaz témoin comme le  $CO_2$ . Des valeurs de justesse équivalant au cas a) ci-dessus pour  $q_{mp}$  sont requises ;
- Si la justesse absolue de  $q_{mdew}$  et  $q_{mdw}$  reste dans les limites de  $\pm 2$  % de l'échelle, si l'erreur maximale sur la différence entre  $q_{mdew}$  et  $q_{mdw}$  ne dépasse pas 0,2 %, et si l'erreur de linéarité ne dépasse pas  $\pm 0,2$  % de la valeur la plus élevée de  $q_{mdew}$  observée au cours de l'essai.

### 9.4.6.3 Étalonnage du système de mesure de la différence de débit

Le débitmètre ou l'appareillage de mesure du débit doit être étalonné selon l'une des méthodes suivantes, de telle manière que le débit de prélèvement  $q_{mp}$  entrant dans le tunnel satisfasse aux conditions de justesse énoncées au paragraphe 9.4.6.2 :

- a) Le débitmètre de mesure de  $q_{mdw}$  doit être raccordé en série au débitmètre de mesure de  $q_{mdew}$ , la différence entre les valeurs des deux débitmètres devant être étalonnée sur au moins cinq points de réglage correspondant à des valeurs de débit également espacées entre la plus basse valeur  $q_{mdw}$  utilisée lors de l'essai et la valeur de  $q_{mdew}$  utilisée lors de l'essai. Pour la mesure, le tunnel de dilution peut être contourné ;
- b) Un débitmètre étalonné doit être raccordé en série au débitmètre de mesure de  $q_{mdew}$ , et la justesse de la mesure doit être contrôlée pour la valeur utilisée lors de l'essai. Le débitmètre étalonné doit être raccordé en série au débitmètre de mesure de  $q_{mdw}$ , et la justesse doit être contrôlée sur au moins cinq points de réglage correspondant à un taux de dilution variant entre 3 et 50, par rapport à la valeur de  $q_{mdew}$  utilisée lors de l'essai ;
- c) Le tube de transfert TT doit être déconnecté de l'échappement et un dispositif étalonné de mesure du débit ayant une plage de mesure appropriée pour la mesure de  $q_{mp}$  doit y être raccordé. La valeur de  $q_{mdew}$  doit être réglée à la valeur utilisée lors de l'essai et celle de  $q_{mdw}$  doit être successivement réglée sur au moins cinq valeurs correspondant à des taux de dilution variant entre 3 et 50. À titre de variante, on peut installer un circuit spécial d'étalonnage, contournant le tunnel, mais où le débit total et le débit du diluant passent par les débitmètres correspondants, comme lors de l'essai réel ;
- d) Un gaz témoin doit être introduit dans le tube de transfert TT. Ce gaz témoin peut être un constituant des gaz d'échappement, tel que le  $CO_2$  ou les  $NO_x$ . Après dilution dans le tunnel, la concentration du gaz témoin doit être mesurée. Cette mesure doit s'effectuer pour cinq taux de dilution variant entre 3 et 50. La justesse du débit de prélèvement doit être déterminée d'après le taux de dilution  $r_d$ , comme suit :

$$q_{mp} = q_{mdew}/r_d \quad (84)$$

Il est nécessaire de prendre en compte les valeurs de justesse respectives des analyseurs de gaz pour pouvoir garantir la justesse de  $q_{mp}$ .

### 9.4.6.4 Contrôle du flux de carbone

Il est vivement recommandé d'effectuer un contrôle du flux de carbone sur les gaz d'échappement réels pour détecter les éventuels problèmes de mesure et de réglage du système et contrôler le bon fonctionnement du système de dilution du flux partiel. Le contrôle du flux de carbone devrait être effectué au moins à chaque installation d'un nouveau moteur ou à chaque modification notable apportée à la configuration de la chambre d'essai.

Le moteur doit fonctionner à pleine charge au régime de couple maximal ou dans tout autre mode stabilisé produisant un taux de  $CO_2$  de 5 % ou plus. Le système de prélèvement du flux partiel doit fonctionner avec un rapport de dilution d'environ 15 à 1.

Si un contrôle du flux de carbone est effectué, la procédure décrite à l'appendice 4 doit être appliquée. Les débits de carbone doivent être calculés conformément aux équations 112 à 114 de l'appendice 4. Toutes les valeurs de débit de carbone doivent en principe concorder à 3 % près.

#### 9.4.6.5 Contrôle préliminaire à l'essai

Un contrôle préliminaire doit être effectué 2 h au maximum avant l'essai dans les conditions suivantes.

La justesse des débitmètres doit être contrôlée par la même méthode que celle appliquée pour l'étalonnage (voir par. 9.4.6.2) pour au moins deux points, y compris les valeurs de débit de  $q_{mdw}$  qui correspondent à des taux de dilution compris entre 5 et 15 pour la valeur de  $q_{mdew}$  utilisée lors de l'essai.

Le contrôle préliminaire peut être omis s'il est possible de démontrer sur la base des enregistrements concernant les opérations d'étalonnage effectuées conformément au paragraphe 9.4.6.2 que l'étalonnage des débitmètres est stable pendant une longue durée.

#### 9.4.6.6 Détermination du temps de transformation

Les réglages du système pour l'évaluation du temps de transformation doivent être exactement les mêmes que ceux s'appliquant à la mesure lors de l'essai réel. Le temps de transformation doit être déterminé conformément à la méthode suivante.

Un débitmètre de référence indépendant ayant une plage de mesure appropriée pour le débit de la sonde doit être raccordé en série à la sonde à proximité immédiate de celle-ci. Ce débitmètre doit avoir un temps de transformation inférieur à 100 ms pour la dimension de l'échelon d'accroissement du débit utilisé pour la mesure du temps de réponse, et doit présenter une restriction au débit suffisamment faible pour ne pas affecter le comportement dynamique du système de dilution du flux partiel ; il doit être installé conformément aux règles de l'art.

Une variation en échelon du débit doit être appliquée à l'entrée des gaz d'échappement (ou à l'entrée d'air si le débit de gaz d'échappement est déterminé par calcul) du système de dilution du flux partiel, depuis une valeur de débit faible jusqu'à 90 % au moins du débit maximal de gaz d'échappement. Le signal de déclenchement de l'échelon doit être le même que celui utilisé pour déclencher le réglage prédictif lors de l'essai réel. Le signal d'accroissement du débit de gaz d'échappement et la réponse du débitmètre doivent être enregistrés à une fréquence d'acquisition d'au moins 10 Hz.

À partir de ces données, on détermine le temps de transformation pour le système de dilution du flux partiel, qui est le temps écoulé depuis l'amorçage de l'échelon jusqu'au point 50 % de la réponse du débitmètre. On détermine de la même manière les temps de transformation du signal  $q_{mp}$  du débitmètre du système de dilution du flux partiel et du signal  $q_{mew,i}$  du débitmètre de gaz d'échappement. Les signaux sont utilisés pour les opérations de contrôle par régression effectuées après chaque essai (voir par. 9.4.6.1).

Les calculs doivent être répétés pour au moins cinq signaux de montée et de descente, et la moyenne des résultats doit être calculée. Le temps de transformation interne (<100 ms) du débitmètre de référence est déduit de cette valeur, ce qui donne la valeur « prédictive » du système de dilution du flux partiel, qui doit être appliquée conformément au paragraphe 9.4.6.1.

### 9.5 Étalonnage du système CVS

#### 9.5.1 Dispositions générales

Le système CVS doit être étalonné au moyen d'un débitmètre juste et d'un dispositif réducteur de débit. Le débit traversant le système doit être mesuré pour différents réglages du réducteur et les paramètres de réglage du système doivent être mesurés et rapportés au débit.

Divers types de débitmètres peuvent être utilisés : tube de venturi étalonné, débitmètre laminaire étalonné ou débitmètre à turbine étalonné.

### 9.5.2 Étalonnage de la pompe volumétrique (PDP)

Tous les paramètres relatifs à la pompe doivent être mesurés parallèlement aux paramètres relatifs à un tube de venturi étalonné qui est raccordé en série à la pompe. La courbe de débit calculée (en m<sup>3</sup>/s à l'entrée de la pompe aux valeurs mesurées de pression absolue et de température) est rapportée à une fonction de corrélation qui représente une combinaison donnée de paramètres de la pompe. L'équation linéaire entre le débit de la pompe et la fonction de corrélation doit alors être déterminée. Si le système CVS a plusieurs vitesses d'entraînement, l'étalonnage doit être exécuté pour chaque vitesse utilisée.

Une température constante doit être maintenue au cours de l'étalonnage.

Les fuites dans les raccords et tuyauteries raccordant le tube de venturi étalonné et la pompe CVS doivent être maintenues à moins de 0,3 % de la valeur de débit la plus basse (réduction maximale du débit et vitesse de rotation minimale de la pompe PDP).

#### 9.5.2.1 Analyse des données

Le débit d'air ( $q_{vCVS}$ ) à chaque réglage du réducteur de débit (6 réglages au minimum) doit être calculé en m<sup>3</sup>/s normaux à partir des données du débitmètre, conformément à la méthode prescrite par le fabricant. Il doit ensuite être converti en débit de la pompe ( $V_0$ ), en m<sup>3</sup>/tr, aux valeurs mesurées de pression absolue et de température à l'entrée de la pompe, comme suit :

$$V_0 = \frac{q_{vCVS}}{n} \times \frac{T}{273} \times \frac{101,3}{p_p} \quad (85)$$

où :

$q_{vCVS}$  est le débit d'air dans les conditions normales (101,3 kPa et 273 K), en m<sup>3</sup>/s ;

$T$  est la température à l'entrée de la pompe, en K ;

$p_p$  est la pression absolue à l'entrée de la pompe, en kPa ;

$n$  est la vitesse de rotation de la pompe, en tr/s.

Pour tenir compte de l'interaction des variations de pression à la pompe et du taux de glissement de celle-ci, on détermine la fonction de corrélation  $X_0$  entre la vitesse de rotation de la pompe, la différence de pression entre entrée et sortie et la pression absolue de sortie de la pompe, comme suit :

$$X_0 = \frac{1}{n} \times \sqrt{\frac{\Delta p_p}{p_p}} \quad (86)$$

où :

$\Delta p_p$  est la différence de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe, en kPa ;

$p_p$  est la pression absolue à la sortie de la pompe, en kPa.

On exécute ensuite un ajustement linéaire par les moindres carrés en vue d'établir l'équation d'étalonnage, comme suit :

$$V_0 = D_0 - m \times X_0 \quad (87)$$

$D_0$  et  $m$  sont respectivement l'ordonnée à l'origine et la pente, décrivant les droites de régression.

Pour un système CVS à plusieurs vitesses d'entraînement, les courbes d'étalonnage établies pour les différentes plages de débit de la pompe doivent

être sensiblement parallèles, et la valeur de l'ordonnée à l'origine ( $D_0$ ) doit augmenter lorsque la gamme de débit de la pompe diminue.

Les valeurs calculées au moyen de l'équation ne doivent pas s'écarter de plus de  $\pm 0,5$  % de la valeur mesurée de  $V_0$ . Les valeurs de  $m$  varient d'une pompe à l'autre. Avec le temps, l'encrassement par les particules cause une diminution du glissement, ce qui se traduit par des valeurs plus basses de  $m$ . Il convient donc d'effectuer un étalonnage à la mise en service de la pompe et après tout entretien majeur, de même que si la vérification du système complet indique un changement du taux de glissement.

### 9.5.3 Étalonage du venturi-tuyère en régime critique (CFV)

L'étalonnage du venturi-tuyère est basé sur l'équation de débit en régime critique de celui-ci. Le débit de gaz est fonction de la pression et de la température d'entrée.

Pour déterminer la plage de régime critique, on doit tracer la courbe de  $K_v$  en fonction de la pression à l'entrée du venturi. En régime critique,  $K_v$  a une valeur relativement constante. Lorsque la pression diminue (accroissement de la dépression), le venturi se débloque et  $K_v$  diminue, ce qui indique que le venturi fonctionne en dehors de la plage admissible.

#### 9.5.3.1 Analyse des données

Le débit d'air ( $q_{vCVS}$ ) à chaque réglage du réducteur de débit (8 réglages au minimum) doit être calculé en  $m^3/s$  normaux à partir des données du débitmètre conformément à la méthode prescrite par le fabricant. Le coefficient d'étalonnage est calculé à partir des données d'étalonnage pour chaque réglage comme suit :

$$K_v = \frac{q_{vCVS} \times \sqrt{T}}{p_p} \quad (88)$$

où :

$q_{vCVS}$  est le débit d'air dans les conditions normales (101,3 kPa et 273 K), en  $m^3/s$  ;

$T$  est la température à l'entrée du venturi, en K ;

$p_p$  est la pression absolue à l'entrée du venturi, en kPa.

La valeur moyenne de  $K_v$  et l'écart type doivent être calculés. L'écart type ne doit pas dépasser  $\pm 0,3$  % de la valeur moyenne de  $K_v$ .

### 9.5.4 Étalonage du venturi subsonique (SSV)

L'étalonnage du SSV est basé sur l'équation de débit d'un venturi subsonique. Le débit de gaz est fonction de la pression et de la température d'entrée et de la chute de pression entre l'entrée et le col du SSV, selon l'équation 53 (voir par. 8.5.1.4).

#### 9.5.4.1 Analyse des données

Le débit d'air ( $Q_{SSV}$ ) à chaque réglage du réducteur de débit (16 réglages au minimum) doit être calculé en  $m^3/s$  normaux à partir des données du débitmètre conformément à la méthode prescrite par le fabricant. Le coefficient de décharge doit être calculé à partir des données d'étalonnage pour chaque réglage, comme suit :

$$C_d = \frac{Q_{SSV}}{\frac{A_0}{60} \times d_V^2 \times p_p \times \sqrt{\left[ \frac{1}{T} \times \left( r_p^{1,4286} - r_p^{1,7143} \right) \times \left( \frac{1}{1 - r_D^4 \times r_p^{1,4286}} \right) \right]}} \quad (89)$$

où :

$Q_{SSV}$  est le débit d'air dans les conditions normales (101,3 kPa et 273 K), en  $m^3/s$  ;

$T$  est la température à l'entrée du venturi, en K ;

$d_v$  est le diamètre du col du SSV, en mm ;

$r_p$  est le rapport entre la pression au col du SSV et la pression statique absolue à l'entrée :

$$1 - \frac{\Delta p}{P_p} ;$$

$r_D$  est le rapport entre le diamètre du col du SSV,  $d_v$ , et le diamètre intérieur du tuyau d'entrée  $D$ .

Pour déterminer la plage d'écoulement subsonique, on trace la courbe de  $C_d$  en fonction du nombre de Reynolds  $Re$  au col du SSV. La valeur de  $Re$  au col du SSV doit être calculée au moyen de l'équation suivante :

$$Re = A_1 \times 60 \times \frac{Q_{SSV}}{d_v \times \mu} \quad (90)$$

avec

$$\mu = \frac{b \times T^{1,5}}{S + T} \quad (91)$$

où :

$A_1$  est 27,43831 en unités SI de  $\left(\frac{kg}{m^3}\right) \left(\frac{min}{s}\right) \left(\frac{mm}{m}\right)$  ;

$Q_{SSV}$  est le débit d'air dans les conditions normales (101,3 kPa et 273 K), en  $m^3/s$  ;

$d_v$  est le diamètre du col du SSV, en mm ;

$\mu$  est la viscosité absolue ou dynamique du gaz, en kg/ms ;

$b$  est  $1,458 \times 10^6$  (constante empirique), en kg/ms  $K^{0,5}$  ;

$S$  est 110,4 (constante empirique), en K.

Étant donné que la valeur  $Q_{SSV}$  est une valeur d'entrée de l'équation  $Re$ , les calculs doivent initialement se fonder sur une estimation de  $Q_{SSV}$  ou du facteur  $C_d$  du venturi étalonné, à partir de laquelle on procède par itération jusqu'à ce qu'il y ait convergence de la valeur  $Q_{SSV}$ . La méthode de convergence doit être juste à 0,1 % de point ou mieux.

Pour un nombre minimal de 16 points dans la région de l'écoulement subsonique, les valeurs calculées de  $C_d$  provenant de l'équation d'ajustement de la courbe d'étalonnage résultante doivent se situer à  $\pm 0,5$  % de la valeur  $C_d$  pour chaque point d'étalonnage.

#### 9.5.5 Vérification du système complet

Pour déterminer la justesse totale du système de prélèvement CVS et du système d'analyse, on introduit une masse connue d'un gaz polluant dans le système, celui-ci fonctionnant de manière normale. Le polluant est analysé, et sa masse déterminée conformément au paragraphe 8.5.2.3, sauf dans le cas du propane, pour lequel on applique un facteur  $u$  de 0,000507 au lieu de 0,000483 pour les HC. L'une ou l'autre des méthodes suivantes doit être appliquée.

##### 9.5.5.1 Dosage avec un ajutage en régime critique

On introduit dans le système CVS, par l'intermédiaire d'un ajutage critique étalonné, une quantité connue d'un gaz pur (monoxyde de carbone ou propane). Si la pression d'entrée est suffisamment élevée, le débit, qui est réglé par l'ajutage en régime critique, est indépendant de la pression à la sortie de

l'ajutage (régime critique). Le système CVS doit fonctionner pendant 5 à 10 min comme pour un essai normal de mesure des émissions d'échappement. Un échantillon de gaz doit être analysé à l'aide de l'équipement habituel (sac de collecte ou mesure par intégration), et la masse de gaz doit être calculée.

La valeur ainsi obtenue ne doit pas s'écarter de plus de  $\pm 3$  % de la masse connue de gaz injecté.

#### 9.5.5.2 Dosage par méthode gravimétrique

On mesure avec une précision de  $\pm 0,01$  g la masse d'une petite bouteille à gaz remplie de monoxyde de carbone ou de propane. Pendant 5 à 10 min, on fait fonctionner le système CVS comme pour un essai normal de mesure des émissions d'échappement, tout en injectant dans le système du monoxyde de carbone ou du propane. La quantité de gaz pur introduite dans le système est déterminée par pesée différentielle. L'échantillon de gaz est analysé par les moyens habituels (sac de collecte ou mesure par intégration), et la masse de gaz doit être calculée.

La valeur ainsi obtenue ne doit pas s'écarter de plus de  $\pm 3$  % de la masse connue de gaz injecté.

### 10. Procédure d'essai de mesure du nombre de particules

#### 10.1 Prélèvement

Les émissions en nombre de particules doivent être mesurées par prélèvement continu 1) au tuyau d'échappement en utilisant un taux de dilution fixe, 2) au moyen d'un système de dilution du flux partiel proportionnel tel que décrit aux paragraphes A.2.2.1 et A.2.2.2 de l'appendice 2 de la présente annexe, ou 3) au moyen d'un système de dilution du flux total tel que décrit aux paragraphes A.2.2.3 et A.2.2.4 du même appendice.

##### 10.1.1 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 doit être filtré au moyen de filtres satisfaisant aux prescriptions s'appliquant aux filtres à particules à très haute efficacité (THE), tels qu'ils sont définis aux paragraphes A.2.2.2 ou A.2.2.4 de l'appendice 2. À titre optionnel, le gaz de dilution peut être lavé dans un laveur à charbon actif avant d'être envoyé dans le filtre THE, afin de réduire et de stabiliser les concentrations d'hydrocarbures. Il est recommandé d'utiliser un séparateur pour grosses particules additionnel placé en amont du filtre THE et en aval du laveur à charbon actif, si celui-ci est utilisé.

#### 10.2 Correction du débit pour tenir compte du débit de prélèvement de mesure du nombre de particules – systèmes de dilution du flux total

Afin de compenser le débit massique extrait du système de dilution pour le prélèvement de mesure du nombre de particules, il convient de réinjecter le débit massique extrait (filtré) dans le système de dilution. Une autre méthode consiste à 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 ( $m_{ed}$ ), cette correction, ou la réinjection du débit prélevé, ne sont pas nécessaires.

#### 10.3 Correction du débit pour tenir compte du débit de prélèvement de mesure du nombre de particules – systèmes de dilution du flux partiel

##### 10.3.1 Pour les systèmes de dilution du flux partiel, le débit massique extrait du système de dilution aux fins de la mesure du nombre de particules doit être pris en compte dans le 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 10.3.2. 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 10.3.3.

10.3.2 La correction visant à 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 doit être remplacée par la suivante :

$$q_{mp} = q_{mdew} - q_{mdw} + q_{ex} \quad (92)$$

où :

$q_{mp}$  est le débit-masse des gaz d'échappement entrant dans le système de dilution du flux partiel, en kg/s ;

$q_{mdew}$  est le débit massique de gaz d'échappement dilués, en kg/s ;

$q_{mdw}$  est le débit massique d'air de dilution, en kg/s ;

$q_{ex}$  est le débit massique de prélèvement de mesure du nombre de particules, en 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 à 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 doit être remplacée par la suivante :

$$q_{mp} = q_{mdew} - q_{mdw} + q_{ex} - q_{sw} \quad (93)$$

où :

$q_{mp}$  est le débit-masse des gaz d'échappement entrant dans le système de dilution du flux partiel, en kg/s ;

$q_{mdew}$  est le débit massique de gaz d'échappement dilués, en kg/s ;

$q_{mdw}$  est le débit massique d'air de dilution, en kg/s ;

$q_{ex}$  est le débit massique de prélèvement de mesure du nombre de particules, en kg/s ;

$q_{sw}$  est le débit massique réintroduit dans le tunnel de dilution pour compenser le débit de prélèvement extrait, en 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.

10.3.3 Correction s'appliquant à la mesure de la masse des particules

Lorsqu'un débit de prélèvement de mesure du nombre de particules est extrait 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 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.

$$m_{PM,corr} = m_{PM} \times \frac{m_{sed}}{(m_{sed} - m_{ex})} \quad (94)$$

où :

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

$m_{PM}$  est la masse de particules déterminée selon le paragraphe 8.4.3.2.1 ou 8.4.3.2.2, en g/essai ;

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

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

#### 10.3.4 Proportionnalité du prélèvement dans le système de dilution du flux partiel

Aux fins de 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, est utilisé pour le réglage du système de dilution du flux partiel de manière à prélever un échantillon proportionnel à ce débit. 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.

#### 10.4 Détermination du nombre de particules

##### 10.4.1 Synchronisation

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 synchronisation du signal du nombre de particules avec le cycle d'essai et le débit massique de gaz d'échappement conformément aux procédures définies au paragraphe 8.4.2.2. Le temps de transformation du système de prélèvement et de mesure du nombre de particules doit être déterminé conformément aux dispositions du paragraphe A.8.1.3.7 de l'appendice 8 de la présente annexe.

Dans le cas d'un prélèvement direct au tuyau d'échappement avec un taux de dilution initiale fixe, le signal du nombre de particules doit être harmonisé dans le temps avec le signal du débit de gaz d'échappement en utilisant les temps de transformation respectifs. Le temps de transformation du prélèvement du nombre de particules doit être déterminé conformément au paragraphe A.8.1.3.7 de l'appendice 8 de la présente annexe.

##### 10.4.2 Détermination du nombre de particules dans un système de dilution du flux partiel

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, le nombre de particules émises sur le cycle d'essai entier doit être calculé au moyen de l'équation suivante :

$$N = \frac{m_{edf}}{1,293} \cdot k \cdot \bar{c}_s \cdot \bar{f}_r \cdot 10^6 \quad (95)$$

où :

$N$  est le nombre de particules émises sur le cycle d'essai entier ;

$m_{edf}$  est la masse de gaz d'échappement dilués équivalents sur le cycle d'essai entier, déterminée conformément au paragraphe 8.4.3.2.2, en kg/essai ;

$k$  est le 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, la valeur 1 doit être attribuée à  $k$  dans l'équation ci-dessus ;

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

$\bar{f}_r$  est le 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.

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

$$\bar{c}_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{s,i}}{n} \quad (96)$$

où :

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

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

#### 10.4.3 Détermination du nombre de particules

##### 10.4.3.1 Détermination du nombre de particules dans un système de dilution du flux total

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, le nombre de particules émises sur le cycle d'essai entier doit être calculé au moyen de l'équation suivante :

$$N = \frac{m_{ed}}{1,293} \cdot k \cdot \bar{c}_s \cdot \bar{f}_r \cdot 10^6 \quad (97)$$

où :

$N$  est le nombre de particules émises sur le cycle d'essai entier ;

$m_{ed}$  est le 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, en kg/essai ;

$k$  est le 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 effectuée en interne dans le compteur. Lorsque le facteur d'étalonnage est appliqué en interne, la valeur 1 doit être attribuée à  $k$  dans l'équation ci-dessus ;

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

$\bar{f}_r$  est le 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.

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

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{s,i}}{n} \quad (98)$$

où :

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

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

#### 10.4.3.2 Détermination du nombre de particules par prélèvement des gaz d'échappement bruts

Les émissions instantanées de particules [particules/s] sont déterminées en multipliant la concentration instantanée du polluant considéré [particules/ $\text{cm}^3$ ] par le débit-masse instantané de gaz d'échappement [kg/s], tous deux corrigés et ajustés pour le temps de transformation. Le cas échéant, les valeurs négatives des émissions instantanées doivent être prises en compte dans toutes les évaluations ultérieures des données. Tous les chiffres significatifs des résultats intermédiaires entrent dans le calcul des émissions instantanées. L'équation suivante s'applique :

$$N_i = c_{N,i} q_{mew,i} / \rho_e$$

où :

$N_i$  est le flux de particules, en particules/s ;

$c_{N,i}$  est la concentration de particules mesurée, normalisée à 0°C, en particules/ $\text{m}^3$ , corrigée des facteurs d'étalonnage éventuels ;

$q_{mew,i}$  est le débit massique mesuré des gaz d'échappement, en kg/s (par. 8.4.1.3) ;

$\rho_e$  est la densité des gaz d'échappement à une température de 0 °C et une pression de 1013 mbar, en  $\text{kg}/\text{m}^3$  (tableau 5).

#### 10.4.4 Résultat d'essai

##### 10.4.4.1 Calcul des émissions spécifiques

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

$$e = \frac{N}{W_{act}} \quad (99)$$

où :

$e$  est le nombre de particules émises par kWh ;

$W_{act}$  est le travail effectif sur le cycle conformément au paragraphe 7.8.6, en kWh.

## 10.4.4.2 Systèmes de traitement aval à régénération périodique

Pour les moteurs équipés d'un système de traitement aval à régénération périodique, les dispositions générales du paragraphe 6.6.2 s'appliquent. Les émissions lors de l'essai WHTC avec démarrage à chaud doivent être pondérées conformément à l'équation 5, où  $\bar{e}$  correspond aux émissions spécifiques moyennes sans régénération, en nombre de particules/kWh et  $\bar{e}_r$ , aux émissions spécifiques moyennes avec régénération, en nombre de particules/kWh. Le calcul des facteurs de réglage de la régénération se fait à l'aide de l'équation 6, 6a, 7 ou 8, selon le cas.

## 10.4.4.3 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 d'un moteur non doté d'un système de traitement aval à régénération périodique :

$$e = k_r \left( \frac{(0,14 \times N_{\text{cold}}) + (0,86 \times N_{\text{hot}})}{(0,14 \times N_{\text{act,cold}}) + (0,86 \times N_{\text{act,hot}})} \right) \quad (100)$$

- b) Dans le cas d'une correction additive :

$$e = k_r + \left( \frac{(0,14 \times N_{\text{cold}}) + (0,86 \times N_{\text{hot}})}{(0,14 \times N_{\text{act,cold}}) + (0,86 \times N_{\text{act,hot}})} \right) \quad (101)$$

où :

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

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

$W_{\text{act, cold}}$  est le travail effectif sur le cycle pendant la durée du cycle d'essai WHTC à froid, conformément au paragraphe 7.8.6, en kWh ;

$W_{\text{act, hot}}$  est le travail effectif sur le cycle au cours du cycle d'essai WHTC à chaud, conformément au paragraphe 7.8.6, en kWh ;

$k_r$  est la correction de régénération, conformément au paragraphe 6.6.2, ou, dans le cas d'un moteur non doté d'un système de traitement aval à régénération périodique,  $k_r = 1$ .

## 10.4.4.4 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'émissions spécifiques au frein n'est autorisé.

## 10.5 Détermination du nombre de particules dans l'air ambiant

10.5.1 À la demande du fabricant du moteur, les concentrations ambiantes de particules dans le tunnel de dilution peuvent être mesurées, avant ou après l'essai, à partir d'un point en aval des filtres à particules et à hydrocarbures situés à l'entrée du système de mesure du nombre de particules, en vue de déterminer les concentrations ambiantes de particules dans le tunnel.

10.5.2 La déduction des concentrations ambiantes 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.

Les appendices 1 à 7 de l'annexe 4 demeurent inchangés.

## Annexe 4 – Appendice 8

### Appareillage de mesure du nombre de particules émises

#### A.8.1 Description

##### A.8.1.1 Vue d'ensemble du système

A.8.1.1.1 Le système de prélèvement des particules se compose d'une sonde ou d'un point de prélèvement permettant d'extraire un échantillon d'un flux mélangé de façon homogène circulant dans le tuyau d'échappement ou dans un système de dilution comme décrit aux paragraphes A.2.2.1 et A.2.2.2, ou A.2.2.3 et A.2.2.4 de l'appendice 2 de la présente annexe, 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. Dans le cas d'un prélèvement direct au tuyau d'échappement, un prédilueur peut être placé entre la sonde ou le point de prélèvement et le VPR.

A.8.1.1.2 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 illustré à la figure 14 de l'appendice 2 de la présente annexe. 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.

#### A.8.1.2 Prescriptions générales

##### A.8.1.2.1 Système de transfert des particules

La sonde ou le point de prélèvement (PSP) et le tube de transfert des particules (PTT), et éventuellement un prédilueur dans le cas d'un prélèvement direct au tuyau d'échappement, forment ensemble le système de transfert des particules (PTS). Le PTS achemine l'échantillon jusqu'à l'entrée du séparateur de particules volatiles.

Un prédilueur à froid ou à chaud peut être placé à la sortie de la sonde de prélèvement des particules, devant le PTT. Un taux de dilution fixe supérieur à 5:1 doit être appliqué à l'étape de dilution à froid ou à chaud. La dilution à froid est définie comme une dilution avec de l'air de dilution (non chauffé) et/ou une température du dilueur au moins égale à 20 °C. Des indications permettant de savoir si les températures (le cas échéant) et les dilutions se situent bien dans leurs plages de fonctionnement correctes doivent être fournies.

Le prédilueur doit respecter les bonnes pratiques de prélèvement des aérosols telles que décrites pour le séparateur de particules volatiles aux paragraphes A.8.1.2.3 et A.8.1.2.4.

La pénétration de chaque modèle de prédilueur doit être déterminée comme décrit au paragraphe A.8.2.2.4, individuellement ou en combinaison avec le séparateur de particules volatiles. La pénétration finale du dispositif (prédilueur, tube de transfert et séparateur de particules volatiles) ne doit pas être inférieure de plus de 10 % aux dispositions du paragraphe A.8.1.3.3.6.

Les facteurs de réduction de la concentration de particules de chaque prédilueur doivent être déterminés comme décrit au paragraphe A.8.2.2.2, individuellement ou en combinaison avec le séparateur de particules volatiles, et pris en compte dans le calcul des émissions. Le système complet (prédilueur, PTT et VPR) ne

doit pas dépasser de plus de 0 % pour 50 nm, 10 % pour 30 nm et 25 % pour 15 nm (le cas échéant) les prescriptions relatives au rapport  $fr(di)/fr(100)$  du paragraphe A.8.1.3.3.4.

Le prédilueur doit être étalonné ou validé aux mêmes intervalles de temps que le VPR, comme indiqué au paragraphe A.8.2.2.1.

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.2.2.1 de l'appendice 2 de la présente annexe), 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, et 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.2.2.1 de l'appendice 2), 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 prélèvement/dérivation. Le point ou la sonde de prélèvement doit être positionné 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.

Dans le cas d'un prélèvement direct au tuyau d'échappement, les gaz doivent être prélevés au centre du flux d'échappement. La sonde de prélèvement pour le comptage du SPN doit être installée à au moins 0,5 m ou trois fois le diamètre du tuyau d'échappement – la valeur la plus élevée étant retenue – en amont de la sortie du système d'échappement. Il convient d'appliquer une méthode conforme aux règles de bonne pratique technique pour réduire au minimum ou éviter toute condensation au niveau de la sonde. Il est recommandé d'effectuer le prélèvement à un endroit représentatif des essais réalisés sur les véhicules équipés de systèmes embarqués. Il est vivement recommandé de mesurer et d'enregistrer la température des gaz d'échappement au point de prélèvement.

Dans le cas des moteurs multicylindres dotés d'un collecteur d'échappement à plusieurs branches, l'entrée de la sonde doit être placée suffisamment loin en aval de la jonction pour permettre le prélèvement d'un échantillon représentatif des émissions d'échappement moyennes de tous les cylindres. Pour les moteurs multicylindres dotés de plusieurs collecteurs séparés, tels que les moteurs en V, il est recommandé de réunir les flux des collecteurs en amont de la sonde de prélèvement. Si cette solution n'est pas possible pour des raisons pratiques, il est admis de prélever un échantillon sur le collecteur ayant les plus fortes émissions de particules. Pour le calcul des émissions d'échappement, le débit-masse total des gaz d'échappement doit être pris en compte.

Le point de prélèvement ou la sonde de prélèvement pour le comptage du SPN doivent être situés à proximité immédiate de la sonde de prélèvement des émissions gazeuses (si une telle sonde est utilisée) ou du système de prélèvement proportionnel (si un tel système est utilisé), mais en être suffisamment distants pour ne pas provoquer de perturbations.

L'échantillon de gaz prélevé par l'intermédiaire du 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 ;

Dans le cas d'un prélèvement direct au tuyau d'échappement, son écoulement turbulent (nombre de Reynolds) doit être  $<1\ 700$  dans le tube de transfert des particules.

En cas de prélèvement dans un système de dilution du flux total ou partiel ou dans un prédilueur, le temps de séjour dans le PTT doit être  $\leq 3$  s.

Dans le cas d'un prélèvement direct au tuyau d'échappement, le temps de séjour jusqu'au prédilueur ou au VPR doit être  $\leq 1$  s. Si la longueur de la tubulure est  $\geq 10$  cm, elle doit être chauffée à une température  $\geq 150^\circ\text{C}$ . Il convient d'appliquer une méthode conforme aux règles techniques reconnues pour réduire au minimum les pertes de particules et isoler les parties non chauffées.

**SPN23** : 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.

**SPN10** : Toute autre configuration de prélèvement du PTS pour laquelle il peut être démontré que la pénétration des particules de 15 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 du gaz prélevé doit être  $\leq 0,8$  s.

**SPN23** : 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.

**SPN10** : 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.

- A.8.1.2.2 Le séparateur de particules volatiles doit comprendre des équipements pour la dilution de l'échantillon et pour la capture des particules volatiles.
- A.8.1.2.3 Tous les éléments du système de dilution et du système de prélèvement compris entre le tuyau d'échappement et le compteur du nombre de particules qui entrent en contact avec les gaz d'échappement bruts et dilués doivent être réalisés en matériaux électriquement conducteurs, être mis à la masse électriquement afin de prévenir les effets électrostatiques et être conçus de façon à réduire le plus possible les dépôts de particules.
- A.8.1.2.4 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.
- A.8.1.3 Prescriptions particulières
  - A.8.1.3.1 L'échantillon de particules ne doit pas passer à travers une pompe avant de passer à travers le compteur du nombre de particules.
  - A.8.1.3.2 Il est recommandé d'utiliser un séparateur primaire pour l'échantillon.

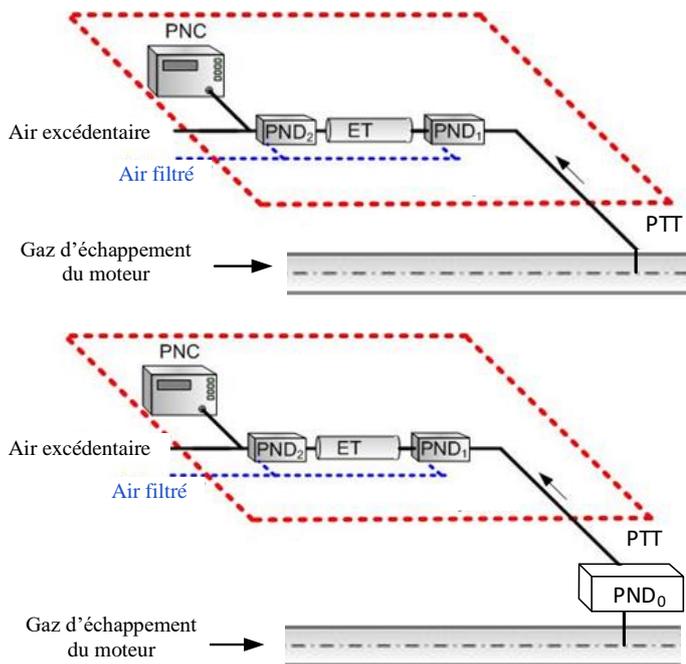
- A.8.1.3.3 Le séparateur de particules volatiles doit :
- A.8.1.3.3.1 Être capable de diluer l'échantillon en une ou plusieurs étapes pour abaisser la concentration en nombre de particules au-dessous du seuil à partir duquel le compteur ne peut plus fonctionner en mode de comptage particule par particule, en dessous d'une température maximale spécifiée par le fabricant du compteur ;
- A.8.1.3.3.2 **SPN23** : Comprendre une étape initiale de dilution chauffée à l'issue de laquelle la température de l'échantillon est  $\geq 150$  °C et  $\leq 350$  °C  $\pm 10$  °C et l'échantillon est dilué d'un facteur 10 au minimum ;
- SPN10** : Comprendre une étape initiale de dilution chauffée à l'issue de laquelle la température de l'échantillon est  $\geq 150$  °C et  $\leq 350$  °C  $\pm 10$  °C et l'échantillon est dilué d'un facteur 10 au minimum ;
- A.8.1.3.3.3 Maintenir les étages chauffés à leur température nominale de fonctionnement, dans la plage spécifiée au paragraphe A.8.1.3.3.2, 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 ;
- A.8.1.3.3.4 **SPN23** : Réaliser un facteur de réduction de la concentration des particules ( $f_r(d_i)$ ), tel qu'il est défini au paragraphe A.8.2.2.2, 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 séparateur de particules volatiles ;
- SPN10** : Réaliser un facteur de réduction de la concentration des particules ( $f_r(d_i)$ ), tel qu'il est défini au paragraphe A.8.2.2.2, pour des particules dont le diamètre de mobilité électrique est de 15 nm, 30 nm et 50 nm, qui ne soit pas supérieur, respectivement, de plus de 100 %, de plus de 30 % et de plus de 20 % 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 séparateur de particules volatiles ;
- A.8.1.3.3.5 **SPN23** : 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  $\geq 10\,000$   $\text{cm}^{-3}$ , par chauffage et réduction des pressions partielles du tétracontane ;
- SPN10** : Réaliser aussi une vaporisation  $>99,9$  % de particules de tétracontane ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{38}\text{CH}_3$ ) dont le diamètre médian est  $>50$  nm et la masse  $>1$   $\text{mg}/\text{m}^3$ , par chauffage et réduction des pressions partielles du tétracontane ;
- A.8.1.3.3.6 Obtenir une efficacité de pénétration des particules solides d'au moins 70 % pour des particules d'un diamètre de mobilité électrique de 100 nm (comme défini au paragraphe A.8.2.2.4).
- A.8.1.3.4 Le compteur du nombre de particules doit :
- A.8.1.3.4.1 Fonctionner en conditions de plein débit ;
- A.8.1.3.4.2 Effectuer le comptage avec une justesse de  $\pm 10$  % dans la plage comprise entre 1  $\text{cm}^{-3}$  et le seuil à partir duquel le compteur ne fonctionne plus en mode comptage particule par particule selon une norme identifiable. À des concentrations inférieures à 100  $\text{cm}^{-3}$ , des mesures dont la moyenne est calculée sur des périodes de prélèvement de longue durée peuvent être exigées pour démontrer la précision du compteur avec un degré de fiabilité statistique élevé ;
- A.8.1.3.4.3 Avoir une résolution d'au moins 0,1 particule/ $\text{cm}^3$  à des concentrations inférieures à 100  $\text{cm}^3$  ;
- A.8.1.3.4.4 Avoir une réponse linéaire aux concentrations de particules sur toute la plage de mesure en mode comptage particule par particule ;

- A.8.1.3.4.5 Avoir une fréquence de transmission des données égale ou supérieure à 0,5 Hz ;
- A.8.1.3.4.6 Avoir un temps de réponse  $t_{90}$  sur la plage de mesure des concentrations de moins de 5 s ;
- A.8.1.3.4.7 **SPN23** : Comporter un facteur d'étalonnage obtenu à partir de l'étalonnage de linéarité par rapport à une référence contrôlable, tel que déterminé au paragraphe A.8.2.1.3, pour déterminer l'efficacité du comptage du nombre de particules. L'efficacité du comptage doit être indiquée en tenant compte du facteur d'étalonnage ;
- SPN10** : Comporter un facteur d'étalonnage obtenu à partir de l'étalonnage de linéarité par rapport à une référence contrôlable, tel que déterminé au paragraphe A.8.2.1.3, pour déterminer l'efficacité du comptage du nombre de particules. L'efficacité du comptage doit être indiquée en tenant compte du facteur d'étalonnage. Le matériau d'étalonnage du compteur de particules doit être une polyalphaoléfine de viscosité 4 cSt (huile Emery) ou des particules de type suie (par exemple, de la suie produite par une flamme ou des particules de graphite) ;
- A.8.1.3.4.8 **SPN23** : 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, une conception appropriée des instruments) ou externes (par exemple, l'utilisation d'un séparateur granulométrique primaire) ;
- SPN10** : Avoir une efficacité de comptage de 65 % ( $\pm 15$  %) pour les particules ayant un diamètre de mobilité électrique de 10 nm et de plus de 90 % pour les particules ayant un diamètre de mobilité électrique de 15 nm. Ces efficacités de comptage peuvent être obtenues par des moyens internes (par exemple, une conception appropriée des instruments) ou externes (par exemple, l'utilisation d'un séparateur granulométrique primaire) ;
- A.8.1.3.4.9 Si le compteur fonctionne avec un liquide, celui-ci doit être remplacé à la fréquence indiquée par le fabricant de l'instrument.
- A.8.1.3.5 Si elles ne sont pas maintenues à une valeur constante connue au point où le débit du compteur est réglé, la pression et la température à l'entrée du compteur doivent être mesurées pour permettre de corriger les concentrations mesurées de particules en les ramenant aux conditions normales. Les conditions normales sont une pression de 101,325 kPa et une température de 0 °C.
- A.8.1.3.6 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.
- A.8.1.3.7 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 le recalage 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 ( $t_{50}$ ).
- A.8.1.4 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



Figure 21

**Schéma du système recommandé pour le prélèvement des particules – prélèvement dans le tuyau d'échappement i) sans prédilueur ; ii) avec prédilueur**



#### A.8.1.4.1 Description du système de prélèvement

Le système de prélèvement d'échantillons comprend dans l'ordre l'embout d'une sonde de prélèvement ou un point de prélèvement dans le système de dilution ou le tuyau d'échappement, un tube de transfert des particules (PTT), un séparateur primaire (PCF) et un séparateur de particules volatiles (VPR), puis le dispositif de mesure du nombre de particules (PNC). Dans le cas d'un prélèvement direct au tuyau d'échappement, un prédilueur peut être placé entre la sonde ou le point de prélèvement et le VPR. Le séparateur de particules volatiles doit comprendre des équipements de dilution de l'échantillon (PND<sub>1</sub> et PND<sub>2</sub>) et d'évaporation des particules (tube d'évaporation, ET). L'embout de la sonde ou le point de prélèvement de l'échantillon d'essai doit être positionné dans la veine de dilution de façon à permettre le prélèvement d'un échantillon de gaz représentatif dans un mélange homogène gaz de dilution/gaz d'échappement. La somme du temps de séjour dans le système et du temps de réponse  $t_{90}$  du PNC ne doit pas dépasser 20 s.

#### A.8.1.4.2 Système de transfert des particules

L'embout de la sonde, ou le point de prélèvement, et le tube de transfert des particules (PTT), et éventuellement un prédilueur en cas de prélèvement direct au tuyau d'échappement, forment ensemble le système de transfert des particules (PTS). Le PTS achemine l'échantillon jusqu'à l'entrée du VPR.

Un prédilueur à froid ou à chaud peut être placé à l'extrémité de la sonde de prélèvement des particules, devant le PTT. Un taux de dilution fixe  $>5:1$  doit être appliqué à l'étape de dilution à froid ou à chaud. La dilution à froid est définie comme une dilution avec de l'air de dilution (non chauffé) et/ou une température du dilueur  $\geq 20$  °C. Des indications permettant de savoir si les températures (le cas échéant) et les dilutions se situent bien dans leurs plages de fonctionnement correctes doivent être fournies.

Le prédilueur doit respecter les bonnes pratiques de prélèvement des aérosols telles que décrites pour le séparateur de particules volatiles aux paragraphes A.8.1.2.3 et A.8.1.2.4.

La pénétration pour chaque modèle de prédilueur doit être déterminée comme décrit au paragraphe A.8.2.2.4, individuellement ou en combinaison avec le séparateur de particules volatiles. La pénétration finale dans le système (prédilueur, tube de transfert des particules et séparateur de particules volatiles) ne doit pas être inférieure de plus de 10 % aux prescriptions énoncées au paragraphe A.8.1.3.3.6.

Les facteurs de réduction de la concentration de particules de chaque prédilueur doivent être déterminés comme décrit au paragraphe A.8.2.2.2, individuellement ou en combinaison avec le séparateur de particules volatiles, et pris en compte dans le calcul des émissions. Le système complet (prédilueur, tube de transfert des particules et séparateur de particules volatiles) ne doit pas dépasser de plus de 0 % pour 50 nm, 10 % pour 30 nm et 25 % pour 15 nm (le cas échéant) les prescriptions relatives au rapport  $fr(di)/fr(100)$  énoncées au paragraphe A.8.1.3.3.4.

Le prédilueur doit être étalonné ou validé aux mêmes intervalles de temps que le VPR, comme indiqué au paragraphe A.8.2.2.1.

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.2.2.1 de l'appendice 2 de la présente annexe), 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, et 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.2.2.1 de l'appendice 2), le point 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 prélèvement/dérivation. Le point de prélèvement ou la sonde doit être positionné(e) de telle manière que l'échantillon soit prélevé dans un mélange homogène gaz de dilution/gaz d'échappement.

Dans le cas d'un prélèvement direct au tuyau d'échappement, les gaz doivent être prélevés au centre du flux d'échappement. La sonde de prélèvement pour le comptage du nombre de particules solides doit être installée à au moins 0,5 m ou trois fois le diamètre du tuyau d'échappement – la valeur la plus élevée étant retenue – en amont de la sortie du système d'échappement. Il convient d'appliquer une méthode conforme aux règles de bonne pratique technique pour réduire au minimum ou éviter toute condensation au niveau de la sonde. Il est recommandé d'effectuer le prélèvement à un endroit représentatif des essais réalisés sur les véhicules équipés de systèmes embarqués. Il est vivement recommandé de mesurer et d'enregistrer la température des gaz d'échappement au point de prélèvement.

Dans le cas d'un moteur multicylindres à collecteur d'échappement à plusieurs branches, l'entrée de la sonde doit être placée suffisamment loin en aval de la jonction pour permettre le prélèvement d'un échantillon représentatif des émissions d'échappement moyennes de tous les cylindres. Pour les moteurs multicylindres à plusieurs collecteurs séparés, tels que les moteurs en V, il est recommandé de réunir les flux des collecteurs en amont de la sonde de prélèvement. Si cette solution n'est pas possible pour des raisons pratiques, il est admis de prélever un échantillon sur le collecteur ayant les plus fortes émissions de particules. Pour le calcul des émissions d'échappement, le débit-masse total des gaz d'échappement doit être pris en compte.

Le point de prélèvement ou la sonde de prélèvement pour le comptage du nombre de particules solides doivent être situés à proximité immédiate de la sonde de prélèvement des émissions gazeuses (si celle-ci est utilisée) ou du système de prélèvement proportionnel (si celui-ci est utilisé), mais en être suffisamment distants pour ne pas provoquer de perturbations.

L'échantillon de gaz prélevé par l'intermédiaire du PTS doit remplir les conditions suivantes :

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

En cas de prélèvement dans un système de dilution du flux total ou partiel ou dans un prédilueur, son temps de séjour dans le PTT doit être  $\leq 3$  s.

Dans le cas d'un prélèvement direct au tuyau d'échappement, le temps de séjour jusqu'au prédilueur ou au séparateur de particules volatiles doit être  $\leq 1$  s. Si la longueur de la tubulure est  $\geq 10$  cm, elle doit être chauffée à une température  $\geq 150^\circ\text{C}$ . Il convient d'appliquer une méthode conforme aux règles techniques reconnues pour réduire au minimum les pertes de particules et isoler les parties non chauffées.

**SPN23** : 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.

**SPN10** : 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 15 nm est équivalente est considérée comme satisfaisante.

Le tuyau de sortie (OT) acheminant l'échantillon dilué du séparateur de particules volatiles vers l'entrée du dispositif de mesure du nombre de particules 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.

**SPN23** : 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.

**SPN10** : 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 15 nm est équivalente est considérée comme satisfaisante.

#### A.8.1.4.3 Séparateur primaire granulométrique

Le séparateur primaire recommandé doit être installé en amont du séparateur de particules volatiles. 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 consiste à 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.

#### A.8.1.4.4 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 compteur 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.

**SPN23** : Le VPR doit également réaliser une vaporisation >99,0 % de particules de tétracontane (CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>38</sub>CH<sub>3</sub>) 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.

**SPN10** : Le VPR doit réaliser une vaporisation >99,9 % de particules de tétracontane (CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>38</sub>CH<sub>3</sub>) dont le diamètre médian est >50 nm et la masse >1 mg/m<sup>3</sup>, par chauffage et réduction des pressions partielles du tétracontane.

Le VPR doit également réaliser un facteur de réduction de la concentration des particules ( $f_r$ ), tel qu'il est défini au paragraphe A.8.2.2.2, pour des particules dont le diamètre de mobilité électrique est de 15 nm, 30 nm et 50 nm, qui ne soit pas supérieur, respectivement, de plus de 100 %, de plus de 30 % et de plus de 20 % ni inférieur de plus de 5 % à celui réalisé pour des particules ayant un diamètre de mobilité électrique de 100 nm, pour l'ensemble du séparateur de particules volatiles.

##### A.8.1.4.4.1 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. A.8.1.4.4.2). 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.

##### A.8.1.4.4.2 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.

##### A.8.1.4.4.3 **SPN23** : Le tube d'évaporation peut présenter une activité catalytique.

**SPN10** : Le tube d'évaporation doit présenter une activité catalytique.

##### A.8.1.4.4.4 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 en aval du deuxième dilueur soit inférieure au seuil à partir duquel le compteur ne peut plus fonctionner en mode

de comptage particule par particule, et que la température des gaz à l'entrée soit inférieure à la température maximale spécifiée par le fabricant du compteur.

A.8.1.4.5 Compteur du nombre de particules (PNC)

Le PNC doit satisfaire aux prescriptions du paragraphe A.8.1.3.4.

A.8.2 Étalonnage/validation du système de prélèvement des particules

A.8.2.1 Étalonnage du compteur du nombre de particules

A.8.2.1.1 Le service technique vérifie l'existence d'un certificat d'étalonnage du PNC attestant sa conformité à une norme identifiable, établi dans les 13 mois précédant l'essai. Entre deux étalonnages, soit l'efficacité de comptage du PNC doit être contrôlée de manière à détecter toute détérioration, soit la mèche du PNC doit être remplacée tous les 6 mois si le fabricant de l'instrument le recommande.

L'autorité responsable doit s'assurer de l'existence d'un certificat d'étalonnage du PNC attestant sa conformité à une norme identifiable dans les 13 mois précédant l'essai. Entre deux étalonnages, soit l'efficacité de comptage du PNC doit être surveillée de manière à détecter toute détérioration, soit la mèche du PNC doit être remplacée tous les 6 mois si le fabricant de l'instrument le recommande (voir fig. 22 et 23). L'efficacité de comptage du PNC peut être contrôlée par rapport à un PNC de référence, ou à deux autres PNC de mesure au moins. Si le PNC signale des concentrations en nombre de particules ne s'écartant pas de  $\pm 10\%$  de la moyenne arithmétique des concentrations mesurées par le PNC de référence, ou par un groupe de deux PNC ou plus, il est considéré comme stable ; dans le cas contraire, il doit faire l'objet d'une révision. Lorsque le PNC est contrôlé par rapport à deux ou plusieurs autres PNC de mesure, il est permis d'utiliser un véhicule de référence fonctionnant séquentiellement dans différentes cellules d'essai, chacune dotée de son propre PNC.

Figure 22  
Séquence annuelle nominale de contrôle du PNC

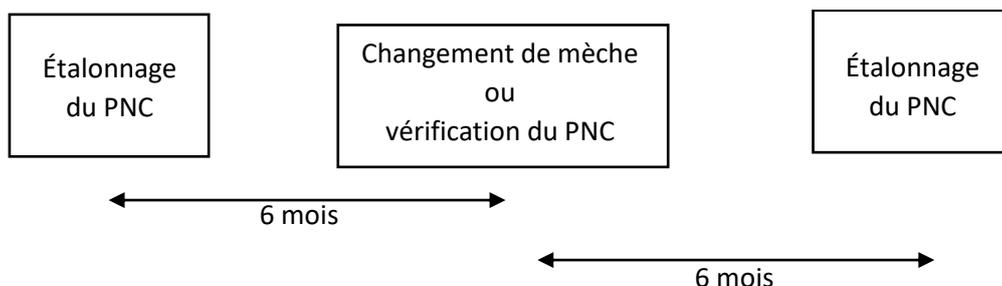
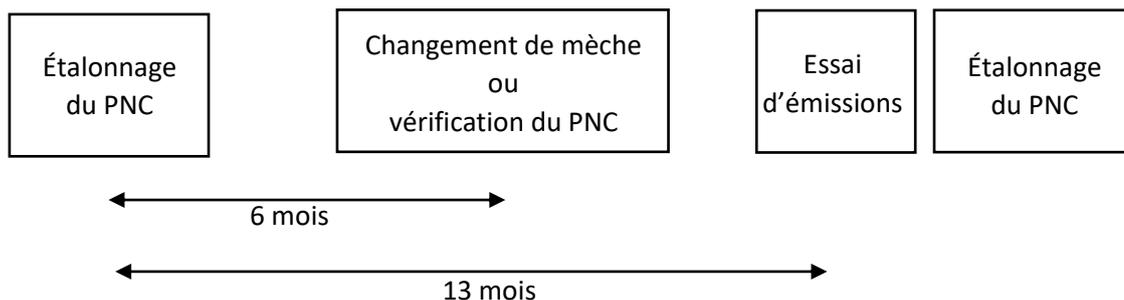


Figure 23  
Séquence annuelle étendue de contrôle du PNC  
(dans le cas où un étalonnage complet du PNC est retardé)



- A.8.2.1.2 Après toute nouvelle opération d'entretien importante, le PNC doit être à nouveau étalonné et un nouveau certificat d'étalonnage doit être établi.
- A.8.2.1.3 L'étalonnage doit être effectué conformément à une méthode d'étalonnage reconnue :
- 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
  - 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.

On procède à l'étalonnage en utilisant au moins six concentrations étalons réparties sur la plage de mesure du PNC. Cinq de ces concentrations doivent être espacées le plus uniformément possible entre la concentration étalon de 2 000 particules/cm<sup>3</sup> ou moins et la concentration maximale à laquelle le PNC peut fonctionner en mode comptage particule par particule. L'un de ces six 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, ou d'efficacité équivalente. Le gradient obtenu par régression linéaire (méthode des moindres carrés) 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). Le facteur d'étalonnage doit être compris entre 0,9 et 1,1. Chaque concentration mesurée avec le PNC en cours d'étalonnage doit se situer à  $\pm 5$  % de la concentration de référence mesurée multipliée par le gradient, à l'exception du point zéro.

- A.8.2.1.4 **SPN23** : Lors de l'étalonnage, on doit aussi vérifier qu'il est satisfait aux prescriptions du paragraphe A.8.1.3.4.8 concernant l'efficacité de comptage du PNC pour les particules ayant un diamètre de mobilité électrique de 23 nm. Le contrôle de l'efficacité du comptage des particules de 41 nm n'est pas obligatoire lors des étalonnages périodiques.

**SPN10** : Lors de l'étalonnage, on doit aussi vérifier qu'il est satisfait aux prescriptions du paragraphe A.8.1.3.4.8 concernant l'efficacité avec laquelle le compteur du nombre de particules détecte les particules ayant un diamètre de mobilité électrique de 10 nm. Une vérification de l'efficacité du comptage des particules de 15 nm n'est pas requise lors des étalonnages périodiques.

- A.8.2.2 Étalonage/validation du séparateur de particules volatiles (VPR)

- A.8.2.2.1 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 l'on procède aux mesures sur les véhicules diesel 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 6 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 13 mois.

**SPN23** : Les caractéristiques du séparateur de particules volatiles 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 ( $\bar{f}_r$ ) déterminé lors du premier étalonnage du VPR.

**SPN10** : Les caractéristiques du séparateur de particules volatiles doivent être déterminées quant au facteur de réduction de la concentration de particules avec des particules solides ayant un diamètre de mobilité électrique de 15 nm, 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 15 nm, 30 nm et 50 nm ne doivent pas être supérieurs de plus de 100 %, 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 ( $\bar{f}_r$ ) déterminé lors du premier étalonnage du VPR.

A.8.2.2.2 **SPN23** : 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.

**SPN10** : 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/ $\text{cm}^3$ , et de particules solides d'un diamètre de mobilité électrique de 15 nm, avec une concentration minimale de 3 000 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 :

$$f_r(d_i) = \frac{N_{in}(d_i)}{N_{out}(d_i)} \quad (117)$$

où :

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

$N_{out}(d_i)$  est la concentration en particules de diamètre  $d_i$  en aval ; et

**SPN23** :  $d_i$  est le diamètre de mobilité électrique des particules (30, 50 ou 100 nm) ;

**SPN10** :  $d_i$  est le diamètre de mobilité électrique des particules (15, 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 ( $\bar{f}_r$ ) pour un niveau de dilution donné est calculée comme suit :

$$\bar{f}_r = \frac{f_r(30nm) + f_r(50nm) + f_r(100nm)}{3} \quad (118)$$

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

A.8.2.2.3 L'efficacité d'élimination des particules volatiles d'un VPR ne doit être prouvée qu'une seule fois pour la famille d'instruments. Le fabricant de l'instrument doit indiquer la fréquence des entretiens ou des remplacements, qui garantit que ladite efficacité ne descend pas en dessous des prescriptions

techniques. Si cette information n'est pas fournie, l'efficacité doit être vérifiée tous les 13 mois pour chaque instrument.

SPN23 : Le VPR doit retenir à plus de 99,0 % 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 minimal et à la température recommandée par le fabricant.

SPN10 : Le VPR doit retenir à plus de 99,9 % les particules de tétracontane ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{38}\text{CH}_3$ ) dont le diamètre médian est  $>50\text{ nm}$  et la masse  $>1\text{ mg/m}^3$  lorsque l'appareil fonctionne à son niveau de dilution minimal et à la température recommandée par le fabricant.

- A.8.2.2.4 Le fabricant de l'instrument doit prouver la pénétration des particules solides  $P_r(d_i)$  en soumettant à un essai une unité pour chaque modèle de système SPN. On entend ici par modèle de système SPN tous les systèmes SPN comportant les mêmes caractéristiques matérielles, c'est-à-dire la même géométrie, les mêmes matériaux constitutifs des conduites et les mêmes caractéristiques d'écoulement et de température sur le trajet de l'aérosol.

$$P_r(d_i) = DF \cdot N_{out}(d_i) / N_{in}(d_i)$$

où :

$N_{in}(d_i)$  est la concentration en nombre de particules en amont pour les particules de diamètre  $d_i$  ;

$N_{out}(d_i)$  est la concentration en nombre de particules en aval pour les particules de diamètre  $d_i$  ;

$d_i$  est le diamètre de mobilité électrique des particules ;

$DF$  est le facteur de dilution entre les positions de mesure de  $N_{in}(d_i)$  et  $N_{out}(d_i)$ , déterminé au moyen soit de gaz à l'état de traces, soit de mesures de débit.

- A.8.2.3 Procédures de contrôle du système de comptage des particules
- A.8.2.3.1 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).
- A.8.2.3.2 Chaque mois, on vérifie que la valeur affichée du débit entrant dans le PNC ne s'écarte pas de plus de 5 % du débit nominal de celui-ci lorsque le contrôle est effectué au moyen d'un débitmètre étalonné. Par « débit nominal », on entend ici le débit indiqué à l'issue du dernier étalonnage du PNC réalisé par le fabricant de l'instrument.
- A.8.2.3.3 Chaque jour, on vérifie le zéro du PNC en plaçant un filtre à l'efficacité appropriée à l'entrée de ce dernier, qui doit indiquer une concentration  $\leq 0,2$  particules par  $\text{cm}^3$ . Après le retrait du filtre, le PNC doit indiquer une augmentation de la concentration mesurée et un retour à  $\leq 0,2$  particules par  $\text{cm}^3$  lorsque le filtre est remis en place. Le PNC ne doit pas signaler d'erreur.
- A.8.2.3.4 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.
- A.8.2.3.5 Avant le début de chaque essai, il doit être confirmé que le dilueur  $\text{PND}_1$  a atteint sa température correcte de fonctionnement.