



Conseil économique et social

Distr. générale
29 mars 2011
Français
Original: anglais
Anglais et français seulement

Commission économique pour l'Europe

Comité des transports intérieurs

Forum mondial de l'harmonisation des Règlements concernant les véhicules

Groupe de travail de la pollution et de l'énergie

Soixante-deuxième session

Genève, 7-10 juin 2011

Point 5 b) de l'ordre du jour provisoire

Tracteurs et engins mobiles non routiers – Règlement n° 96
(Émissions des moteurs diesel (tracteurs agricoles))

Proposition de projet de série 03 d'amendements au Règlement n° 96

Communication de l'expert de la Commission européenne*

Le texte reproduit ci-après a été établi par l'expert de la Commission européenne. Il propose un projet de série 03 d'amendements au Règlement n° 96, concernant la procédure d'essai des moteurs à allumage par compression destinés aux tracteurs agricoles et forestiers, ainsi qu'aux engins mobiles non routiers, en ce qui concerne les émissions de polluants provenant du moteur. Le présent document est fondé sur le document informel GRPE-61-02 distribué à la soixante et unième session du Groupe de travail de la pollution et de l'énergie (GRPE) (ECE/TRANS/WP.29/GRPE/61, par. 20). Les modifications qu'il est proposé d'apporter aux dispositions actuelles du Règlement apparaissent en caractères gras pour les parties de texte nouvelles ou en caractères biffés pour les parties supprimées.

* Conformément au programme de travail du Comité des transports intérieurs pour la période 2010-2014 (ECE/TRANS/208, par. 106, et ECE/TRANS/2010/8, activité 02.4), le Forum mondial élabore, harmonise et actualise les Règlements afin d'améliorer les caractéristiques fonctionnelles des véhicules. Le présent document est soumis en vertu de ce mandat.

I. Proposition

Texte du Règlement, modifier comme suit:

1. Domaine d'application

Le présent Règlement s'applique aux émissions de polluants gazeux et particulaires provenant des moteurs à allumage par compression:

- 1.1 montés sur des véhicules de la catégorie T¹ dont la puissance nette installée est supérieure à 18 kW mais ne dépasse pas 560 kW;
- 1.2 montés sur des **engins mobiles non routiers**¹ dont la puissance nette installée est supérieure à 18 kW mais ne dépasse pas 560 kW, et qui fonctionnent à régime **variable**;
- 1.3 montés sur des **engins mobiles non routiers**¹ dont la puissance nette installée est supérieure à 18 kW mais ne dépasse pas 560 kW, et qui fonctionnent à régime constant.

2. Définitions et abréviations

- 2.1 Au sens du présent Règlement, on entend par:
 - 2.1.1 **«Facteurs d'ajustement»**, des facteurs additifs (facteur d'ajustement vers le haut et facteur d'ajustement vers le bas) ou des facteurs multiplicatifs à prendre en compte durant la régénération périodique (peu fréquente);
 - 2.1.2 **«Limite d'émissions applicable»**, la limite des émissions applicable au moteur;
 - 2.1.3 **«Homologation d'un moteur»**, l'homologation d'un type ou d'une famille de moteurs quant au niveau des émissions de polluants gazeux et particulaires du moteur;
 - 2.1.4 **«Condensation aqueuse»**, la précipitation de constituants aqueux lors du passage d'une phase gazeuse à une phase aqueuse. La condensation aqueuse est fonction de l'humidité, de la pression, de la température et de la concentration d'autres éléments constitutifs tels que l'acide sulfurique. Ces paramètres varient en fonction de l'humidité de l'air d'admission et de l'humidité de l'air de dilution, du rapport air-combustible et de la composition du carburant, y compris sa teneur en hydrogène et en soufre;
 - 2.1.5 **«Pression atmosphérique»**, la pression atmosphérique humide absolue statique. À noter que si la pression atmosphérique est mesurée dans un conduit, on devra veiller à ce que les pertes soient négligeables entre l'atmosphère et le point de mesure, et tenir compte des changements de la pression statique dans le conduit résultant du débit;

¹ Tels que définis dans la Résolution d'ensemble sur la construction des véhicules (R.E.3) (ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.2).

- 2.1.6 «*Étalonnage*», l'opération qui consiste à régler la réponse d'un système de manière telle que ses résultats correspondent à une série de signaux de référence. Voir aussi «*vérification*»;
- 2.1.7 «*Gaz d'étalonnage*», un mélange de gaz purifiés utilisé pour étalonner les analyseurs de gaz. Ces gaz doivent satisfaire aux spécifications du paragraphe 9.5.1. À noter que les gaz d'étalonnage et les gaz de calibrage sont qualitativement les mêmes, mais qu'ils diffèrent de par leur fonction primaire. Les divers contrôles des performances des analyseurs de gaz et des éléments de manipulation des échantillons peuvent faire référence à des gaz d'étalonnage ou des gaz de calibrage;
- 2.1.8 «*Moteur à allumage par compression*», un moteur qui fonctionne selon le principe de l'allumage par compression (par exemple un moteur diesel);
- 2.1.9 «*Moteur à régime constant*», un moteur dont l'homologation de type ou la certification n'est valable que pour un seul régime. Les moteurs dont on a neutralisé ou supprimé la fonction régime constant ne sont plus des moteurs à régime constant;
- 2.1.10 «*Fonctionnement à régime constant*», le fonctionnement d'un moteur qui maintient automatiquement un régime constant par la présence d'un régulateur qui adapte la demande de l'opérateur pour maintenir le régime du moteur en conditions de charge changeantes. Un régulateur ne maintient pas toujours un régime constant. Généralement, le régime peut descendre de 0,1 à 10 % au-dessous du régime à charge nulle, de telle manière que le régime minimal soit situé près du point de puissance maximale du moteur;
- 2.1.11 «*Régénération continue*», le processus de régénération d'un système de traitement aval des gaz d'échappement qui agit en continu ou une fois au moins sur le cycle d'essai transitoire ou à modes stationnaires raccordés applicable; contrairement à la régénération périodique (peu fréquente);
- 2.1.12 «*Efficacité de conversion du convertisseur de HCNM E*», l'efficacité de la conversion d'un convertisseur qui est utilisé pour éliminer les hydrocarbures non méthaniques de l'échantillon de gaz par oxydation de tous les hydrocarbures à l'exception du méthane. Idéalement, la conversion pour le méthane est de 0 % ($E_{CH_4} = 0$) et pour les autres hydrocarbures représentés par l'éthane elle est de 100 % ($E_{C_2H_6} = 100$ %). Pour mesurer efficacement les HCNM, il convient de déterminer les deux efficacités et de les utiliser pour le calcul du débit massique d'émissions pour le méthane et l'éthane. Voir aussi sous «*fraction de pénétration*»;
- 2.1.13 «*Temps de latence*», l'écart de temps entre la variation d'un constituant à mesurer au point de référence et l'instant de réponse du système de 10 % de la valeur finale (t_{10}), la sonde de prélèvement étant par définition le point de référence. Pour les constituants gazeux, il s'agit du temps de transport du constituant mesuré entre la sonde de prélèvement et le détecteur (voir fig. 3.1);
- 2.1.14 «*Système réducteur de NO_x* », un système de traitement aval des gaz d'échappement destiné à réduire les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) (par exemple des catalyseurs de NO_x passifs et actifs en régime pauvre, des absorbeurs de NO_x et des systèmes de réduction catalytique sélective (SCR));

- 2.1.15 «*Point de rosée*», une valeur de mesure de l'humidité correspondant à la température d'équilibre à laquelle se condense l'eau sous une certaine pression à partir de l'air humide avec une humidité absolue donnée. Le point de rosée est spécifié en tant que température en °C ou K, et n'est valable que pour la pression à laquelle il est mesuré;
- 2.1.16 «*Mode discret*», un mode d'essai en conditions stationnaires de type discret, comme décrit au paragraphe 7.4.1.1 et dans l'annexe 5;
- 2.1.17 «*Dérive*», la différence entre un signal zéro ou d'étalonnage et la valeur respective indiquée par un instrument de mesure immédiatement après son emploi dans un essai d'émissions, pour autant que l'instrument ait été mis à zéro et calibré juste avant l'essai;
- 2.1.18 «*Module de gestion électronique*», un dispositif électronique d'un moteur qui se sert des données des capteurs du moteur pour gérer les paramètres de celui-ci;
- 2.1.19 «*Dispositif antipollution*», un dispositif, un système ou un élément de conception qui limite ou réduit les émissions de polluants d'un moteur;
- 2.1.20 «*Stratégie de limitation des émissions*», la combinaison d'un système de limitation des émissions avec une stratégie de base de limitation des émissions et un ensemble de stratégies auxiliaires de limitation des émissions, intégrée dans la conception globale d'un moteur ou d'un engin mobile non routier dans lequel le moteur est installé;
- 2.1.21 «*Période de durabilité des caractéristiques d'émission*», le nombre d'heures indiqué à l'annexe 8, utilisé pour déterminer les facteurs de détérioration;
- 2.1.22 «*Famille de moteurs*», un groupe de moteurs d'un constructeur qui, de par leur conception, sont censés posséder des caractéristiques communes en ce qui concerne les émissions de gaz d'échappement et satisfaire aux prescriptions du paragraphe 7 du présent Règlement;
- 2.1.23 «*Régime moteur régulé*», le régime de fonctionnement du moteur lorsqu'il est réglé par le régulateur en place;
- 2.1.24 «*Système moteur*», l'ensemble composé du moteur, du système antipollution et de l'interface de communication (matériel et messages) entre le ou les modules de gestion électronique du moteur et tout autre module de gestion du groupe motopropulseur ou du véhicule;
- 2.1.25 «*Type de moteur*», une catégorie de moteurs ne présentant pas entre eux de différences en ce qui concerne les caractéristiques essentielles définies aux paragraphes 1 à 4 de l'annexe 1A, appendice 3 du présent Règlement;
- 2.1.26 «*Système de traitement aval des gaz d'échappement*», un catalyseur, un filtre à particules, un système de traitement des oxydes d'azote, ou tout autre système combiné de réduction des émissions de NO_x, de particules ou d'autres polluants est installé en aval du moteur. De cette définition sont exclus les dispositifs de recirculation des gaz d'échappement (EGR) et les turbocompresseurs, qui sont considérés comme faisant partie intégrante du moteur;

- 2.1.27 «*Recirculation des gaz d'échappement*», une technique qui réduit les émissions en renvoyant les gaz d'échappement sortant des chambres de combustion dans le flux d'air d'admission avant ou pendant la combustion. L'utilisation d'un réglage spécial de la distribution pour augmenter la quantité de gaz d'échappement résiduels dans la ou les chambres de combustion qui est mélangée avec l'air entrant n'est pas considérée comme système de recyclage des gaz d'échappement aux termes du présent Règlement;
- 2.1.28 «*Méthode de dilution du flux total*», le processus de mélangeage de tout le flux de gaz d'échappement avec l'air de dilution avant de prélever une fraction du flux des gaz d'échappement dilués à des fins d'analyse;
- 2.1.29 «*Polluants gazeux*», le monoxyde de carbone, les hydrocarbures et/ou les hydrocarbures non méthaniques (en partant d'un taux de $C_1H_{1,85}$) et oxydes d'azote, ces derniers étant exprimés en équivalent dioxyde d'azote (NO_2);
- 2.1.30 «*Pratiques techniques reconnues*», les évaluations faites en conformité avec les principes scientifiques et techniques généralement admis et les informations techniques disponibles;
- 2.1.31 «*Filtre HEPA*», un filtre à air antiparticules de grande efficacité qui doit avoir une efficacité nominale initiale minimale d'élimination des particules de 99,97 % sur la base de la norme ASTM F 1471-93 ou d'une norme équivalente;
- 2.1.32 «*Hydrocarbures (HC)*», selon le cas, les HCT ou les HCNM. Par hydrocarbures, on entend généralement le groupe d'hydrocarbures sur lequel sont fondées les normes d'émissions pour chaque type de carburant et de moteur;
- 2.1.33 «*Régime supérieur (n_{hi})*», le régime le plus élevé auquel le moteur produit 70 % de sa puissance maximale;
- 2.1.34 «*Ralenti*», le régime moteur en charge minimale (charge plus grande que ou égale à zéro) lorsqu'un régulateur gère le régime moteur. Pour les moteurs qui en sont dépourvus, le ralenti est le régime annoncé par le constructeur comme étant le régime minimal possible en charge minimale. Par ralenti à chaud on entend le régime de ralenti du moteur à chaud;
- 2.1.35 «*Régime intermédiaire*», le régime du moteur répondant à l'une des conditions suivantes:
- Dans le cas des moteurs conçus pour fonctionner sur une plage de régimes couvrant la courbe de couple à pleine charge, le régime intermédiaire sera considéré comme étant le régime de couple maximal annoncé s'il se situe entre 60 et 75 % du régime nominal;
 - Si le régime de couple maximal déclaré est inférieur à 60 % du régime nominal, le régime intermédiaire doit être de 60 % du régime nominal;
 - Si le régime de couple maximal déclaré est supérieur à 75 % du régime nominal, le régime intermédiaire doit être égal à 75 % du régime nominal;

- 2.1.36 «*Linéarité*», la mesure dans laquelle les valeurs mesurées concordent avec les valeurs de référence respectives. La linéarité est quantifiée au moyen d'une régression linéaire de paires de valeurs mesurées et de valeurs de référence sur une plage de valeurs escomptées ou observées pendant les essais;
- 2.1.37 «*Régime inférieur (n_{10})*», le régime le plus bas auquel le moteur fournit 50 % de sa puissance maximale;
- 2.1.38 «*Puissance maximale (P_{\max})*», la puissance maximale, en kW, fournie par le moteur tel qu'il est conçu par le constructeur;
- 2.1.39 «*Régime de couple maximal*», le régime du moteur auquel on obtient le couple maximal du moteur, tel que spécifié par le constructeur;
- 2.1.40 «*Moyenne d'une quantité*» basée sur les valeurs moyennes pondérées par le débit, le niveau moyen d'une quantité après sa pondération proportionnelle au débit correspondant;
- 2.1.41 «*Puissance nette*», la puissance en «kW CEE» mesurée au banc d'essai, en bout de vilebrequin ou de l'organe équivalent, conformément à la méthode de mesure de la Commission économique pour l'Europe décrite dans le Règlement n° 120 concernant la mesure de la puissance nette, du couple net et de la consommation spécifique de carburant des moteurs à combustion interne destinés aux tracteurs agricoles et forestiers ainsi qu'aux engins mobiles non routiers;
- 2.1.42 «*Hydrocarbures non méthaniques (HCNM)*», la somme de toutes les espèces d'hydrocarbures à l'exception du méthane;
- 2.1.43 «*Rejets de gaz de carter*», tout flux de gaz provenant du carter qui est envoyé directement dans l'atmosphère;
- 2.1.44 «*Demande de l'opérateur*», une action de l'opérateur pour commander la puissance produite par le moteur. Cet «opérateur» peut être une personne (agissant manuellement) ou un régulateur (automatique) qui émet mécaniquement ou électroniquement un signal de commande de la puissance produite par le moteur; celui-ci peut consister en un ordre donné avec la pédale d'accélérateur, avec un levier de gaz, avec un levier de carburant, avec un levier de régime ou avec un point de consigne d'un régulateur ou un signal correspondant à ces ordres;
- 2.1.45 «*Oxydes d'azote*», des mélanges composés uniquement d'azote et d'oxygène tels que mesurés suivant les procédures spécifiées dans le présent Règlement. Les oxydes d'azote sont exprimés quantitativement comme si le NO était sous la forme de NO₂, de telle sorte qu'on utilise une masse molaire effective pour tous les oxydes d'azote équivalente à celle du NO₂;
- 2.1.46 «*Moteur de base*», un moteur choisi dans une famille de moteurs de telle sorte que ses caractéristiques d'émissions soient représentatives de cette famille et qui satisfait aux prescriptions énoncées à l'annexe 1B du présent Règlement;
- 2.1.47 «*Pression partielle*», la pression p attribuable à un gaz unique dans un mélange de gaz. Pour un gaz idéal, la pression partielle divisée par la pression totale est égale à la concentration molaire, x , du constituant;

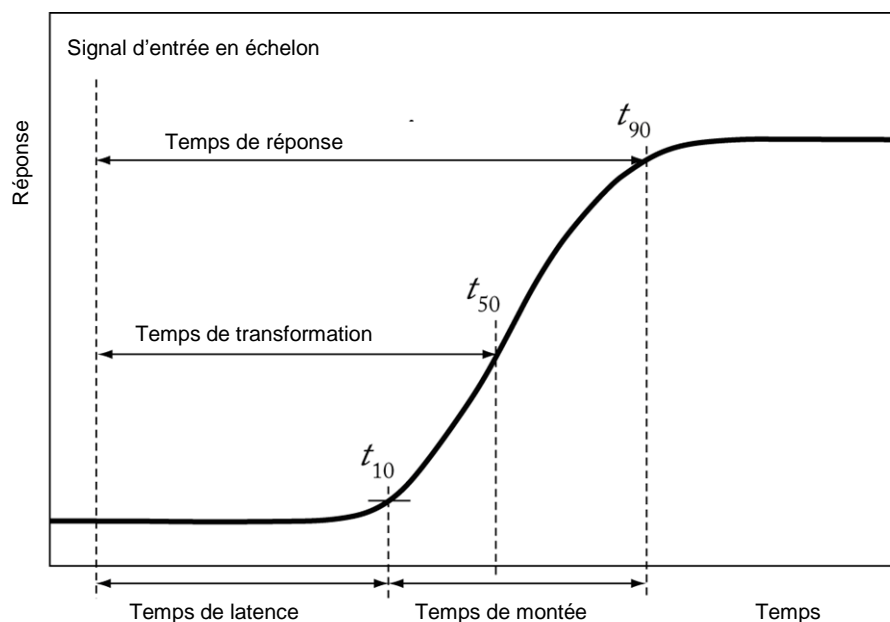
- 2.1.48 «*Dispositif de traitement aval des particules*», un système aval de traitement des gaz d'échappement en aval destiné à réduire les émissions de particules polluantes par un procédé de séparation mécanique ou aérodynamique, par diffusion ou par inertie;
- 2.1.49 «*Méthode de dilution du flux partiel*», une méthode qui consiste à séparer une partie du flux d'échappement total et à la mélanger avec une quantité appropriée d'air de dilution avant de l'envoyer au filtre de collecte des particules;
- 2.1.50 «*Matières particulaires (MP)*», toutes matières recueillies sur un filtre de caractéristiques spécifiées après dilution, avec de l'air filtré propre, des gaz d'échappement du moteur à allumage par compression de sorte que la température ne dépasse pas 325 K (52 °C);
- 2.1.51 «*Fraction de pénétration PF*», l'écart par rapport au fonctionnement idéal d'un convertisseur de HCNM (voir «efficacité des convertisseurs de HCNM E»). Un convertisseur idéal doit avoir un facteur de pénétration, PF_{CH_4} , de 1 000 (autrement dit une efficacité de conversion du méthane E_{CH_4} de 0), et un facteur de pénétration pour tous les autres hydrocarbures de 0,000, comme représenté par $PF_{C_2H_6}$ (c'est-à-dire une efficacité de conversion de l'éthane $E_{C_2H_6}$ de 1). La relation est: $PF_{CH_4} = 1 - E_{CH_4}$ et $PF_{C_2H_6} = 1 - E_{C_2H_6}$;
- 2.1.52 «*Taux de charge*», la fraction en pourcentage du couple maximal disponible utilisée à un régime donné du moteur;
- 2.1.53 «*Régénération périodique (peu fréquente)*», le processus de régénération d'un système de traitement aval des gaz d'échappement qui survient périodiquement après en général moins de 100 h de fonctionnement normal du moteur. Pendant les cycles de régénération, les normes de pollution peuvent être dépassées;
- 2.1.54 «*Mise sur le marché*», le fait de rendre disponible sur le marché d'un pays appliquant le présent Règlement, contre paiement ou à titre gratuit, un produit visé par le présent Règlement en vue de sa distribution ou de son utilisation dans le pays;
- 2.1.55 «*Sonde*», la première section de la ligne de transfert qui achemine l'échantillon jusqu'à l'élément suivant du système de prélèvement;
- 2.1.56 «*PTFE*», le polytétrafluoréthylène, couramment appelé Teflon (marque déposée);
- 2.1.57 «*Cycle à modes stationnaires raccordés*», un cycle d'essai comportant une suite de modes d'essai du moteur en conditions stationnaires avec des critères de régime et de couple définis pour chaque mode ainsi que des rampes de transition de régime et de couple définies entre ces modes;
- 2.1.58 «*Régime nominal*», le régime maximal permis par le régulateur tel qu'il a été défini par le constructeur, ou, en l'absence d'un tel régulateur, le régime auquel est obtenue la puissance maximale du moteur tel qu'il a été conçu par le constructeur;
- 2.1.59 «*Réactif*», un agent consommable ou non récupérable requis et utilisé pour assurer le bon fonctionnement du système de traitement aval des gaz d'échappement;

- 2.1.60 «*Régénération*», un événement au cours duquel les niveaux d'émissions changent pendant que l'efficacité du traitement aval se rétablit par un processus prévu par le constructeur. Deux types de régénération peuvent se produire: la régénération continue (voir le paragraphe 6.6.1) et la régénération périodique (peu fréquente) (voir le paragraphe 6.6.2);
- 2.1.61 «*Temps de réponse*», le temps qui s'écoule entre la variation du constituant à mesurer au point de référence et une réponse du système de 90 % de la valeur finale (t_{90}), la sonde de prélèvement étant définie comme étant le point de référence, pendant lequel la variation du constituant mesuré atteint au moins 60 % de l'échelle et le dispositif de commutation de gaz effectue la commutation en moins de 0,1 s. Le temps de réponse du système est la somme du temps de latence jusqu'à l'entrée du système et du temps de montée du système;
- 2.1.62 «*Temps de montée*», l'écart de temps entre les réponses à 10 % et à 90 % de la valeur finale lue ($t_{90} - t_{10}$);
- 2.1.63 «*Manomètre atmosphérique commun*», un manomètre dont les valeurs annoncées sont utilisées comme valeur de pression atmosphérique pour tout un atelier comportant plusieurs cellules d'essais dynamométriques;
- 2.1.64 «*Mesure commune de l'humidité*», une mesure de l'humidité s'appliquant à l'ensemble de l'atelier de mesure comportant plusieurs cellules d'essai;
- 2.1.65 «*Réglage de sensibilité*», le réglage d'un instrument de manière à ce qu'il donne une réponse appropriée à une norme d'étalonnage qui représente entre 75 et 100 % de la valeur maximale de la plage de mesure de l'instrument ou de la plage d'utilisation prévue;
- 2.1.66 «*Gaz de calibrage*», un mélange de gaz purifiés qui sert à régler les analyseurs de gaz. Ces gaz de réglage doivent satisfaire aux spécifications du paragraphe 9.5.1. À noter que les gaz d'étalonnage et les gaz de calibrage sont qualitativement les mêmes mais qu'ils diffèrent de par leur fonction primaire. Diverses vérifications des performances des analyseurs de gaz et d'éléments de manipulation des échantillons peuvent faire référence selon le cas au gaz d'étalonnage ou au gaz de calibrage;
- 2.1.67 «*Émissions spécifiques*», les émissions massiques exprimées en g/kWh;
- 2.1.68 «*Autonome*», le fait qu'un objet soit indépendant;
- 2.1.69 «*Essais en conditions stationnaires*», des essais d'émissions dans lesquels le régime moteur et la charge sont maintenus dans un ensemble fini de valeurs nominalement constantes;
- 2.1.70 «*Stœchiométrie*», la valeur d'un rapport air/carburant tel que si le carburant était entièrement oxydé, il n'y aurait pas de carburant ou d'oxygène restant;
- 2.1.71 «*Support de prélèvement*», un filtre à particules, un sac-échantillon, un dispositif de stockage ou tout autre moyen de stockage utilisé pour le prélèvement par lots;
- 2.1.72 «*Cycle d'essai*», une suite de points de mesure correspondant chacun à un régime et un couple précis devant être appliqués avec le moteur en conditions de fonctionnement stationnaires ou transitoires. Les cycles d'essai sont spécifiés dans l'annexe 5. Un cycle d'essai peut lui-même comporter un ou plusieurs intervalles d'essai;

- 2.1.73 «*Intervalle d'essai*», un intervalle de temps pendant lequel sont déterminées les émissions spécifiques au frein. Si plusieurs intervalles d'essai surviennent sur un cycle d'essai, la régulation peut spécifier des calculs additionnels qui pondèrent et combinent les résultats pour aboutir à des valeurs composites permettant des comparaisons avec les limites d'émissions applicables;
- 2.1.74 «*Tolérance*», l'intervalle dans lequel se situent 95 % d'un ensemble de valeurs enregistrées d'une quantité donnée, les 5 % restants sortant de l'intervalle de tolérance. Les fréquences d'enregistrement et les intervalles de temps spécifiés doivent être prises en compte pour déterminer si une quantité satisfait à la tolérance applicable;
- 2.1.75 «*Hydrocarbures totaux (HCT)*», masse combinée des composés organiques mesurée au moyen de la procédure spécifique utilisée pour mesurer le total des hydrocarbures, exprimée sous la forme d'un hydrocarbure ayant un indice de structure hydrogène à carbone de 1,85:1;
- 2.1.76 «*Temps de transformation*», l'écart de temps entre la variation du constituant à mesurer au point de référence et une réponse du système de 50 % de la valeur finale (t_{50}), la sonde de prélèvement étant définie comme étant le point de référence. Le temps de transformation est utilisé pour l'alignement du signal des différents instruments de mesure. Voir la figure 3.1;
- 2.1.77 «*Cycle d'essai en conditions transitoires*», un cycle d'essai comportant une série de valeurs de régime et de couple normalisés qui varient relativement rapidement en fonction du temps;
- 2.1.78 «*Homologation de type*», l'homologation d'un type de moteur en ce qui concerne les émissions gazeuses mesurées conformément aux procédures spécifiées dans le présent Règlement;
- 2.1.79 «*Mise à jour/enregistrement*», la fréquence avec laquelle l'analyseur fournit des valeurs nouvelles du moment;
- 2.1.80 «*Durée de vie utile*», le kilométrage et/ou la durée pendant lequel/laquelle doit être garantie la conformité aux limites d'émissions gazeuses/particulaires;
- 2.1.81 «*Moteur à régime variable*», un moteur autre qu'un moteur à régime constant;
- 2.1.82 «*Vérification*», le fait d'évaluer si les résultats d'un système de mesure concordent ou non avec une série de signaux de référence appliqués dans une ou plusieurs limites préalablement fixées. Voir aussi «*étalonnage*»;
- 2.1.83 «*Mise à zéro*», le fait de régler un instrument d'une manière telle qu'il donne une réponse de zéro en présence d'un gaz d'étalonnage de concentration nulle, tel que l'azote purifié ou l'air purifié, pour la mesure des concentrations de constituants des émissions;
- 2.1.84 «*Gaz de mise à zéro*», un gaz donnant une réponse de zéro dans un analyseur. Il peut s'agir d'azote purifié ou une combinaison d'air purifié et d'azote purifié.

Figure 1

Définitions des temps de relatifs à la réponse du système: temps de latence (par. 2.1.13), temps de réponse (par. 2.1.61), temps de montée (par. 2.1.62) et temps de transformation (par. 2.1.76)



2.2 Symboles et abréviations

2.2.1 Symboles

Les symboles sont expliqués dans l'annexe 4A, paragraphe 1.4, et dans l'annexe 4B, paragraphe 3.2, respectivement.

2.2.2 Symboles et abréviations pour les constituants chimiques

Ar	Argon
C ₁	Hydrocarbures exprimés en équivalent carbone 1
CH ₄	Méthane
C ₂ H ₆	Éthane
C ₃ H ₈	Propane
CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	Dioxyde de carbone
DOP	Di-octylphtalate
H	Hydrogène atomique
H ₂	Hydrogène moléculaire
HC	Hydrocarbures
H ₂ O	Eau
He	Hélium
N ₂	Azote moléculaire

HCNM	Hydrocarbures non méthaniques
NO_x	Oxydes d'azote
NO	Oxyde nitrique
NO₂	Dioxyde d'azote
O₂	Oxygène
PM	Matières particulaires
PTFE	Polytétrafluoréthylène
S	Soufre
HCT	Hydrocarbures totaux

2.2.3

Abréviations

ASTM	American Society for Testing and Materials
BMD	Minidilueur pour prélèvement en sac
BSFC	Consommation spécifique de carburant par ch de puissance utile
CFV	Tube de venturi à écoulement critique
CI	Allumage par compression
CLD	Détecteur par chimiluminescence
CVS	Prélèvement à volume constant
deNO_x	Système de traitement aval des NO_x
DF	Facteur de détérioration
ECM	Module électronique de commande
EFC	Régulation électronique de débit
EGR	Recyclage des gaz d'échappement
FID	Détecteur à ionisation de flamme
GC	Chromatographie en phase gazeuse
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
HCLD	Détecteur à chimiluminescence chauffé
HFID	Détecteur à ionisation de flamme chauffé
IBP	Point d'ébullition initial
ISO	Organisation internationale de normalisation
NDIR	Analyseur dans l'infrarouge non dispersif
NDUV	Analyseur dans l'ultraviolet non dispersif
NIST	US National Institute for Standards and Technology
NMC	Convertisseur de HCNM
PDP	Pompe volumétrique
% FS	Pourcentage de l'échelle totale

PFD	Dilution de flux partiel
PFS	Système à flux partiel
PTFE	Polytétrafluoréthylène (couramment appelé Teflon (marque déposée))
RMC	Cycle à modes stationnaires raccordés
RMS	Valeur moyenne quadratique
RTD	Détecteur de température résistif
SAE	Society of Automotive Engineers
SSV	Venturi subsonique
UCL	Limite supérieure de confiance
UFM	Débitmètre ultrasonique

3. Demande d'homologation

- 3.1 Demande d'homologation d'un moteur en tant qu'entité technique séparée
 - 3.1.1 La demande d'homologation pour un moteur ou une famille de moteurs du point de vue du niveau des émissions de polluants gazeux et particuliers est présentée par le constructeur du moteur ou par un représentant dûment accrédité.
 - 3.1.2 Elle doit être accompagnée des pièces mentionnées ci-après, en triple exemplaire, et donner les précisions suivantes:

Description du type de moteur avec les détails mentionnés à l'**annexe 1A** du présent Règlement et, le cas échéant, celle de la famille de moteurs avec les détails mentionnés à l'annexe 1B du présent Règlement.
 - 3.1.3 Un moteur possédant les caractéristiques du type de moteur décrit à l'annexe 1A doit être présenté au service technique chargé des essais d'homologation décrits au paragraphe 5. Si le service technique décide que le moteur n'est pas tout à fait représentatif de la famille de moteurs décrite à l'**annexe 1A, appendice 2**, un moteur de remplacement et, si nécessaire, un moteur supplémentaire doivent être présentés pour procéder aux essais conformément au paragraphe 5.

4. Homologation

- 4.1 Si le moteur présenté à l'homologation en application du paragraphe 3.1 du présent Règlement satisfait aux prescriptions du paragraphe 5.2 ci-après, l'homologation pour ce type ou cette famille de moteurs est accordée.
- 4.2 À chaque type ou famille de moteurs homologué est attribué un numéro d'homologation dont les deux premiers chiffres indiquent la série d'amendements (actuellement 01) englobant les modifications techniques les plus récentes apportées au Règlement à la date de délivrance de l'homologation. Une même Partie contractante ne peut attribuer ce numéro à un autre type ou une autre famille de moteurs.

- 4.3 L'homologation ou l'extension ou le refus de l'homologation d'un type ou d'une famille de moteurs, en application du présent Règlement, est communiquée aux Parties à l'Accord de 1958 appliquant le présent Règlement, au moyen d'une fiche conforme au modèle visé à l'annexe 2, le cas échéant, du présent Règlement. Les valeurs obtenues au cours de l'essai du type seront également indiquées.
- 4.4 Sur tout moteur conforme à un type ou à une famille de moteurs homologués en application du présent Règlement, il est apposé de manière bien visible et en un endroit facilement accessible une marque internationale d'homologation composée:
- 4.4.1 d'un cercle à l'intérieur duquel est placée la lettre «E», suivi du numéro distinctif du pays qui a accordé l'homologation²;
- 4.4.2 du numéro du présent Règlement, suivi de la lettre «R», d'un tiret et du numéro d'homologation, placé à droite du cercle prescrit au paragraphe 4.4.1;
- 4.4.3 d'un symbole supplémentaire composé d'une lettre comprise entre D et K indiquant le niveau d'émissions (par. 5.2.1) d'après lequel le moteur ou la famille de moteurs a été homologué.
- 4.5 Si le moteur est conforme à un type ou à une famille homologués en application d'un ou de plusieurs autres Règlements annexés à l'Accord, dans le pays qui a accordé l'homologation en application du présent Règlement, il n'est pas nécessaire de répéter le symbole prescrit; en pareil cas, les numéros de règlement et d'homologation et les symboles additionnels de tous les Règlements pour lesquels l'homologation a été accordée en application du présent Règlement sont inscrits l'un au-dessous de l'autre, à droite du symbole prescrit au paragraphe 4.4.2.
- 4.6 La marque d'homologation est placée à côté de la plaque ou sur la plaque apposée par le constructeur sur le type de moteur homologué.
- 4.7 L'annexe 3 du présent Règlement donne des exemples de marques d'homologation.

² 1 pour l'Allemagne, 2 pour la France, 3 pour l'Italie, 4 pour les Pays-Bas, 5 pour la Suède, 6 pour la Belgique, 7 pour la Hongrie, 8 pour la République tchèque, 9 pour l'Espagne, 10 pour la Serbie, 11 pour le Royaume-Uni, 12 pour l'Autriche, 13 pour le Luxembourg, 14 pour la Suisse, 15 (libre), 16 pour la Norvège, 17 pour la Finlande, 18 pour le Danemark, 19 pour la Roumanie, 20 pour la Pologne, 21 pour le Portugal, 22 pour la Fédération de Russie, 23 pour la Grèce, 24 pour l'Irlande, 25 pour la Croatie, 26 pour la Slovénie, 27 pour la Slovaquie, 28 pour le Bélarus, 29 pour l'Estonie, 30 (libre), 31 pour la Bosnie-Herzégovine, 32 pour la Lettonie, 33 (libre), 34 pour la Bulgarie, 35 (Kazakhstan), 36 pour la Lituanie, 37 pour la Turquie, 38 (libre), 39 pour l'Azerbaïdjan, 40 pour l'ex-République yougoslave de Macédoine, 41 (libre), 42 pour la Communauté européenne (Les homologations sont accordées par les États membres qui utilisent leurs propres marques CEE), 43 pour le Japon, 44 (libre), 45 pour l'Australie, 46 pour l'Ukraine, 47 pour l'Afrique du Sud, 48 pour la Nouvelle-Zélande, 49 pour Chypre, 50 pour Malte, 51 pour la République de Corée, 52 pour la Malaisie, 53 pour la Thaïlande, 54 et 55 (libres), 56 pour le Monténégro, 57 (libre) et 58 pour la Tunisie. Les numéros suivants seront attribués aux autres pays selon l'ordre chronologique de ratification de l'Accord concernant l'adoption de prescriptions techniques uniformes applicables aux véhicules à roues, aux équipements et aux pièces susceptibles d'être montés ou utilisés sur un véhicule à roues et les conditions de reconnaissance réciproque des homologations délivrées conformément à ces prescriptions, ou de leur adhésion à cet Accord et les chiffres ainsi attribués seront communiqués par le Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies aux Parties contractantes à l'Accord.

- 4.8 Le moteur homologué en tant qu'entité technique doit porter, en plus de la marque d'homologation:
- 4.8.1 la marque de fabrique ou l'appellation commerciale du constructeur du moteur;
- 4.8.2 le numéro de code moteur attribué par le constructeur.
- 4.9 Ces marques doivent être parfaitement lisibles et indélébiles.

5. Prescriptions et essais

5.1 Généralités

Les éléments susceptibles d'influer sur l'émission des polluants gazeux et particulaires doivent être conçus, construits et montés de telle façon que le moteur continue, en utilisation normale, de satisfaire aux prescriptions du présent Règlement malgré les vibrations auxquelles il peut être soumis.

- 5.1.1 Les mesures techniques prises par le constructeur doivent **être telles que** les émissions en question soient effectivement limitées, conformément au présent Règlement, tout au long de la vie normale du moteur, dans des conditions normales d'utilisation. **Ces dispositions sont considérées comme respectées:**

- a) **si les dispositions des paragraphes 5.2.1 et 7.2.2.1 sont appliquées, et**
- b) **si, en outre, pour les moteurs relevant des plages de puissance L et au-dessus, les dispositions du paragraphe 5.3 sont appliquées.**

- 5.1.2 **Pour les moteurs relevant des plages de puissance H et au-dessus, le constructeur doit prouver la durabilité du moteur et du système de traitement aval, selon le cas, conformément à l'annexe 8.**

- 5.1.3 **Le remplacement systématique de constituants relatifs aux émissions, au bout d'un certain nombre d'heures de fonctionnement du moteur, est autorisé. Tout réglage, réparation, démontage, nettoyage ou remplacement d'éléments ou de systèmes du moteur, effectué de façon périodique pour prévenir un éventuel dysfonctionnement du moteur, n'est autorisé que s'il est techniquement nécessaire à un bon fonctionnement du système antipollution. En conséquence, les opérations à effectuer doivent être énumérées dans le carnet d'entretien du véhicule et approuvées avant délivrance de l'homologation. Pour les moteurs relevant des plages de puissance L et au-dessus, des renseignements complémentaires doivent être donnés conformément aux dispositions du paragraphe 5.3.3.**

- 5.1.4 **L'extrait pertinent du carnet concernant l'entretien et le remplacement du ou des dispositifs de traitement aval doit figurer dans le document d'information comme indiqué dans les appendices de l'annexe 1A du présent Règlement.**

- 5.2 Prescriptions concernant les émissions de polluants

Les émissions de polluants gazeux et particulaires provenant du moteur soumis aux essais doivent être mesurées par la méthode décrite à l'annexe 4A pour les plages de puissance jusqu'à P, et à l'annexe 4B

pour les plages de puissance Q et R. À la demande du constructeur et sous réserve de l'accord de l'autorité chargée de l'homologation, les méthodes décrites dans l'annexe 4B peuvent être appliquées pour les plages de puissance jusqu'à P.

- 5.2.1 Les émissions de monoxyde de carbone, d'hydrocarbures et d'oxydes d'azote, ainsi que les émissions de **matières particulaires**, ne doivent pas dépasser les quantités suivantes:

Plage de puissance	Puissance nette (P) (kW)	Monoxyde de carbone (CO) (g/kWh)	Hydrocarbures (HC) (g/kWh)	Oxydes d'azote (NO _x) (g/kWh)	Matières particulaires (PM) (g/kWh)
E	130 ≤ P ≤ 560	3,5	1,0	6,0	0,2
F	75 ≤ P < 130	5,0	1,0	6,0	0,3
G	37 ≤ P < 75	5,0	1,3	7,0	0,4
D	18 ≤ P < 37	5,5	1,5	8,0	0,8
	Puissance nette (P) (kW)	Monoxyde de carbone (CO) (g/kWh)	Somme des hydrocarbures et des oxydes d'azote (HC + NO _x) (g/kWh)		Matières particulaires (PM) (g/kWh)
H	130 ≤ P ≤ 560	3,5	4,0		0,2
I	75 ≤ P < 130	5,0	4,0		0,3
J	37 ≤ P < 75	5,0	4,7		0,4
K	19 ≤ P < 37	5,5	7,5		0,6
	Puissance nette (P) (kW)	Monoxyde de carbone (CO) (g/kWh)	Hydrocarbures (HC) (g/kWh)	Oxydes d'azote (NO _x) (g/kWh)	Matières particulaires (PM) (g/kWh)
L	130 ≤ P ≤ 560	3,5	0,19	2,0	0,025
M	75 ≤ P < 130	5,0	0,19	3,3	0,025
N	56 ≤ P < 75	5,0	0,19	3,3	0,025
			Somme des hydrocarbures et des oxydes d'azote (HC + NO _x) (g/kWh)		
P	37 ≤ P < 56	5,0	4,7		0,025
	Puissance nette (P) (kW)	Monoxyde de carbone (CO) (g/kWh)	Hydrocarbures (HC) (g/kWh)	Oxydes d'azote (NO _x) (g/kWh)	Matières particulaires (PM) (g/kWh)
Q	130 ≤ P ≤ 560	3,5	0,19	0,4	0,025
R	56 ≤ P < 130	5,0	0,19	0,4	0,025

Les valeurs limites pour les plages de puissance H à R doivent inclure les facteurs de détérioration calculés conformément à l'annexe 8.

- 5.2.2 Lorsque, selon la définition de l'annexe 1B, une famille de moteurs couvre plus d'une plage de puissance, les valeurs d'émission des moteurs de cette famille (homologation de type) et de tous les types de moteur de la même

famille (conformité de la production) doivent satisfaire aux prescriptions plus sévères de la plage de puissance supérieure.

- 5.3 Prescriptions relatives à l'homologation de type pour les plages de puissance L à R**
- 5.3.1** Le présent paragraphe s'applique à l'homologation de type des moteurs à gestion électronique utilisant un système de gestion électronique pour déterminer à la fois le débit et le point d'injection du carburant (dénommés ci-après «moteur»). Il s'applique indépendamment de la technologie utilisée dans ces moteurs pour respecter les valeurs limites d'émission visées au paragraphe 5.2.1 du présent Règlement.
- 5.3.2 Prescriptions générales**
- 5.3.2.1 Prescriptions concernant la stratégie de base de limitation des émissions**
- 5.3.2.1.1** La stratégie de base de limitation des émissions, activée sur toute la plage de fonctionnement du régime et du couple du moteur, doit être conçue de manière à garantir la conformité du moteur aux dispositions du présent Règlement.
- 5.3.2.1.2** Est interdite toute stratégie de base de limitation des émissions capable de distinguer entre un fonctionnement selon un essai normalisé d'homologation de type et d'autres conditions de fonctionnement et de permettre un niveau d'émissions plus élevé lorsque le moteur ne fonctionne pas dans des conditions fondamentalement incluses dans la procédure d'homologation de type.
- 5.3.2.2 Prescriptions concernant la stratégie auxiliaire de limitation des émissions**
- 5.3.2.2.1** Une stratégie auxiliaire de limitation des émissions peut être utilisée pour un moteur ou un engin mobile non routier, à condition que celle-ci, lorsqu'elle est activée, modifie la stratégie de base de limitation des émissions en réponse à un ensemble spécifique de conditions ambiantes et/ou de fonctionnement, mais ne réduise pas de façon permanente l'efficacité du système de limitation des émissions.
 - a) Lorsque la stratégie auxiliaire de limitation des émissions est activée pendant l'essai d'homologation de type, les paragraphes 5.3.2.2.2 et 5.3.2.2.3 ne s'appliquent pas.
 - b) Lorsque la stratégie auxiliaire de limitation des émissions n'est pas activée pendant l'essai d'homologation de type, il doit être démontré que celle-ci n'est active que pendant la période nécessaire aux fins indiquées au paragraphe 5.3.2.2.3.
- 5.3.2.2.2** Les conditions de contrôle applicables au présent paragraphe sont les suivantes:
 - a) Une altitude n'excédant pas 1 000 m (ou une pression atmosphérique équivalente de 90 kPa);
 - b) Une température ambiante comprise dans la plage de 275 K à 303 K (2 °C à 30 °C);
 - c) Une température du liquide de refroidissement du moteur supérieure à 343 K (70 °C).

Si la stratégie auxiliaire de limitation des émissions est activée lorsque le moteur fonctionne dans les conditions de contrôle visées aux points a), b) et c), celle-ci ne doit être activée qu'à titre exceptionnel.

5.3.2.2.3 Une stratégie auxiliaire de limitation des émissions peut être activée notamment aux fins suivantes:

- a) Par des signaux provenant de systèmes embarqués, pour protéger de toute détérioration le moteur (y compris le dispositif de contrôle d'admission d'air) et/ou l'engin mobile non routier dans lequel le moteur est installé;
- b) Pour assurer la sécurité de fonctionnement et la mise en œuvre des stratégies;
- c) Pour prévenir des émissions excessives lors d'un démarrage à froid, d'une mise en température ou d'un arrêt;
- d) Si elle est utilisée pour atténuer la réduction d'un polluant réglementé dans des conditions ambiantes ou de fonctionnement spécifiques, en vue de maintenir tous les autres polluants réglementés à l'intérieur de valeurs limites d'émission appropriées pour le moteur concerné. L'objectif à cet égard doit être de compenser des phénomènes survenant naturellement d'une manière qui permette une limitation acceptable de l'ensemble des constituants des émissions.

5.3.2.2.4 Le constructeur doit démontrer au service technique au moment de l'essai d'homologation de type que le fonctionnement de toute stratégie auxiliaire de limitation des émissions est conforme aux dispositions du paragraphe 5.3.2.2. La démonstration consiste en une évaluation des documents visés au paragraphe 5.3.2.3.

5.3.2.2.5 Tout fonctionnement d'une stratégie auxiliaire de limitation des émissions non conforme au paragraphe 5.3.2.2 est interdit.

5.3.2.3 Prescriptions en matière de documentation

5.3.2.3.1 Avec la demande d'homologation de type, le constructeur doit fournir, au moment de la présentation de celle-ci au service technique, un dossier constructeur qui permet l'accès à tout élément de conception, à toute stratégie de limitation des émissions et aux moyens par lesquels la stratégie auxiliaire contrôle directement ou indirectement les variables de sortie. Le dossier constructeur doit être présenté en deux parties:

- a) Le dossier d'homologation, joint à la demande de l'homologation de type, contient une vue d'ensemble complète de la stratégie de limitation des émissions. Il convient d'apporter la preuve que toutes les valeurs de sortie autorisées par une matrice obtenue à partir des plages de commande des valeurs d'entrée des unités individuelles ont été identifiées. Ces preuves doivent être jointes au dossier constructeur conformément à l'annexe 1A;
- b) Les éléments supplémentaires, présentés au service technique mais non joints à la demande d'homologation de type, incluent tous les paramètres modifiés par toute stratégie auxiliaire de limitation des émissions et les conditions limites dans lesquelles cette stratégie opère et en particulier:

- i) Une description de la logique de commande, des stratégies de réglage et des points de commutation dans tous les modes de fonctionnement pour le système d'alimentation en carburant et les autres systèmes essentiels permettant une limitation efficace des émissions (système de recyclage des gaz d'échappement (EGR) ou de dosage du réactif, par exemple);
 - ii) Une justification de l'utilisation de toute stratégie auxiliaire de limitation des émissions appliquée au moteur, accompagnée des éléments et données d'essai, démontrant l'effet sur les émissions d'échappement. Cette justification peut reposer sur des données d'essai, une analyse technique sérieuse ou une combinaison des deux;
 - iii) Une description détaillée des algorithmes ou capteurs (selon le cas) utilisés pour détecter, analyser ou diagnostiquer le fonctionnement incorrect du système de réduction des NO_x;
 - iv) La tolérance appliquée pour satisfaire aux exigences du paragraphe 5.3.3.7.2, quels que soient les moyens utilisés.
- 5.3.2.3.2 Les éléments supplémentaires visés au paragraphe 5.3.2.3.1 sont traités comme strictement confidentiels. Ils doivent être communiqués sur demande à l'autorité compétente d'homologation. Celle-ci doit traiter ces éléments comme confidentiels.
- 5.3.3 Prescriptions visant à garantir le bon fonctionnement du système de réduction des NO_x.
- 5.3.3.1 Le constructeur doit fournir des informations décrivant en détail les caractéristiques de fonctionnement du système de réduction des NO_x à l'aide des documents figurant à l'annexe 1A, appendice 1, paragraphe 2 et appendice 3, paragraphe 2.
- 5.3.3.2 Si le système de limitation des émissions nécessite l'emploi d'un réactif, les caractéristiques de ce réactif, notamment son type, les informations relatives à sa concentration lorsqu'il est en solution, ses températures de fonctionnement et la référence aux normes internationales indiquant sa composition et sa qualité doivent être précisées par le constructeur à l'annexe 1A, appendice 1, paragraphe 2.2.1.13 et appendice 3, paragraphe 3.2.1.13.
- 5.3.3.3 La stratégie de limitation des émissions du moteur doit être opérationnelle dans toutes les conditions environnementales normalement rencontrées sur le territoire des Parties contractantes, en particulier à des basses températures ambiantes.
- 5.3.3.4 Le constructeur doit démontrer, en cas d'utilisation d'un réactif, que les émissions d'ammoniac n'excèdent pas une valeur moyenne de 25 ppm pendant le cycle d'essai applicable de la procédure d'homologation de type.
- 5.3.3.5 Si des réservoirs de réactif séparés sont installés ou raccordés sur un engin mobile non routier, un dispositif permettant de prélever un échantillon du réactif dans les réservoirs doit être prévu. Le point de prélèvement doit être facilement accessible sans nécessiter l'utilisation d'un outil ou dispositif spécial.

5.3.3.6 Prescriptions en matière d'utilisation et d'entretien

5.3.3.6.1 Conformément au paragraphe 5.1.3, l'homologation de type est subordonnée à la condition qu'il soit fourni à chaque opérateur d'un engin mobile non routier des instructions écrites comportant les informations suivantes:

- a) Des avertissements détaillés expliquant les éventuels défauts de fonctionnement dus à un fonctionnement, une utilisation ou un entretien incorrect du moteur installé, ainsi que les mesures correctives appropriées;
- b) Des avertissements détaillés concernant une utilisation incorrecte de l'engin susceptible d'entraîner des défauts de fonctionnement du moteur, avec indication des mesures correctives appropriées;
- c) Des informations sur la bonne utilisation du réactif, accompagnées d'instructions relatives à la recharge de la réserve de réactif entre les entretiens périodiques normaux;
- d) Un avertissement indiquant clairement que le certificat d'homologation de type, délivré pour le type de moteur concerné, est valable uniquement lorsque toutes les conditions suivantes sont remplies:
 - i) Le moteur fonctionne, est utilisé et est entretenu conformément aux instructions fournies;
 - ii) Une action rapide a été prise pour remédier à un fonctionnement, une utilisation ou un entretien incorrect conformément aux mesures correctives indiquées dans les avertissements visés aux points a) et b);
 - iii) Aucune utilisation impropre délibérée du moteur ne s'est produite, notamment la désactivation ou le non-entretien d'un système EGR ou d'un système de dosage du réactif.

Les instructions doivent être rédigées sous une forme claire et accessible aux non-spécialistes en utilisant les mêmes termes que ceux employés dans le manuel d'utilisation de l'engin mobile non routier ou du moteur.

5.3.3.7 Contrôle du réactif (le cas échéant)

5.3.3.7.1 Conformément aux dispositions du paragraphe 6.1, l'homologation de type est subordonnée à la condition que soient fournis à l'opérateur des indicateurs ou d'autres moyens appropriés en fonction de la configuration de l'engin mobile non routier, informant celui-ci:

- a) De la quantité de réactif restant dans le réservoir de stockage du réactif et, par un signal spécifique supplémentaire, du fait que le volume de réactif restant est inférieur à 10 % de la contenance totale du réservoir;
- b) Du fait que le réservoir de réactif est quasiment vide ou vide;
- c) Du fait que le réactif dans le réservoir de stockage ne répond pas aux caractéristiques déclarées et enregistrées à l'annexe 1A, appendice 1, paragraphe 2.2.1.13 et appendice 3, paragraphe 2.2.1.13, selon les moyens d'évaluation installés;

- d) Du fait que le dosage du réactif est interrompu, dans des cas autres que ceux décidés par le module électronique de gestion du moteur ou le dispositif de contrôle du dosage, en réponse aux conditions de fonctionnement du moteur lorsque le dosage n'est pas nécessaire, pour autant que ces conditions de fonctionnement soient communiquées à l'autorité compétente en matière d'homologation de type.

5.3.3.7.2 Au choix du constructeur, il peut être satisfait aux exigences relatives à la conformité du réactif aux caractéristiques déclarées et à la tolérance sur les émissions de NO_x correspondante par l'un des moyens suivants:

- a) Un moyen direct comme l'utilisation d'un capteur de qualité du réactif;
- b) Un moyen indirect comme l'utilisation d'un détecteur de NO_x dans l'échappement pour évaluer l'efficacité du réactif;
- c) Tout autre moyen à condition que son efficacité soit au moins égale à celle résultant de l'utilisation d'un moyen visé aux points a) ou b) et que les exigences principales du présent paragraphe soient respectées.

6. Installation sur le véhicule

- 6.1 L'installation du moteur sur le véhicule doit être conforme aux caractéristiques suivantes en ce qui concerne l'homologation du type de moteur.
 - 6.1.1 La dépression à l'admission ne doit pas dépasser celle spécifiée pour le type de moteur homologué décrit à l'appendice 1 de l'**annexe 1A**.
 - 6.1.2 La contrepression dans le système d'échappement ne doit pas dépasser celle spécifiée pour le type de moteur homologué décrit à l'appendice 1 de l'annexe 1A.
- 6.1.3 L'opérateur doit être informé des moyens de contrôle du réactif, selon le cas, comme prescrit au paragraphe 5.3.3.7.1.**

7. Conformité de la production

- 7.1 Les procédures de contrôle de la conformité de la production doivent être conformes à celles définies dans l'appendice 2 de l'Accord (E/ECE/324-E/ECE/TRANS/505/Rev.2), les prescriptions applicables étant les suivantes:
- 7.2 L'autorité compétente qui a délivré l'homologation du type peut à tout moment vérifier les méthodes de contrôle de la conformité applicables à chaque unité de production.
 - 7.2.1 Lors de chaque inspection, les registres d'essai et de suivi de la production doivent être remis à l'inspecteur.
 - 7.2.2 Lorsque le niveau de qualité paraît insuffisant ou qu'il semble nécessaire de vérifier la validité des données présentées en application du paragraphe 5.2, on applique la procédure suivante:

7.2.2.1 Un moteur est choisi dans la série et soumis à l'essai décrit à l'**annexe 4A ou à l'annexe 4B conformément au paragraphe 5.2**. Les émissions de monoxyde de carbone, d'hydrocarbures et d'oxydes d'azote ainsi obtenues, de même que les émissions de particules, ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées dans le tableau du paragraphe 5.2.1, sous réserve des prescriptions du paragraphe 5.2.2.

7.2.2.2 Si le moteur choisi dans la série n'est pas conforme aux prescriptions du paragraphe 7.2.2.1, le constructeur peut demander que des mesures soient effectuées sur un échantillon de plusieurs moteurs possédant les mêmes caractéristiques, prélevés dans la série et comprenant le moteur choisi initialement. Le constructeur fixe la dimension n de l'échantillon en accord avec le service technique. Les moteurs autres que le premier moteur choisi sont soumis à un essai. On calcule ensuite pour chaque polluant la moyenne arithmétique (\bar{x}) des résultats obtenus avec l'échantillon. La production de la série est jugée conforme si la condition suivante est satisfaite:

$$\bar{x} + kS \leq l$$

où:

$$S^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1} \quad \text{où } x \text{ est l'un quelconque des résultats obtenus avec l'échantillon } n;$$

l est la valeur limite fixée au paragraphe 5.2.1 pour chaque polluant considéré;

k est un facteur statistique dépendant de n et donné par le tableau suivant:

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k	0,973	0,613	0,489	0,421	0,376	0,342	0,317	0,296	0,279
n	11	12	13	14	15	16	17	18	19
k	0,265	0,253	0,242	0,233	0,224	0,216	0,210	0,203	0,198

$$\text{si } n \geq 20, \quad k = \frac{0,860}{\sqrt{n}}$$

7.2.3 Le service technique chargé du contrôle de la conformité de la production effectuera des essais sur des moteurs partiellement ou complètement rodés, selon les indications du constructeur.

7.2.4 La fréquence normale des inspections approuvées par l'autorité compétente sera d'une inspection par an. Si les prescriptions du paragraphe 7.2.2.1 ne sont pas respectées, l'autorité compétente doit veiller à ce que toutes les mesures nécessaires soient prises pour rétablir la conformité de la production aussi rapidement que possible.

8. Sanctions pour non-conformité de la production

- 8.1 L'homologation délivrée pour un type ou famille de moteurs conformément au présent Règlement peut être retirée si les prescriptions du paragraphe 7.2 ne sont pas respectées ou si le ou les moteurs choisis n'ont pas subi avec succès les vérifications prévues au paragraphe 7.2.2.1.
- 8.2 Si une Partie contractante à l'Accord appliquant le présent Règlement retire une homologation qu'elle a précédemment accordée, elle en informe aussitôt les autres Parties contractantes appliquant le présent Règlement au moyen d'une fiche de communication conforme au modèle de l'annexe 2 du présent Règlement.

9. Modifications et extension de l'homologation du type de moteur

- 9.1 Toute modification d'un type ou d'une famille de moteurs homologués est portée à la connaissance du service administratif qui a accordé l'homologation. Ce service peut alors:
- 9.1.1 Soit considérer que les modifications apportées ne risquent pas d'avoir de conséquences négatives notables et qu'en tout cas le type modifié satisfait encore aux prescriptions;
- 9.1.2 Soit exiger un nouveau procès-verbal du service technique chargé des essais.
- 9.2 La confirmation ou le refus de l'homologation, avec indication des modifications, doit être notifié aux Parties à l'Accord appliquant le présent Règlement, selon la procédure indiquée.
- 9.3 L'autorité compétente ayant délivré l'extension d'homologation attribue un numéro de série à ladite extension et en informe les autres Parties à l'Accord de 1958 appliquant le présent Règlement au moyen d'une fiche de communication conforme au modèle de l'annexe 2 du présent Règlement.

10. Arrêt définitif de la production

Si le titulaire d'une homologation arrête définitivement la production du type ou de la famille de moteurs homologués conformément au présent Règlement, il doit en informer l'autorité qui a délivré l'homologation, laquelle, à son tour, le notifiera aux autres Parties à l'Accord appliquant le présent Règlement au moyen d'une fiche de communication conforme au modèle de l'annexe 2 du présent Règlement.

11. Dispositions transitoires

- 11.1 À compter de la date officielle d'entrée en vigueur de la série 02 d'amendements, aucune Partie contractante appliquant le présent Règlement ne pourra refuser d'accorder une homologation en vertu du présent Règlement tel qu'amendé par la série 02 d'amendements.
- 11.2 À compter de la date d'entrée en vigueur de la série 02 d'amendements, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement pourront refuser

- d'accorder une homologation aux moteurs ou aux familles de moteurs à régime **variable** relevant de la plage de puissance H, I, J ou K qui ne satisfont pas aux prescriptions du présent Règlement tel qu'amendé par la série 02 d'amendements.
- 11.3 À compter de la date d'entrée en vigueur de la série 02 d'amendements, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement pourront refuser la mise sur le marché de moteurs, ou de familles de moteurs à régime **variable** relevant de la plage de puissance H, I, J ou K qui n'ont pas été homologués en vertu du présent Règlement tel qu'amendé par la série 02 d'amendements.
- 11.4 À compter du 1^{er} janvier 2010, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement pourront refuser d'accorder une homologation aux moteurs, ou aux familles de moteurs à régime constant relevant de la plage de puissance H, I ou K qui ne satisfont pas aux prescriptions du présent Règlement, tel qu'amendé par la série 02 d'amendements.
- 11.5 À compter du 1^{er} janvier 2011, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement pourront refuser d'accorder une homologation CEE aux moteurs, ou aux familles de moteurs à régime constant relevant de la plage de puissance J qui ne satisfont pas aux prescriptions du présent Règlement tel qu'amendé par la série 02 d'amendements.
- 11.6 À compter du 1^{er} janvier 2011, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement pourront refuser la mise sur le marché de moteurs, ou de familles de moteurs à régime constant relevant des plages de puissance H, I ou K qui n'ont pas été homologués en vertu du présent Règlement tel qu'amendé par la série 02 d'amendements.
- 11.7 À compter du 1^{er} janvier 2012, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement pourront refuser la mise sur le marché de moteurs, ou de familles de moteurs à régime constant relevant de la plage de puissance J qui n'ont pas été homologués en vertu du présent Règlement tel qu'amendé par la série 02 d'amendements.
- 11.8 Par dérogation aux dispositions énoncées aux paragraphes 11.3, 11.6 et 11.7, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement peuvent proroger de deux ans le délai mentionné dans les paragraphes ci-dessus pour les moteurs dont la date de production est antérieure aux dates indiquées.
- 11.9 Par dérogation aux dispositions énoncées aux paragraphes 11.3, 11.6 et 11.7, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement peuvent continuer à autoriser la mise sur le marché de moteurs homologués en vertu d'une ancienne norme technique, à condition qu'il s'agisse de moteurs de remplacement conçus pour être montés sur des véhicules déjà en circulation et que, du point de vue technique, les moteurs en question ne puissent satisfaire aux nouvelles prescriptions de la série 02 d'amendements.
- 11.10 **À compter de la date officielle d'entrée en vigueur de la série 03 d'amendements, aucune Partie contractante appliquant le présent Règlement ne pourra refuser d'accorder une homologation en vertu du présent Règlement tel qu'amendé par la série 03 d'amendements.**
- 11.11 **À compter de la date d'entrée en vigueur de la série 03 d'amendements, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement pourront refuser d'accorder des homologations aux moteurs ou aux familles de moteurs à régime variable relevant de la plage de puissance L, M, N ou P**

qui ne satisfont pas aux prescriptions du présent Règlement tel qu'amendé par la série 03 d'amendements.

- 11.12 À compter du 1^{er} janvier 2013, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement pourront refuser d'accorder des homologations aux moteurs ou aux familles de moteurs à régime variable relevant de la plage de puissance Q qui ne satisfont pas aux prescriptions du présent Règlement tel qu'amendé par la série 03 d'amendements.
- 11.13 À compter du 1^{er} octobre 2013, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement pourront refuser d'accorder des homologations aux moteurs ou aux familles de moteurs à régime variable relevant de la plage de puissance R qui ne satisfont pas aux prescriptions du présent Règlement tel qu'amendé par la série 03 d'amendements.
- 11.14 À compter de la date d'entrée en vigueur de la série 03 d'amendements, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement pourront refuser la mise sur le marché de moteurs, ou de familles de moteurs à régime variable, relevant de la plage de puissance L, M, N ou P qui n'ont pas été homologués en vertu du présent Règlement tel qu'amendé par la série 03 d'amendements.
- 11.15 À compter du 1^{er} janvier 2014, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement pourront refuser la mise sur le marché de moteurs, ou de familles de moteurs à régime variable relevant de la plage de puissance Q qui n'ont pas été homologués en vertu du présent Règlement tel qu'amendé par la série 03 d'amendements.
- 11.16 À compter du 1^{er} octobre 2014, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement pourront refuser la mise sur le marché de moteurs, ou de familles de moteurs à régime variable relevant de la plage de puissance R qui n'ont pas été homologués en vertu du présent Règlement tel qu'amendé par la série 03 d'amendements.
- 11.17 Par dérogation aux dispositions énoncées aux paragraphes 11.14 à 11.16, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement doivent proroger de deux ans le délai mentionné dans les paragraphes ci-dessus pour les moteurs dont la date de production est antérieure aux dates indiquées.

12. Noms et adresses des services techniques chargés des essais d'homologation et des services administratifs

Les Parties à l'Accord de 1958 appliquant le présent Règlement doivent communiquer au Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies les noms et adresses des services techniques chargés des essais d'homologation et ceux des services administratifs qui délivrent l'homologation et auxquels doivent être envoyées les fiches d'homologation ou d'extension ou de refus d'homologation émises dans d'autres pays.

Annexe 1A

Document d'information n° ... relatif à l'homologation de type et traitant des systèmes de limitation des émissions polluantes gazeuses et particulaires des moteurs à combustion interne destinés à être installés sur des engins mobiles non routiers

Moteur de base/type de moteur¹:

1. Généralités

1.1 Marque (raison sociale):

1.2 Type et description commerciale du moteur de base – et (selon le cas) du ou des moteurs de la même famille¹:

1.3 Numéro de code attribué par le constructeur figurant sur le(s) moteur(s)¹:

1.4 Caractéristiques des engins auxquels est destiné le moteur²:

1.5 Nom et adresse du constructeur:.....

Nom et adresse du représentant agréé par le constructeur (le cas échéant):

1.6 Emplacement, code et mode de fixation de la marque d'identification du moteur:

1.7 Emplacement et mode de fixation de la marque d'homologation:.....

1.8 Adresse(s) de ou des ateliers de montage:

Pièces jointes:

1.1 Principales caractéristiques du ou des moteurs de base (voir appendice 1)

1.2 Principales caractéristiques de la famille de moteurs (voir appendice 2)

1.3 Principales caractéristiques des types de moteur d'une même famille (voir appendice 3)

2. Caractéristiques des pièces ayant rapport avec le moteur de l'engin mobile (selon le cas)

3. Photographies du moteur de base

4. Liste de pièces complémentaires, le cas échéant

Date, dossier

¹ Biffer les mentions inutiles.

² Préciser la tolérance.

Annexe 1A

Appendice 1

Caractéristiques essentielles du moteur (de base)

1. Description du moteur
 - 1.1 Constructeur:
 - 1.2 Code constructeur du moteur:
 - 1.3 Cycle: quatre temps/deux temps¹
 - 1.4 Alésage:mm
 - 1.5 Course:mm
 - 1.6 Nombre et disposition des cylindres:
 - 1.7 Cylindrée:cm³
 - 1.8 Régime nominal:
 - 1.9 Régime de couple maximal:
 - 1.10 Rapport volumétrique de compression²:
 - 1.11 Système de combustion:
 - 1.12 Dessin(s) de la chambre de combustion et de la face supérieure du piston
 - 1.13 Section minimale des conduits d'admission et d'échappement:
 - 1.14 Système de refroidissement
 - 1.14.1 Liquide
 - 1.14.1.1 Nature du liquide:
 - 1.14.1.2 Pompe(s) de circulation: avec/sans¹
 - 1.14.1.3 Caractéristiques ou marque(s) et type(s) (le cas échéant):
 - 1.14.1.4 Rapport(s) d'entraînement (le cas échéant):
 - 1.14.2 Air
 - 1.14.2.1 Soufflante: avec/sans¹
 - 1.14.2.2 Caractéristiques ou marque(s) et type(s) (le cas échéant):
 - 1.14.2.3 Rapport(s) d'entraînement (le cas échéant):
 - 1.15 Température admise par le constructeur
 - 1.15.1 Refroidissement par liquide: température maximale à la sortie: K
 - 1.15.2 Refroidissement par air: point de référence:

¹ Biffer les mentions inutiles.

² Préciser la tolérance.

- Température maximale au point de référence: K
- 1.15.3 Température maximale de l'air d'alimentation à la sortie de l'échangeur intermédiaire (le cas échéant): K
- 1.15.4 Température maximale des gaz d'échappement au niveau du (des) tuyau(x) d'échappement adjacent(s) à la (les) bride(s) de sortie du (des) collecteur(s): K
- 1.15.5 Température du carburant: min: K
..... max: K
- 1.15.6 Température du lubrifiant: min: K
..... max: K
- 1.16 Suralimentation: avec/sans¹
- 1.16.1 Marque:
- 1.16.2 Type:
- 1.16.3 Description du système (par exemple, pression maximale de suralimentation, soupape de décharge, le cas échéant):
- 1.16.4 Échangeur intermédiaire: avec/sans¹
- 1.17 Système d'admission: dépression maximale admissible à l'entrée, au régime nominal du moteur et à pleine charge: kPa
- 1.18 Système d'échappement: contre-pression maximale admissible au régime nominal du moteur et à pleine charge: kPa
- 2. Systèmes antipollution**
- 2.1 Dispositif de recyclage des gaz de carter: oui/non¹**
- 2.2 Dispositifs antipollution additionnels (s'ils existent et s'ils ne sont pas couverts par une autre rubrique)**
- 2.2.1 Convertisseur catalytique: oui/non¹**
- 2.2.1.1 Marque(s):**
- 2.2.1.2 Type(s):**
- 2.2.1.3 Nombre de convertisseurs catalytiques et d'éléments:**
- 2.2.1.4 Dimensions et volume des convertisseurs catalytiques:**
- 2.2.1.5 Type d'action catalytique:**
- 2.2.1.6 Quantité totale de métaux précieux:**
- 2.2.1.7 Concentration relative:**
- 2.2.1.8 Substrat (structure et matériaux):**
- 2.2.1.9 Densité alvéolaire:**
- 2.2.1.10 Type de boîtier du convertisseur catalytique:**
- 2.2.1.11 Emplacement du ou des convertisseurs catalytiques (position et distance minimale/maximale par rapport au moteur):**
- 2.2.1.12 Plage de fonctionnement normal (K):**
- 2.2.1.13 Réactif consommable (s'il y a lieu):**

- 2.2.1.13.1 Type et concentration du réactif nécessaire à l'action catalytique:
- 2.2.1.13.2 Plage des températures normales d'utilisation du réactif:
- 2.2.1.13.3 Norme internationale (s'il y a lieu):
- 2.2.1.14 Détecteur de NO_x: oui/non¹
- 2.2.2 Sonde à oxygène: oui/non¹
- 2.2.2.1 Marque(s):
- 2.2.2.2 Type:
- 2.2.2.3 Emplacement:
- 2.2.3 Injection d'air: oui/non¹
- 2.2.3.1 Type (air pulsé, pompe à air, etc.):
- 2.2.4 Système de recirculation des gaz d'échappement (EGR): oui/non¹
- 2.2.4.1 Caractéristiques du système (refroidi/non refroidi, haute pression/basse pression, etc.):
- 2.2.5 Filtre à particules: oui/non¹
- 2.2.5.1 Dimensions et capacité du filtre à particules:
- 2.2.5.2 Type et conception du filtre à particules:
- 2.2.5.3 Emplacement (position et distance minimale/maximale par rapport au moteur):
- 2.2.5.4 Méthode ou système de régénération, description et/ou schéma:
- 2.2.5.5 Plage des températures (K) et pressions (kPa) normales de fonctionnement:
- 2.2.6 Autres systèmes: oui/non¹
- 2.2.6.1 Description et mode de fonctionnement:
- 3. Alimentation en carburant
- 3.1 Pompe de gavage
- Pression² ou diagramme caractéristique: kPa
- 3.2 Système d'injection
- 3.2.1 Pompe
- 3.2.1.1 Marque(s):
- 3.2.1.2 Type(s):
- 3.2.1.3 Débit²: ... mm³ par injection ou par cycle pour un régime de la pompe de: ... min⁻¹ à pleine injection, ou diagramme caractéristique.
Indiquer la méthode utilisée: sur moteur/sur banc pour pompe¹
- 3.2.1.4 Avance à l'injection
- 3.2.1.4.1 Courbe d'avance à l'injection²:
- 3.2.1.4.2 Point d'injection²:
- 3.2.2 Tuyauterie d'injection

- 3.2.2.1 Longueur: mm
- 3.2.2.2 Diamètre intérieur: mm
- 3.2.3 Injecteur(s)
 - 3.2.3.1 Marque(s):
 - 3.2.3.2 Type(s):
 - 3.2.3.3 Pression d'ouverture² ou diagramme caractéristique: kPa
- 3.2.4 Régulateur
 - 3.2.4.1 Marque(s):
 - 3.2.4.2 Type(s):
 - 3.2.4.3 Régime de début de coupure à pleine charge²: min⁻¹
 - 3.2.4.4 Régime maximal à vide²: min⁻¹
 - 3.2.4.5 Régime de ralenti²: min⁻¹
- 3.3 Système de démarrage à froid
 - 3.3.1 Marque(s):
 - 3.3.2 Type(s):
 - 3.3.3 Description:
- 4. Diagramme de distribution
 - 4.1 Levées maximales des soupapes et angles d'ouverture et de fermeture rapportés au point mort haut, ou caractéristiques équivalentes:
 - 4.2 Valeurs de référence et/ou plage de réglage¹

Annexe 1A

Appendice 2

Caractéristiques essentielles de la famille de moteurs

1. Paramètres communs¹
 - 1.1 Cycle de fonctionnement:
 - 1.2 Agent de refroidissement:
 - 1.3 Mode d'aspiration de l'air:
 - 1.4 Type/modèle de chambre de combustion:
 - 1.5 Soupapes et conduits – configuration, dimension et nombre:
 - 1.6 Système d'alimentation en carburant:
 - 1.7 Systèmes de gestion du moteur:
Preuve d'identité conformément aux dessins portant le numéro:
 - 1.7.1 Système de refroidissement de l'air de suralimentation:
 - 1.7.2 Recirculation des gaz d'échappement²:
 - 1.7.3 Injection/émulsion d'eau²:
 - 1.7.4 Injection d'air²:
 - 1.8 Système de traitement aval des gaz d'échappement²:
Preuve d'un rapport identique (ou le plus bas pour le moteur de base)
entre la capacité du système et la quantité injectée par temps moteur
conformément au diagramme portant le(s) numéro(s):
2. Liste des moteurs d'une même famille
 - 2.1 Nom de la famille de moteurs:

¹ Biffer la mention inutile.

² Spécifier la tolérance.

2.2 Caractéristiques techniques des moteurs de cette famille:

<i>Type de moteur</i>	<i>Nombre de cylindres</i>	<i>Régime nominal</i>	<i>Puissance nette nominale (kW)</i>	<i>Régime de couple maximal</i>	<i>Couple maximal</i>	<i>Régime inférieur de ralenti</i>
<i>Moteur de base (pour les caractéristiques détaillées, voir l'annexe 1A)</i>						

2.3 En outre, pour chaque type de moteur de la famille, les renseignements requis dans l'appendice 3 de l'annexe 1B doivent être communiqués à l'autorité d'homologation.

Annexe 1A

Appendice 3

Caractéristiques essentielles des types de moteurs d'une même famille

1. Description du moteur
 - 1.1 Constructeur:
 - 1.2 Code constructeur du moteur:
 - 1.3 Cycle: quatre temps/deux temps¹
 - 1.4 Alésage: mm
 - 1.5 Course: mm
 - 1.6 Nombre et disposition des cylindres:
 - 1.7 Cylindrée:cm³
 - 1.8 Régime nominal:
 - 1.9 Régime de couple maximal:
 - 1.10 Rapport volumétrique de compression²:
 - 1.11 Système de combustion:
 - 1.12 Dessin(s) de la chambre de combustion et de la face supérieure du piston:
 - 1.13 Section minimale des conduits d'admission et d'échappement:
 - 1.14 Système de refroidissement
 - 1.14.1 Liquide
 - 1.14.1.1 Nature du liquide:
 - 1.14.1.2 Pompe(s) de circulation: avec/sans¹
 - 1.14.1.3 Caractéristiques ou marque(s) et type(s) (le cas échéant):
 - 1.14.1.4 Rapport(s) d'entraînement (le cas échéant):
 - 1.14.2 Air
 - 1.14.2.1 Soufflante: avec/sans¹
 - 1.14.2.2 Caractéristiques ou marque(s) et type(s) (le cas échéant):
 - 1.14.2.3 Rapport(s) d'entraînement (le cas échéant):
 - 1.15 Température admise par le constructeur
 - 1.15.1 Refroidissement par liquide: température maximale à la sortie:K

¹ Biffer les mentions inutiles.

² Préciser la tolérance.

- 1.15.2 Refroidissement par air: point de référence:
Température maximale au point de référence: K
- 1.15.3 Température maximale de l'air d'alimentation à la sortie de l'échangeur intermédiaire (le cas échéant): K
- 1.15.4 Température maximale des gaz d'échappement au niveau du (des) tuyau(x) d'échappement adjacent(s) à la (les) bride(s) de sortie du (des) collecteur(s): K
- 1.15.5 Température du carburant: min: K
..... max: K
- 1.15.6 Température du lubrifiant: min: K
..... max: K
- 1.16 Suralimentation: avec/sans¹
- 1.16.1 Marque:
- 1.16.2 Type:
- 1.16.3 Description du système (par exemple, pression maximale de suralimentation, soupape de décharge, le cas échéant):
- 1.16.4 Échangeur intermédiaire: avec/sans¹
- 1.17 Système d'admission: dépression maximale admissible à l'entrée, au régime nominal du moteur et à pleine charge: kPa
- 1.18 Système d'échappement: contre-pression maximale admissible au régime nominal du moteur et à pleine charge: kPa
2. Systèmes antipollution
- 2.1 Dispositif de recyclage des gaz de carter: oui/non¹
- 2.2 Dispositifs antipollution additionnels (s'ils existent et s'ils ne sont pas couverts par une autre rubrique)
- 2.2.1 Convertisseur catalytique: oui/non¹
- 2.2.1.1 Marque(s):
- 2.2.1.2 Type(s):
- 2.2.1.3 Nombre de convertisseurs catalytiques et d'éléments:
- 2.2.1.4 Dimensions et volume des convertisseurs catalytiques:
- 2.2.1.5 Type d'action catalytique:
- 2.2.1.6 Quantité totale de métaux précieux:
- 2.2.1.7 Concentration relative:
- 2.2.1.8 Substrat (structure et matériaux):
- 2.2.1.9 Densité alvéolaire:
- 2.2.1.10 Type de boîtier du convertisseur catalytique:
- 2.2.1.11 Emplacement du ou des convertisseurs catalytiques (position et distance minimale/maximale par rapport au moteur):

- 2.2.1.12 Plage de fonctionnement normal (K):
- 2.2.1.13 Réactif consommable (s'il y a lieu):
- 2.2.1.13.1 Type et concentration du réactif nécessaire à l'action catalytique:
- 2.2.1.13.2 Plage des températures normales d'utilisation du réactif:
- 2.2.1.13.3 Norme internationale (s'il y a lieu):
- 2.2.1.14 Détecteur de NOx: oui/non¹
- 2.2.2 Sonde à oxygène: oui/non¹
- 2.2.2.1 Marque(s):
- 2.2.2.2 Type:
- 2.2.2.3 Emplacement:
- 2.2.3 Injection d'air: oui/non¹
- 2.2.3.1 Type (air pulsé, pompe à air, etc.):
- 2.2.4 Système de recirculation des gaz d'échappement (EGR): oui/non¹
- 2.2.4.1 Caractéristiques du système (refroidi/non refroidi, haute pression/basse pression, etc.):
- 2.2.5 Filtre à particules: oui/non¹
- 2.2.5.1 Dimensions et capacité du filtre à particules:
- 2.2.5.2 Type et conception du filtre à particules:
- 2.2.5.3 Emplacement (position et distance minimale/maximale par rapport au moteur):
- 2.2.5.4 Méthode ou système de régénération, description et/ou schéma
- 2.2.5.5 Plage des températures (K) et pressions (kPa) normales de fonctionnement:
- 2.2.6 Autres systèmes: oui/non¹
- 2.2.6.1 Description et mode de fonctionnement:
3. Alimentation en carburant
- 3.1 Pompe de gavage
- Pression² ou diagramme caractéristique: kPa
- 3.2 Système d'injection
- 3.2.1 Pompe
- 3.2.1.1 Marque(s):
- 3.2.1.2 Type(s):
- 3.2.1.3 Débit²: ... mm³ par injection ou par cycle pour un régime de la pompe de: ... min⁻¹ à pleine injection, ou diagramme caractéristique.
- Indiquer la méthode utilisée: sur moteur/sur banc pour pompe¹
- 3.2.1.4 Avance à l'injection
- 3.2.1.4.1 Courbe d'avance à l'injection²:

- 3.2.1.4.2 Point d'injection²:
- 3.2.2 Tuyauterie d'injection
 - 3.2.2.1 Longueur: mm
 - 3.2.2.2 Diamètre intérieur: mm
- 3.2.3 Injecteur(s)
 - 3.2.3.1 Marque(s):
 - 3.2.3.2 Type(s):
 - 3.2.3.3 Pression d'ouverture² ou diagramme caractéristique: kPa
- 3.2.4 Régulateur
 - 3.2.4.1 Marque(s):
 - 3.2.4.2 Type(s):
 - 3.2.4.3 Régime de début de coupure à pleine charge²: min⁻¹
 - 3.2.4.4 Régime maximal à vide²: min⁻¹
 - 3.2.4.5 Régime de ralenti²: min⁻¹
- 3.3 Système de démarrage à froid
 - 3.3.1 Marque(s):
 - 3.3.2 Type(s):
 - 3.3.3 Description:
- 4. Diagramme de distribution
 - 4.1 Levées maximales des soupapes et angles d'ouverture et de fermeture rapportés au point mort haut, ou caractéristiques équivalentes:
 - 4.2 Valeurs de référence et/ou plage de réglage¹

Annexe 1B

1. Paramètres définissant la famille de moteurs

1.1 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 décider quels moteurs appartiennent à une famille, pour autant que les critères d'appartenance énumérés au paragraphe 1.3 soient respectés. La famille de moteurs doit être agréée 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.

1.2 Cas spéciaux

1.2.1 Interactions entre paramètres

Dans certains cas, il peut y avoir des interactions entre paramètres et celles-ci peuvent influencer sur les émissions. Ce facteur doit être pris en considération pour garantir 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.

1.2.2 Dispositifs ou caractéristiques ayant une forte incidence sur les émissions

Dans le cas de dispositifs ou de caractéristiques qui ne sont pas répertoriés au paragraphe 1.3 mais qui ont une forte incidence sur le niveau d'émissions, ces équipements doivent être identifiés par le constructeur conformément aux règles techniques reconnues, et doivent être notifiés à l'autorité d'homologation de type. Ils doivent ensuite être pris en compte comme critère pour l'établissement d'une nouvelle famille de moteurs.

1.2.3 Critères additionnels

Outre les paramètres énumérés au paragraphe 1.3, le fabricant peut prendre en compte d'autres critères permettant de définir des familles de taille plus restreinte. Ces paramètres ne sont pas nécessairement des paramètres qui influent sur le niveau d'émissions.

1.3 Paramètres définissant une famille de moteurs

1.3.1 Cycle de fonctionnement:

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

1.3.2 Configuration des cylindres

- 1.3.2.1 Disposition des cylindres dans le bloc:**
- a) En V;
 - b) En ligne;
 - c) En étoile;
 - d) Autres (en F, en W, etc.).
- 1.3.2.2 Position relative des cylindres**
- Les moteurs ayant un même bloc peuvent appartenir à la même famille pour autant que l'entraxe entre cylindres soit le même.
- 1.3.3 Agent principal de refroidissement:**
- a) Air;
 - b) Eau;
 - c) Huile.
- 1.3.4 Cylindrée unitaire**
- Dans des limites de 85 et 100 % pour des moteurs ayant une cylindrée unitaire $\geq 0,75 \text{ dm}^3$ de la plus forte cylindrée unitaire dans la famille.
- Dans des limites de 70 et 100 % pour des moteurs ayant une cylindrée unitaire $< 0,75 \text{ dm}^3$ de la plus forte cylindrée unitaire dans la famille.
- 1.3.5 Mode d'aspiration:**
- a) Aspiration atmosphérique;
 - b) Suralimentation;
 - c) Suralimentation avec refroidisseur intermédiaire.
- 1.3.6 Type/modèle de chambre de combustion:**
- a) Chambre ouverte;
 - b) Chambre fractionnée;
 - c) Autres types.
- 1.3.7 Soupapes et conduits:**
- a) Configuration;
 - b) Nombre de soupapes par cylindre.
- 1.3.8 Système d'alimentation en carburant:**
- a) Pompe, tuyauterie (haute pression) et injecteur;
 - b) Pompe en ligne ou à distributeur;
 - c) Injecteur-pompe;
 - d) Rampe haute pression.
- 1.3.9 Dispositifs divers:**
- a) Système de recyclage des gaz d'échappement (EGR);
 - b) Injection d'eau;
 - c) Injection d'air;
 - d) Autres.

1.3.10 Stratégie de gestion électronique

La présence ou l'absence d'un module de gestion électronique 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 satisfassent aux mêmes exigences en matière d'émissions.

Dans le cas d'une régulation électronique de vitesse, il n'est pas forcément nécessaire de classer un moteur dans une autre famille que des moteurs à régulation mécanique. Ce classement séparé sera seulement nécessaire en cas de différences des caractéristiques de l'injection de carburant, telles que point d'injection, pression, courbe de variation, etc.

1.3.11 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) Système DeNO_x avec réduction sélective des NO_x (adjonction d'un agent réducteur);
- c) Autre système DeNO_x;
- d) Filtre à particules avec régénération passive;
- e) Filtre à particules avec régénération active;
- f) Autres filtres à particules;
- g) 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 (mais non avec un filtre à particules), peut être inclus dans la même famille, s'il n'exige pas de carburant ayant des caractéristiques différentes.

S'il utilise un carburant ayant des caractéristiques différentes (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.

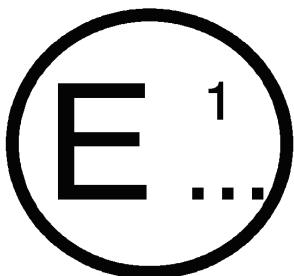
Lorsqu'un moteur a été homologué avec un système de traitement aval, que ce soit en tant que moteur de base ou en tant que membre d'une famille dont le moteur de base est équipé du même système de traitement aval, ce moteur, lorsqu'il n'est pas équipé du système de traitement aval, ne doit pas être inclus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

- 2. Choix du moteur de base**
- 2.1 Le moteur de base de la famille doit être sélectionné selon le critère primaire du débit de carburant le plus élevé par temps moteur au régime du couple maximal. Si plusieurs moteurs répondent également à ce critère primaire, le moteur de base doit être sélectionné au moyen du critère secondaire du débit de carburant le plus élevé par temps moteur au régime nominal. Dans certains cas, l'autorité d'homologation peut conclure que la meilleure manière de déterminer les caractéristiques d'émissions de la famille de moteurs dans le cas le plus défavorable est d'essayer un deuxième moteur. Elle peut alors sélectionner un moteur supplémentaire pour l'essai en tenant compte des caractéristiques qui indiquent que celui-ci pourrait avoir le niveau d'émissions le plus élevé des moteurs de cette famille.**
- 2.2 Si les moteurs d'une famille possèdent d'autres caractéristiques variables qui pourraient être considérées comme ayant une incidence sur les émissions d'échappement, ces caractéristiques devront également être définies et prises en compte dans la sélection du moteur de base.**

Annexe 2

Communication

(Format maximal: A4 (210 x 297 mm))



de: Nom de l'administration:
.....
.....
.....

Objet²:

DÉLIVRANCE D'UNE HOMOLOGATION
EXTENSION D'HOMOLOGATION
REFUS D'HOMOLOGATION
RETRAIT D'HOMOLOGATION
ARRÊT DÉFINITIF DE LA PRODUCTION

pour un type de moteur à allumage par compression ou une famille de types de moteur à allumage par compression constituant des entités techniques séparées, en ce qui concerne les émissions de polluants, en application du Règlement n° 96

Homologation n°: Extension n°:

1. Marque de fabrique ou de commerce du moteur:
2. Type(s) de moteur:
- 2.1 Famille de moteurs:
- 2.2 Types faisant partie de la famille de moteurs:
- 2.3 Type de moteur ou représentant de la famille de moteurs soumis à des essais:
3. Nom et adresse du constructeur:
4. Le cas échéant, nom et adresse de son représentant:
5. Dépression maximale admissible à l'admission: kPa
6. Contrepression maximale admissible à l'échappement: kPa
7. **Restriction d'utilisation du moteur (le cas échéant):**

¹ Numéro distinctif du pays qui a délivré/étendu/refusé/retiré l'homologation (voir les dispositions du Règlement relatives à l'homologation).

² Biffer la mention inutile.

8. Niveaux d'émissions – résultats finals des essais avec le facteur de détérioration (DF):

	<i>Cycle en régime stabilisé pour engins mobiles non routiers (NRSC)</i>	<i>Cycle en régime transitoire pour engins mobiles non routiers (NRTC)</i>
CO (g/kWh)		
HC (g/kWh)		
NO _x (g/kWh)		
MP (g/kWh)		

9. Moteur présenté aux essais le:
10. Service technique chargé des essais d'homologation:
11. Date du procès-verbal délivré par ce service:
12. Numéro du procès-verbal délivré par ce service:
13. Emplacement de la marque d'homologation sur le moteur:
14. Lieu:
15. Date:
16. Signature:

17. Sont annexées à la présente communication les pièces suivantes, portant le numéro d'homologation indiqué ci-dessus:

Un formulaire conforme à l'annexe 1A ou à l'annexe 1B du présent Règlement, dûment rempli et accompagné des dessins et schémas prescrits.

Annexe 2

Appendice 1

Résultats de l'essai

1. Renseignements concernant la conduite de l'essai¹:
 - 1.1 Carburant de référence utilisé pour l'essai
 - 1.1.1 Indice de cétane:
 - 1.1.2 Teneur en soufre:
 - 1.1.3 Densité:
 - 1.2 Lubrifiant
 - 1.2.1 Marque(s):
 - 1.2.2 Type(s):
(indiquer le pourcentage d'huile dans le mélange si lubrifiant et carburant sont mélangés)
 - 1.3 Équipements entraînés par le moteur (le cas échéant)
 - 1.3.1 Énumération et caractéristiques distinctives:
 - 1.3.2 Puissance absorbée aux différents régimes (selon les indications du constructeur):

	<i>Puissance P_{AE} (kW) absorbée à divers régimes moteur^a, compte tenu de l'annexe 7</i>	
<i>Équipement</i>	<i>Intermédiaire (le cas échéant)</i>	<i>Nominal</i>
Total:		

^a Ne doit pas être supérieure à 10 % de la puissance mesurée pendant l'essai.

- 1.4 Performances du moteur
 - 1.4.1 Régimes du moteur:
 - Ralenti: min⁻¹
 - Intermédiaire: min⁻¹
 - Nominal: min⁻¹

¹ Dans le cas où il y a plusieurs moteurs de base, les renseignements en question doivent être donnés pour chacun d'eux.

1.4.2 Puissance du moteur²

	<i>Réglage de la puissance (kW) aux différents régimes</i>	
<i>Condition</i>	<i>Intermédiaire (le cas échéant)</i>	<i>Nominal</i>
Puissance maximale mesurée pendant l'essai (P_M) (kW) (a)		
Puissance totale absorbée par les équipements entraînés par le moteur, conformément au paragraphe 1.3.2 du présent appendice ou à l'annexe 7 (kW) (b)		
Puissance nette du moteur telle qu'indiquée au paragraphe 2.1.41 (kW) (c)		
$c = a + b$		

2. Renseignements concernant la conduite de l'essai NRSC

2.1 Réglage du dynamomètre (kW)

	<i>Réglage du dynamomètre (kW) aux différents régimes</i>	
<i>Taux de charge (%)</i>	<i>Intermédiaire (selon le cas)</i>	<i>Nominal</i>
10 (selon le cas)		
25 (selon le cas)		
50		
75		
100		

2.2 Résultats des essais d'émissions pour le moteur/moteur de base³

Facteur de détérioration (DF): calculé/fixé³

Spécifier les valeurs DF et les résultats des essais d'émissions dans le tableau suivant³:

<i>Essai NRSC</i>				
DF mult/add ³	<i>CO</i>	<i>HC</i>	<i>NO_x</i>	<i>MP</i>
Émissions	<i>CO (g/kWh)</i>	<i>HC (g/kWh)</i>	<i>NO_x (g/kWh)</i>	<i>MP (g/kWh)</i>
Résultats des essais				
Résultats finals des essais avec DF				

2.3 Système de prélèvement utilisé pour l'essai NRSC:

² Puissance non corrigée mesurée conformément aux dispositions du paragraphe 2.1.41.

³ Biffer la mention inutile.

- 2.3.1 Émissions gazeuses⁴:
- 2.3.2 MP⁴:
- 2.3.2.1 Méthode³: à filtre unique/filtres multiples
3. Renseignements concernant la conduite de l'essai NRTC⁵:
- 3.1 Résultats des essais d'émissions pour le moteur/moteur de base³
- Facteur de détérioration (DF): calculé/fixé³
- Spécifier les valeurs DF et les résultats des essais d'émissions dans le tableau suivant³:

<i>Essai NRTC</i>				
DF	CO	HC	NO _x	MP
mult/add ³				
Émissions	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	MP (g/kWh)
Démarrage à froid				
Émissions	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	MP (g/kWh)
Démarrage à chaud sans régénération				
Démarrage à chaud avec régénération ³				
$k_{r,u}$ (mult/add ³)				
$k_{r,d}$ (mult/add ³)				
Résultats pondérés des essais				
Résultats finals des essais avec DF				

- 3.2 Système de prélèvement utilisé pour l'essai NRTC:
- Émissions gazeuses⁴:
- Particules⁴:
- Méthode³: à filtre unique/filtres multiples

⁴ Indiquer les numéros des figures pour les systèmes utilisés, tels qu'ils sont définis dans l'annexe 4A, appendice 4.

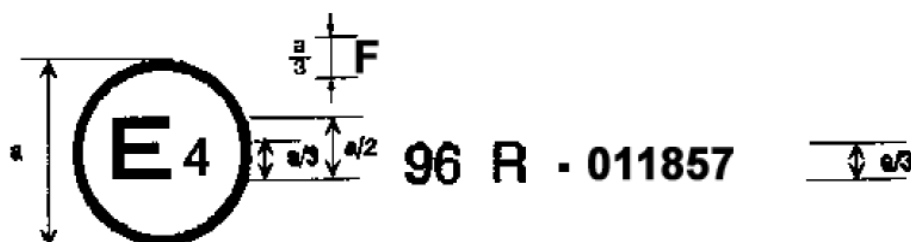
⁵ Dans le cas où il y a plusieurs moteurs de base, les renseignements en question doivent être donnés pour chacun d'eux.

Annexe 3

Exemples de marques d'homologation

Modèle A

(Voir le paragraphe 4.4 du présent Règlement)

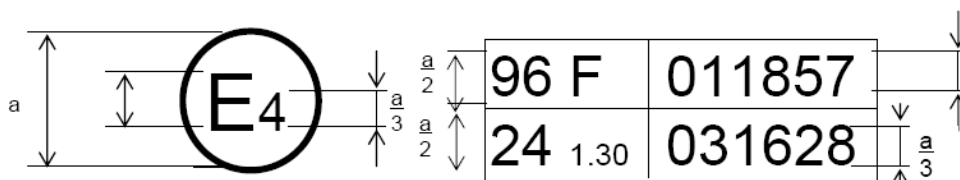


$a = 8 \text{ mm min}$

La marque d'homologation ci-dessus, apposée sur un moteur, indique que le type de ce moteur a été homologué aux Pays-Bas (E4), en application du Règlement n° 96 (au niveau correspondant à la plage de puissance F) et sous le numéro d'homologation 011857. Les deux premiers chiffres du numéro d'homologation signifient que le Règlement n° 96 était sous sa forme amendée (série 01 d'amendements) lorsque l'homologation a été délivrée.

Modèle B

(Voir le paragraphe 4.5 du présent Règlement)



$a = 8 \text{ mm min}$

La marque d'homologation ci-dessus, apposée sur un moteur, indique que le type de ce moteur a été homologué aux Pays-Bas (E4), en application des Règlements n°s 96 (au niveau correspondant à la plage de puissance F) et 120¹. Les deux premiers chiffres du numéro d'homologation signifient qu'aux dates où les homologations respectives ont été délivrées, le Règlement n° 96 était déjà sous sa forme amendée (série 01 d'amendements) et le Règlement n° 120 n'avait pas encore été modifié.

¹ Le deuxième numéro n'est donné qu'à titre d'exemple. Le coefficient d'absorption corrigée est de 1,30 m⁻¹.

Annexe 4A

1. Introduction
- 1.1 La présente annexe décrit la méthode servant à mesurer les émissions de gaz et particules polluants provenant du **moteur** soumis à l'essai.

Les cycles d'essai suivants sont exécutés:

L'essai NRSC (Non-Road Steady Cycle) (cycle en conditions stabilisées pour engins mobiles non routiers) qui est utilisé pour mesurer les émissions de monoxyde de carbone, d'hydrocarbures, d'oxydes d'azote et de particules pour toutes les bandes de puissance des moteurs définis aux paragraphes 1.1, 1.2 et 1.3 du présent Règlement, et l'essai NRTC (Non-Road Transient Cycle) (cycle en conditions transitoires pour engins mobiles non routiers) est utilisé pour mesurer les émissions de monoxyde de carbone, d'hydrocarbures, d'oxydes d'azote et de particules pour les bandes de puissance L et au-dessus des moteurs définis aux paragraphes 1.1 et 1.2 du présent Règlement.

Les émissions de polluants gazeux et particulaires provenant du moteur soumis aux essais doivent être mesurées par la méthode décrite à l'appendice 4 de l'annexe 4A.

D'autres systèmes ou analyseurs peuvent être agréés s'ils donnent des résultats équivalents à ceux qui sont obtenus avec les systèmes de référence suivants:

- a) **Pour les émissions de gaz d'échappement bruts, le système illustré par la figure 2 de l'appendice 4 de l'annexe 4A;**
- b) **Pour les émissions de gaz d'échappement dilués d'un système de dilution en circuit principal, le système illustré par la figure 3 de l'appendice 4 de l'annexe 4A;**
- c) **Pour les émissions de particules, le système de dilution en circuit principal, équipé d'un filtre séparé pour chaque mode, illustré par la figure 13 de l'appendice 4 de l'annexe 4A.**

L'établissement de l'équivalence des systèmes doit être fondé sur une étude de corrélation comprenant un cycle de sept essais (ou plus) et portant sur le système à l'examen et un ou plusieurs des systèmes de référence ci-dessus.

Il y a équivalence lorsque les moyennes des valeurs pondérées des émissions libérées pendant le cycle d'essais se situent dans une marge de ± 5 % par rapport aux résultats obtenus avec les systèmes de référence. Le cycle à utiliser est celui du paragraphe 3.6.1 de l'annexe 4A.

Pour pouvoir inclure un nouveau système dans le Règlement, l'équivalence sera celle définie d'après le calcul de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode d'essai normalisée, décrite dans la norme ISO 5725.

- 1.2 L'essai doit être effectué sur le moteur installé sur un banc d'essai et accouplé à un dynamomètre.

1.3 Principe de mesure:

Les émissions d'échappement des moteurs à mesurer comprennent les constituants gazeux (monoxyde de carbone, hydrocarbures totaux et oxydes d'azote), et les particules. En outre, le dioxyde de carbone est souvent utilisé comme gaz traceur pour déterminer le taux de dilution des systèmes de dilution en dérivation et en circuit principal. En vertu des règles de l'art, la mesure systématique du dioxyde de carbone, qui représente un outil excellent pour la détection de problèmes de mesure au cours de l'essai, est recommandée.

1.3.1 Essai NRSC:

Au cours d'une séquence prescrite de modes de fonctionnement sur des moteurs réchauffés au préalable, on prélève un échantillon de gaz d'échappement bruts pour déterminer en continu les émissions de polluants d'échappement. Le cycle d'essai se compose d'un certain nombre de modes définis par le régime et le couple (charge), qui couvrent toute la plage de fonctionnement typique des moteurs diesel. Au cours de chaque mode, la concentration de chaque polluant gazeux, le débit de gaz d'échappement et la puissance produite doivent être déterminés et les valeurs d'émissions mesurées doivent être soumises à une pondération (soit en appliquant des facteurs de pondération soit en agissant sur le temps de prélèvement). L'échantillon contenant les particules doit être dilué avec de l'air ambiant ayant subi un conditionnement. On prendra un échantillon sur l'ensemble de la procédure d'essai et celui-ci sera prélevé au moyen de filtres adéquats.

Une autre possibilité, pour les cycles à modes discrets, consiste à prélever un échantillon sur des filtres séparés, un pour chaque mode, et à calculer les résultats pondérés par cycle.

Les émissions en grammes de chaque polluant émis par kilowattheure doivent être calculées comme décrit à l'appendice 3 à la présente annexe.

1.3.2 Essai NRTC:

Le cycle transitoire prescrit, qui reflète fidèlement les conditions de fonctionnement de moteurs diesel installés sur des engins non routiers, est exécuté deux fois:

- a) La première fois (démarrage à froid) après que le moteur a pris la température ambiante et que les températures du liquide de refroidissement et de l'huile, des systèmes de traitement aval et de tous les dispositifs auxiliaires de contrôle du moteur sont stabilisées entre 20 et 30 °C;
- b) La deuxième fois (démarrage à chaud) après une période de 20 min de stabilisation à chaud débutant immédiatement après la réalisation du cycle de démarrage à froid.

Durant cette séquence d'essai, les polluants susmentionnés sont analysés. La séquence d'essai consiste en un cycle de démarrage à froid après un refroidissement naturel ou forcé du moteur, une période de stabilisation à chaud et un cycle de démarrage à chaud, aboutissant à un calcul des émissions composites. Sur la base des signaux de couple et de régime réels du moteur reçus du dynamomètre, la puissance est intégrée pendant la durée du cycle, ce qui permet de déterminer le travail produit

par le moteur durant le cycle. La concentration des éléments gazeux est mesurée sur tout le cycle, soit dans les gaz d'échappement bruts en intégrant le signal émis par l'analyseur, conformément à la description de l'appendice 3 de la présente annexe, soit dans les gaz d'échappement dilués d'un système CVS de dilution en circuit principal en intégrant le signal de l'analyseur ou en prélevant des échantillons dans des sacs, conformément à la description de l'appendice 3 de la présente annexe. En ce qui concerne les particules, un échantillon proportionnel des gaz d'échappement dilués est collecté sur un filtre spécifié par dilution en circuit partiel ou en circuit principal. En fonction de la méthode utilisée, le débit des gaz d'échappement dilués ou non dilués est mesuré sur toute la durée du cycle afin de déterminer les valeurs d'émission massique des polluants. Ces dernières sont mises en relation avec le travail du moteur pour obtenir les grammes de chaque polluant émis par kilowattheure.

Les émissions (g/kWh) sont mesurées pendant les deux cycles, à froid et à chaud. Les émissions composites pondérées sont calculées en affectant les résultats du démarrage à froid d'une pondération de 10 % et les résultats du démarrage à chaud d'une pondération de 90 %. Les émissions composites pondérées doivent respecter les limites.

1.4

Symboles des paramètres d'essai

Symbole	Unité	Terme
A_p	m^2	Aire de la section de la sonde de prélèvement isocinétique
A_T	m^2	Aire de la section du tuyau d'échappement
\overline{a}		Valeur moyenne pondérée pour:
	m^3/h	le débit volumique;
	kg/h	le débit massique;
	g/kWh	les émissions spécifiques
α	-	Rapport hydrogène/carbone du carburant
C_1	-	Hydrocarbures exprimés en équivalent carbone 1
$conc$	ppm Vol %	Concentration (avec le suffixe de l'élément désigné)
$conc_c$	ppm Vol %	Concentration corrigée de la concentration ambiante
$conc_d$	ppm Vol %	Concentration de l'air de dilution
DF	-	Facteur de dilution
f_a	-	Facteur atmosphérique du laboratoire
F_{FH}	-	Facteur spécifique au carburant utilisé pour les calculs de concentrations en conditions humides, à partir des concentrations en conditions sèches (rapport hydrogène/carbone)

G_{AIRW}	kg/h	Débit massique d'air d'admission (conditions humides)
G_{AIRD}	kg/h	Débit massique d'air d'admission (conditions sèches)
G_{DILW}	kg/h	Débit massique d'air de dilution (conditions humides)
G_{EDFW}	kg/h	Equivalent du débit massique de gaz d'échappement dilués (conditions humides)
G_{EXHW}	kg/h	Débit massique de gaz d'échappement (conditions humides)
G_{FUEL}	kg/h	Débit massique de carburant
G_{TOTW}	kg/h	Débit massique de gaz d'échappement dilués (conditions humides)
H_{REF}	g/kg	Valeur de référence de l'humidité absolue égale à 10,71 g/kg pour le calcul des facteurs de correction d'humidité pour les NO_x et les particules
H_a	g/kg	Humidité absolue de l'air d'admission
H_d	g/kg	Humidité absolue de l'air de dilution
i	-	Indice désignant un des modes de l'essai
K_H	-	Facteur de correction d'humidité pour les NO_x
K_p	-	Facteur de correction d'humidité pour les particules
$K_{W,a}$	-	Facteur de correction pour l'air d'admission (sec/humide)
$K_{W,d}$	-	Facteur de correction pour l'air de dilution (sec/humide)
$K_{W,e}$	-	Facteur de correction pour les gaz d'échappement dilués (sec/humide)
$K_{W,r}$	-	Facteur de correction pour les gaz d'échappement bruts (sec/humide)
L	%	Proportion du couple maximal utilisée pour le régime d'essai
$mass$	g/h	Indice désignant le débit massique des émissions
M_{DIL}	kg	Masse de l'échantillon d'air de dilution ayant traversé les filtres à particules
M_{SAM}	kg	Masse de l'échantillon de gaz d'échappement dilués ayant traversé les filtres à particules
M_d	mg	Masse de l'échantillon de particules de l'air de dilution collecté

M_f	mg	Masse de l'échantillon de particules collecté
p_a	kPa	Pression de vapeur saturante de l'air admis dans le moteur (ISO 3046 p_{sy} = essai PSY, pression ambiante)
p_B	kPa	Pression barométrique totale (ISO 3046: P_x = site PX, pression totale ambiante; P_y = essai PY, pression totale ambiante)
p_d	kPa	Pression de vapeur saturante de l'air de dilution
p_s	kPa	Pression atmosphérique (conditions sèches)
P	kW	Puissance au frein non corrigée
P_{AE}	kW	Puissance totale déclarée absorbée par les accessoires prévus pour l'essai qui ne sont pas requis par les dispositions du paragraphe 2.1.41 du présent Règlement
P_M	kW	Puissance maximale mesurée au régime d'essai dans les conditions d'essai (voir annexe 1A)
P_m	kW	Puissance mesurée aux différents modes d'essai
q	-	Coefficient de dilution
r	-	Rapport entre les aires transversales de la sonde isocinétique et du tuyau d'échappement [voir plus haut sous A_p et A_T]
R_a	%	Humidité relative de l'air d'admission
R_d	%	Humidité relative de l'air de dilution
R_f	-	Facteur de réponse du détecteur FID
S	kW	Réglage du dynamomètre
T_a	K	Température absolue de l'air d'admission
T_{Dd}	K	Température absolue au point de rosée
T_{SC}	K	Température de l'air d'admission après le refroidisseur intermédiaire
T_{ref}	K	Température de référence (de l'air de combustion à 298 K (25 °C))
T_{SCRef}	K	Température de référence de l'air d'admission après le refroidisseur intermédiaire
V_{AIRD}	m ³ /h	Débit volumique d'air d'admission (conditions sèches)
V_{AIRW}	m ³ /h	Débit volumique d'air d'admission (conditions humides)

V_{DIL}	m^3	Volume de l'échantillon d'air de dilution ayant traversé les filtres à particules
V_{DILW}	m^3/h	Débit volumique d'air de dilution (conditions humides)
V_{EDFW}	m^3/h	Équivalent du débit volumique de gaz d'échappement dilués (conditions humides)
V_{EXHD}	m^3/h	Débit volumique de gaz d'échappement (conditions sèches)
V_{EXHW}	m^3/h	Débit volumique de gaz d'échappement (conditions humides)
V_{SAM}	m^3	Volume de l'échantillon ayant traversé les filtres à particules
V_{TOTW}	m^3/h	Débit volumique de gaz d'échappement dilués (conditions humides)
WF	-	Facteur de pondération
WF_E	-	Facteur de pondération effectif

2. Conditions d'essai

2.1 Prescriptions générales

Tous les volumes et les débits volumétriques doivent être corrigés et rapportés à une température de 273 K (0 °C) et à une pression de 101,3 kPa.

2.2 Conditions d'essai du moteur

2.2.1 Les valeurs à mesurer sont la température absolue T_a de l'air à l'entrée du moteur, exprimée en Kelvin, et la pression atmosphérique sèche p_s , exprimée en kPa; le paramètre f_a sera déterminé selon la méthode suivante:

Moteurs à aspiration atmosphérique et moteurs à suralimentation mécanique:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s} \right) \cdot \left(\frac{T}{298} \right)^{0,7}$$

Moteurs à turbocompresseur avec ou sans refroidissement de l'air d'admission:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s} \right)^{0,7} \cdot \left(\frac{T}{298} \right)^{1,5}$$

2.2.2 Validité de l'essai

Pour que l'essai soit valable, le paramètre f_a doit être tel que:

$$0,96 \leq f_a \leq 1,06$$

2.2.3 Moteurs avec refroidisseur d'air de suralimentation

La température de l'air d'admission doit être enregistrée et, au régime nominal déclaré et à pleine charge, elle doit se situer à ± 5 K de la température maximale de l'air d'admission spécifiée par le constructeur. La température de l'agent de refroidissement doit être d'au moins 293 K (20 °C).

S'il est utilisé un système de laboratoire ou un ventilateur extérieur, la température de l'air d'admission doit être réglée à $\pm 5\text{K}$ de la température maximale de l'air d'admission spécifiée par le constructeur au régime de la puissance maximale déclarée et à pleine charge. La température de l'agent de refroidissement et le débit de l'agent de refroidissement dans le refroidisseur intermédiaire au point de consigne ci-dessus ne doivent pas être modifiés pendant tout le cycle d'essai. Le volume du refroidisseur intermédiaire doit être déterminé sur la base des règles de l'art et des applications courantes sur les véhicules/engins.

Optionnellement, le réglage du refroidisseur d'air de suralimentation peut se faire conformément à la norme SAE J 1937 (publiée en janvier 1995).

2.3 Système d'admission d'air du moteur

Le moteur soumis à l'essai doit être équipé d'un système d'admission d'air **présentant une perte de charge se situant à moins de $\pm 300\text{ Pa}$ de la valeur** spécifiée par le constructeur pour un filtre à air propre et un moteur fonctionnant dans les conditions, indiquées par le constructeur, qui correspondent au débit d'air maximal. **La perte de charge doit être réglée au régime nominal et à pleine charge moteur.** Le système du laboratoire d'essai peut être utilisé à condition qu'il soit représentatif des conditions réelles de fonctionnement du moteur.

2.4 Système d'échappement du moteur

Le moteur soumis à l'essai doit être équipé d'un système d'échappement dans lequel la contre-pression des gaz se situe à moins de $\pm 650\text{ Pa}$ de la valeur spécifiée par le constructeur pour un moteur fonctionnant dans des conditions normales, telles qu'il produise la puissance maximale déclarée.

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 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 contre-pression ou la perte de charge à l'échappement doit satisfaire aux critères énoncés plus haut, et elle peut être réglable au moyen d'une soupape. Le boîtier de traitement aval peut être enlevé lors des essais à blanc et pendant l'établissement de la courbe de conversion du moteur et peut être remplacé par un boîtier équivalent contenant un élément catalyseur inactif.

2.5 Système de refroidissement

Un système de refroidissement capable de maintenir le moteur aux températures d'exploitation normales **doit être** prescrit par le constructeur.

2.6 Huile lubrifiante

Les caractéristiques de l'huile lubrifiante utilisée pour l'essai doivent être enregistrées et présentées avec les résultats de l'essai.

2.7 Carburant utilisé pour l'essai

Le carburant utilisé doit être le carburant de référence défini à l'**annexe 6** pour les bandes de puissance respectives:

Annexe 6, tableau 1 pour les bandes de puissance D à G

Annexe 6, tableau 2 pour les bandes de puissance H à K

Annexe 6, tableau 3 pour les bandes de puissance L à P

Optionnellement, le carburant de référence spécifié à l'**annexe 6, tableau 1**, peut aussi être utilisé pour les plages de puissance H à K.

L'indice de cétane et la teneur en soufre du carburant de référence utilisé pour l'essai seront indiqués au **paragraphe 1.1 de l'appendice 1 de l'annexe 2**.

La température du carburant à l'entrée de la pompe à injection doit être comprise entre 306 et 316 K (33-43 °C).

3. Exécution de l'essai (essai NRSC)

3.1 Détermination du réglage du banc dynamométrique

La mesure des émissions spécifiques est basée sur la puissance au frein non corrigée déterminée conformément au Règlement n° 120.

Durant l'essai, les accessoires nécessaires pour le fonctionnement du moteur doivent être montés conformément aux prescriptions de l'annexe 7.

Dans le cas des accessoires qui ne sont pas déposés pour l'essai, la puissance qu'ils absorbent aux régimes d'essai doit être déterminée pour calculer les réglages du dynamomètre, sauf pour les moteurs dont les accessoires font partie intégrante (par exemple, les ventilateurs de refroidissement sur les moteurs refroidis par air).

La perte de charge à l'admission et la contre-pression à l'échappement doivent être réglées aux limites supérieures indiquées par le constructeur, conformément aux paragraphes 2.3 et 2.4.

Les valeurs maximales de couple aux régimes d'essai spécifiés sont déterminées expérimentalement afin de calculer les valeurs du couple pour les modes d'essai indiqués. Pour les moteurs qui ne sont pas conçus pour fonctionner dans une plage de régimes sur une courbe de couple à pleine charge, le couple maximal aux régimes d'essai est déclaré par le constructeur.

Le réglage du moteur pour chacun des modes d'essai est calculé au moyen de la formule suivante:

$$S = \left((P_M + P_{AE}) \cdot \frac{L}{100} \right) - P_{AE}$$

Pour un taux,

$$\frac{P_{AE}}{P_M} \geq 0,03$$

la valeur de la P_{AE} peut être vérifiée par l'autorité technique accordant l'homologation du type.

3.2 Préparation des filtres de collecte

Une heure au moins avant l'essai, mettre chaque (paire de) filtre(s) dans un récipient Petri fermé mais non scellé, et placer celui-ci dans la chambre de pesée afin de stabiliser le filtre. A la fin de la période de stabilisation, peser chaque (paire de) filtre(s) et enregistrer le poids de la tare. Le (La paire de) filtre(s) est alors stocké(e) dans un récipient Petri fermé ou dans un porte-filtre jusqu'au moment de l'essai. Si le (la paire de) filtre(s) n'est pas utilisé(e) dans les 8 h qui suivent son retrait de la chambre de pesée, il (elle) devra être pesé(e) à nouveau avant d'être utilisé(e).

3.3 Installation du matériel de mesure

L'appareillage et les sondes de prélèvement doivent être mis en place selon les instructions. Lorsqu'on utilise un système de dilution des gaz d'échappement en circuit principal, le système doit être relié à l'extrémité du tuyau d'échappement.

3.4 Mise en marche du système de dilution et du moteur

Le système de dilution et le moteur doivent être mis en marche et mis en température jusqu'à ce que toutes les températures et les pressions soient stabilisées à pleine charge et au régime nominal (par. 3.6.2).

3.5 Réglage du coefficient de dilution

Le système de prélèvement des particules doit être mis en marche et équipé d'un dispositif de dérivation pour la méthode à filtre unique (facultatif pour la méthode à filtres multiples). La concentration ambiante de particules dans l'air de dilution peut être déterminée en faisant passer cet air à travers les filtres à particules. Si l'on utilise de l'air de dilution filtré, il suffit de procéder à une seule mesure avant, pendant ou après l'essai. **Si l'air de dilution n'est pas filtré, la mesure doit être effectuée sur un échantillon prélevé pendant la durée de l'essai.**

La température de l'air de dilution au passage dans le filtre doit se situer entre 315 K (42 °C) et 325 K (52 °C) dans chaque mode. Le taux de dilution total ne doit pas être inférieur à 4.

Note: Pour les bandes de puissance allant jusqu'à K incluse, lorsque l'essai s'effectue selon un cycle à modes discrets, la température du filtre peut être maintenue à la température maximale de 325 K (52 °C) ou à une température inférieure, et non pas dans la gamme de températures de 42 à 52 °C.

Pour **les méthodes à filtre unique et à filtres multiples**, le débit massique de l'échantillon à travers le filtre doit représenter une proportion constante du débit massique des gaz d'échappement dilués pour les systèmes de dilution en circuit principal et dans tous les modes. Ce rapport de masse doit être maintenu à ± 5 % **de la valeur moyenne pour le mode**, sauf pendant les premières 10 s de chaque mode pour les systèmes non dotés d'un dispositif

de dérivation. Dans le cas des systèmes de dilution en circuit partiel, le débit massique à travers le filtre doit être maintenu à ± 5 % **de la valeur moyenne pour le mode**, sauf pendant les premières 10 s de chaque mode pour les systèmes non dotés d'un dispositif de dérivation.

Pour les systèmes avec contrôle des concentrations de CO₂ ou de NO_x, la teneur de l'air de dilution en CO₂ ou NO_x doit être mesurée au début et à la fin de chaque essai. L'écart entre les concentrations ambiantes de CO₂ ou de NO_x dans l'air de dilution, avant et après l'essai, ne doit pas être supérieur à 100 ppm ou 5 ppm, respectivement.

Lorsque l'on utilise un système d'analyse des gaz d'échappement dilués, les concentrations ambiantes correspondantes seront déterminées en prélevant l'air de dilution dans un sac de collecte pendant toute la durée de l'essai.

La mesure de la concentration ambiante en continu (sans sac) peut être effectuée en trois points au moins – au début, à la fin et vers le milieu du cycle. On établit ensuite la moyenne des chiffres obtenus. À la demande du constructeur la mesure de la concentration ambiante peut être omise.

3.6 Vérification des analyseurs

Les analyseurs d'émissions doivent être mis à zéro et calibrés.

3.7 Cycle d'essai

3.7.1 Spécifications des engins à contrôler conformément aux paragraphes 1.1 à 1.3

3.7.1.1 Spécification A

Pour les moteurs visés aux paragraphes 1.1 et 1.2 du présent Règlement, le cycle à 8 modes discrets¹ du paragraphe 1.1 a) de l'annexe 5 doit être exécuté avec le moteur d'essai sur le dynamomètre.

Optionnellement, le cycle à 9 modes raccordés correspondant visé au paragraphe 1.2 a) de l'annexe 5 peut être utilisé. En pareil cas, on exécute le cycle conformément au paragraphe 7.8.2 de l'annexe 4B, au lieu de suivre les procédures décrites aux paragraphes 3.7.2 à 3.7.6.

3.7.1.2 Spécification B

Pour les moteurs visés au paragraphe 1.3 du présent Règlement, le cycle à 5 modes discrets² du paragraphe 1.1 b) de l'annexe 5 doit être exécuté avec le moteur d'essai sur le dynamomètre.

Optionnellement, le cycle à 5 modes raccordés visé au paragraphe 1.2 b) de l'annexe 5 peut être utilisé. En pareil cas, on exécute le cycle conformément au paragraphe 7.8.2 de l'annexe 4B, au lieu de suivre les procédures décrites aux paragraphes 3.7.2 à 3.7.6.

Les taux de charge indiqués sont les valeurs en pourcentage du couple correspondant à la puissance pour le service de base, définie comme étant la puissance maximale disponible au cours d'une séquence d'exploitation variable, dont la durée peut atteindre un nombre d'heures illimité par an, entre des entretiens dont la fréquence est déclarée et dans

¹ Identique au cycle C1 décrit au point 8.3.1.1 de la norme ISO 8178-4:2008.

² Identique au cycle D2 décrit au point 8.4.1 de la norme ISO 8178-4:2008.

les conditions ambiantes déclarées, l'entretien étant effectué selon les prescriptions du constructeur.

3.7.2 Conditionnement du moteur

Le moteur et le système doivent être mis en température au régime maximal et au couple maximal afin de stabiliser les paramètres du moteur conformément aux recommandations du constructeur.

Note: La période de conditionnement devrait également permettre d'éliminer l'influence des dépôts qui ont pu se former dans le système d'échappement lors d'un essai antérieur. Une période de stabilisation entre les points d'essai a également été prescrite pour réduire au minimum les interactions entre ces derniers.

3.7.3 Exécution de l'essai

On exécute la séquence d'essai dans l'ordre des numéros de mode indiqués **ci-dessus pour les cycles d'essai.**

Pendant chaque mode du cycle d'essai **donné**, après la période initiale de transition, le régime indiqué sera maintenu à ± 1 % du régime nominal, ou $\pm 3 \text{ min}^{-1}$, le plus grand de ces écarts étant retenu, sauf lorsque le moteur est au ralenti où il faudra respecter les tolérances indiquées par le constructeur. Le couple indiqué doit être maintenu de façon que la moyenne des mesures effectuées au cours de la période ne s'écarte pas de plus de ± 2 % de la valeur du couple maximal au régime d'essai.

Dix minutes au moins sont nécessaires pour chaque point de mesure. Si, pour l'essai d'un moteur, des temps de prélèvement plus longs sont nécessaires afin de recueillir une masse suffisante de particules sur le filtre de mesure, la durée de ce mode d'essai peut être prolongée selon les besoins.

La durée du mode doit être enregistrée et signalée.

Les concentrations des émissions de gaz d'échappement doivent être mesurées et enregistrées pendant les dernières 3 min du mode.

Le prélèvement des particules et la mesure des émissions gazeuses ne doivent pas commencer avant que la stabilisation du moteur, comme spécifié par le constructeur, soit achevée et ils doivent se terminer simultanément.

La température du carburant doit être mesurée à l'entrée de la pompe d'injection ou en suivant les instructions du constructeur, et le lieu où la mesure a été effectuée doit être noté.

3.7.4 Données fournies par les analyseurs

Les données fournies par les analyseurs doivent être enregistrées au moyen d'un enregistreur à bande ou mesurées à l'aide d'un système d'acquisition de données équivalent, et les gaz d'échappement doivent passer à travers les analyseurs au moins pendant les dernières 3 min de chaque mode. Si le prélèvement sacs est appliqué pour mesurer le CO et le CO₂ dilués (voir par. 1.4.4, appendice 1, **annexe 4A**), un échantillon doit être recueilli au cours des dernières 3 min de chaque mode, puis analysé, et les résultats de l'analyse doivent être enregistrés.

3.7.5 Prélèvement des particules

Le prélèvement des particules peut se faire par la méthode du filtre unique ou par la méthode des filtres multiples (par. 1.5, appendice 1, **annexe 4A**). Les résultats pouvant varier légèrement en fonction des méthodes, la méthode utilisée doit être indiquée avec les résultats.

Pour la méthode du filtre unique, il doit être tenu compte, pendant le prélèvement, des facteurs de pondération par modes indiqués dans la procédure du cycle d'essai en réglant le débit de l'échantillon ou le temps de prélèvement en conséquence.

Le prélèvement doit être fait le plus tard possible dans chaque mode. La durée de prélèvement par mode doit être de 20 s au moins pour la méthode à filtre unique et de 60 s au moins pour la méthode à filtres multiples. Dans le cas des systèmes sans capacité de dérivation, la durée de prélèvement par mode doit être de 60 s au moins pour les méthodes à filtre unique et à filtres multiples.

3.7.6 Paramètres concernant le moteur

Le régime et la charge du moteur, la température de l'air d'admission, le débit de carburant et le débit d'air ou de gaz d'échappement doivent être mesurés pour chaque mode une fois le moteur stabilisé.

S'il n'est pas possible de mesurer le débit de gaz d'échappement ou la consommation d'air de combustion et de carburant, ces paramètres peuvent être calculés en utilisant la méthode du bilan carbone et oxygène (voir **annexe 4A**, appendice 1, par. 1.2.3).

Toute donnée supplémentaire nécessaire pour les calculs doit être enregistrée (voir par. 1.1 et 1.2, appendice 3, **annexe 4A**).

3.8 Deuxième vérification des analyseurs

Après l'essai de mesure des émissions, un gaz de mise à zéro et le même gaz d'étalonnage seront utilisés pour une deuxième vérification. L'essai sera jugé acceptable si l'écart entre les deux mesures est inférieur à 2 %.

4. Exécution de l'essai (essai NRTC)**4.1 Introduction**

Dans l'annexe 5, l'essai NRTC est décrit comme une séquence seconde par seconde de valeurs de régime et de couple normalisées applicables à tous les moteurs diesel couverts par le présent Règlement. Pour exécuter l'essai dans une chambre d'essai de moteurs, les valeurs normalisées sont converties en valeurs réelles pour le moteur particulier à l'essai, sur la base de sa courbe de conversion. Cette conversion est appelée dénormalisation et le cycle d'essai qui en résulte est appelé cycle de référence du moteur à essayer. Avec ces valeurs de régime et de couple de référence, le cycle est exécuté dans la chambre d'essai et les valeurs réelles du régime et du couple sont enregistrées. Afin de valider l'essai, une analyse de régression des valeurs de référence et réelles du régime et du couple est effectuée à la fin de l'essai.

4.1.1 L'utilisation d'un dispositif d'invalidation ou le recours à une stratégie irrationnelle de limitation des émissions sont interdits.

4.2 Procédure d'établissement de la courbe de conversion du moteur

Lors de l'exécution du NRTC dans la chambre d'essai, une courbe de conversion du moteur est établie avant l'exécution du cycle d'essai afin de déterminer la courbe régime/couple.

4.2.1 Détermination de plage de régimes de la courbe de conversion

Les régimes minimal et maximal de la courbe de conversion sont définis comme suit:

Régime minimal	=	régime de ralenti
Régime maximal	=	$n_{hi} \times 1,02$ ou régime auquel le couple à pleine charge tombe à zéro, la valeur la plus faible étant retenue (où n_{hi} est le régime supérieur, défini comme le régime le plus élevé du moteur auquel 70 % de la puissance nominale sont fournis).

4.2.2 Courbe de conversion du moteur

Le moteur est mis en température à la puissance maximale afin de stabiliser ses paramètres conformément à la recommandation du constructeur et aux règles de l'art. Une fois les conditions moteur stabilisées, la courbe de conversion du moteur est établie selon les procédures suivantes.

4.2.2.1 Courbe de conversion transitoire

- Le moteur n'est pas chargé et tourne au régime de ralenti;
- Le moteur tourne au réglage de pleine charge de la pompe d'injection au régime minimal de la courbe de conversion;
- Le régime du moteur est augmenté à un taux moyen de $8 \pm 1 \text{ min}^{-1}/\text{s}$ entre les régimes minimal et maximal de la courbe de conversion. Les points de régime et de couple du moteur sont enregistrés à une fréquence d'au moins un point par seconde.

4.2.2.2 Courbe de conversion stationnaire

- Le moteur n'est pas chargé et tourne au régime de ralenti;
- Le moteur tourne au réglage de pleine charge de la pompe d'injection au régime minimal de la courbe de conversion;
- Tout en maintenant la pleine charge, le régime minimal de la courbe de conversion est maintenu pendant au moins 15 s, et le couple moyen au cours des dernières 5 s est enregistré. La courbe de couple maximal entre les régimes minimal et maximal de la courbe de conversion est déterminée par pas d'accroissement du régime ne dépassant pas $100 \pm 20 \text{ min}^{-1}$. Chaque point d'essai est maintenu pendant au moins 15 s, et le couple moyen au cours des dernières 5 s est enregistré.

4.2.3 Établissement de la courbe de conversion

Tous les points de données enregistrés au paragraphe 4.2.2 sont reliés entre eux par interpolation linéaire. La courbe de couple résultante constitue la courbe de conversion et sert à convertir les valeurs de couple normalisées de la programmation du dynamomètre (annexe 5) en valeurs de couple réelles pour le cycle d'essai, comme décrit au paragraphe 4.3.3.

4.2.4 Autres techniques de conversion

Si un constructeur estime que les techniques de conversion exposées ci-dessus ne sont pas fiables ou représentatives d'un moteur donné, d'autres techniques de conversion peuvent être appliquées. Comme les procédures de conversion spécifiées, elles doivent viser à déterminer le couple maximal disponible à tous les régimes du moteur atteints au cours des cycles d'essai. Les techniques qui, pour des raisons de fiabilité ou de représentativité, s'écartent des techniques spécifiées doivent être approuvées par les parties concernées en même temps que la justification de leur emploi. En aucun cas cependant, la courbe de couple ne devra être obtenue à partir de vitesses décroissantes pour des moteurs à régulateur ou à turbocompresseur.

4.2.5 Répétition des essais

Une conversion pour le moteur ne doit pas nécessairement être effectuée avant chaque cycle d'essai. Cela ne doit être le cas:

- a) Que si, sur la base de critères techniques, on juge qu'un laps de temps excessif s'est écoulé depuis la dernière conversion;
- b) Ou si le moteur a subi des modifications physiques ou des modifications des réglages susceptibles d'influer sur ses performances.

4.3 Établissement du cycle d'essai de référence

4.3.1 Régime de référence

Le régime de référence (n_{ref}) correspond aux valeurs de régime normalisées 100 % spécifiées dans la programmation du dynamomètre (annexe 5). Le cycle effectif du moteur résultant de la dénormalisation dépend dans une large mesure du choix du régime de référence approprié. Le régime de référence est défini comme suit:

$$n_{ref} = \text{régime inférieur} + 0,95 (\text{régime supérieur} - \text{régime inférieur})$$

(Le régime supérieur est le régime le plus élevé du moteur où 70 % de la puissance nominale sont fournis, alors que le régime inférieur est le régime le plus bas du moteur où 50 % de la puissance nominale sont fournis.)

Si le régime de référence mesuré s'écarte de ± 3 % du régime de référence déclaré par le constructeur, le régime de référence déclaré peut être utilisé pour l'essai de mesure des émissions. Si cette tolérance est dépassée, le régime de référence mesuré est utilisé pour l'essai de mesure des émissions. (Ces principes sont conformes à la norme ISO 8178-11:2006.)

4.3.2 Dénormalisation du régime moteur

Le régime est dénormalisé en appliquant la formule suivante:

$$\text{ActualSpeed} = \frac{\% \text{speed}}{100} \cdot (\text{referencespeed} - \text{idlespeed}) + \text{idlespeed}$$

4.3.3 Dénormalisation du couple moteur

Les valeurs de couple dans la fiche de programmation du dynamomètre (annexe 5) sont normalisées jusqu'au couple maximal au régime

respectif. Les valeurs de couple du cycle de référence sont dénormalisées comme suit à l'aide de la courbe de conversion déterminée conformément au paragraphe 4.2.2, comme suit:

$$\text{Actualtorque} = \frac{\% \text{ torque}}{100} \cdot \text{max.torque}$$

pour le régime réel correspondant tel qu'il est déterminé au paragraphe 4.3.2.

4.3.4 Exemple de procédure de dénormalisation

À titre d'exemple, le point d'essai suivant doit être dénormalisé:

% de régime = 43

% de couple = 82

En supposant les valeurs suivantes:

régime de référence = 2 200 min⁻¹

régime de ralenti = 600 min⁻¹

nous obtenons:

$$\text{ActualSpeed} = \frac{43}{100} \cdot (2\,200 - 600) + 600 = 1\,288 \text{ min}^{-1}$$

Avec le couple maximal de 700 Nm affiché sur la courbe de conversion à 1 288 min⁻¹, on obtient:

$$\text{Actualtorque} = \frac{82}{100} \cdot 700 = 574 \text{ Nm}$$

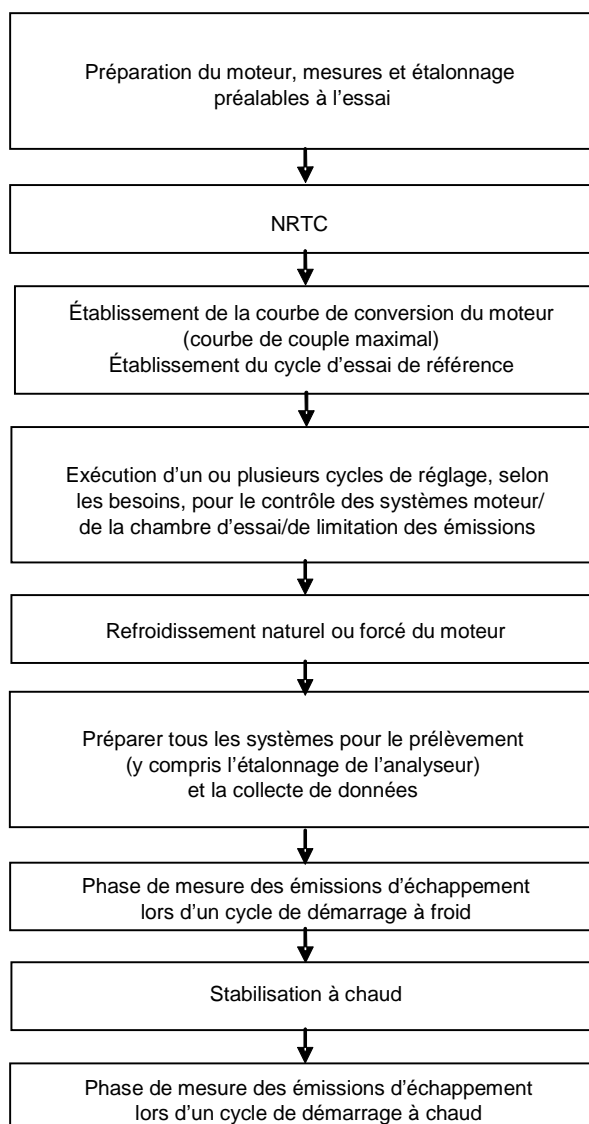
4.4 Dynamomètre

4.4.1 En cas d'utilisation d'une cellule dynamométrique, le signal de couple est transféré sur l'axe du moteur et l'inertie du dynamomètre doit être prise en considération. Le couple réel du moteur est la somme du couple relevé à la cellule dynamométrique et du moment d'inertie du frein, multipliée par l'accélération angulaire. Le système de commande doit effectuer ce calcul en temps réel.

4.4.2 Si l'essai du moteur est effectué avec un dynamomètre à courant de Foucault, le nombre de points où la différence $T_{sp} - 2 \cdot \pi \cdot \dot{n}_{sp} \cdot \Theta_D$ est inférieure à 5 % du couple maximal ne devrait pas être supérieur à 30 (où T_{sp} est le couple demandé, \dot{n}_{sp} est la dérivée du régime du moteur et Θ_D est l'inertie de rotation du dynamomètre).

4.5 Exécution de l'essai de mesure des émissions

Le diagramme ci dessous décrit les différentes séquences de l'essai:



Avant le cycle de mesure, un ou plusieurs cycles préliminaires peuvent être exécutés, si nécessaire, pour vérifier le moteur, la chambre d'essai et les systèmes d'antipollution.

4.5.1 Préparation des filtres de collecte

Une heure au moins avant l'essai, chaque filtre est placé dans une boîte de Petri protégée contre la poussière mais permettant les échanges d'air, et celle-ci est placée dans une chambre de pesée pendant une période de stabilisation. À la fin de la période de stabilisation, chaque filtre est pesé et le poids est enregistré. Le filtre est alors stocké dans une boîte de Petri fermée ou dans un porte-filtre jusqu'au moment de l'essai. Le filtre doit être utilisé pour la collecte dans les 8 h après sa sortie de la chambre de pesée. La tare est enregistrée.

4.5.2 Installation du matériel de mesure

L'appareillage et les sondes de prélèvement doivent être mis en place selon les instructions. En cas d'utilisation d'un système de dilution en circuit principal, l'extrémité du tuyau d'échappement doit être raccordée à ce système.

4.5.3 Mise en marche du système de dilution

Le système de dilution est mis en marche. Le débit total de gaz d'échappement dilués d'un système de dilution en circuit principal ou le débit de gaz d'échappement dilués dans un système de dilution en circuit partiel doit être réglé de manière à éliminer la condensation d'eau dans le système et à obtenir une température de 315 K (42 °C) à 325 K (52 °C) à l'entrée du filtre.

4.5.4 Mise en marche du système de prélèvement des particules

Le système de prélèvement des particules doit être mis en marche en mode dérivation. La concentration ambiante des particules dans l'air de dilution peut être déterminée en prélevant l'air de dilution avant l'entrée des gaz d'échappement dans le tunnel de dilution. Il est préférable de prélever l'échantillon de particules ambiantes pendant le cycle transitoire si un autre système de prélèvement des particules est utilisé. Sinon, le système utilisé pour le prélèvement de particules dans le cycle en régime transitoire peut être utilisé. Si de l'air de dilution filtré au préalable est utilisé, il est possible d'effectuer une mesure avant ou après l'essai. Si l'air de dilution n'est pas filtré, une mesure est effectuée avant le début et après la fin du cycle et la moyenne des valeurs est établie.

4.5.5 Vérification des analyseurs

Les analyseurs d'émissions sont mis à zéro et étalonnés. Si des sacs de collecte sont utilisés, ils doivent être vidés.

4.5.6 Prescriptions en matière de refroidissement

Une méthode de refroidissement naturel ou forcé peut être utilisée. Pour un refroidissement forcé, un système reposant sur les bonnes pratiques techniques sera utilisé, comme le soufflage d'air de refroidissement dans le moteur, la circulation d'huile froide dans le circuit de lubrification du moteur, le refroidissement de l'agent de refroidissement dans le circuit du moteur et l'extraction de la chaleur d'un système de traitement aval des gaz d'échappement. Dans le cas du refroidissement forcé du système de traitement aval, l'air de refroidissement ne doit pas être appliqué avant que la température de ce système ne soit descendue en dessous de sa température d'activation catalytique. Toute méthode de refroidissement donnant des résultats d'émissions non représentatifs n'est pas admise.

L'essai de mesure des émissions d'échappement en cycle de démarrage à froid ne peut commencer après un refroidissement que lorsque les températures de l'huile moteur, de l'agent de refroidissement et du système de traitement aval sont stabilisées entre 20 °C et 30 °C pendant une durée minimale de 15 min.

4.5.7 Exécution du cycle

4.5.7.1 Cycle de démarrage à froid

La séquence d'essai commence par le cycle de démarrage à froid dès que le refroidissement est achevé et lorsque toutes les conditions énoncées au paragraphe 4.5.6 sont respectées.

Le moteur est démarré à l'aide d'un démarreur de série ou du dynamomètre, conformément à la procédure de démarrage recommandée par le constructeur dans le manuel d'utilisation.

Dès que le moteur est démarré, un compteur de «ralenti à vide» est enclenché. Le moteur tourne librement au ralenti sans charge pendant 23 ± 1 s. Le cycle en régime transitoire est lancé de manière à ce que le premier enregistrement hors ralenti du cycle intervienne à 23 ± 1 s. La période de ralenti à vide est incluse dans les 23 ± 1 s.

L'essai est exécuté conformément au cycle de référence défini à l'annexe 5. Les points de consigne de régime et de couple du moteur sont émis à 5 Hz (10 Hz recommandés) minimum. Les points de consigne sont calculés par interpolation linéaire entre les points de consigne à 1 Hz du cycle de référence. Le régime et le couple réels du moteur sont enregistrés au moins une fois par seconde durant le cycle d'essai et les signaux peuvent être filtrés par voie électronique.

4.5.7.2 Réponse des analyseurs

L'équipement de mesure doit être démarré en même temps que le moteur:

- a) début de la collecte ou de l'analyse de l'air de dilution, si un système de dilution en circuit principal est utilisé;
- b) début de la collecte ou de l'analyse des gaz d'échappement bruts ou dilués, selon la méthode utilisée;
- c) début de la mesure de la quantité de gaz d'échappement dilués ainsi que des températures et des pressions requises;
- d) début de l'enregistrement du débit massique des gaz d'échappement en cas d'analyse des gaz d'échappement bruts;
- e) début de l'enregistrement des données réelles de régime et de couple retournées par le dynamomètre.

Dans le cas de la mesure des gaz d'échappement bruts, les concentrations des émissions (HC, CO et NO_x) et le débit massique des gaz d'échappement sont mesurés en continu et stockés sur ordinateur à une fréquence d'au moins 2 Hz. Toutes les autres données peuvent être enregistrées à une fréquence d'au moins 1 Hz. Pour les analyseurs analogiques, la réponse est enregistrée et les données d'étalonnage peuvent être appliquées en ligne ou hors ligne pendant l'évaluation des données.

Si un système de dilution en circuit principal est utilisé, les hydrocarbures (HC) et les NO_x sont mesurés en continu dans le tunnel de dilution à une fréquence d'au moins 2 Hz. Les concentrations moyennes sont calculées en intégrant les signaux de l'analyseur sur toute la durée du cycle d'essai. Le temps de réponse du système ne doit pas être supérieur à 20 s et, s'il y a lieu, doit être coordonné avec les fluctuations du débit de l'échantillon à volume constant et avec les décalages de la

durée du prélèvement/du cycle d'essai. Les quantités de CO et de CO₂ sont calculées en intégrant ou en analysant les concentrations du sac de prélèvement collectées durant le cycle. Les concentrations de gaz polluants dans l'air de dilution sont calculées par intégration ou par analyse de l'air de dilution collecté dans le sac de prélèvement pour les concentrations ambiantes. Tous les autres paramètres devant être mesurés sont enregistrés à raison d'une mesure par seconde (1 Hz) minimum.

4.5.7.3 Prélèvement des particules

Le système de prélèvement des particules est commuté du mode dérivation en mode collecte des particules dès le démarrage du moteur.

Si un système de dilution en circuit partiel est utilisé, la ou les pompes de prélèvement doivent être réglées de sorte que le débit qui traverse la sonde de prélèvement de particules ou le tube de transfert reste proportionnel au débit massique de gaz d'échappement.

Si un système de dilution en circuit principal est utilisé, la ou les pompes de prélèvement doivent être réglées de sorte que le débit qui traverse la sonde de prélèvement des particules ou le tube de transfert soit maintenu à une valeur située à ± 5 % du débit réglé. Lorsqu'il y a compensation de débit (à savoir contrôle proportionnel du débit de l'échantillon), il faut démontrer que le rapport du débit du tunnel principal à celui de l'échantillon de particules ne varie pas de plus de ± 5 % par rapport à sa valeur réglée (à l'exception des premières 10 s du prélèvement).

Note: Dans le cas d'une dilution double, le débit de l'échantillon est la différence nette entre le débit qui traverse les filtres de collecte et le débit d'air de dilution secondaire.

Les valeurs moyennes de température et de pression au(x) compteur(s) de gaz ou à l'entrée des instruments de mesure du débit doivent être enregistrées. Si, en raison d'une charge élevée de particules sur le filtre, le débit réglé ne peut pas être maintenu pendant toute la durée du cycle (à ± 5 % près) l'essai est annulé. Il doit être répété avec un débit inférieur et/ou un diamètre de filtre plus grand.

4.5.7.4 Calage du moteur pendant le cycle de démarrage à froid

Si le moteur cale à un moment quelconque du cycle d'essai de démarrage à froid, il doit être soumis à nouveau au conditionnement préalable, puis à la procédure de refroidissement; enfin, le moteur doit être redémarré et l'essai répété. L'essai est annulé en cas de défaillance de l'un quelconque des équipements d'essai requis durant le cycle d'essai.

4.5.7.5 Opérations à effectuer après l'achèvement du cycle de démarrage à froid

Une fois terminé le cycle de démarrage à froid de l'essai, les mesures du débit volumique de gaz d'échappement, du volume de gaz d'échappement dilués, du débit de gaz dans les sacs de collecte et de la pompe de prélèvement de particules doivent être arrêtées. Dans le cas d'un analyseur intégrateur, le prélèvement est poursuivi jusqu'à l'écoulement des temps de réponse du système.

Si des sacs de collecte sont utilisés, leurs concentrations sont analysées dès que possible et, en tout cas, au plus tard 20 min après la fin du cycle d'essai.

Après l'essai de mesure des émissions, un gaz de mise à zéro et le même gaz de réglage de sensibilité sont utilisés pour vérifier à nouveau les analyseurs. L'essai est jugé acceptable si la différence entre les résultats obtenus avant et après l'essai est inférieure à 2 % de la valeur du gaz de réglage de sensibilité.

Les filtres à particules sont ramenés dans la chambre de pesée une heure au plus tard après la fin de l'essai. Pendant au moins une heure avant d'être pesés, ils sont conditionnés dans une boîte de Petri protégée contre la poussière mais permettant les échanges d'air. Le poids brut des filtres est enregistré.

4.5.7.6 Stabilisation à chaud

Immédiatement après l'arrêt du moteur, le ou les ventilateurs de refroidissement du moteur, ainsi que la soufflante du système CVS, sont arrêtés, s'ils étaient utilisés (une alternative consiste à déconnecter le système d'échappement du CVS).

On soumet le moteur à une phase de stabilisation de 20 ± 1 min. Le moteur et le dynamomètre sont préparés pour l'essai de démarrage à chaud. Les sacs de collecte vidés sont raccordés aux systèmes de collecte d'échantillons de gaz d'échappement dilués et d'air de dilution. Le système CVS est démarré (s'il est utilisé ou s'il n'est pas déjà en marche) ou le système d'échappement est raccordé au CVS (s'il ne l'est pas). Les pompes de prélèvement (à l'exception de la ou des pompes de prélèvement de particules), le ou les ventilateurs de refroidissement du moteur et le système de collecte de données sont ensuite mis en marche.

L'échangeur de chaleur du CSV (s'il est utilisé) et les constituants chauffés de tout système de prélèvement en continu (le cas échéant) doivent être préchauffés à leurs températures de fonctionnement prescrites avant le début de l'essai.

Les débits de prélèvement sont réglés à la valeur voulue et les dispositifs de mesure de débit des gaz du CSV sont mis à zéro. Un filtre à particules propre est installé avec précaution dans chacun des porte-filtres et les porte-filtres assemblés sont placés dans la ligne de prélèvement.

4.5.7.7 Cycle de démarrage à chaud

Dès que le moteur est démarré, un compteur de «ralenti à vide» est enclenché. Le moteur tourne librement au ralenti sans charge pendant 23 ± 1 s. Le cycle en régime transitoire est lancé de manière à ce que le premier enregistrement hors ralenti du cycle intervienne à 23 ± 1 s. La période de ralenti à vide est incluse dans les 23 ± 1 s.

L'essai est exécuté conformément au cycle de référence défini à l'annexe 5. Les points de consigne de régime et de couple du moteur sont émis à 5 Hz (10 Hz recommandés) minimum. Les points de réglage sont calculés par interpolation linéaire entre les points de consigne à 1 Hz du cycle de référence. Le régime et le couple réels du moteur sont enregistrés au moins une fois par seconde durant le cycle d'essai et les signaux peuvent être filtrés par voie électronique.

La procédure décrite aux paragraphes 4.5.7.2 et 4.5.7.3 ci-dessus est ensuite répétée.

4.5.7.8 Calage du moteur pendant le cycle de démarrage à chaud

Si le moteur cale à un moment quelconque du cycle de démarrage à chaud, il peut être arrêté, puis soumis à une phase de stabilisation pendant 20 min. Le cycle de démarrage à chaud peut alors être répété. Une seule nouvelle phase de stabilisation à chaud et une seule répétition du cycle de démarrage à chaud sont autorisées.

4.5.7.9 Opérations à effectuer après l'achèvement du cycle de démarrage à chaud

Une fois achevé le cycle de démarrage à chaud, les mesures du débit volumique de gaz d'échappement, du volume de gaz d'échappement dilués, du débit de gaz dans les sacs de collecte et de la pompe de prélèvement de particules doivent être arrêtées. Dans le cas d'un analyseur intégrateur, le prélèvement est poursuivi jusqu'à l'écoulement des temps de réponse du système.

Si des sacs de collecte sont utilisés, leurs concentrations sont analysées dès que possible et, en tout cas, au plus tard 20 min après la fin du cycle d'essai.

Après l'essai de mesure des émissions, un gaz de mise à zéro et le même gaz de calibrage sont utilisés pour vérifier à nouveau les analyseurs. L'essai est jugé acceptable si la différence entre les résultats obtenus avant et après l'essai est inférieure à 2 % de la valeur du gaz de calibrage.

Les filtres à particules sont ramenés dans la chambre de pesée une heure au plus tard après la fin de l'essai. Pendant une heure au moins avant d'être pesés, ils sont conditionnés dans une boîte de Petri protégée contre la poussière mais permettant les échanges d'air. Le poids brut des filtres est enregistré.

4.6 Vérification de la bonne exécution de l'essai**4.6.1 Décalage temporel des données**

Afin de minimiser l'effet de biais dû au décalage de temps entre les valeurs réelles et celles du cycle de référence, toute la séquence de signaux des valeurs réelles du régime et du couple du moteur peut être avancée ou retardée dans le temps en fonction de la séquence de régime et de couple de référence. Si les signaux des valeurs réelles sont décalés, le régime et le couple doivent être décalés de la même valeur et dans le même sens.

4.6.2 Calcul du travail du cycle

Le travail du cycle effectif W_{act} (kWh) est calculé avec chaque paire enregistrée de valeurs réelles de régime et de couple du moteur. Le travail au cours du cycle effectif W_{act} est utilisé pour la comparaison du travail au cours du cycle de référence W_{ref} et pour le calcul des émissions spécifiques au banc. La même méthode est appliquée pour intégrer la puissance de référence et la puissance réelle du moteur. Si les valeurs doivent être calculées entre valeurs de référence ou de mesure adjacentes, une interpolation linéaire est effectuée.

Lors de l'intégration du travail du cycle de référence et du travail du cycle effectif, toutes les valeurs de couple négatives sont ramenées à zéro

et incluses. Lorsqu'une intégration se fait à une fréquence inférieure à 5 Hz et que, durant un segment de temps donné, la valeur du couple devient négative ou positive, la portion négative est déterminée et ramenée à zéro. La portion positive est incluse dans la valeur intégrée.

W_{act} doit se situer entre -15 % et + 5% de W_{ref} .

4.6.3 Statistiques de validation du cycle d'essai

Pour le régime, le couple et la puissance, des régressions linéaires des valeurs réelles doivent être exécutées par rapport aux valeurs de référence, et ce, après tout décalage dans le temps des données réelles si cette option est retenue. La méthode des moindres carrés doit être appliquée et l'équation d'ajustement se présente comme suit:

$$y = mx + b$$

où:

y = valeur réelle du régime (min^{-1}), du couple ($\text{N}\cdot\text{m}$), ou de la puissance (kW)

m = pente de la droite de régression

x = valeur de référence du régime (min^{-1}), du couple ($\text{N}\cdot\text{m}$), ou de la puissance (kW)

b = ordonnée à l'origine \neq de la droite de régression

L'erreur type de l'estimation (SE) 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 qu'un essai soit jugé valide, il doit satisfaire aux critères du tableau 1.

Tableau 1

Tolérances de la droite de régression

	<i>Régime</i>	<i>Couple</i>	<i>Puissance</i>
Erreur type de l'estimation (SE) de y sur x	maximum 100 min^{-1}	maximum 13 % du couple maximal du moteur selon la cartographie de puissance	maximum 8 % de la puissance maximale du moteur selon la cartographie de puissance
Pente de la droite de régression, m	0,95 à 1,03	0,83 – 1,03	0,89 – 1,03
Coefficient de détermination, r^2	minimum 0,9700	minimum 0,8800	minimum 0,9100
Ordonnée à l'origine de la droite de régression, b	$\pm 50 \text{ min}^{-1}$	$\pm 20 \text{ Nm}$ ou $\pm 2 \%$ la plus grande de ces 2 valeurs étant retenue	$\pm 4 \text{ kW}$ ou $\pm 2 \%$ la plus grande de ces 2 valeurs étant retenue

Pour les besoins des analyses de régression uniquement, des points peuvent être supprimés avant le calcul de régression lorsqu'ils sont indiqués dans le tableau 2. Toutefois, ces points ne peuvent pas être supprimés pour le calcul du travail du cycle et des émissions. Un point de ralenti est défini comme un point ayant un couple de référence normalisé de 0 % et un régime de référence normalisé de 0 %. La suppression de points peut s'appliquer à la totalité du cycle ou à une partie quelconque de celui-ci.

Tableau 2

Points pouvant être supprimés dans une analyse de régression (les points supprimés doivent être indiqués)

<i>Condition</i>	<i>Points de régime et/ou de couple et/ou de puissance pouvant être supprimés dans les cas mentionnés dans la colonne de gauche</i>
24 (± 1) premières et 25 dernières secondes	Régime, couple et puissance
Pleins gaz et valeur réelle du couple < 95 % du couple de référence	Couple et/ou puissance
Pleins gaz et valeur réelle du régime < 95 % du régime de référence	Régime et/ou puissance
Gaz coupés, valeur réelle du régime > régime de ralenti + 50 min⁻¹, et valeur réelle du couple > 105 % du couple de référence	Couple et/ou puissance
Gaz coupés, valeur réelle du régime \leq régime de ralenti + 50 min⁻¹, et valeur réelle du couple = couple de ralenti défini par le constructeur/mesuré ± 2 % du couple maximal	Régime et/ou puissance
Gaz coupés et valeur réelle du régime > 105 % du régime de référence	Régime et/ou puissance

Annexe 4A

Appendice 1

1. Méthodes de mesure et de prélèvement (essai NRSC)

Les constituants gazeux et particulaires émis par le moteur présenté aux essais sont mesurés par les méthodes décrites dans l'appendice 4 de l'**annexe 4A**. **Ces méthodes définissent** les systèmes d'analyse recommandés pour les émissions gazeuses (par 1.1) et les méthodes conseillées pour la dilution et le prélèvement des particules (par. 1.2).

À la demande du constructeur et avec l'accord de l'autorité chargée de l'homologation, les méthodes définies au paragraphe 9 de l'annexe 4B peuvent être utilisées en remplacement de celles définies au paragraphe 1. du présent appendice.

1.1 Spécifications concernant le dynamomètre

On doit utiliser un banc dynamométrique pour moteur dont les caractéristiques sont suffisantes pour permettre l'exécution du cycle d'essai prescrit au paragraphe **3.7.1** de l'**annexe 4A**. Les appareils de mesure du couple et de la vitesse doivent permettre de mesurer **la puissance** dans les limites indiquées. Des calculs supplémentaires peuvent être nécessaires. La précision de ces instruments doit être telle que les tolérances maximales des chiffres indiqués au paragraphe 1.3. ne soient pas dépassées.

1.2 Débit des gaz d'échappement

Le débit des gaz d'échappement est déterminé par l'une des méthodes indiquées aux paragraphes 1.2.1 à 1.2.4.

1.2.1 Méthode de mesure directe

Mesure directe du débit des gaz d'échappement au moyen d'un débitmètre à tuyère ou d'un appareil de mesure équivalent (pour plus de précisions, voir la norme ISO 5167:2000).

Note: La mesure directe du débit de gaz est une tâche difficile. Des précautions doivent être prises pour éviter les erreurs de mesure **qui** causeraient des erreurs dans les valeurs d'émissions.

1.2.2 Méthode de mesure du débit d'air et de carburant

Mesure du débit d'air et du débit de carburant

On utilise des **débitmètres à air** et **à carburant** ayant une justesse conforme à celle définie au paragraphe 1.3.

Le débit des gaz d'échappement se calcule comme suit:

$$G_{EXHW} = G_{AIRW} + G_{FUEL} \text{ (masse d'échappement humide)}$$

1.2.3 Méthode du bilan carbone

Calcul de la masse des gaz d'échappement d'après la consommation de carburant et les concentrations de gaz d'échappement par la méthode du bilan carbone (voir annexe **4A**, appendice 3).

1.2.4 Méthode de mesure avec gaz traceur

Celle-ci fait intervenir la mesure de la concentration d'un gaz traceur dans les gaz d'échappement.

Une quantité connue d'un gaz inerte (hélium pur, par exemple) est injectée en tant que gaz traceur dans le flux de gaz d'échappement. Le gaz traceur est mélangé avec les gaz d'échappement et dilué par eux, mais ne doit pas réagir dans le tuyau d'échappement. La concentration de ce gaz est ensuite mesurée dans l'échantillon de gaz d'échappement.

Pour assurer un mélange parfait du gaz traceur, la sonde de prélèvement de gaz d'échappement doit se trouver à au moins 1 m ou 30 fois le diamètre du tuyau d'échappement, la valeur la plus élevée des deux étant retenue, en aval du point d'injection du gaz traceur. Cette distance peut être réduite à condition de vérifier que le mélange est complet en comparant la concentration de gaz traceur à la concentration de référence lorsque le gaz est injecté en amont du moteur.

Le débit de gaz traceur doit être réglé de telle manière que la concentration du gaz au régime de ralenti du moteur, après mélange, devienne inférieure à la pleine échelle de l'analyseur de gaz traceur.

Le débit des gaz d'échappement se calcule comme suit:

$$G_{\text{EXHW}} = \frac{G_T \cdot \rho_{\text{EXH}}}{60 \cdot (\text{conc}_{\text{mix}} - \text{conc}_a)}$$

où:

G_{EXHW}	=	débit massique instantané des gaz d'échappement (en kg/s)
G_T	=	débit du gaz traceur (en cm ³ /min)
conc_{mix}	=	concentration instantanée de gaz traceur après mélange (en ppm)
ρ_{EXH}	=	densité des gaz d'échappement (en kg/m ³)
conc_a	=	concentration ambiante du gaz traceur dans l'air d'admission (en ppm)

La concentration ambiante du gaz traceur (conc_a) peut être déterminée en établissant la moyenne de la concentration ambiante mesurée immédiatement avant et après l'exécution de l'essai.

La concentration ambiante peut être négligée si elle est inférieure à 1 % de la concentration du gaz traceur après mélange (conc_{mix}) au débit maximal des gaz d'échappement.

L'ensemble du système doit être conforme aux spécifications de précision pour le débit de gaz d'échappement et doit être étalonné conformément à l'appendice 2, paragraphe 1.11.2.

1.2.5 Méthode de mesure du débit d'air et du rapport air/carburant

Cette méthode consiste à calculer la masse des gaz d'échappement à partir du débit d'air et du rapport air/carburant. Le débit massique instantané des gaz d'échappement se calcule comme suit:

$$G_{\text{EXHW}} = G_{\text{AIRW}} \cdot \left(1 + \frac{1}{A / F_{\text{st}} \cdot \lambda} \right)$$

avec $A / F_{\text{st}} = 14,5$

$$\lambda = \frac{\left(100 - \frac{\text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4}}{2} - \text{conc}_{\text{HC}} \cdot 10^{-4} \right) + \left(0,45 \cdot \frac{1 - \frac{2 \cdot \text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot \text{conc}_{\text{CO}_2}}}{1 + \frac{\text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot \text{conc}_{\text{CO}_2}}} \right) \cdot (\text{conc}_{\text{CO}_2} + \text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4})}{6,9078 \cdot (\text{conc}_{\text{CO}_2} + \text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4} + \text{conc}_{\text{HC}} \cdot 10^{-4})}$$

où:

A/F_{st} = rapport air/carburant stoechiométrique (en kg/kg)

λ = rapport air/carburant relatif

$\text{conc}_{\text{CO}_2}$ = concentration de CO_2 (conditions sèches) (en %)

conc_{CO} = concentration de CO (conditions sèches) (en ppm)

conc_{HC} = concentration de HC (en ppm)

Note: Le calcul est basé sur un carburant diesel ayant un rapport H/C de 1,8.

Le débitmètre d'air doit être conforme aux spécifications de précision du tableau 3; l'analyseur de CO_2 utilisé doit être conforme aux spécifications du paragraphe 1.4.1, et l'ensemble du système doit être conforme aux spécifications de précision pour le débit des gaz d'échappement.

Optionnellement, la mesure du rapport air/carburant relatif peut être effectuée à l'aide d'un appareillage de mesure du rapport air/carburant, tel qu'une sonde à oxyde de zirconium, conformément aux spécifications du paragraphe 1.4.4.

1.2.6 Débit total des gaz d'échappement dilués

Si l'on utilise un système de dilution en circuit principal, le débit total des gaz d'échappement dilués (G_{TOTW}) doit être mesuré avec une PDP, un CFV ou un SSV (annexe 4A, appendice 4, par. 1.2.1.2). La justesse doit être conforme aux dispositions de l'annexe 4A, appendice 2, par. 2.2.

1.3 Justesse

Il doit être prouvé que l'étalonnage de tous les instruments de mesure est conforme à des normes nationales ou internationales reconnues et satisfait aux prescriptions du tableau 3.

Tableau 3

Justesse des instruments de mesure

Numéro	Instrument de mesure	Précision
1	Régime du moteur	± 2 % de la valeur affichée ou ± 1 % de la valeur maximale du moteur, la valeur la plus élevée étant retenue
2	Couple	± 2 % de la valeur affichée ou ± 1 % de la valeur maximale du moteur, la valeur la plus élevée étant retenue
3	Consommation de carburant	± 2 % de la valeur maximale du moteur
4	Consommation d'air	± 2 % de la valeur affichée ou ± 1 % de la valeur maximale du moteur, la valeur la plus élevée étant retenue
5	Débit de gaz d'échappement	$\pm 2,5$ % de la valeur affichée ou $\pm 1,5$ % de la valeur maximale du moteur, la valeur la plus élevée étant retenue
6	Températures ≤ 600 K	± 2 K en valeur absolue
7	Températures > 600 K	± 1 % de la valeur affichée
8	Pression des gaz d'échappement	$\pm 0,2$ kPa en valeur absolue
9	Dépression à l'admission	$\pm 0,05$ kPa en valeur absolue
10	Pression atmosphérique	$\pm 0,1$ kPa en valeur absolue
11	Autres pressions	$\pm 0,1$ kPa en valeur absolue
12	Humidité absolue	± 5 % de la valeur affichée
13	Débit de l'air de dilution	± 2 % de la valeur affichée
14	Débit des gaz d'échappement dilués	± 2 % de la valeur affichée

1.4 Mesure des constituants gazeux

1.4.1 Spécifications générales concernant les analyseurs

Les analyseurs doivent pouvoir effectuer des mesures dans une plage correspondant à la précision exigée pour mesurer les concentrations de constituants de gaz d'échappement (par. 1.4.1.1). Il est recommandé **d'utiliser les analyseurs de telle façon** que la concentration mesurée se situe entre 15 et 100 % de la pleine échelle.

Les concentrations inférieures à 15 % de la pleine échelle sont aussi acceptables si la valeur de la pleine échelle est de 155 ppm (ou ppm C) ou moins, ou s'il est utilisé des systèmes d'enregistrement (ordinateurs, enregistreurs de données) qui offrent une précision suffisante et une résolution inférieure à 15 % de la pleine échelle. Dans ce cas, des étalonnages supplémentaires doivent être exécutés pour garantir l'exactitude des courbes d'étalonnage (annexe 4A, appendice 2, par. 1.5.5.2).

La compatibilité électromagnétique (CEM) du matériel doit être d'un niveau propre à réduire au minimum les erreurs supplémentaires.

1.4.1.1 Erreur de mesure

L'analyseur ne doit pas s'écarter du point d'étalonnage nominal de plus de ± 2 % de la valeur affichée ou de $\pm 0,3$ % de la pleine échelle, la valeur la plus élevée étant retenue.

Note: Aux fins de la présente norme, la précision est définie comme étant l'écart entre la valeur affichée de l'analyseur et les valeurs nominales d'étalonnage obtenues avec un gaz d'étalonnage (\equiv valeur vraie).

- 1.4.1.2 **Répétabilité**
La répétabilité, définie comme étant égale à 2,5 fois l'écart type de 10 réponses consécutives à un gaz d'étalonnage ou de calibrage donné, ne doit pas dépasser ± 1 % de la concentration à pleine échelle pour chaque plage utilisée au dessus de 155 ppm (ou ppm C) ou ± 2 % de chaque plage utilisée au-dessous de 155 ppm (ou ppm C).
- 1.4.1.3 **Bruit**
La réponse crête à crête de l'analyseur à des gaz de mise à zéro et d'étalonnage ou de calibrage sur une période quelconque de 10 s ne doit pas dépasser 2 % de la pleine échelle sur toutes les plages utilisées.
- 1.4.1.4 **Dérive du zéro**
La dérive du zéro sur une période d'une heure doit être inférieure à 2 % de la pleine échelle dans la plage la plus basse utilisée. La réponse zéro est définie comme étant la réponse moyenne, bruit compris, à un gaz de mise à zéro au cours d'un intervalle de temps de 30 s.
- 1.4.1.5 **Dérive de la valeur de calibrage**
La dérive de la valeur de calibrage sur une durée d'une heure doit être inférieure à 2 % de la pleine échelle sur la plage la plus basse utilisée. La valeur de calibrage est définie comme étant la différence entre la réponse de calibrage et la réponse zéro. La réponse de calibrage est définie comme étant la réponse moyenne, bruit compris, à un gaz de calibrage au cours d'un intervalle de temps de 30 s.
- 1.4.2 **Séchage des gaz**
Le dispositif optionnel de séchage des gaz doit avoir un effet minimal sur la concentration des gaz mesurés. Le séchage par voie chimique n'est pas accepté.
- 1.4.3 **Analyseurs**
Les paragraphes 1.4.3.1 à 1.4.3.5 du présent appendice énoncent les principes de mesure à appliquer. Une description détaillée des systèmes de mesure figure dans l'appendice 4 de l'**annexe 4A**.
Les gaz à contrôler doivent être mesurés au moyen des appareils décrits ci-après. L'utilisation de circuits de linéarisation est autorisée avec les analyseurs non linéaires.
- 1.4.3.1 **Monoxyde de carbone (CO)**
L'analyseur utilisé pour le monoxyde de carbone doit être du type non dispersif à absorption dans l'infrarouge (NDIR).
- 1.4.3.2 **Dioxyde de carbone (CO₂)**
L'analyseur utilisé pour le dioxyde de carbone doit être du type non dispersif à absorption dans l'infrarouge (NDIR).

1.4.3.3 Hydrocarbures (HC)

L'analyseur utilisé pour les hydrocarbures doit être du type à détecteur à ionisation de flamme chauffé (HFID), le détecteur, les vannes, la tuyauterie, etc., étant chauffés de façon à maintenir une température du gaz de 463 K (190 °C) \pm 10 K.

1.4.3.4 Oxydes d'azote (NO_x)

L'analyseur utilisé pour les oxydes d'azote doit être du type détecteur à chimiluminescence (CLD) ou détecteur à chimiluminescence chauffé (HCLD) avec un convertisseur NO₂/NO si la mesure est effectuée à sec. Si elle est effectuée en conditions humides, on utilise un HCLD avec convertisseur maintenu au-dessus de **328 K (55 °C)** à condition que la vérification de l'effet d'extinction par l'eau (par. 1.9.2.2, appendice 2, annexe **4A**) ait été satisfaisante.

Pour les analyseurs CLD comme pour les analyseurs HCLD, le trajet de l'échantillon doit être maintenu à une température de paroi de 328 K à 473 K (55 à 200 °C) jusqu'au convertisseur pour la mesure en conditions sèches et jusqu'à l'analyseur pour la mesure en conditions humides.

1.4.4 Mesure du rapport air/carburant

L'appareillage de mesure du rapport air/carburant utilisé pour déterminer le débit de gaz d'échappement comme décrit au paragraphe 1.2.5 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 est monté directement sur le tuyau d'échappement, en un point où la température des gaz d'échappement est suffisamment élevée pour qu'il n'y ait pas de condensation de l'eau.

La justesse du capteur avec son électronique intégrée doit être de:

± 3 % de la valeur affichée $\lambda < 2$

± 5 % de la valeur affichée $2 \leq \lambda < 5$

± 10 % de la valeur affichée $5 \leq \lambda$

Pour que les spécifications de justesse ci-dessus puissent être respectées, le capteur doit être étalonné selon les instructions du fabricant de l'instrument.

1.4.5 Prélèvement pour la détermination des émissions gazeuses

Les sondes de prélèvement des émissions gazeuses doivent être placées à une distance d'au moins 0,5 m ou trois fois le diamètre du tuyau d'échappement, la plus grande distance étant retenue, en amont de la sortie du système d'échappement, dans la mesure du possible, et suffisamment près du moteur pour garantir une température des gaz d'échappement de 343 K (70 °C) au moins à la sonde.

Dans le cas d'un moteur multicylindre à collecteur d'échappement à branches séparées, l'entrée de la sonde sera située suffisamment loin en aval pour garantir que l'échantillon soit représentatif des émissions d'échappement moyennes de tous les cylindres. Pour les moteurs multicylindre équipés de collecteurs séparés comme **un moteur en V, il peut être toléré** de prendre un échantillon de chaque groupe considéré individuellement et de calculer une valeur moyenne d'émissions

d'échappement. On peut aussi recourir à d'autres méthodes dont la corrélation avec les méthodes précédentes a été prouvée. Le débit massique total de gaz d'échappement du moteur doit être **utilisé** pour calculer les émissions d'échappement.

Si un système de dilution en circuit principal est utilisé pour la mesure des particules, on peut aussi déterminer les émissions gazeuses dans les gaz d'échappement dilués. Les sondes de prélèvement doivent être placées à proximité de la sonde de prélèvement de particules dans le tunnel de dilution (annexe 4A, appendice 4, **par. 1.2.1.2 pour DT** et **par. 1.2.2 pour PSP**). La teneur en CO et CO₂ peut au choix être déterminée par prélèvement dans un sac et mesure ultérieure de la concentration dans le sac de prélèvement.

1.5

Mesure des particules

La mesure des matières particulaires nécessite un système de dilution. La dilution peut être obtenue par un système en circuit partiel ou un système en circuit principal. Le débit du système de dilution doit être suffisant pour éliminer complètement la condensation de l'eau dans les systèmes de dilution et de prélèvement et pour maintenir la température des gaz d'échappement dilués **entre 315 K (42 °C) et 325 K (52 °C)** immédiatement en amont des porte-filtres. La déshumidification de l'air de dilution avant qu'il entre dans le système est autorisée si l'humidité de l'air est élevée. Le préchauffage de l'air de dilution au-delà de la température limite de 303 K (30 °C) est recommandé si la température ambiante est inférieure à 293 K (20 °C). La température de l'air dilué ne doit cependant pas dépasser 325 K (52 °C) avant que les gaz d'échappement entrent dans le tunnel de dilution.

Note: Pour les bandes de puissance allant jusqu'à K, lorsqu'on exécute des cycles en mode discret, la température du filtre peut être égale ou inférieure à la température maximale de 325 K (52 °C), au lieu d'être maintenue dans la plage de 42 à 52 °C.

Dans un système de dilution en circuit partiel, la sonde de prélèvement de particules doit être montée à proximité et en amont de la sonde des gaz selon la définition du paragraphe 4.4. et conformément au paragraphe 1.2.1.1 de l'appendice 4 de l'annexe 4A, figures 4 à 12, EP et SP.

Le système de dilution en circuit partiel doit être conçu de façon à partager le flux de gaz d'échappement en deux fractions, la plus petite étant diluée avec de l'air et utilisée ensuite pour la mesure des particules. Il est donc essentiel que le rapport de dilution soit calculé très précisément. On peut appliquer différentes méthodes de partage, le mode de partage utilisé imposant dans une large mesure le matériel et les méthodes de prélèvement à employer (par. 1.2.1.1., appendice 4, annexe 4A).

Pour déterminer la masse des particules, il faut disposer d'un système de prélèvement de particules, de filtres de collecte des particules, d'une balance au microgramme et d'une chambre de pesée à humidité contrôlée.

Deux méthodes peuvent être appliquées pour le prélèvement des particules:

- a) La méthode à filtre unique utilise une paire de filtres (**par. 1.5.1.3** du présent appendice) pour tous les modes du cycle d'essai. Les durées et les débits de prélèvement pendant cette phase de l'essai doivent être mesurés avec une grande précision. Toutefois, une seule paire de filtres **est** nécessaire dans ce cas pour le cycle d'essai;

- b) La méthode à filtres multiples nécessite d'utiliser une paire de filtres (**par. 1.5.1.3** du présent appendice) pour chacun des différents modes du cycle d'essai. Cette méthode permet d'utiliser des méthodes de prélèvement moins rigoureuses mais consomme davantage de filtres.

1.5.1 Filtres de collecte des particules

1.5.1.1 Spécifications concernant les filtres

Des filtres en fibre de verre revêtus de fluorocarbène ou des filtres membranes à base de fluorocarbène sont nécessaires pour les essais d'homologation. Des matériaux différents peuvent être utilisés pour des applications spéciales. Tous les types de filtres doivent avoir une efficacité de collecte d'au moins **99 %** sur des particules de 0,3 µm de DOP (dioctylphthalate) à une vitesse nominale de passage du gaz comprise entre 35 et **100** cm/s. Des filtres de qualité identique doivent être utilisés pour exécuter des essais de corrélation entre laboratoires ou entre un constructeur et une **autorité d'homologation**.

1.5.1.2 Dimensions des filtres

Les filtres à particules doivent avoir un diamètre minimum de 47 mm (diamètre de la zone de dépôt: 37 mm). Des filtres d'un diamètre supérieur peuvent aussi être utilisés (par. 1.5.1.5).

1.5.1.3 Filtres primaire et secondaire

Pendant l'essai, les gaz d'échappement dilués sont prélevés au moyen de deux filtres placés l'un après l'autre (un filtre primaire et un filtre secondaire). Le filtre secondaire ne doit pas être situé à plus de 100 mm en aval du premier, ni être en contact avec celui-ci. Les filtres peuvent être pesés séparément ou ensemble en étant placés zone de dépôt contre zone de dépôt.

1.5.1.4 Vitesse nominale de passage dans le filtre

Une vitesse nominale de passage du gaz à travers le filtre de 35 à **100** cm/s doit être obtenue. L'accroissement de la perte de charge entre le début et la fin de l'essai ne doit pas dépasser 25 kPa.

1.5.1.5 Charge du filtre

Les charges minimales recommandées pour les dimensions de filtres les plus courantes sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Pour des filtres plus grands, la charge minimale est de 0,065 mg/1 000 mm² de la surface du filtre.

<i>Diamètre du filtre (mm)</i>	<i>Diamètre recommandé de la zone de dépôt (mm)</i>	<i>Charge minimale recommandée (mg)</i>
47	37	0,11
70	60	0,25
90	80	0,41
110	100	0,62

Pour la méthode des filtres multiples, la charge minimale recommandée pour l'ensemble des filtres est égale au produit de la valeur correspondante ci-dessus par la racine carrée du nombre total de modes.

- 1.5.2 Spécifications de la chambre de pesée et de la balance de précision
- 1.5.2.1 Conditions dans la chambre de pesée
- La température de la chambre dans laquelle les filtres à particules sont conditionnés et pesés doit être maintenue à $295 \text{ K } (22 \text{ °C}) \pm 3 \text{ K}$ pendant toute la durée du conditionnement et de la pesée. L'humidité doit être maintenue à un point de rosée de $282,5 \text{ (9,5 °C)} \pm 3 \text{ K}$ et l'humidité relative à $45 \pm 8 \text{ %}$.
- 1.5.2.2 Pesée des filtres de référence
- L'atmosphère de la chambre doit être exempte de tout contaminant ambiant (tel que poussières) qui se déposerait sur les filtres à particules au cours de leur stabilisation. Des divergences par rapport aux spécifications de la chambre de pesée indiquées au paragraphe 1.5.2.1 sont tolérées si leur durée ne dépasse pas 30 min. La salle de pesée doit répondre aux spécifications requises avant que le personnel n'y entre. Deux filtres ou paires de filtres de référence non utilisés, au moins, doivent être pesés dans les 4 h qui suivent **la pesée** des (paires de) filtres de collecte, mais de préférence en même temps. Ils doivent être de la même dimension et faits du même matériau que les filtres de collecte.
- Dans le cas d'un écart dans le poids moyen des filtres (paires de filtres) de référence entre **les pesées** dépassant **10 µg**, tous les filtres qui ont servi au prélèvement doivent être rejetés et l'essai de mesure d'émissions doit être répété.
- Si les critères de stabilité des conditions dans la chambre de pesée indiqués au paragraphe 1.5.2.1 ne sont pas réunis mais que **la pesée** du filtre (de la paire de filtres) de référence répond aux critères ci-dessus, le constructeur du moteur a la possibilité d'accepter les poids des filtres de collecte ou de déclarer les essais nuls, de modifier le système de contrôle de la salle de pesée et de refaire l'essai.
- 1.5.2.3 Balance de précision
- La balance de précision servant à déterminer le poids de tous les filtres doit avoir une justesse (écart type) de **2 µg** et un pouvoir de résolution de **1 µg** (1 chiffre = **1 µg**) (**selon les spécifications du constructeur de la balance**).
- 1.5.2.4 Élimination des effets de l'électricité statique
- Afin d'éliminer les effets de l'électricité statique, les filtres doivent être neutralisés avant la pesée, par exemple avec un neutralisant au polonium ou un dispositif ayant le même effet.
- 1.5.3 Prescriptions additionnelles concernant la mesure des particules
- Tous les éléments du système de dilution et du système de prélèvement qui sont en contact avec des gaz d'échappement bruts et dilués, depuis le tuyau d'échappement jusqu'au porte-filtre, doivent être conçus de façon à minimiser le dépôt ou la modification des matières particulaires. Tous doivent être faits de matériaux conducteurs de l'électricité, qui ne réagissent pas aux constituants des gaz d'échappement, et doivent être mis à la terre pour empêcher les effets électrostatiques.

2. Méthodes de mesure et de prélèvement (essai NRTC)

2.1 Introduction

Les constituants gazeux et particulaires émis par le moteur présenté aux essais sont mesurés par les méthodes décrites dans l'appendice 4 de l'annexe 4A. Ces méthodes indiquent les systèmes d'analyse recommandés pour les émissions gazeuses (par. 1.1) et ceux recommandés pour la dilution et le prélèvement des particules (par. 1.2).

2.2 Dynamomètre et équipement de la chambre d'essai

L'équipement suivant doit être utilisé pour effectuer les essais de mesure des émissions des moteurs sur des bancs dynamométriques pour moteurs:

2.2.1 Dynamomètre pour moteurs

On utilise un banc dynamométrique pour moteurs dont les caractéristiques sont suffisantes pour permettre l'exécution du cycle d'essai décrit à l'appendice 4 de la présente annexe. Les appareils de mesure du couple et du régime doivent permettre de mesurer la puissance dans les limites indiquées. Des calculs supplémentaires peuvent être nécessaires. La justesse de ces instruments doit être telle que les tolérances maximales des chiffres indiqués au tableau 4 ne soient pas dépassées.

2.2.2 Autres instruments

D'autres instruments de mesure doivent être utilisés pour la consommation de carburant, la consommation d'air, la température du liquide de refroidissement et du lubrifiant, la pression des gaz d'échappement et la dépression dans le collecteur d'admission, la température des gaz d'échappement, la température de l'admission d'air, la pression atmosphérique, l'humidité et la température du carburant, lorsqu'il y a lieu. Ces instruments doivent satisfaire aux exigences prescrites au tableau 4:

Tableau 4

Justesse des instruments de mesure

Numéro	Instrument de mesure	Justesse
1	Régime moteur	± 2 % de la valeur affichée ou ± 1 % de la valeur maximale du moteur, la valeur la plus élevée étant retenue
2	Couple	± 2 % de la valeur affichée ou ± 1 % de la valeur maximale du moteur, la valeur la plus élevée étant retenue
3	Consommation de carburant	± 2 % de la valeur maximale du moteur
4	Consommation d'air	± 2 % de la valeur affichée ou ± 1 % de la valeur maximale du moteur, la valeur la plus élevée étant retenue
5	Débit de gaz d'échappement	$\pm 2,5$ % de la valeur affichée ou $\pm 1,5$ % de la valeur maximale du moteur, la valeur la plus élevée étant retenue
6	Températures ≤ 600 K	± 2 K en valeur absolue
7	Températures > 600 K	± 1 % de la valeur affichée

<i>Numéro</i>	<i>Instrument de mesure</i>	<i>Justesse</i>
8	Pression des gaz d'échappement	$\pm 0,2$ kPa en valeur absolue
9	Dépression à l'admission	$\pm 0,05$ kPa en valeur absolue
10	Pression atmosphérique	$\pm 0,1$ kPa en valeur absolue
11	Autres pressions	$\pm 0,1$ kPa en valeur absolue
12	Humidité absolue	± 5 % de la valeur affichée
13	Débit de l'air de dilution	± 2 % de la valeur affichée
14	Débit des gaz d'échappement dilués	± 2 % de la valeur affichée

2.2.3 Débit des gaz d'échappement bruts

Pour calculer les émissions dans les gaz d'échappement bruts et pour contrôler un système de dilution en circuit partiel, il est nécessaire de connaître le débit massique des gaz d'échappement. Ce débit peut être déterminé par l'une des méthodes décrites ci-après.

Pour le calcul des émissions, le temps de réponse de chacune des méthodes décrites ci-dessous doit être égal ou inférieur au temps de réponse de l'analyseur, tel qu'il est défini à l'appendice 2, paragraphe 1.11.1.

Pour le contrôle d'un système de dilution en circuit partiel, un temps de réponse plus court est nécessaire. Dans le cas d'un système de dilution en circuit partiel avec contrôle en ligne, le temps de réponse doit être inférieur ou égal à 0,3 s. Dans le cas d'un système de dilution en circuit partiel avec contrôle prédictif sur la base d'un essai préenregistré, le temps de réponse du système de mesure du débit des 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'instrument. Les exigences en matière de temps de réponse combiné pour le débit des gaz d'échappement et le système de dilution en circuit partiel sont indiquées au paragraphe 2.4.

Méthode de mesure directe

La mesure directe du débit instantané des gaz d'échappement peut être effectuée au moyen d'appareils tels que:

- Des appareils déprimogènes, tels que tuyères (pour des informations détaillées, voir la norme ISO 5167:2000);
- Un débitmètre ultrasonore;
- Un débitmètre vortex.

Des précautions doivent être prises pour éviter des erreurs de mesure qui causeraient des erreurs sur les valeurs d'émissions. On doit veiller notamment au positionnement correct de l'instrument dans le système d'échappement du moteur, conformément aux recommandations du fabricant de l'instrument et aux règles de l'art. En particulier, la performance et les émissions du moteur ne doivent pas être altérées par l'installation de l'instrument.

Les débitmètres doivent satisfaire aux prescriptions de justesse du tableau 3.

Méthode de mesure du débit d'air et de carburant

Il s'agit de mesurer le débit d'air et le débit de carburant à l'aide de débitmètres appropriés. Le débit instantané de gaz d'échappement se calcule comme suit:

$$G_{\text{EXHW}} = G_{\text{AIRW}} + G_{\text{FUEL}} \text{ (masse de gaz d'échappement humide)}$$

La justesse des débitmètres doit être conforme aux prescriptions du tableau 3, mais doit être suffisante aussi pour satisfaire aux exigences en matière de justesse pour le débit de gaz d'échappement.

Méthode de mesure avec gaz traceur

Celle-ci fait intervenir la mesure de la concentration d'un gaz traceur dans les gaz d'échappement.

Une quantité connue d'un gaz inerte (hélium pur, par exemple) est injectée en tant que gaz traceur dans le flux de gaz d'échappement. Le gaz traceur est mélangé avec les gaz d'échappement et dilué par eux, mais ne doit pas réagir dans le tuyau d'échappement. La concentration de ce gaz est ensuite mesurée dans l'échantillon de gaz d'échappement.

Pour assurer un mélange parfait du gaz traceur, la sonde de prélèvement de gaz d'échappement doit se trouver à au moins 1 m ou 30 fois le diamètre du tuyau d'échappement, la valeur la plus élevée des deux étant retenue, en aval du point d'injection du gaz traceur. Cette distance peut être réduite à condition de vérifier que le mélange est complet en comparant la concentration de gaz traceur à la concentration de référence lorsque le gaz est injecté en amont du moteur.

Le débit de gaz traceur doit être réglé de telle manière que la concentration du gaz au régime de ralenti du moteur, après mélange, devienne inférieure à la pleine échelle de l'analyseur de gaz traceur.

Le débit des gaz d'échappement se calcule comme suit:

$$G_{\text{EXHW}} = G_{\text{AIRW}} \cdot \left(1 + \frac{1}{A / F_{\text{st}} \cdot \lambda}\right)$$

avec $A / F_{\text{st}} = 14,5$

$$\lambda = \frac{\left(100 - \frac{\text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4}}{2} - \text{conc}_{\text{HC}} \cdot 10^{-4}\right) + \left(0,45 \cdot \frac{1 - \frac{2 \cdot \text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot \text{conc}_{\text{CO}_2}}}{1 + \frac{\text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot \text{conc}_{\text{CO}_2}}}\right) \cdot (\text{conc}_{\text{CO}_2} + \text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4})}{6,9078 (\text{conc}_{\text{CO}_2} + \text{conc}_{\text{CO}} \cdot 10^{-4} + \text{conc}_{\text{HC}} \cdot 10^{-4})}$$

où:

A/F_{st} = rapport air/carburant stoechiométrique (en kg/kg)

λ = rapport air/carburant relatif

$\text{conc}_{\text{CO}_2}$	=	concentration de CO_2 (conditions sèches) (en %)
conc_{CO}	=	concentration de CO (conditions sèches) (en ppm)
conc_{HC}	=	concentration de HC (en ppm).

Note: Le calcul est basé sur un carburant diesel ayant un rapport H/C de 1,8.

Le débitmètre d'air doit être conforme aux spécifications de justesse du tableau 3; l'analyseur de CO_2 utilisé doit être conforme aux spécifications du paragraphe 2.3.1, et l'ensemble du système doit être conforme aux spécifications de justesse pour le débit des gaz d'échappement.

Optionnellement, la mesure du rapport air/carburant relatif peut être effectuée à l'aide d'un appareil de mesure du rapport air/carburant, tel qu'une sonde à oxyde de zirconium, conformément aux spécifications du paragraphe 2.3.4.

2.2.4 Débit des gaz d'échappement dilués

Pour calculer les émissions dans les gaz d'échappement dilués, il faut connaître le débit massique de ces gaz. Le débit total de gaz d'échappement dilués sur la durée du cycle (kg/essai) est calculé à partir des valeurs de mesure relevées durant le cycle et des données d'étalonnage correspondantes du débitmètre (V_0 pour la PDP, K_V pour le CFV, C_d pour le SSV) par la méthode correspondante décrite à l'appendice 3, paragraphe 2.2.1. Si la masse totale de l'échantillon de particules et de gaz polluants dépasse 0,5 % du débit total du système CVS, le débit du système CVS doit être corrigé ou le flux de prélèvement des particules doit être renvoyé dans le système CVS en amont du débitmètre.

2.3 Mesure des constituants gazeux

2.3.1 Spécifications générales concernant les analyseurs

Les analyseurs doivent pouvoir effectuer des mesures dans une plage correspondant à la précision exigée pour mesurer les concentrations de constituants de gaz d'échappement (par. 1.4.1.1). Il est recommandé d'utiliser les analyseurs de telle façon que la concentration mesurée se situe entre 15 et 100 % de la pleine échelle.

Les concentrations inférieures à 15 % de la pleine échelle sont aussi acceptables si la valeur de la pleine échelle est de 155 ppm (ou ppm C) ou moins, ou s'il est utilisé des systèmes d'enregistrement (ordinateurs, enregistreurs de données) qui offrent une précision suffisante et une résolution inférieure à 15 % de la pleine échelle. Dans ce cas, des étalonnages supplémentaires doivent être exécutés pour garantir l'exactitude des courbes d'étalonnage (annexe 4A, appendice 2, paragraphe 1.5.5.2).

La compatibilité électromagnétique (CEM) du matériel doit être d'un niveau propre à réduire au minimum les erreurs additionnelles.

2.3.1.1 Erreur de mesure

L'analyseur ne doit pas s'écarter du point d'étalonnage nominal de plus de ± 2 % de la valeur affichée ou de $\pm 0,3$ % de la pleine échelle, la valeur la plus élevée étant retenue.

Note: Aux fins de la présente norme, la justesse est définie comme étant l'écart entre la valeur affichée de l'analyseur et les valeurs nominales d'étalonnage obtenues avec un gaz d'étalonnage (\equiv valeur vraie).

2.3.1.2 Répétabilité

La répétabilité, définie comme étant égale à 2,5 fois l'écart type de 10 réponses consécutives à un gaz d'étalonnage ou de calibrage donné, ne doit pas dépasser ± 1 % de la concentration à pleine échelle pour chaque plage utilisée au-dessus de 155 ppm (ou ppm C) ou ± 2 % de chaque plage utilisée au-dessous de 155 ppm (ou ppm C).

2.3.1.3 Bruit

La réponse crête à crête de l'analyseur à des gaz de mise à zéro et d'étalonnage ou de calibrage sur une période quelconque de 10 s ne doit pas dépasser 2 % de la pleine échelle sur toutes les plages utilisées.

2.3.1.4 Dérive du zéro

La dérive du zéro sur une période d'une heure doit être inférieure à 2 % de la pleine échelle dans la plage la plus basse utilisée. La réponse zéro est définie comme étant la réponse moyenne, bruit compris, à un gaz de mise à zéro au cours d'un intervalle de temps de 30 s.

2.3.1.5 Dérive de la valeur de calibrage

La dérive de la valeur de calibrage sur une durée d'une heure doit être inférieure à 2 % de la pleine échelle sur la plage la plus basse utilisée. La valeur de calibrage est définie comme étant la différence entre la réponse de calibrage et la réponse zéro. La réponse de calibrage est définie comme étant la réponse moyenne, bruit compris, à un gaz de calibrage au cours d'un intervalle de temps de 30 s.

2.3.1.6 Temps de montée

Pour l'analyse des gaz d'échappement bruts, le temps de montée de l'analyseur installé dans le système de mesure ne doit pas dépasser 2,5 s.

NOTE: La seule évaluation du temps de réponse de l'analyseur ne suffit pas pour déterminer clairement si l'ensemble du système convient aux essais transitoires. Les volumes, en particulier les volumes morts, dans l'ensemble du système influenceront non seulement le temps de transport de la sonde jusqu'à l'analyseur, mais aussi le temps de montée. Les temps de transport à l'intérieur d'un analyseur sont également définis comme temps de réponse de l'analyseur, comme dans le cas du convertisseur ou du séparateur d'eau dans un analyseur de NO_x . La détermination du temps de réponse de l'ensemble du système est décrite à l'appendice 2, paragraphe 1.11.1.

2.3.2 Séchage des gaz

Les mêmes spécifications que celles prescrites pour le cycle d'essai NRSC (par. 1.4.2) s'appliquent, comme indiqué ci-dessous.

Le dispositif optionnel utilisé pour sécher les gaz doit avoir un effet minimal sur la concentration des gaz mesurés. Le séchage par voie chimique n'est pas une méthode acceptable.

2.3.3 Analyseurs

Les mêmes spécifications que celles prescrites pour le cycle d'essai NRSC (par. 1.4.3) s'appliquent, comme indiqué ci-dessous.

Les gaz à contrôler doivent être mesurés au moyen des appareils décrits ci-après. L'utilisation de circuits de linéarisation est autorisée avec les analyseurs non linéaires.

2.3.3.1 Monoxyde de carbone (CO)

L'analyseur utilisé pour le monoxyde de carbone doit être du type non dispersif à absorption dans l'infrarouge (NDIR).

2.3.3.2 Dioxyde de carbone (CO₂)

L'analyseur utilisé pour le dioxyde de carbone doit être du type non dispersif à absorption dans l'infrarouge (NDIR).

2.3.3.3 Hydrocarbures (HC)

L'analyseur utilisé pour les hydrocarbures doit être du type à détecteur à ionisation de flamme chauffé (HFID), le détecteur, les vannes, la tuyauterie, etc., étant chauffés de façon à maintenir une température du gaz de 463 K (190 °C) \pm 10 K.

2.3.3.4 Oxydes d'azote (NO_x)

L'analyseur utilisé pour les oxydes d'azote doit être du type détecteur à chimiluminescence (CLD) ou détecteur à chimiluminescence chauffé (HCLD) avec un convertisseur NO₂/NO si la mesure est effectuée à sec. Si elle est effectuée en conditions humides, on utilise un analyseur HCLD avec convertisseur maintenu au-dessus de 328 K (55 °C) à condition que la vérification de l'effet d'extinction par l'eau (par. 1.9.2.2, appendice 2, annexe 4A) ait été satisfaisante.

Pour les appareils CLD comme pour les appareils HCLD, le trajet de l'échantillon doit être maintenu à une température de paroi de 328 K à 473 K (55 à 200 °C) jusqu'au convertisseur pour la mesure en conditions sèches et jusqu'à l'analyseur pour la mesure en conditions humides.

2.3.4 Mesure du rapport air/carburant

L'appareillage de mesure du rapport air/carburant utilisé pour déterminer le débit de gaz d'échappement comme décrit au paragraphe 2.2.3 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 est monté directement sur le tuyau d'échappement, en un point où la température des gaz d'échappement est suffisamment élevée pour qu'il n'y ait pas de condensation de l'eau.

La justesse du capteur avec son électronique intégrée doit être de:

± 3 % de la valeur affichée $\lambda < 2$

± 5 % de la valeur affichée $2 \leq \lambda < 5$

± 10 % de la valeur affichée $5 \leq \lambda$

Pour que les spécifications de justesse ci-dessus puissent être respectées, le capteur doit être étalonné selon les instructions du fabricant de l'instrument.

2.3.5 Prélèvement pour la détermination des émissions gazeuses

2.3.5.1 Débit des gaz d'échappement bruts

Pour le calcul des émissions dans les gaz d'échappement bruts, les mêmes spécifications que celles prescrites pour le cycle d'essai NRSC (par. 1.4.4) s'appliquent, comme spécifié ci-dessous.

Les sondes de prélèvement des émissions gazeuses doivent être placées à une distance d'au moins 0,5 m ou trois fois le diamètre du tuyau d'échappement, la plus grande distance étant retenue, en amont de la sortie du système d'échappement, dans la mesure du possible, et suffisamment près du moteur pour garantir une température des gaz d'échappement de 343 K (70 °C) au moins à la sonde.

Dans le cas d'un moteur multicylindre à collecteur d'échappement à branches séparées, l'entrée de la sonde sera située suffisamment loin en aval pour garantir que l'échantillon soit représentatif des émissions d'échappement moyennes de tous les cylindres. Pour les moteurs multicylindre équipés de collecteurs séparés comme un moteur en V, il peut être toléré de prendre un échantillon de chaque groupe considéré individuellement et de calculer une valeur moyenne d'émissions d'échappement. On peut aussi recourir à d'autres méthodes dont la corrélation avec les méthodes précédentes a été prouvée. Le débit massique total de gaz d'échappement du moteur doit être utilisé pour calculer les émissions d'échappement.

2.3.5.2 Débit des gaz d'échappement dilués

Si un système de dilution en circuit principal est utilisé, les spécifications suivantes s'appliquent.

Le tuyau d'échappement situé entre le moteur et le système de dilution en circuit principal doit être conforme aux exigences de l'annexe 4A, appendice 4.

La ou les sondes de prélèvement des émissions gazeuses doivent être installées dans le tunnel de dilution, en un emplacement caractérisé par un bon mélange de l'air de dilution et des gaz d'échappement, et à proximité immédiate de la sonde de prélèvement de particules.

Le prélèvement peut en général être effectué de deux façons:

- a) Les polluants sont prélevés dans un sac de collecte durant tout le cycle et mesurés dès la fin de l'essai;
- b) Les polluants sont prélevés en continu et intégrés durant tout le cycle; cette méthode est obligatoire pour les HC et les NO_x.

Les échantillons de concentration ambiante sont prélevés en amont du tunnel de dilution dans un sac de collecte et la concentration ambiante est soustraite de la concentration des émissions calculée conformément à l'appendice 3, paragraphe 2.2.3.

2.4 Mesure des particules

La mesure des matières particulaires nécessite un système de dilution. La dilution peut être obtenue par un système en circuit partiel ou un système en circuit principal. Le débit du système de dilution doit être suffisant pour éliminer complètement la condensation de l'eau dans les systèmes de dilution et de prélèvement et pour maintenir la température des gaz d'échappement dilués entre 315 K (42 °C) et 325 K (52 °C) immédiatement en amont des porte-filtres. La déshumidification de l'air de dilution avant qu'il entre dans le système est autorisée si l'humidité de l'air est élevée. Le préchauffage de l'air de dilution au-delà de la température limite de 303 K (30 °C) est recommandé si la température ambiante est inférieure à 293 K (20 °C). La température de l'air dilué ne doit cependant pas dépasser 325 K (52 °C) avant que les gaz d'échappement entrent dans le tunnel de dilution.

La sonde de prélèvement de particules doit être installée à proximité immédiate de la sonde de prélèvement des émissions gazeuses et l'installation doit être conforme aux dispositions du paragraphe 2.3.5.

Pour déterminer la masse des particules, il faut disposer d'un système de prélèvement, de filtres pour le prélèvement des particules, d'une microbalance et d'une chambre de pesée à température et humidité contrôlées.

Spécifications pour le système de dilution en circuit partiel

Le système de dilution en circuit partiel doit être conçu de façon à partager le flux de gaz d'échappement en deux fractions, la plus petite étant diluée avec de l'air et utilisée ensuite pour la mesure des particules. Il est donc essentiel que le rapport de dilution soit calculé très précisément. On peut appliquer différentes méthodes de partage, le mode de partage utilisé imposant dans une large mesure le matériel et les méthodes de prélèvement à employer (par. 1.2.1.1, appendice 4, annexe 4A).

Pour le contrôle d'un système de dilution en circuit partiel, le temps de réponse du système doit être court. Le temps de transformation du système doit être déterminé selon la procédure décrite à l'appendice 2, paragraphe 1.11.1.

Si le temps de transformation combiné de la mesure du débit des gaz d'échappement (voir le paragraphe précédent) et du système de dilution en circuit partiel est inférieur à 0,3 s, un contrôle en ligne peut être utilisé. Si ce temps de transformation est supérieur à 0,3 s, il faut utiliser le contrôle prédictif sur la base d'un essai préenregistré. Dans ce cas, le temps de montée doit être ≤ 1 s et le temps de retard de la combinaison ≤ 10 s.

La réponse de l'ensemble du système doit être telle que l'échantillon de particules (G_{SE}) soit représentatif et proportionnel au débit massique des gaz d'échappement. Pour déterminer la proportionnalité, une analyse de régression G_{SE}/G_{EXHW} est effectuée à une fréquence d'acquisition des données d'au moins 5 Hz et en respectant les critères suivants:

- a) Le coefficient de corrélation r de la régression linéaire entre G_{SE} et G_{EXHW} ne doit pas être inférieur à 0,95;

- b) L'erreur type de l'estimation de G_{SE} sur G_{EXHW} ne doit pas dépasser 5 % de la valeur maximale de G_{SE} ;
- c) L'ordonnée à l'origine sur G_{SE} de la droite de régression ne doit pas dépasser ± 2 % de la valeur maximale de G_{SE} .

Optionnellement, on peut effectuer un essai préliminaire et utiliser le signal de débit massique des gaz d'échappement de cet essai préliminaire pour contrôler le débit de l'échantillon dans le système de prélèvement de particules («contrôle prédictif»). Cette procédure est requise lorsque le temps de transformation du système de prélèvement des particules ($t_{50,P}$) ou le temps de transformation du signal de débit massique des gaz d'échappement ($t_{50,F}$) sont $>0,3$ s. On obtient un contrôle correct du système de dilution en circuit partiel si la trace temporelle de $G_{EXHW,pre}$ de l'essai préliminaire, qui contrôle G_{SE} , est décalée d'un «temps d'anticipation» égal à $t_{50,P} + t_{50,F}$.

Pour établir la corrélation entre G_{SE} et G_{EXHW} , on utilise les données recueillies pendant l'essai réel, le temps pour G_{EXHW} étant aligné de $t_{50,F}$ par rapport à G_{SE} ($t_{50,P}$ n'intervient pas). En d'autres termes, le décalage temporel entre G_{EXHW} et G_{SE} est la différence entre les temps de transformation déterminés à l'appendice 2, paragraphe 2.6.

Pour les systèmes de dilution en circuit partiel, une attention particulière doit être portée à la précision du débit de l'échantillon G_{SE} si celui-ci n'est pas mesuré directement mais déterminé par mesure différentielle du débit:

$$G_{SE} = G_{TOTW} - G_{DILW}$$

Dans ce cas, une précision de ± 2 % pour G_{TOTW} et G_{DILW} ne suffit pas pour garantir une précision acceptable de G_{SE} . Si le débit de gaz est déterminé par mesure différentielle du débit, l'erreur maximale de la différence doit être telle que la précision de G_{SE} soit de ± 5 % lorsque le taux de dilution est inférieur à 15. Il peut être calculé en prenant la moyenne quadratique des erreurs de chaque instrument.

Une précision acceptable de G_{SE} peut être obtenue par l'une des méthodes suivantes:

- a) La précision absolue de G_{TOTW} et G_{DILW} doit être de $\pm 0,2$ %, ce qui garantit une précision de $G_{SE} \leq 5$ % à un taux de dilution ~~ratio~~ de 15. Aux taux de dilution plus élevés, les erreurs seront toutefois plus importantes;
- b) L'étalonnage de G_{DILW} par rapport à G_{TOTW} doit être effectué de manière à obtenir la même précision de G_{SE} que selon le point a) ci-dessus. Pour les détails de cet étalonnage, voir l'appendice 2, paragraphe 2.6;
- c) La précision de G_{SE} doit être déterminée indirectement à partir de la précision du taux de dilution déterminée à l'aide d'un gaz traceur (CO_2 par exemple). Dans ce cas aussi la précision de G_{SE} doit être équivalente à celle obtenue selon la méthode a);
- d) La précision absolue de G_{TOTW} et G_{DILW} doit être de ± 2 % de la pleine échelle, l'erreur maximale de la différence entre G_{TOTW} et G_{DILW} est de 0,2 % et l'erreur de linéarité est de $\pm 0,2$ % de la valeur la plus élevée de G_{TOTW} observée pendant l'essai.

2.4.1 Filtres de collecte des particules

2.4.1.1 Spécification concernant les filtres

Des filtres en fibre de verre revêtus de fluorocarbone ou des filtres membranes à base de fluorocarbone sont nécessaires pour les essais d'homologation. Des matériaux différents peuvent être utilisés pour des applications spéciales. Tous les types de filtres doivent avoir une efficacité de collecte d'au moins 99 % sur des particules de 0,3 µm de DOP (di-octylphtalate) à une vitesse nominale de passage du gaz comprise entre 35 et 100 cm/s. Des filtres de qualité identique doivent être utilisés pour exécuter des essais de corrélation entre laboratoires ou entre un constructeur et une autorité d'homologation.

2.4.1.2 Dimensions des filtres

Les filtres à particules doivent avoir un diamètre minimum de 47 mm (diamètre de la zone de dépôt: 37 mm). Des filtres d'un diamètre supérieur peuvent aussi être utilisés (par. 2.4.1.5).

2.4.1.3 Filtres primaire et secondaire

Pendant l'essai, les gaz d'échappement dilués sont prélevés au moyen de deux filtres placés l'un après l'autre (un filtre primaire et un filtre secondaire). Le filtre secondaire ne doit pas être situé à plus de 100 mm en aval du premier, ni être en contact avec celui-ci. Les filtres peuvent être pesés séparément ou ensemble en étant placés face de dépôt contre face de dépôt.

2.4.1.4 Vitesse nominale de passage dans le filtre

Une vitesse nominale de passage du gaz à travers le filtre de 35 à 100 cm/s doit être obtenue. L'accroissement de la perte de charge entre le début et la fin de l'essai ne doit pas dépasser 25 kPa.

2.4.1.5 Charge du filtre

Les charges minimales recommandées pour les dimensions de filtres les plus courantes sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Pour des filtres plus grands, la charge minimale est de 0,065 mg/1 000 mm² de la surface du filtre.

<i>Diamètre du filtre (mm)</i>	<i>Diamètre recommandé de la zone de dépôt (mm)</i>	<i>Charge minimale recommandée (mg)</i>
47	37	0,11
70	60	0,25
90	80	0,41
110	100	0,62

2.4.2 Spécifications de la chambre de pesée et de la balance analytique

2.4.2.1 Conditions dans la chambre de pesée

La température de la chambre dans laquelle les filtres à particules sont conditionnés et pesés doit être maintenue à 295 K (22 °C) ± 3 K pendant toute la durée du conditionnement et de la pesée. L'humidité doit être maintenue à un point de rosée de 282,5 (9,5 °C) ± 3 K et l'humidité relative à 45 ± 8 %.

2.4.2.2 Pesée des filtres de référence

L'atmosphère de la chambre doit être exempte de tout contaminant ambiant (tel que poussières) pouvant se déposer sur les filtres à particules au cours de leur stabilisation. Des divergences par rapport aux spécifications de la chambre de pesée indiquées au paragraphe 2.4.2.1 sont tolérées si leur durée ne dépasse pas 30 min. La salle de pesée doit répondre aux spécifications requises avant que le personnel n'y entre. Deux filtres ou paires de filtres de référence non utilisés, au moins, doivent être pesés dans les 4 h qui suivent la pesée des (paires de) filtres de collecte, mais de préférence en même temps. Ils doivent être de la même dimension et faits du même matériau que les filtres de collecte.

Dans le cas d'un écart dans le poids moyen des filtres (paires de filtres) de référence entre les pesées dépassant 10 µg, tous les filtres qui ont servi au prélèvement doivent être rejetés et l'essai de mesure d'émissions doit être répété.

Si les critères de stabilité des conditions dans la chambre de pesée indiqués au paragraphe 1.5.2.1 ne sont pas réunis mais que la pesée du filtre (de la paire de filtres) de référence répond aux critères ci-dessus, le constructeur du moteur a la possibilité d'accepter les poids des filtres de collecte ou de déclarer les essais nuls, de modifier le système de contrôle de la salle de pesée et de refaire l'essai.

2.4.2.3 Balance de précision

La balance de précision servant à déterminer le poids de tous les filtres doit avoir une justesse (écart type) de 2 µg et un pouvoir de résolution de 1 µg (1 chiffre = 1 µg) (selon les spécifications du constructeur de la balance).

2.4.2.4 Élimination des effets de l'électricité statique

Afin d'éliminer les effets de l'électricité statique, les filtres doivent être neutralisés avant la pesée, par exemple avec un neutralisant au polonium ou un dispositif ayant le même effet.

2.4.3 Prescriptions additionnelles concernant la mesure des particules

Tous les éléments du système de dilution et du système de prélèvement qui sont en contact avec des gaz d'échappement bruts et dilués, depuis le tuyau d'échappement jusqu'au porte-filtre, doivent être conçus de façon à minimiser le dépôt ou la modification des matières particulaires. Tous doivent être faits de matériaux conducteurs de l'électricité, qui ne réagissent pas aux constituants des gaz d'échappement, et doivent être mis à la terre pour empêcher les effets électrostatiques.

Annexe 4A

Appendice 2

Procédure d'étalonnage (NRSC, NRTC¹)

1. Étalonnage des instruments de mesure
 - 1.1 Introduction

Chaque analyseur doit être étalonné aussi souvent qu'il est nécessaire pour respecter les conditions de précision du présent **Règlement**. La méthode d'étalonnage à utiliser est décrite dans ce paragraphe pour les analyseurs indiqués au paragraphe 1.4.3 de l'appendice 1.

À la demande du constructeur et sous réserve de l'accord de l'autorité d'homologation, les méthodes décrites dans l'annexe 4B, paragraphes 8.1 et 8.2 peuvent être appliquées à la place de celles décrites au paragraphe 1 du présent appendice.
 - 1.2 Gaz d'étalonnage

La durée de conservation de tous les gaz d'étalonnage doit être respectée.

La date d'expiration de la période de conservation des gaz d'étalonnage indiquée par le fabricant doit être enregistrée.

 - 1.2.1 Gaz purs

La pureté requise des gaz est définie par les limites de pureté indiquées ci-dessous. Les gaz ci-après doivent être à disposition:

 - a) **Azote purifié**
(contamination ≤ 1 ppm C, ≤ 1 ppm CO, ≤ 400 ppm CO₂, $\leq 0,1$ ppm NO)
 - b) **Oxygène purifié**
(pureté $> 99,5$ % vol. O₂)
 - c) **Mélange hydrogène-hélium**
(40 ± 2 % d'hydrogène, et le reste en hélium)
(contamination ≤ 1 ppm C, ≤ 400 ppm CO₂)
 - d) **Air synthétique purifié**
(contamination ≤ 1 ppm C, ≤ 1 ppm CO, ≤ 400 ppm CO₂, $\leq 0,1$ ppm NO)
(teneur en oxygène comprise entre 18 et 21 % vol)

¹ La procédure d'étalonnage est la même pour les essais NRSC et NRTC, à l'exception des prescriptions énoncées dans les paragraphes 1.11 et 2.6.

1.2.2 Gaz d'étalonnage et de calibrage

Les mélanges de gaz ayant la composition chimique suivante doivent être à disposition:

- a) C_3H_8 et air synthétique purifié (voir par. 1.2.1);
- b) CO et azote purifié;
- c) NO et azote purifié (la quantité de NO_2 contenue dans ce gaz d'étalonnage ne doit pas dépasser 5 % de la teneur en NO);
- d) O_2 et azote purifié;
- e) CO_2 et azote purifié;
- f) CH_4 et air synthétique purifié;
- g) C_2H_6 et air synthétique purifié.

Note: D'autres combinaisons de gaz sont autorisées à condition que ceux-ci ne réagissent pas entre eux.

La concentration réelle d'un gaz d'étalonnage ou de calibrage doit être conforme à la valeur nominale à ± 2 % près. Toutes les concentrations des gaz d'étalonnage doivent être indiquées en volume (pourcentage ou ppm par volume).

Les gaz servant à l'étalonnage et au calibrage peuvent aussi être obtenus au moyen d'un mélangeur-doseur de gaz, par dilution avec du N_2 purifié ou de l'air synthétique purifié. La précision de l'appareil mélangeur doit être telle que la concentration des gaz d'étalonnage dilués puisse être déterminée à ± 2 % près.

Cette précision implique que les gaz primaires utilisés pour le mélange soient connus avec une précision d'au moins ± 1 %, conformément aux normes nationales ou internationales reconnues. La vérification doit être effectuée entre 15 à 50 % de la pleine échelle pour chaque étalonnage faisant intervenir l'utilisation d'un mélangeur-doseur. Si la première vérification n'est pas positive, une vérification supplémentaire peut être effectuée avec un autre gaz d'étalonnage.

Optionnellement, le mélangeur-doseur peut être vérifié avec un instrument de mesure linéaire par nature, utilisation par exemple du gaz NO avec un détecteur CLD. Le calibrage de l'instrument doit être réalisé avec le gaz de calibrage directement envoyé dans l'instrument. Le mélangeur-doseur doit être vérifié aux réglages utilisés et la valeur nominale doit être comparée à la concentration mesurée par l'instrument. La différence obtenue doit se situer en chaque point à ± 1 % près de la valeur nominale.

D'autres méthodes peuvent être utilisées, à condition qu'elles soient appliquées dans les règles de l'art et avec l'accord préalable des parties concernées.

Note: Un mélangeur-doseur ayant une précision de ± 1 % est recommandé pour l'établissement d'une courbe d'étalonnage juste de l'analyseur. Le mélangeur-doseur doit être étalonné par le constructeur de l'instrument.

- 1.3 Procédure d'utilisation des analyseurs et du système de prélèvement
- La procédure d'utilisation des analyseurs doit être conforme aux instructions de mise en marche et d'utilisation du constructeur de l'appareil. Les prescriptions minimales énoncées aux paragraphes 1.4 à 1.9 doivent être respectées.
- 1.4 Essai d'étanchéité
- Un essai d'étanchéité du système doit être effectué. La sonde doit à cette fin être déconnectée du système d'échappement et son extrémité obstruée. La pompe de l'analyseur est mise en marche. Après une période initiale de stabilisation, tous les débitmètres doivent indiquer zéro. Sinon, il faut vérifier les tubes de prélèvement et remédier à l'anomalie. Le taux de fuite maximal côté dépression ne doit pas dépasser 0,5 % du débit en utilisation réelle pour la portion du circuit contrôlée. Pour calculer le débit en utilisation réelle, on peut se fonder sur le débit à travers l'analyseur et le débit de dérivation.
- Une autre méthode consiste à introduire un signal en échelon de variation de la concentration à l'entrée du tube de prélèvement en commutant du gaz de mise à zéro sur un gaz de calibrage.
- Si, après un délai suffisant, on relève une concentration inférieure à la concentration introduite, cela est l'indice de problèmes d'étalonnage ou d'étanchéité.
- 1.5 Procédure d'étalonnage
- 1.5.1 Ensemble du dispositif
- L'ensemble du dispositif doit être étalonné et les courbes d'étalonnage vérifiées par rapport à des gaz étalons. Les débits de gaz utilisés doivent être les mêmes que lors de prélèvement des gaz d'échappement.
- 1.5.2 Temps de réchauffage de l'appareillage
- Le temps de réchauffage de l'appareillage doit être conforme aux recommandations du constructeur. Faute d'indications, un minimum de 2 h est recommandé pour le réchauffage des analyseurs.
- 1.5.3 Analyseurs NDIR et HFID
- L'analyseur NDIR doit être réglé et la combustion de la flamme de l'analyseur HFID optimisée (par. 1.8.1).
- 1.5.4 Étalonnage
- Chaque plage de fonctionnement normalement utilisée doit être étalonnée.
- Au moyen d'air synthétique purifié (ou d'azote), on met à zéro les analyseurs de CO, CO₂, NO_x, HC et O₂.
- Les gaz d'étalonnage appropriés sont introduits dans les analyseurs, les valeurs enregistrées et la courbe d'étalonnage établie conformément au paragraphe 1.5.6.
- On vérifie à nouveau le réglage de zéro et on répète si nécessaire la procédure d'étalonnage.

1.5.5 Établissement de la courbe d'étalonnage

1.5.5.1 Principes généraux

On établit la courbe d'étalonnage de l'analyseur en déterminant au moins **six** points d'étalonnage (en dehors du zéro) espacés de la façon la plus uniforme possible. La concentration nominale la plus élevée doit être égale ou supérieure à 90 % de la pleine échelle.

La courbe d'étalonnage est établie par la méthode des moindres carrés. Si le polynôme résultant est d'un degré supérieur à trois, le nombre de points d'étalonnage (y compris le zéro) doit être au moins égal au degré de ce polynôme plus deux.

La courbe d'étalonnage ne doit pas s'écarter de plus de ± 2 % de la valeur nominale de chaque point d'étalonnage ni de plus de $\pm 0,3$ % de la pleine échelle au zéro.

Sur la base de la courbe et des points d'étalonnage il est possible de vérifier que cette opération a été correctement exécutée. Il conviendra d'indiquer les différents paramètres caractéristiques de l'analyseur, notamment:

- a) La plage de mesure;
- b) La sensibilité;
- c) La date de l'étalonnage.

1.5.5.2 Étalonnage à moins de 15 % de la pleine échelle

On établit la courbe d'étalonnage de l'analyseur en déterminant au moins 10 points d'étalonnage (en dehors du zéro) espacés de telle façon que 50 % des points d'étalonnage soient inférieurs à 10 % de la pleine échelle.

La courbe d'étalonnage est établie par la méthode des moindres carrés.

La courbe d'étalonnage ne doit pas s'écarter de plus de ± 4 % de la valeur nominale de chaque point d'étalonnage ni de plus de $\pm 0,3$ % de la pleine échelle à zéro.

1.5.5.3 Autres méthodes

D'autres moyens techniques peuvent être utilisés (par exemple traitement sur ordinateur, commutateur de plage électronique, etc.) s'il peut être prouvé qu'ils offrent une précision équivalente.

1.6 Vérification de l'étalonnage

Toutes les plages de fonctionnement normalement utilisées doivent être vérifiées avant chaque analyse conformément à la procédure suivante.

L'étalonnage doit être vérifié au moyen d'un gaz de mise à zéro et d'un gaz de calibrage dont la valeur nominale est supérieure à 80 % de la pleine échelle de la gamme de mesures.

Si, pour les deux points considérés, la valeur relevée ne s'écarte pas de la valeur de référence déclarée de plus de ± 4 % de la pleine échelle, les paramètres de réglage peuvent être modifiés. Dans le cas contraire, une nouvelle courbe d'étalonnage doit être établie conformément au paragraphe 1.5.4.

1.7 Essai d'efficacité du convertisseur de NO_x

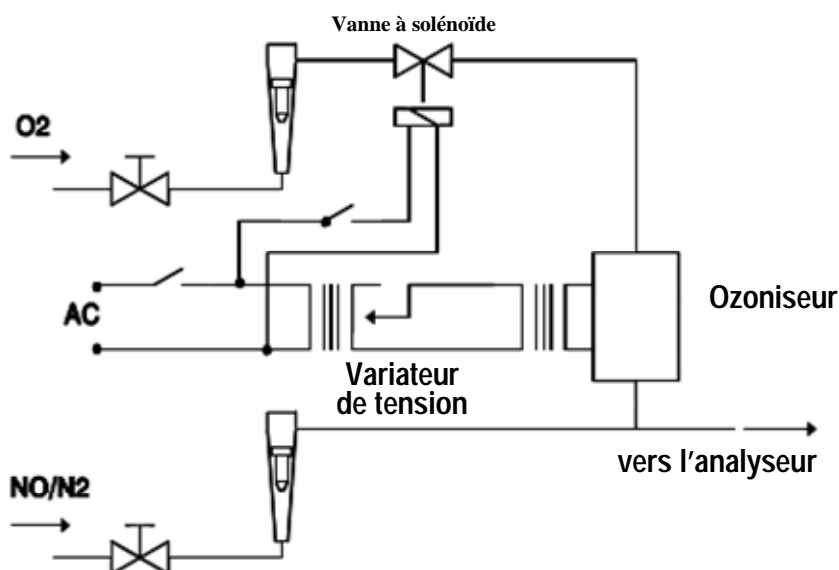
L'efficacité du convertisseur utilisé pour la conversion de NO₂ en NO doit être éprouvée de la manière indiquée aux paragraphes 1.7.1 à 1.7.8 (fig. 1).

1.7.1 Installation d'essai

Avec l'installation d'essai illustrée sur la figure 1 (voir aussi le paragraphe 1.4.3.5. de l'appendice 1) et la méthode décrite ci-dessous, on peut vérifier l'efficacité des convertisseurs au moyen d'un ozoniseur.

Figure 1

Schéma de principe d'un système à convertisseur de NO₂



1.7.2 Étalonnage

Les analyseurs CLD et HCLD sont étalonnés dans la plage de fonctionnement la plus couramment utilisée, conformément aux spécifications du constructeur, avec un gaz de mise à zéro et un gaz de calibrage (dont la teneur en NO doit être égale à 80 % environ de la plage de fonctionnement et la concentration de NO₂ dans le mélange de gaz doit être inférieure à 5 % de la concentration de NO). L'analyseur de NO_x doit être réglé sur le mode NO de telle manière que le gaz de calibrage ne passe pas dans le convertisseur. La concentration indiquée doit être enregistrée.

1.7.3 Calculs

L'efficacité du convertisseur de NO_x est calculée de la manière suivante:

$$\text{Efficacité (\%)} = \left(1 + \frac{a - b}{c - d} \right) \cdot 100$$

où:

a = concentration de NO_x selon le paragraphe 1.7.6

b = concentration de NO_x selon le paragraphe 1.7.7

- c = concentration de NO selon le paragraphe 1.7.4
- d = concentration de NO selon le paragraphe 1.7.5.
- 1.7.4 Adjonction d'oxygène
- À l'aide d'un raccord en T, on ajoute continuellement de l'oxygène ou l'air zéro au flux de gaz jusqu'à ce que la concentration indiquée soit d'environ 20 % inférieure à la concentration d'étalonnage affichée indiquée au paragraphe 1.7.2. (L'analyseur est sur le mode NO.)
- La concentration indiquée *c* est enregistrée. L'ozoniseur doit demeurer hors fonction pendant toute cette opération.
- 1.7.5 Mise en fonctionnement de l'ozoniseur
- L'ozoniseur est alors mis en fonction afin de produire suffisamment d'ozone pour abaisser la concentration de NO à 20 % environ (10 % minimum) de la concentration d'étalonnage indiquée au paragraphe 1.7.2. La concentration indiquée *d* est enregistrée. (L'analyseur est sur le mode NO.)
- 1.7.6 Mode NO_x
- L'analyseur de NO est ensuite commuté sur le mode NO_x pour que le mélange de gaz (constitué de NO, NO₂, O₂ et N₂) passe désormais dans le convertisseur. La concentration indiquée *a* est enregistrée. (L'analyseur est sur le mode NO_x.)
- 1.7.7 Arrêt de l'ozoniseur
- L'ozoniseur est maintenant arrêté. Le mélange de gaz indiqué au paragraphe 1.7.6 traverse le convertisseur pour arriver dans le détecteur. La concentration indiquée *b* est enregistrée. (L'analyseur est sur le mode NO_x.)
- 1.7.8 Mode NO
- Une fois commuté sur le mode NO, l'ozoniseur étant arrêté, on coupe aussi l'arrivée d'oxygène ou d'air synthétique. La valeur de NO_x affichée par l'analyseur ne doit pas s'écarter de plus de ±5 % de la valeur mesurée selon le paragraphe 1.7.2. (L'analyseur est sur le mode NO.)
- 1.7.9 Intervalle des essais de contrôle
- L'efficacité du convertisseur doit être éprouvée avant chaque étalonnage de l'analyseur de NO_x.
- 1.7.10 Efficacité prescrite
- L'efficacité du convertisseur ne doit pas être inférieure à 90 %, mais une valeur supérieure de l'ordre de 95 % est fortement recommandée.
- Note: Si, l'analyseur étant sur la plage de fonctionnement la plus courante, l'ozoniseur ne permet pas d'obtenir une réduction de concentration de 80 % à 20 % selon le paragraphe 1.7.5, on utilise la plage la plus élevée qui donne cette réduction.
- 1.8 Réglage de l'analyseur FID
- 1.8.1 Optimisation de la réponse du détecteur
- L'analyseur HFID doit être réglé selon les indications du constructeur de l'appareil. On devrait utiliser un gaz de calibrage constitué de propane et d'air pour optimiser la réponse sur la plage de fonctionnement la plus courante.

Les débits de carburant et d'air étant réglés selon les recommandations du constructeur, on introduit dans l'analyseur un gaz de calibrage de 350 ± 75 ppm C. La réponse à un débit de carburant donné est déterminée d'après la différence entre la réponse au gaz de calibrage et la réponse au gaz de mise à zéro. Le débit de carburant doit être augmenté ou réduit par paliers par rapport à la valeur prescrite par le fabricant. La réponse de l'appareil en valeur de calibrage et en zéro à ces débits de carburant doit être enregistrée. Une courbe de l'écart entre la réponse à ces deux valeurs doit être tracée et le débit de carburant doit être réglé du côté riche de la courbe.

1.8.2 Facteurs de réponse pour les hydrocarbures

On étalonne l'analyseur en utilisant du propane dans de l'air et de l'air synthétique purifié, conformément au paragraphe 1.5.

Les facteurs de réponse doivent être déterminés lors de la mise en service d'un analyseur et, par la suite, à de longs intervalles pendant la durée de service. Le facteur de réponse (R_f) pour une espèce d'hydrocarbure donnée est le rapport entre la valeur C1 indiquée par le FDI et la concentration du gaz dans la bouteille exprimée en ppm C1.

La concentration du gaz d'essai doit être suffisamment élevée pour que la réponse soit d'environ 80 % de la pleine échelle. La concentration doit être connue avec une précision de ± 2 % par rapport à un étalon gravimétrique exprimé en volume. En outre, la bouteille de gaz doit être préalablement conditionnée pendant 24 h à une température de $298 \text{ K } (25^\circ \text{C}) \pm 5 \text{ K}$.

Les gaz d'essai à utiliser et les gammes de facteurs de réponse à recommander sont les suivants:

Méthane et air synthétique purifié: $1,00 \leq R_f \leq 1,15$

Propylène et air synthétique purifié: $0,90 \leq R_f \leq 1,1$

Toluène et air synthétique purifié: $0,90 \leq R_f \leq 1,10$

par rapport à un facteur de réponse (R_f) de 1,00 pour le propane et l'air synthétique purifié.

1.8.3 Contrôle de l'interférence par l'oxygène

Le contrôle de l'interférence par l'oxygène doit être effectué lors de la mise en service de l'analyseur et lors des opérations majeures d'entretien.

On choisit une gamme où les gaz de contrôle de l'interférence par l'oxygène tomberont dans la plage de 50 % supérieure. L'essai est effectué avec le four réglé à la température voulue.

1.8.3.1 Gaz de contrôle de l'interférence par l'oxygène

Les gaz de contrôle de l'interférence par l'oxygène doivent contenir du propane à 350 ppm C à 75 ppm C d'hydrocarbures. La valeur de la concentration doit être déterminée aux tolérances des gaz d'étalonnage par analyse chromatographique des hydrocarbures totaux plus les impuretés ou par mélange-dosage dynamique. L'azote doit être l'agent diluant prédominant avec complément en oxygène. Les mélanges requis pour l'essai des moteurs diesel sont les suivants:

Concentration d'O ₂	Complément
21 (20 à 22)	Azote
10 (9 à 11)	Azote
5 (4 à 6)	Azote

1.8.3.2 Procédure

- a) L'analyseur est mis à zéro;
- b) L'échelle de l'analyseur est réglée avec le mélange à 21 % d'oxygène;
- c) La réponse zéro est à nouveau vérifiée. Si elle a varié de plus de 0,5 % de la pleine échelle, on répète les opérations des points a) et b);
- d) On introduit les gaz de contrôle de l'interférence par l'oxygène à 5 % et à 10 %;
- e) La réponse zéro est à nouveau vérifiée. Si elle a varié de plus de ± 1 % de la pleine échelle, l'essai doit être recommencé;
- f) L'interférence par l'oxygène (%O₂I) est calculée comme suit pour chaque mélange du point d):

$$\%O_2I = \frac{(B - C)}{B} \cdot 100$$

A = concentration d'hydrocarbures (ppm C) du gaz de calibrage utilisé au point b)

B = concentration d'hydrocarbures (ppm C) des gaz de contrôle de l'interférence par l'oxygène utilisés au point d)

C = réponse de l'analyseur

$$(\text{ppmC}) = \frac{A}{D}$$

D = pourcentage de la pleine échelle de la réponse de l'analyseur due à A.

- g) Le pourcentage d'interférence par l'oxygène (%O₂I) doit être, avant l'essai, inférieur à ± 3 % pour tous les gaz prescrits pour le contrôle de l'interférence par l'oxygène;
- h) Si l'interférence par l'oxygène est supérieure à ± 3 %, le débit d'air est ajusté par incréments au-dessus et au-dessous des spécifications du fabricant en répétant l'opération du paragraphe 1.8.1 pour chaque débit;
- i) Si l'interférence par l'oxygène est supérieure à ± 3 % après avoir réglé le débit d'air, on ajuste le débit de carburant puis le débit de l'échantillon, en répétant les opérations du point 1.8.1 pour chaque nouveau réglage;

- j) **Si l'interférence par l'oxygène est toujours supérieure à ± 3 %, il faut réparer ou remplacer l'analyseur, le carburant du FID ou l'air du brûleur. Les opérations du présent point devront ensuite être recommencées sur les équipements réparés ou remplacés, ou avec de nouveaux gaz.**

1.9 Effets d'interférence avec les analyseurs NDIR et CLD

Des gaz présents dans l'échappement autres que celui qui est en cours d'analyse peuvent interférer de plusieurs manières avec les valeurs indiquées. Il y a interférence positive dans les analyseurs NDIR lorsque le gaz qui interfère donne le même effet que celui qui est mesuré mais à un degré moindre. Il y a interférence négative dans les analyseurs NDIR lorsqu'un gaz interfère élargit la bande d'absorption du gaz mesuré, et dans les instruments CLD lorsque le gaz interfère éteint le rayonnement. Les contrôles d'interférence indiqués dans les paragraphes 1.9.1 et 1.9.2 doivent être exécutés avant la première mise en service d'un analyseur et, par la suite, après les opérations majeures d'entretien.

1.9.1 Contrôle de l'interférence avec l'analyseur de CO

L'eau et le CO₂ peuvent interférer avec le fonctionnement de l'analyseur de CO. Pour vérifier ce point, on fait barboter dans l'eau, à température ambiante, un gaz de calibrage CO₂ d'une concentration de 80 à 100 % de la pleine échelle de la plage de mesure maximale d'essai et on enregistre la réponse de l'analyseur. Celle-ci ne doit pas dépasser 1 % de la pleine échelle pour les plages égales ou supérieures à 300 ppm ou 3 ppm pour les plages inférieures à 300 ppm.

1.9.2 Vérification des effets d'extinction dans l'analyseur de NO_x

Les deux gaz à considérer pour les analyseurs CLD (et HCLD) sont le CO₂ et la vapeur d'eau. Les degrés d'extinction dus à ces gaz sont proportionnels à leurs concentrations et il est donc nécessaire d'appliquer des techniques de vérification pour déterminer l'effet d'extinction aux concentrations les plus élevées prévues pendant l'essai.

1.9.2.1 Vérification de l'effet d'extinction par le CO₂

On fait passer dans l'analyseur NDIR un gaz de calibrage CO₂ d'une concentration de 80 à 100 % de la pleine échelle de la plage de mesure maximale et on enregistre la valeur de CO₂ (A). Ce gaz est ensuite dilué à 50 % avec un gaz de calibrage NO et on le fait passer dans les analyseurs NDIR et (H)CLD en enregistrant les valeurs de CO₂ et NO (respectivement B et C). On ferme l'arrivée de CO₂ de manière que seul le gaz de calibrage du NO passe dans l'analyseur (H)CLD et on enregistre la valeur de NO (comme D).

L'effet d'extinction est calculé comme suit:

$$\% \text{ atténuation CO}_2 = \left[1 - \left(\frac{C \cdot A}{(D \cdot A) - (D \cdot B)} \right) \right] \cdot 100$$

et il ne doit pas être supérieur à 3 % de la pleine échelle.

Dans l'équation:

- A = concentration du CO₂ non dilué mesurée avec le NDIR (%)
 B = concentration du CO₂ dilué mesurée avec le NDIR (%)
 C = concentration du NO dilué mesurée avec le CLD (ppm)
 D = concentration du NO non dilué mesurée avec le CLD (ppm).

1.9.2.2 Vérification de l'effet d'extinction par l'eau

Cette vérification s'applique uniquement aux mesures de concentration de 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 dans la vapeur d'eau et de l'établissement d'un rapport entre la concentration de vapeur d'eau du mélange et celle prévue pendant l'essai. Un gaz de calibrage NO d'une concentration de 80 à 100 % de la pleine échelle de fonctionnement normal est envoyé dans l'analyseur (H)CLD et la valeur de NO enregistrée en tant que valeur D. On fait ensuite barboter le NO gazeux dans l'eau à température ambiante puis on l'envoie dans l'analyseur (H)CLD et l'on enregistre la valeur de NO en tant que valeur C. La température de l'eau doit être déterminée et enregistrée en tant que valeur F. La pression de vapeur de 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 (en %) du mélange doit être calculée comme suit:

$$H = 100 \cdot \left(\frac{G}{P_B} \right)$$

et enregistrée en tant que valeur H. La concentration prévue du gaz de calibrage NO dilué (dans la vapeur d'eau) doit être calculée comme suit:

$$De = D \cdot \left(1 - \frac{H}{100} \right)$$

et enregistrée en tant que valeur De. Pour les gaz d'échappement des moteurs diesel, la concentration maximale de la vapeur d'eau dans les gaz d'échappement (en %) prévue en cours d'essai doit être estimée sur la base d'un rapport atomique H/C de 1,8 à 1 à partir de la concentration maximale en CO₂ dans les gaz d'échappement ou de la concentration de gaz de calibrage CO₂ non dilué (A étant mesuré comme indiqué au paragraphe 1.9.2.1), comme suit:

$$Hm = (0,9 \cdot A)$$

et enregistrée en tant que valeur Hm.

L'effet d'extinction par l'eau doit être calculé comme suit:

$$\% \text{ atténuation } H_2O = 100 \cdot \left(\frac{De - C}{De} \right) \cdot \left(\frac{Hm}{H} \right)$$

et ne doit pas dépasser 3 % **de la pleine échelle**.

- De = concentration prévue de NO dilué (ppm)
 C = concentration de NO dilué (ppm)

H_m = concentration maximale de la vapeur d'eau (%)

H = concentration réelle de la vapeur d'eau (%).

Note: Il est important que le gaz de calibrage NO contienne une concentration minimale de NO₂ pour cette vérification, étant donné qu'il n'a pas été tenu compte de l'absorption du NO₂ dans l'eau pour les calculs des effets d'extinction.

1.10 Intervalles d'étalonnage

Les analyseurs doivent être étalonnés conformément au paragraphe 1.5 tous les trois mois au moins ou à l'occasion de chaque réparation ou modification du système susceptible d'influer sur l'étalonnage.

1.11 Prescriptions complémentaires en matière d'étalonnage pour la mesure des gaz d'échappement bruts dans l'essai NRTC

1.11.1 Vérification 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 ceux utilisés pour les mesures pendant l'essai proprement dit (pression, débits, réglages des filtres sur les analyseurs et tous les autres facteurs influençant le temps de réponse). La détermination du temps de réponse se fait par commutation de gaz 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 entraîner un changement de concentration d'au moins 60 % à pleine échelle.

La concentration de chaque constituant gazeux est enregistrée. Le temps de réponse est défini comme étant l'écart de temps entre le changement de gaz et la variation appropriée de la concentration enregistrée. Le temps de réponse du système (t_{90}) comprend le temps de retard jusqu'au détecteur de mesure et le temps de montée du détecteur. Le temps de retard est défini comme étant le temps écoulé entre le changement (t_0) et le moment où la réponse atteint 10 % de la valeur affichée finale (t_{10}). Le temps de montée est défini comme étant le temps écoulé entre la réponse à 10 % et la réponse à 90 % de la valeur affichée finale ($t_{90} - t_{10}$).

Pour l'alignement temporel des signaux de l'analyseur et de débit de gaz d'échappement dans le cas de la mesure des gaz d'échappement bruts, le temps de transformation est défini comme étant le temps écoulé entre le changement (t_0) et le moment où la réponse atteint 50 % de la valeur affichée finale (t_{50}).

Le temps de réponse du système doit être ≤ 10 s, avec un temps de montée $\leq 2,5$ s pour tous les constituants soumis à des valeurs limites (CO, NO_x, HC) et toutes les plages utilisées.

1.11.2 Étalonnage de l'analyseur de gaz traceur pour la mesure du débit de gaz d'échappement

En cas d'utilisation d'un gaz traceur, l'analyseur servant à mesurer les concentrations de ce gaz doit être étalonné à l'aide du gaz étalon.

La courbe d'étalonnage est établie sur au moins dix points d'étalonnage (à l'exclusion du zéro) espacés de manière à ce qu'une moitié des points soit située entre 4 et 20 % de la pleine échelle de l'analyseur et le reste entre 20 et 100 % de la pleine échelle. La courbe d'étalonnage est établie par la méthode des moindres carrés.

La courbe d'étalonnage ne doit pas s'écarter de la valeur nominale de chaque point d'étalonnage de plus de ± 1 % de la pleine échelle dans la plage de 20 à 100 % de la pleine échelle. Elle ne doit pas non plus s'écarter de la valeur nominale de plus de ± 2 % de la valeur affichée dans la plage de 4 à 20 % de la pleine échelle.

L'analyseur doit être étalonné avant l'essai avec un gaz de mise à zéro et avec un gaz de calibrage dont la valeur nominale est supérieure à 80 % de la pleine échelle de l'analyseur.

2. Étalonnage du système de mesure des particules

2.1 Introduction

Chaque élément sera étalonné aussi souvent qu'il le faudra pour respecter les conditions de précision du présent **Règlement**. La méthode d'étalonnage à utiliser est décrite dans ce paragraphe pour les éléments indiqués au paragraphe 1.5 de l'appendice 1 de l'annexe 4A et à l'appendice 4 de l'annexe 4A.

À la demande du constructeur et sous réserve de l'accord de l'autorité d'homologation, les méthodes décrites aux paragraphes 8.1 et 8.2 de l'annexe 4B peuvent être appliquées à la place de celles décrites au paragraphe 2 du présent appendice.

2.2 Débit

Les débitmètres à gaz ou **instruments de mesure du débit** doivent être étalonnés conformément aux normes nationales et/ou internationales reconnues.

L'erreur maximale de la valeur mesurée doit être de ± 2 % de la valeur affichée.

Pour les systèmes de dilution en circuit partiel, une attention particulière doit être accordée à la précision du débit de l'échantillon G_{SE} si celui-ci n'est pas mesuré directement mais déterminé par mesure différentielle du débit.

$$G_{SE} = G_{TOTW} - G_{DILW}$$

Dans ce cas, une précision de ± 2 % pour G_{TOTW} and G_{DILW} n'est pas suffisante pour garantir des précisions acceptables de G_{SE} . Si le débit du gaz est déterminé par mesure différentielle du débit, l'erreur maximale de la différence doit être telle que la précision de G_{SE} soit de ± 5 % **lorsque le taux de dilution est inférieur à 15.** Il peut être calculé en prenant la moyenne quadratique des erreurs de chaque instrument.

2.3 Vérification du taux de dilution

Lorsque l'on utilise des systèmes de prélèvement des particules sans EGA (par. 1.2.1.1 de l'appendice 4 de l'annexe 4A), on doit vérifier le taux de dilution à chaque installation d'un nouveau moteur, moteur tournant, en se basant sur les mesures de concentration du CO_2 ou de concentration des NO_x dans les gaz d'échappement bruts et dilués.

Le taux de dilution mesuré doit être égal à ± 10 % près au taux de dilution calculé à partir de la mesure des concentrations de CO_2 ou de NO_x .

2.4 Vérification des conditions de débit partiel

La plage des oscillations de vitesse et de pression des gaz d'échappement doit être vérifiée et réglée conformément aux prescriptions du paragraphe 1.2.1.1, EP, de l'appendice 4 de l'annexe 4A, le cas échéant.

2.5 Intervalles d'étalonnage

Les instruments de mesure du débit doivent être étalonnés au moins tous les trois mois, ou chaque fois qu'une modification apportée au système est susceptible d'influer sur l'étalonnage.

2.6 Prescriptions complémentaires en matière d'étalonnage pour les systèmes de dilution en circuit partiel

2.6.1 Étalonnage périodique

Si le débit de l'échantillon de gaz est déterminé par mesure différentielle du débit, le débitmètre ou l'instrument de mesure du débit doit être étalonné à l'aide d'une des procédures suivantes, de manière à ce que le débit G_{SE} dans le tunnel satisfasse aux exigences en matière de précision prescrites à l'annexe 4A, appendice 1, paragraphe 2.4:

Le débitmètre mesurant G_{DILW} est raccordé en série avec le débitmètre mesurant G_{TOTW} . La différence entre les deux débitmètres est étalonnée pour au moins cinq points de réglage, les valeurs de débit étant espacées de manière égale entre la valeur la plus basse de G_{DILW} utilisée durant l'essai et la valeur de G_{TOTW} utilisée durant l'essai. Le tunnel de dilution peut être contourné.

Un dispositif étalonné de mesure du débit massique est raccordé en série avec le débitmètre mesurant G_{TOTW} et la précision est vérifiée pour la valeur utilisée durant l'essai. Le dispositif étalonné de mesure du débit massique est ensuite raccordé en série avec le débitmètre mesurant G_{DILW} et la précision est vérifiée pour au moins cinq réglages correspondant à des taux de dilution de 3 à 50, par rapport à la valeur de G_{TOTW} utilisée durant l'essai.

Le tube de transfert TT est déconnecté de l'échappement et un dispositif étalonné de mesure du débit ayant une plage appropriée pour mesurer G_{SE} est raccordé au tube de transfert. G_{TOTW} est ensuite réglé sur la valeur utilisée pendant l'essai et G_{DILW} réglé successivement à au moins cinq valeurs correspondant à des taux de dilution q entre 3 et 50. À titre de variante, un circuit spécial peut être mis en place pour l'étalonnage, par lequel le tunnel est contourné, mais le débit total et le débit de l'air de dilution passant dans les débitmètres correspondants sont maintenus comme dans l'essai proprement dit.

Un gaz traceur est introduit dans le tube de transfert. Ce gaz traceur peut être un constituant des gaz d'échappement, comme le CO_2 ou des NO_x . Après dilution dans le tunnel, on mesure le gaz traceur pour cinq taux de dilution entre 3 et 50. La précision du débit de l'échantillon est déterminée à partir du taux de dilution q :

$$G_{SE} = G_{TOTW} / q$$

La justesse des analyseurs de gaz d'échappement doit être prise en compte pour garantir la précision de G_{SE} .

2.6.2 Vérification du flux de carbone

Il est vivement recommandé de procéder à une vérification du flux de carbone avec des gaz d'échappement réels pour détecter les problèmes de mesure et de contrôle, et pour vérifier le bon fonctionnement du système de dilution en circuit partiel. La vérification du flux de carbone doit être effectuée au moins chaque fois qu'un nouveau moteur est installé ou qu'une modification importante est apportée à la chambre d'essai.

Le moteur doit fonctionner au couple maximal et au régime maximal ou sur tout autre mode stationnaire produisant 5 % de CO₂ ou plus. Le système de prélèvement en circuit partiel doit fonctionner avec un facteur de dilution d'environ 15 à 1.

2.6.3 Vérification avant essai

Dans les 2 h avant l'essai, une vérification est effectuée comme suit:

Selon la même méthode que celle utilisée pour l'étalonnage, la justesse des débitmètres est vérifiée pour au moins deux points, y compris les valeurs de G_{DILW} qui correspondent à des taux de dilution compris entre 5 et 15 pour la valeur de G_{TOTW} utilisée pendant l'essai.

Si les valeurs enregistrées avec la procédure d'étalonnage décrite ci-dessus permettent de démontrer que l'étalonnage des débitmètres est stable sur une période plus longue, la vérification avant essai peut être omise.

2.6.4 Détermination du temps de transformation

Les réglages du système pour l'évaluation du temps de transformation doivent être les mêmes que ceux utilisés pour les mesures pendant l'essai proprement dit. Le temps de transformation est déterminé selon la méthode suivante:

Un débitmètre de référence indépendant ayant une plage de mesure adaptée au débit dans la sonde est monté en série avec la sonde et étroitement raccordé à celle-ci. Le temps de transformation de ce débitmètre doit être inférieur à 100 ms pour l'échelon de débit utilisé lors de la mesure du temps de réponse, avec une perte de charge suffisamment basse pour ne pas altérer la performance dynamique du système de dilution en circuit partiel et conforme aux règles de l'art.

Une variation en échelon du débit de gaz d'échappement dans le système de dilution en circuit partiel (ou du débit d'air si le débit de gaz d'échappement est déterminé par calcul) est introduite, à partir d'un débit faible jusqu'à au moins 90 % de la pleine échelle. Le signal déclencheur de la variation en échelon doit être le même que celui utilisé pour démarrer le contrôle prédictif lors de l'essai proprement dit. L'impulsion de variation en échelon du débit de gaz d'échappement et la réponse du débitmètre sont enregistrées à une fréquence d'au moins 10 Hz.

Sur la base de ces données, on détermine le temps de transformation du système de dilution en circuit partiel, qui est le temps écoulé entre le déclenchement de l'impulsion de variation et le moment où la réponse du débitmètre a atteint 50 %. De la même manière, on détermine le temps de transformation du signal G_{SE} du système de dilution en circuit partiel

et du signal G_{EXHW} du débitmètre d'échappement. Ces signaux sont utilisés lors des contrôles de régression effectués après chaque essai (annexe 4A, appendice 1, par. 2.4).

Le calcul est répété pour au moins 5 impulsions d'accroissement et de décroissement et la moyenne des résultats est établie. Le temps de transformation interne (<100 ms) du débitmètre de référence est soustrait de cette valeur. On obtient ainsi la «valeur d'anticipation» du système de dilution en circuit partiel, qui doit être appliquée conformément à l'annexe 4A, appendice 1, paragraphe 2.4.

3. Étalonnage du système CVS

3.1 Dispositions générales

Le système CVS doit être étalonné à l'aide d'un débitmètre de précision et d'un dispositif permettant de modifier les conditions de fonctionnement.

Le débit qui traverse le système doit être mesuré pour différents réglages du débit et les paramètres de commande et contrôle du système doivent être mesurés et mis en relation avec le débit.

Divers types de débitmètres peuvent être utilisés, par exemple un tube venturi étalonné, un débitmètre à flux laminaire étalonné ou un débitmètre à turbine étalonné.

À la demande du constructeur et sous réserve de l'accord de l'autorité d'homologation, les méthodes décrites à l'annexe 4B, paragraphes 8.1. et 8.2. peuvent être appliquées à la place de celles décrites au paragraphe 3. du présent appendice.

3.2 Étalonnage de la pompe volumétrique (PDP)

Tous les paramètres de la pompe doivent être mesurés en même temps que les paramètres d'un venturi d'étalonnage raccordé en série avec la pompe. Le débit calculé (en m^3/min à l'orifice d'aspiration de la pompe, pression et température absolues) est tracé par rapport à un facteur de corrélation qui représente la valeur d'une combinaison spécifique de paramètres de la pompe. L'équation linéaire entre le débit de la pompe et la fonction de corrélation est ensuite calculée. Si le système CVS possède plusieurs gammes de vitesse, l'étalonnage doit être exécuté pour chaque gamme utilisée.

La stabilité en température doit être maintenue durant l'étalonnage.

Les fuites dans les raccords et les conduites entre le venturi d'étalonnage et la pompe CVS doivent rester inférieures à 0,3 % du point de débit le plus bas (point où la perte de charge est la plus élevée et la vitesse de la pompe PDP la plus basse).

3.2.1 Analyse des données

Le débit d'air (Q_s) obtenu à chaque réglage du restricteur (6 réglages au minimum) est calculé en m^3/min normaux à partir des données du débitmètre selon la méthode prescrite par le fabricant. Le débit d'air est ensuite converti en débit de la pompe (V_0) en m^3/tr à la température et à la pression absolues à l'entrée de la pompe:

$$V_0 = \frac{Q_s}{n} \cdot \frac{T}{273} \cdot \frac{101,3}{P_A}$$

où:

Q_s = débit d'air aux conditions normales (101,3 kPa, 273 K), en m³/s

T = température à entrée de la pompe, en K

p_A = pression absolue à l'entrée de la pompe ($p_B - p_1$) (kPa)

n = débit de la pompe, en tr/s.

Afin de prendre en compte l'interaction des variations de pression à la pompe et du taux de glissement de la pompe, la fonction de corrélation X_0 entre le débit de la pompe, la différence de pression entre l'orifice d'aspiration et l'orifice de refoulement et la pression absolue à l'orifice de refoulement de la pompe doit être déterminée comme suit:

$$X_0 = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_p}{p_A}}$$

où:

Δp_p = différence de pression entre l'entrée et la sortie, en kPa

p_A = pression de refoulement absolue à la sortie de la pompe, en kPa.

Un ajustement linéaire par les moindres carrés est effectué pour obtenir l'équation d'étalonnage:

$$V_0 = D_0 - m \cdot (X_0)$$

D_0 et m sont respectivement les constantes d'ordonnée à l'origine et de pente qui décrivent les droites de régression.

Pour un système CVS à plusieurs gammes de vitesse, les courbes d'étalonnage établies pour les différentes gammes de débit de la pompe doivent être sensiblement parallèles et les valeurs d'ordonnée à l'origine (D_0) doivent augmenter au fur et à mesure que la gamme de débit de la pompe baisse.

Les valeurs obtenues avec l'équation doivent se situer à $\pm 0,5$ % au maximum de la valeur mesurée de V_0 . Les valeurs de m varient d'une pompe à l'autre. Avec le temps, le passage de particules réduit le glissement de la pompe, ce que reflètent les valeurs plus basses de m . Par conséquent, l'étalonnage doit être effectué au démarrage de la pompe, après un gros entretien et lorsque la vérification du système complet (voir par. 3.5) indique une modification du taux de glissement.

3.3

Étalonnage du tube venturi à écoulement critique (CFV)

L'étalonnage du tube venturi CFV repose sur l'équation de débit d'un venturi critique. Le débit de gaz est fonction de la pression et de la température d'entrée, selon l'équation:

$$Q_s = \frac{K_v \cdot p_A}{\sqrt{T}}$$

où:

- K_v = coefficient d'étalonnage
 P_A = pression absolue à l'entrée du venturi (en kPa)
 T = température à l'entrée du venturi (en K).

3.3.1 Analyse des données

Le débit d'air (Q_s) à chaque réglage du restricteur (8 réglages au minimum) doit être déterminé en m^3/min normaux, d'après les données du débitmètre, conformément à la méthode prescrite par le constructeur. Le coefficient d'étalonnage est calculé comme suit à partir des données d'étalonnage collectées pour chaque réglage:

$$K_v = \frac{Q_s \cdot \sqrt{T}}{P_A}$$

où:

- Q_s = débit d'air aux conditions normales (101,3 kPa, 273 K) (en m^3/s)
 T = température à l'entrée du venturi (en K)
 P_A = pression absolue à l'entrée du venturi (en kPa).

Pour déterminer la plage de l'écoulement critique, on trace la courbe de K_v en fonction de la pression à l'entrée du venturi. Pour l'écoulement critique (bloqué), K_v a une valeur relativement constante. Au fur et à mesure que la pression baisse (et que la dépression augmente), le venturi se débloque et K_v diminue, ce qui montre que le CFV fonctionne en dehors de la plage admissible.

Le K_v moyen et l'écart type doivent être calculés pour 8 points au minimum situés dans la région de l'écoulement critique. L'écart type ne doit pas dépasser $\pm 0,3$ % du K_v moyen.

3.4 Étalonnage du venturi subsonique (SSV)

L'étalonnage du SSV repose sur l'équation de débit d'un venturi subsonique. L'écoulement du gaz dépend de la pression et de la température d'entrée ainsi que de la baisse de pression entre l'entrée et le col du SSV:

$$Q_{SSV} = A_0 d^2 C_d P_A \sqrt{\left[\frac{1}{T} (r^{1,4286} - r^{1,7143}) \left(\frac{1}{1 - \beta^4 r^{1,4286}} \right) \right]}$$

où:

- A_0 = série de constantes et de conversions d'unités
 $= 0,006111$ en unités SI $\left(\frac{m^3}{min} \right) \left(\frac{K^{\frac{1}{2}}}{kPa} \right) \left(\frac{1}{mm^2} \right)$
 d = diamètre du col du SSV (en m)

- C_d = coefficient de décharge du SSV
 p_A = pression absolue à l'entrée du venturi (en kPa)
 T = température à l'entrée du venturi (en K)
 r = rapport entre la pression statique au col et à l'entrée de la sonde SSV $= 1 - \frac{\Delta P}{P_A}$
 β = rapport entre le diamètre d du col du SSV et le diamètre intérieur du tuyau d'admission $= \frac{d}{D}$.

3.4.1 Analyse des données

Le débit d'air (Q_{SSV}) à chaque réglage du restricteur (16 réglages au minimum) doit être calculé en m^3/min normaux à partir des données du débitmètre, selon la méthode prescrite par le constructeur. Le coefficient de décharge est calculé comme suit à partir des données d'étalonnage collectées pour chaque réglage:

$$C_d = \frac{Q_{SSV}}{A_0 d^2 P_A \sqrt{\left[\frac{1}{T} (r^{1,4286} - r^{1,7143}) \left(\frac{1}{1 - \beta^4 r^{1,4286}} \right) \right]}}$$

où:

- Q_{SSV} = débit d'air aux conditions normales (101,3 kPa, 273 K) (en m^3/s)
 T = température à l'entrée du venturi (en K)
 d = diamètre du col du SSV (en m)
 r = rapport entre la pression statique au col et à l'entrée de la sonde SSV $= 1 - \frac{\Delta P}{P_A}$
 β = rapport entre le diamètre d du col du SSV et le diamètre intérieur du tuyau d'entrée $= \frac{d}{D}$.

Pour déterminer la plage de l'écoulement subsonique, on trace la courbe de C_d en fonction du nombre de Reynolds au col du SSV. Le Re au col du SSV est calculé à l'aide de la formule suivante:

$$Re = A_1 \frac{Q_{SSV}}{d\mu}$$

où:

- A_1 = série de constantes et de conversions d'unités
 $= 25,55152 \cdot \left(\frac{1}{m^3} \right) \left(\frac{min}{s} \right) \left(\frac{mm}{m} \right)$

Q_{SSV} = débit d'air aux conditions normales (101,3 kPa, 273 K)
(en m³/s)

d = diamètre du col du SSV (en m)

μ = viscosité absolue ou dynamique du gaz, calculée à l'aide de la formule suivante:

$$\mu = \frac{bT^{3/2}}{S + T} = \frac{bT^{1/2}}{1 + \frac{S}{T}} \quad \text{kg/m s}$$

où:

$$b = \text{constante empirique} \quad 1,458 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{msK}^{\frac{1}{2}}}$$

$$S = \text{constante empirique} = 104,4 \text{ K.}$$

Étant donné que Q_{SSV} est un des facteurs de la formule servant à calculer Re , les calculs doivent commencer avec une valeur initiale estimée de Q_{SSV} ou de C_d du venturi d'étalonnage et ils doivent être répétés jusqu'à ce que les valeurs de Q_{SSV} convergent. La méthode de convergence doit avoir une précision d'au moins 0,1 %.

Pour un minimum de 16 points situés dans la région de l'écoulement subsonique, les valeurs de C_d calculées à partir de l'équation résultante d'ajustement de la courbe d'étalonnage doivent se situer à $\pm 0,5$ % au maximum de la valeur de C_d mesurée pour chaque point d'étalonnage.

3.5 Vérification du système complet

La précision totale du système CVS et du système d'analyse doit être déterminée en introduisant une masse connue d'un gaz polluant dans le système fonctionnant de manière normale. Le polluant est analysé et la masse est calculée conformément à l'annexe 4A, appendice 3, paragraphe 2.4.1, sauf dans le cas du propane où un facteur de 0,000472 est utilisé au lieu de 0,000479 pour les HC. L'une ou l'autre des deux techniques suivantes est appliquée.

3.5.1 Mesure avec un orifice à écoulement critique

Une quantité connue de gaz pur (propane) est introduite dans le système CVS par un orifice à écoulement critique étalonné. Si la pression d'entrée est suffisamment élevée, le débit réglé avec l'orifice à écoulement critique est indépendant de la pression de sortie de l'orifice (écoulement critique). Le système CVS doit fonctionner pendant 5 à 10 min environ comme lors d'un essai normal de mesure des émissions d'échappement. Un échantillon de gaz est analysé à l'aide de l'équipement habituel (sac de prélèvement ou méthode d'intégration) et la masse de gaz est calculée. La masse ainsi déterminée doit se situer à ± 3 % de la masse connue de gaz injecté.

3.5.2 Mesure au moyen d'une technique gravimétrique

Le poids d'une petite bouteille remplie de propane est déterminé avec une précision de $\pm 0,01$ g. Pendant 5 à 10 min environ, le système CVS doit fonctionner comme lors d'un essai normal de mesure des émissions d'échappement, tandis que du monoxyde de carbone ou du propane est

injecté dans le système. La quantité de gaz pur libérée est déterminée par pesée différentielle. Un échantillon de gaz est analysé avec l'équipement habituel (sac de prélèvement ou méthode d'intégration) et la masse de gaz est calculée. La masse ainsi déterminée doit se situer à ± 3 % de la masse connue de gaz injecté.

Annexe 4A

Appendice 3

Évaluation des données et calculs

1. Évaluation des données et calculs – **essai NRSC**

1.1 Évaluation des données sur les émissions gazeuses

Pour évaluer les émissions gazeuses, la moyenne des valeurs enregistrées des dernières 60 s de chaque mode doit être déterminée et les concentrations moyennes (conc) de HC, CO, NO_x et CO₂ si on utilise la méthode du bilan carbone, pendant chaque mode, sont déterminées à partir des valeurs enregistrées moyennes et des données d'étalonnage correspondantes. On pourra utiliser un type d'enregistrement différent s'il garantit l'obtention de données équivalentes.

Les concentrations ambiantes moyennes (conc_d) peuvent être déterminées d'après les valeurs mesurées sur les sacs de l'air de dilution ou d'après les valeurs ambiantes enregistrées en continu (autres que dans les sacs) et les données d'étalonnage correspondantes.

Si les cycles à modes raccordés visés aux paragraphes 1.2 a) ou 1.2 b) respectivement de l'annexe 5 sont utilisés, les procédures d'évaluation et de calcul définies au paragraphe 7.8.2.2 de l'annexe 4B, et les sections applicables des paragraphes A.8.2, A.8.3 et A.8.4 s'appliquent. Les résultats finals des essais sont calculés selon les équations A.8-60 et A.8-61 ou A.7-49 et A.7-50 respectivement.

1.2 Émissions de particules

Pour évaluer les émissions de particules, on enregistre pour chaque mode les **masses (M_{SAM,i})** totales de prélèvement passant à travers les filtres. Les filtres sont renvoyés à la chambre de pesée et conditionnés pendant au moins une heure, mais au maximum 80 h, puis pesés. On enregistre le poids brut des filtres, et l'on soustrait le poids de la tare (voir le paragraphe 3.1 de l'annexe 4A). La masse de particules (M_f **pour la méthode à filtre unique**; M_{f,i} pour la méthode à filtres multiples) est la somme des masses de particules récupérées sur les filtres primaires et secondaires. Si une correction des concentrations ambiantes est à appliquer, on enregistre la masse d'air de dilution (M_{DIL}) **passant** à travers les filtres et la masse de particules (M_d). Si plusieurs mesures ont été effectuées, **on devra calculer** le quotient M_d/M_{DIL} pour chaque mesure prise individuellement et déterminer la moyenne des valeurs.

Si les cycles à modes raccordés visés aux paragraphes 1.2 a) ou 1.2 b) respectivement de l'annexe 5 sont utilisés, les procédures d'évaluation et de calcul définies au paragraphe 7.8.2.2 de l'annexe 4B, et les sections applicables des paragraphes A.8.2, A.8.3 et A.8.4 s'appliquent. Les résultats finals des essais sont calculés selon les équations A.8-64 ou A.7-53 respectivement.

1.3 Calcul des émissions gazeuses

Les résultats des essais qui sont finalement consignés sont obtenus par les opérations suivantes:

1.3.1 Détermination du débit des gaz d'échappement

On détermine le débit des gaz d'échappement ($G_{EXHW,i}$) pour chaque mode, conformément aux paragraphes 1.2.1 à 1.2.3 de l'appendice 1 de l'annexe 4A.

Si l'on utilise un système de dilution en circuit principal, on doit déterminer le débit total des gaz d'échappement dilués ($G_{TOTW,i}$) pour chaque mode conformément au paragraphe 1.2.4 de l'appendice 1 de l'annexe 4A.

1.3.2 Corrections conditions sèches/conditions humides

La correction sec/humide ($G_{EXHW,i}$) doit être déterminée pour chaque mode conformément aux paragraphes 1.2.1 à 1.2.3 de l'appendice 1 de l'annexe 4A.

Lorsqu'on applique la valeur G_{EXHW} , on doit convertir la concentration mesurée en valeur rapportée à des conditions humides, si elle n'est pas déjà mesurée sur cette base, à l'aide de la formule suivante:

$$\text{conc}_{\text{wet}} = K_w \cdot \text{conc}_{\text{dry}}$$

Pour les gaz d'échappement bruts:

$$K_{w,r} = \left(\frac{1}{1 + 1,88 \cdot 0,005 \cdot (\% \text{ CO}[\text{dry}] + \% \text{ CO}_2[\text{dry}])} \right) - K_{w1}$$

$$K_{w1} = \frac{1,608 \cdot H_a}{1000 + (1,608 \cdot H_a)}$$

$$H_a = \frac{6,22 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

Pour les gaz dilués:

$$K_{w,e,1} = \left(1 - \frac{1,88 \cdot \text{CO}_2 \% (\text{wet})}{200} \right) - K_{w2}$$

ou

$$K_{w,e,2} = \left(1 + \frac{1 - K_{w2}}{1 + \frac{1,88 \cdot \text{CO}_2 \% (\text{dry})}{200}} \right)$$

$$K_{w2} = \frac{1,608 [H_d \cdot (1 - 1 / \text{DF}) + H_a \cdot (1 / \text{DF})]}{1000 + 1,608 [H_d \cdot (1 - 1 / \text{DF}) + H_a \cdot (1 / \text{DF})]}$$

Pour l'air de dilution:

$$K_{w,d} = 1 - K_{w3}$$

$$K_{w3} = \frac{1,608 \cdot H_d}{1\,000 + (1,608 \cdot H_d)}$$

$$H_d = \frac{6,22 \cdot R_d \cdot p_d}{p_B - p_d \cdot R_d \cdot 10^{-2}}$$

Pour l'air d'admission (s'il diffère de l'air de dilution):

$$K_{w,a} = 1 - K_{w2}$$

$$K_{w2} = \frac{1,608 \cdot H_a}{1\,000 + (1,608 \cdot H_a)}$$

$$H_a = \frac{6,22 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

où:

H_a = humidité absolue de l'air d'admission (en g d'eau par kg d'air sec)

H_d = humidité absolue de l'air de dilution (en g d'eau par kg d'air sec)

R_d = humidité relative de l'air de dilution (%)

R_a = humidité relative de l'air d'admission (%)

p_d = pression de vapeur saturante de l'air de dilution (kPa)

p_a = pression de vapeur saturante de l'air d'admission (kPa)

p_B = pression barométrique totale (kPa).

Note: H_a et H_d peuvent être déterminés à partir de la mesure de l'humidité relative, comme décrit ci-dessus, ou à partir de la mesure du point de rosée, de la pression de vapeur ou de la température du thermomètre sec/mouillé à l'aide des formules communément acceptées.

1.3.3 Correction de l'humidité pour les émissions de NO_x

Les émissions de NO_x étant fonction des conditions de l'air ambiant, la concentration de NO_x doit être corrigée pour la température et l'humidité de l'air ambiant par les facteurs K_H donnés par la formule suivante:

$$K_H = \frac{1}{1 + A \cdot (H_a - 10,71) + B \cdot (T_a - 298)}$$

où:

A = $0,09 \cdot G_{Fuel} / G_{AIRD} - 0,266$

B = $-0,09 \cdot G_{Fuel} / G_{AIRD} + 0,0954$

$\frac{G_{FUEL}}{G_{AIRD}}$ = Fuel air ratio (dry air basis)

T_a = température de l'air (en K)

H_a = humidité de l'air d'admission, en g d'eau par kg d'air sec:

$$H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

où:

R_a = humidité relative de l'air d'admission (%)

p_a = pression de vapeur saturante de l'air de dilution (kPa)

p_B = pression barométrique totale (kPa).

Note: H_a peut être déterminé à partir de la mesure de l'humidité relative, comme décrit ci-dessus, ou à partir de la mesure du point de rosée, de la pression de vapeur ou de la mesure par psychromètre sur la base des formules communément acceptées.

1.3.4 Calcul des débits massiques d'émissions

Les débits massiques d'émissions pour chaque mode sont calculés comme suit:

a) **Pour les gaz d'échappement bruts¹:**

$$G_{\text{mass}} = u \cdot \text{conc} \cdot G_{\text{EXHW}}$$

b) **Pour les gaz d'échappement dilués²:**

$$G_{\text{mass}} = u \cdot \text{conc}_c \cdot G_{\text{TOTW}}$$

où:

conc_c est la concentration corrigée de la concentration ambiante

$$\text{conc}_c = \text{conc} - \text{conc}_d \cdot (1 - (1 / \text{DF}))$$

$$\text{DF} = 13,4 / (\text{conc}_{\text{CO}_2} + (\text{conc}_{\text{CO}} + \text{conc}_{\text{HC}}) \cdot 10^{-4})$$

ou

$$\text{DF} = 13,4 / \text{conc}_{\text{CO}_2}.$$

Le coefficient u – humide doit être utilisé conformément au tableau 5 ci-après:

Tableau 5

Valeurs du coefficient u – humide pour divers constituants des gaz d'échappement

Gaz	u	conc
NO _x	0,001587	ppm
CO	0,000966	ppm
HC	0,000479	ppm
CO ₂	15,19	%

¹ Dans le cas des NO_x, la concentration de NO_x (NO_xconc ou NO_xconc_c) doit être multipliée par K_{HNOx} (facteur de correction de l'humidité pour les NO_x mentionné au paragraphe 1.3.3) comme suit:

K_{HNOx} · conc ou K_{HNOx} · conc_c.

² Dans le cas des NO_x, la concentration de NO_x (NO_xconc ou NO_xconc_c) doit être multipliée par K_{HNOx} (facteur de correction de l'humidité pour les NO_x mentionné au paragraphe 1.3.3) comme suit:

K_{HNOx} · conc ou K_{HNOx} · conc_c.

La densité des HC est calculée sur la base d'un rapport moyen carbone/hydrogène de 1: 1,85.

1.3.5 Calcul des émissions spécifiques

On calcule les **émissions** spécifiques (**g/kWh**) pour tous les constituants de la manière suivante:

$$\text{gaz individuel} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Gas mass}_i \cdot \text{WF}_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot \text{WF}_i}$$

où $P_i = P_{m,i} + P_{AE,i}$.

Les facteurs de pondération et le nombre de modes (n) utilisés dans le calcul ci-dessus sont conformes au **paragraphe 3.7.1** de l'annexe **4A**.

1.4 Calcul des émissions de particules

Les émissions de particules sont calculées de la manière suivante:

1.4.1 Facteur de correction de l'humidité pour les particules

Les émissions de particules des moteurs diesel étant fonction des conditions atmosphériques ambiantes, le débit massique de particules doit être corrigé pour tenir compte de l'humidité de l'air ambiant par le facteur K_p calculé avec la formule suivante:

$$K_p = 1 / (1 + 0,0133 \cdot (H_a - 10,71))$$

où:

H_a = humidité de l'air d'admission en g d'eau par kg d'air sec

$$H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

où:

R_a = humidité relative de l'air d'admission (%)

p_a = pression de vapeur saturante de l'air d'admission (kPa)

p_B = pression barométrique totale (kPa).

Note: H_a peut être déterminée à partir de la mesure de l'humidité relative, comme décrit ci-dessus, ou à partir de la mesure du point de rosée, de la pression de vapeur ou de la mesure par psychromètre à l'aide des formules communément acceptées.

1.4.2 Système de dilution en circuit partiel

Les résultats d'essais finals consignés des émissions de particules sont obtenus par les opérations ci-après. Étant donné que différents types de contrôle du taux de dilution peuvent être appliqués, différentes méthodes de calcul **du débit massique équivalent de gaz d'échappement dilués G_{EDF} sont applicables**. Tous les calculs doivent être effectués sur la base des valeurs moyennes enregistrées pour les modes individuels i) pendant la période de prélèvement.

1.4.2.1 Systèmes isocinétiques

$$G_{EDFW,i} = G_{EXHW,i} \cdot q_i$$

$$q_i = \frac{G_{DILW,i} + (G_{EXHW,i} \cdot r)}{(G_{EXHW,i} \cdot r)}$$

où r correspond au rapport entre l'aire transversale de la sonde isocinétique A_p et celle **du tuyau d'échappement** A_T :

$$r = \frac{A_p}{A_T}$$

1.4.2.2 Systèmes avec mesure de la concentration de CO_2 ou NO_x

$$G_{EDFW,i} = G_{EXHW,i} \cdot q_i$$

$$q_i = \frac{Conc_{E,i} - Conc_{A,i}}{Conc_{D,i} - Conc_{A,i}}$$

où:

$Conc_E$ = concentration humide du gaz traceur dans les gaz d'échappement bruts

$Conc_D$ = concentration humide du gaz traceur dans les gaz d'échappement dilués

$Conc_A$ = concentration humide du gaz traceur dans l'air de dilution.

Les concentrations mesurées sur base sèche doivent être converties en valeur sur base humide conformément au paragraphe 1.3.2 du présent appendice.

1.4.2.3 Systèmes avec mesure du CO_2 et méthode du bilan carbone

$$G_{EDFW,i} = \frac{206,6 \cdot G_{FUEL,i}}{CO_{2D,i} - CO_{2A,i}}$$

où:

CO_{2D} = concentration de CO_2 dans les gaz d'échappement dilués

CO_{2A} = concentration de CO_2 dans l'air de dilution

(concentrations en volume (%)) sur base humide).

Cette équation repose sur l'hypothèse du bilan carbone (les atomes de carbone fournis au moteur sont émis sous forme de CO_2) et est obtenue par les étapes suivantes:

$$G_{EDFW,i} = G_{EXHW,i} \cdot q_i$$

et:

$$q_i = \frac{206,6 \cdot G_{FUEL,i}}{G_{EXHW,i} \cdot (CO_{2D,i} - CO_{2A,i})}$$

1.4.2.4 Systèmes avec mesure de débit

$$G_{EDFW,i} = G_{EXHW,i} \cdot q_i$$

$$q_i = \frac{G_{TOTW,i}}{(G_{TOTW,i} - G_{DILW,i})}$$

1.4.3 Système de dilution en circuit principal

Les résultats d'essais finals consignés des émissions de particules sont obtenus par les opérations ci-après:

Tous les calculs doivent être effectués sur la base des valeurs moyennes enregistrées pour les modes individuels i) pendant la période de prélèvement.

$$G_{EDFW,i} = G_{TOTW,i}$$

1.4.4 Calcul du débit massique de particules

Le débit massique de particules **est** calculé comme suit:

Pour la méthode à filtre unique:

$$PT_{mass} = \frac{M_f \cdot (G_{EDFW})_{aver}}{M_{SAM} \cdot 1\,000}$$

où:

$(G_{EDFW})_{aver}$ au -cours du cycle d'essai doit être déterminé par calcul de la somme des valeurs moyennes des modes individuels durant la période de prélèvement:

$$(G_{EDFW})_{aver} = \sum_{i=1}^n G_{EDFW,i} \cdot WF_i$$

$$M_{SAM} = \sum_{i=1}^n M_{SAM,i}$$

où $i = 1, \dots, n$.

Pour la méthode à filtres multiples:

$$PT_{mass,i} = \frac{M_{f,i} \cdot (G_{EDFW,i})_{aver}}{M_{SAM,i} \cdot 1\,000}$$

où $i = 1, \dots, n$.

Le débit massique de particules peut être corrigé de la concentration ambiante de particules comme suit:

Pour la méthode à filtre unique:

$$PT_{mass} = \left[\frac{M_f}{M_{SAM}} - \left(\frac{M_d}{M_{DIL}} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{1}{DF_i} \right) \cdot WF_i \right) \right) \right] \cdot \frac{(G_{EDFW})_{aver}}{1\,000}$$

Si plus d'une mesure est effectuée, (M_d/M_{DIL}) est remplacé par $(M_d/M_{DIL})_{aver}$

$$DF = \frac{13,4}{conc_{CO_2} + (conc_{CO} + conc_{HC}) \cdot 10^{-4}}$$

ou

$$DF = 13,4 / \text{conc}_{\text{CO}_2}.$$

Pour la méthode à filtres multiples:

$$PT_{\text{mass},i} = \left[\frac{M_{f,i}}{M_{\text{SAM},i}} - \left(\frac{M_d}{M_{\text{DIL}}} \cdot \left(1 - \frac{1}{DF_i} \right) \right) \right] \cdot \left[\frac{G_{\text{EDFW},i}}{1\,000} \right]$$

Si plus d'une mesure est effectuée, (M_d/M_{DIL}) est remplacé par $(M_d/M_{\text{DIL}})_{\text{aver}}$

$$DF = \frac{13,4}{\text{conc}_{\text{CO}_2} + (\text{conc}_{\text{CO}} + \text{conc}_{\text{HC}}) \cdot 10^{-4}}$$

ou

$$DF = 13,4 / \text{conc}_{\text{CO}_2}.$$

1.4.5 Calcul des émissions spécifiques

On calcule les émissions spécifiques de particules PT (g/kWh) de la manière suivante³:

Pour la méthode à filtre unique:

$$PT = \frac{PT_{\text{mass}}}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot WF_i}$$

Pour la méthode à filtres multiples:

$$PT = \frac{\sum_{i=1}^n PT_{\text{mass},i} \cdot WF_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot WF_i}$$

1.4.6 Facteur de pondération effectif

Pour la méthode à filtre unique, le facteur de pondération effectif $WF_{E,i}$ pour chaque mode est calculé de la manière suivante:

$$WF_{E,i} = \frac{M_{\text{SAM},i} \cdot (G_{\text{EDF}})_{\text{aver}}}{M_{\text{SAM}} \cdot (G_{\text{EDFW},i})}$$

où $i = 1, \dots, n$.

La valeur des facteurs de pondération effectifs ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 0,005$ (en valeur absolue) des facteurs de pondération indiqués au paragraphe 3.7.1 de l'annexe 4A.

³ Le débit massique de particules PT_{mass} doit être multiplié par le facteur de correction d'humidité pour les particules Kp mentionné au paragraphe 1.4.1 ci-dessus.

2. Évaluation des données et calculs (essai NRTC)

Le présent paragraphe décrit les deux principes de mesure suivants qui peuvent être utilisés pour l'évaluation des émissions de polluants durant le cycle NRTC:

- a) Les constituants gazeux sont mesurés dans les gaz d'échappement bruts en temps réel et les particules sont mesurées au moyen d'un système de dilution en circuit partiel;
- b) Les constituants gazeux et les particules sont mesurés au moyen d'un système de dilution en circuit principal (système CVS).

2.1 Calcul des émissions de gaz dans les gaz d'échappement bruts et des émissions de particules au moyen d'un système de dilution en circuit partiel

2.1.1 Introduction

Pour le calcul des émissions massiques, les valeurs de concentration instantanée des constituants gazeux sont multipliées par le débit massique instantané des gaz d'échappement. Le débit massique instantané des gaz d'échappement peut être mesuré directement ou calculé par les méthodes décrites à l'annexe 4A, appendice 1, paragraphe 2.2.3 (mesure du débit d'air d'admission et de carburant, méthode du gaz traceur, mesure du débit d'air d'admission et du rapport air/carburant). Une attention particulière doit être accordée aux temps de réponse des différents instruments. Ces différences sont corrigées par l'alignement temporel des signaux.

Dans le cas des particules, les signaux de débit massique des gaz d'échappement sont utilisés pour régler le système de dilution en circuit partiel de manière à obtenir un échantillon proportionnel au débit massique des gaz d'échappement. La qualité de la proportionnalité est vérifiée en appliquant une analyse de régression entre le débit de prélèvement et le débit des gaz d'échappement, comme décrit à l'annexe 4A, appendice 1, paragraphe 2.4.

2.1.2 Détermination des émissions de constituants gazeux

2.1.2.1 Calcul des émissions massiques

La masse de polluants M_{gas} (g/essai) est déterminée en calculant les émissions massiques instantanées à partir des concentrations brutes de polluants, des valeurs u du tableau 6 (voir aussi le paragraphe 1.3.4) et du débit massique de gaz d'échappement, avec alignement pour tenir compte du temps de transformation et intégration des valeurs instantanées sur la durée du cycle. Il est préférable de mesurer les concentrations sur une base humide. Si elles sont mesurées sur une base sèche, la correction pour le passage des conditions sèches aux conditions humides, décrite ci-dessous, est appliquée aux valeurs de concentration instantanée avant tout autre calcul.

Tableau 6

Valeurs du coefficient u – humide pour divers constituants des gaz d'échappement

Gaz	u	conc
NO _x	0,001587	ppm
CO	0,000966	ppm
HC	0,000479	ppm
CO ₂	15,19	%

La densité des HC est calculée sur la base d'un rapport moyen carbone/hydrogène de 1:1,85.

La formule suivante doit être appliquée:

$$M_{\text{gas}} = \sum_{i=1}^n u \cdot \text{conc}_i \cdot G_{\text{EXHW},i} \cdot \frac{1}{f} \quad (\text{en g/essai})$$

où:

u = rapport entre la densité du constituant des gaz d'échappement et la densité des gaz d'échappement

conc_i = concentration instantanée du constituant dans les gaz d'échappement bruts (en ppm)

G_{EXHW,i} = débit massique instantané des gaz d'échappement (en kg/s)

f = fréquence de collecte des données (en Hz)

n = nombre de mesures.

Pour le calcul des NO_x, le facteur de correction de l'humidité **k_H**, décrit ci-dessous, est utilisé.

Si elle n'est pas mesurée directement en conditions humides, la concentration instantanée doit être convertie en valeurs rapportées à des conditions humides comme décrit ci-dessous.

2.1.2.2 Correction pour le passage des conditions sèches aux conditions humides

Si la concentration instantanée est mesurée en conditions sèches, elle est convertie en valeurs rapportées à des conditions humides en appliquant les formules suivantes:

$$\text{conc}_{\text{hum}} = K_W \cdot \text{conc}_{\text{sec}}$$

où:

$$K_{W,r} = \left(\frac{1}{1 + 1,88 \cdot 0,005 \cdot (\text{conc}_{\text{CO}} + \text{conc}_{\text{CO}_2})} \right) - K_{W2}$$

où:

$$K_{W2} = \frac{1,608 \cdot H_a}{1\,000 + (1,608 \cdot H_a)}$$

où:

$\text{conc}_{\text{CO}_2}$ = concentration de CO_2 en conditions sèches (en %)

conc_{CO} = concentration de CO en conditions sèches (en %)

H_a = humidité de l'air d'admission (en g d'eau par kg d'air sec)

$$H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

où:

R_a = humidité relative de l'air d'admission (en %)

p_a = pression de vapeur saturante de l'air d'admission (en kPa)

p_B = pression barométrique totale (en kPa).

Note: H_a peut être déterminée à partir de la mesure de l'humidité relative, comme décrit ci-dessus, ou à partir de la mesure du point de rosée, de la mesure de la pression de vapeur ou de la mesure par psychromètre à l'aide des formules communément acceptées.

2.1.2.3 Correction des émissions de NO_x pour l'humidité et la température

Étant donné que les émissions de NO_x dépendent des conditions atmosphériques ambiantes, la concentration de NO_x doit être corrigée en fonction de l'humidité et de la température de l'air ambiant en appliquant les facteurs donnés par la formule suivante:

$$k_H = \frac{1}{1 - 0,0182 \cdot (H_a - 10,71) + 0,0045 \cdot (T_a - 298)}$$

où:

T_a = température de l'air d'admission (en K)

H_a = humidité de l'air d'admission (en g d'eau par kg d'air sec)

$$H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

où:

R_a = humidité relative de l'air d'admission (en %)

p_a = pression de vapeur saturante de l'air d'admission (en kPa)

p_B = pression barométrique totale (en kPa).

Note: H_a peut être déterminée à partir de la mesure de l'humidité relative, comme décrit ci-dessus, ou à partir de la mesure du point de rosée, de la mesure de la pression de vapeur ou de la mesure par psychromètre à l'aide des formules communément acceptées.

2.1.2.4 Calcul des émissions spécifiques

Les émissions spécifiques (g/kWh) sont calculées comme suit pour chaque constituant individuel:

$$\text{Gaz individuel} = \frac{(1/10)M_{\text{gaz,froid}} + (9/10)M_{\text{gaz,chaud}}}{(1/10)M_{\text{eff,froid}} + (9/10)M_{\text{eff,chaud}}}$$

où:

$M_{\text{gaz,froid}}$ = masse totale des gaz polluants sur la durée du cycle de démarrage à froid (en g)

$M_{\text{gaz,chaud}}$ = masse totale des gaz polluants sur la durée du cycle de démarrage à chaud (en g)

$W_{\text{eff,froid}}$ = travail du cycle sur la durée du cycle de démarrage à froid, tel qu'il est déterminé à l'annexe 4A, paragraphe 4.6.2 (kWh)

$W_{\text{eff,chaud}}$ = travail réel du cycle sur la durée du cycle de démarrage à chaud, tel qu'il est déterminé à l'annexe 4A, paragraphe 4.6.2 (kWh).

2.1.3 Mesure des émissions de particules

2.1.3.1 Calcul des émissions massiques

Les masses de particules $M_{\text{PT,froid}}$ et $M_{\text{PT,chaud}}$ (g/essai) doivent être calculées selon l'une ou l'autre des méthodes suivantes:

$$\text{a) } M_{\text{PT}} = \frac{M_f}{M_{\text{SAM}}} \cdot \frac{M_{\text{EDFW}}}{1\,000}$$

où:

M_{PT} = $M_{\text{PT,froid}}$ pour le cycle de démarrage à froid

M_{PT} = $M_{\text{PT,chaud}}$ pour le cycle de démarrage à chaud

M_f = masse de particules prélevée sur la durée du cycle (en mg)

M_{EDFW} = masse d'équivalent de gaz d'échappement dilués sur la durée du cycle (en kg)

M_{SAM} = masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres à particules (en kg).

La masse totale d'équivalent de gaz d'échappement dilués sur la durée du cycle est déterminée comme suit:

$$M_{\text{EDFW}} = \sum_{i=1}^n G_{\text{EDFW},i} \cdot \frac{1}{f}$$

$$G_{\text{EDFW},i} = G_{\text{EXHW},i} \cdot q_i$$

$$q_i = \frac{G_{\text{TOTW},i}}{(G_{\text{TOTW},i} \cdot G_{\text{DILW},i})}$$

où:

$G_{\text{EDFW},i}$ = débit massique instantané d'équivalent de gaz d'échappement dilués (en kg/s)

$G_{EXHW,i}$	=	débit massique instantané de gaz d'échappement (en kg/s)
q_i	=	taux de dilution instantané
$G_{TOTW,i}$	=	débit massique instantané de gaz d'échappement dilués dans le tunnel de dilution (en kg/s)
$G_{DILW,i}$	=	débit massique instantané d'air de dilution (en kg/s)
f	=	fréquence de collecte des données (en Hz)
n	=	nombre de mesures.

$$b) \quad M_{PT} = \frac{M_f}{r_s \cdot 1\,000}$$

où:

M_{PT}	=	$M_{PT, \text{froid}}$ pour le cycle de démarrage à froid
M_{PT}	=	$M_{PT, \text{chaud}}$ pour le cycle de démarrage à chaud
M_f	=	masse de particules prélevée sur la durée du cycle (en mg)
r_s	=	rapport de prélèvement moyen sur la durée du cycle d'essai

où:

$$r_s = \frac{M_{SE}}{M_{EXHW}} \cdot \frac{M_{SAM}}{M_{TOTW}}$$

M_{SE}	=	masse de gaz d'échappement prélevée sur la durée du cycle (en kg)
M_{EXHW}	=	débit massique total de gaz d'échappement sur la durée du cycle (en kg)
M_{SAM}	=	masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres à particules (en kg)
M_{TOTW}	=	masse de gaz d'échappement dilués passant dans le tunnel de dilution (en kg).

Note: Dans le cas d'un système de prélèvement total, M_{SAM} et M_{TOTW} sont identiques.

2.1.3.2 Correction des émissions de particules pour l'humidité

Étant donné que les émissions de particules des moteurs diesel dépendent des conditions atmosphériques ambiantes, la concentration de particules doit être corrigée en fonction de l'humidité de l'air ambiant en appliquant le facteur K_p donné par la formule suivante:

$$k_p = \frac{1}{(1 + 0,0133 \cdot (H_a - 10,71))}$$

où

H_a = humidité de l'air d'admission, en grammes d'eau par kilo d'air sec

$$H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot P_a}{P_B - P_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

où:

R_a = humidité relative de l'air d'admission (en %)

p_a = pression de vapeur saturante de l'air d'admission (en kPa)

p_B = pression barométrique totale (en kPa).

Note: H_a peut être déterminée à partir de la mesure de l'humidité relative, comme décrit ci-dessus, ou à partir de la mesure du point de rosée, de la mesure de la pression de vapeur ou de la mesure par psychromètre à l'aide des formules communément acceptées.

2.1.3.3 Calcul des émissions spécifiques

Les émissions spécifiques (g/kWh) sont calculées de la manière suivante:

$$PT = \frac{(1/10)K_{p,froid} \cdot M_{PT,froid} + (9/10)K_{p,chaud} \cdot M_{PT,chaud}}{(1/10)W_{eff,froid} + (9/10)W_{eff,chaud}}$$

où:

$M_{PT,froid}$ = masse de particules sur la durée du cycle de démarrage à froid (en g/essai)

$M_{PT,chaud}$ = masse de particules sur la durée du cycle de démarrage à chaud (en g/essai)

$K_{p,froid}$ = facteur de correction de l'humidité pour les particules sur la durée du cycle de démarrage à froid

$K_{p,chaud}$ = facteur de correction de l'humidité pour les particules sur la durée du cycle de démarrage à chaud

$W_{eff,froid}$ = travail du cycle effectif sur la durée du cycle de démarrage à froid, tel qu'il est déterminé à l'annexe 4A, paragraphe 4.6.2. (kWh)

$W_{eff,chaud}$ = travail du cycle effectif sur la durée du cycle de démarrage à chaud, tel qu'il est déterminé à l'annexe 4A, paragraphe 4.6.2 (kWh).

2.2 Détermination des émissions de constituants gazeux et de particules au moyen d'un système de dilution en circuit principal

Pour calculer les émissions dans les gaz d'échappement dilués, il faut connaître le débit massique de ces gaz. Le débit total de gaz d'échappement dilués sur la durée du cycle M_{TOTW} (kg/essai) est calculé à partir des valeurs de mesure collectées durant le cycle et des données d'étalonnage correspondantes du débitmètre (V_0 pour la PDP, K_v pour le CFV, C_d pour le SSV) par l'une des méthodes décrites au paragraphe 2.2.1. Si la masse totale de l'échantillon de particules (M_{SAM})

et de polluants gazeux dépasse 0,5 % du débit total du système CVS (M_{TOTW}), le débit du système CVS doit être corrigé pour tenir compte de M_{SAM} , ou le débit de l'échantillon de particules doit être renvoyé au système CVS avant le débitmètre.

2.2.1 Détermination du débit de gaz d'échappement dilués

Système PDP-CVS

Si la température des gaz d'échappement dilués est maintenue dans une limite de ± 6 K durant tout le cycle au moyen d'un échangeur de chaleur, le débit massique durant le cycle est calculé comme suit:

$$M_{TOTW} = 1,293 \cdot V_0 \cdot N_P \cdot (p_B - p_1) \cdot 273 / (101,3 \cdot T)$$

où:

M_{TOTW}	=	masse de gaz d'échappement dilués en conditions humides durant le cycle
V_0	=	volume de gaz pompé par tour dans les conditions d'essai (en m ³ /tr)
N_P	=	nombre total de tours de la pompe par essai
p_B	=	pression atmosphérique dans la chambre d'essai (en kPa)
p_1	=	dépression sous la pression atmosphérique à l'orifice d'aspiration de la pompe (en kPa)
T	=	température moyenne des gaz d'échappement dilués à l'orifice d'aspiration de la pompe durant le cycle (en K).

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

$$M_{TOTW,i} = 1,293 \cdot V_0 \cdot N_{P,i} \cdot (p_B - p_1) \cdot 273 / (101,3 \cdot T)$$

où:

$N_{P,i}$	=	nombre total de tours de la pompe par intervalle de temps
-----------	---	---

Système CFV-CVS

Si la température des gaz d'échappement dilués est maintenue dans une limite de ± 11 K durant tout le cycle à l'aide d'un échangeur de chaleur, le débit massique durant le cycle est calculé comme suit:

$$M_{TOTW} = 1,293 \cdot t \cdot K_V \cdot p_A / T^{0,5}$$

où:

M_{TOTW}	=	masse de gaz d'échappement dilués en conditions humides durant le cycle
t	=	durée du cycle (en s)
K_V	=	coefficient d'étalonnage du venturi à écoulement critique dans des conditions normalisées
p_A	=	pression absolue à l'entrée du venturi (en kPa)
T	=	température absolue à l'entrée du venturi (en K).

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

$$M_{TOTW,i} = 1,293 \cdot \Delta t_i \cdot K_V \cdot p_A / T^{0,5}$$

où:

Δt_i = intervalle de temps (en s).

Système SSV-CVS

Si la température des gaz d'échappement dilués est maintenue dans une limite de ± 11 K durant tout le cycle à l'aide d'un échangeur de chaleur, le débit massique durant le cycle est calculé comme suit:

$$M_{TOTW} = 1,293 \cdot Q_{SSV} \cdot \Delta t$$

où:

$$Q_{SSV} = A_0 d^2 C_d P_A \sqrt{\left[\frac{1}{T} (r^{1,4286} - r^{1,7143}) \cdot \left(\frac{1}{1 - \beta^4 r^{1,4286}} \right) \right]}$$

A_0 = série de constantes et de conversions d'unités

$$= 0,006111 \text{ en unités SI } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right) \left(\frac{\text{K}^{\frac{1}{2}}}{\text{kPa}} \right) \left(\frac{1}{\text{mm}^2} \right)$$

d = diamètre du col du SSV (en m)

C_d = coefficient de décharge du SSV

p_A = pression absolue à l'entrée du venturi (en kPa)

T = température à l'entrée du venturi (en K)

r = rapport entre la pression statique au col et à l'entrée du

$$1 - \frac{\Delta P}{P_a}$$

β = Rapport entre le diamètre d du col du SSV et le diamètre intérieur du tuyau d'admission = $\frac{d}{D}$.

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

$$M_{TOTW,i} = 1,293 \cdot Q_{SSV} \cdot \Delta t_i$$

où:

$$Q_{SSV} = A_0 d^2 C_d P_A \sqrt{\left[\frac{1}{T} (r^{1,4286} - r^{1,7143}) \cdot \left(\frac{1}{1 - \beta^4 r^{1,4286}} \right) \right]}$$

Δt_i = intervalle de temps (en s)

Le calcul en temps réel est lancé soit avec une valeur raisonnable de C_d , telle que 0,98, soit avec une valeur raisonnable de Q_{SSV} . Si le calcul est lancé avec Q_{SSV} , la valeur initiale de Q_{SSV} est utilisée pour évaluer Re .

Lors de tous les essais d'émissions, le nombre de Reynolds au col du SSV doit être proche des nombres de Reynolds utilisés pour établir la courbe d'étalonnage conformément à l'appendice 2, paragraphe 3.2.

2.2.2 Correction des émissions de NO_x pour l'humidité

Étant donné que les émissions de NO_x dépendent des conditions atmosphériques ambiantes, la concentration de NO_x doit être corrigée en fonction de l'humidité de l'air ambiant en appliquant les facteurs donnés par les formules suivantes.

$$k_H = \frac{1}{1 - 0,0182 \cdot (H_a - 10,71) + 0,0045 \cdot (T_a - 298)}$$

où:

T_a = température de l'air (en K)

H_a = humidité de l'air d'admission, en grammes d'eau par kg d'air sec

$$H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

où

R_a = humidité relative de l'air d'admission (en %)

p_a = pression de vapeur saturante de l'air d'admission (en kPa)

p_B = pression barométrique totale (en kPa).

Note: H_a peut être déterminée à partir de la mesure de l'humidité relative, comme décrit ci-dessus, ou à partir de la mesure du point de rosée, de la mesure de la pression de vapeur ou de la mesure par psychromètre à l'aide des formules communément acceptées.

2.2.3 Calcul du débit massique des émissions

2.2.3.1 Systèmes à débit massique constant

Dans le cas des systèmes équipés d'un échangeur de chaleur, la masse des polluants M_{GAS} (g/test) est calculée au moyen de l'équation suivante:

$$M_{gas} = u \cdot conc \cdot M_{TOTW}$$

où:

u = rapport entre la densité du constituant des gaz d'échappement et la densité des gaz d'échappement dilués, comme indiqué au tableau 6, paragraphe 2.1.2.1

$conc$ = concentrations moyennes corrigées des concentrations ambiantes sur la durée du cycle obtenues par intégration (obligatoire pour les NO_x et les HC) ou par mesure en sacs (en ppm)

M_{TOTW} = masse totale de gaz d'échappement dilués sur la durée du cycle telle qu'elle est déterminée au paragraphe 2.2.1 (en kg).

Étant donné que les émissions de NO_x dépendent des conditions atmosphériques ambiantes, la concentration de NO_x doit être corrigée en fonction de l'humidité de l'air ambiant en appliquant le facteur k_H , comme décrit au paragraphe 2.2.2.

Les concentrations mesurées en conditions sèches doivent être converties en valeurs rapportées à des conditions humides conformément au paragraphe 1.3.2.

2.2.3.1.1 Détermination des concentrations corrigées des concentrations ambiantes

La concentration ambiante moyenne de gaz polluants dans l'air de dilution doit être soustraite des concentrations mesurées afin d'obtenir les concentrations nettes de polluants. Les valeurs moyennes de concentrations ambiantes peuvent être mesurées à l'aide de la méthode des sacs de collecte ou par mesure continue avec intégration. La formule suivante est utilisée:

$$conc = conc_e - conc_d \cdot (1 - (1 / DF))$$

où

$conc$ = concentration du polluant respectif dans les gaz d'échappement dilués, corrigée de la quantité de polluant respectif contenue dans l'air de dilution

$conc_e$ = concentration du polluant respectif mesurée dans les gaz d'échappement dilués (en ppm)

$conc_d$ = concentration du polluant respectif mesurée dans l'air de dilution (en ppm)

DF = taux de dilution.

Le taux de dilution est calculé comme suit:

$$DF = \frac{13,4}{conc_{eCO_2} + (conc_{eHC} + conc_{eCO}) \cdot 10^{-4}}$$

2.2.3.2 Systèmes à compensation de débit

Lorsque le système n'est pas équipé d'un échangeur de chaleur, la masse des polluants M_{GAS} (g/essai) est déterminée en calculant les émissions massiques instantanées et en intégrant les valeurs instantanées sur toute la durée du cycle. En outre, la correction pour tenir compte de la concentration ambiante est appliquée directement à la valeur instantanée de concentration. Les formules suivantes sont appliquées:

$$M_{GAS} = \sum_{i=1}^n \left(M_{TOTW,i} \cdot \text{conc}_{e,i} \cdot u \right) - \left(M_{TOTW} \cdot \text{conc}_d \cdot \left(1 - \frac{1}{DF} \right) \cdot u \right)$$

où:

$\text{conc}_{e,i}$ = concentration instantanée du polluant respectif mesurée dans les gaz d'échappement dilués (en ppm)

conc_d = concentration du polluant respectif mesurée dans l'air de dilution (en ppm)

u = rapport entre la densité du constituant des gaz d'échappement et la densité des gaz d'échappement dilués, comme indiqué au tableau 4, paragraphe 2.1.2.1

$M_{TOTW,i}$ = masse instantanée de gaz d'échappement dilués (par. 2.2.1) (en kg)

M_{TOTW} = masse totale de gaz d'échappement dilués sur la durée du cycle (par. 2.2.1) (en kg)

DF = taux de dilution tel qu'il est déterminé au paragraphe 2.2.3.1.1.

Étant donné que les émissions de NO_x dépendent des conditions atmosphériques ambiantes, la concentration de NO_x doit être corrigée en fonction de l'humidité de l'air ambiant en appliquant le facteur k_H , comme décrit au paragraphe 2.2.2.

2.2.4 Calcul des émissions spécifiques

Les émissions spécifiques (g/kWh) sont calculées comme suit pour chaque constituant individuel:

$$\text{Gaz individuel} = \frac{(1/10)M_{\text{gaz,froid}} + (9/10)M_{\text{gaz,chaud}}}{(1/10)M_{\text{eff,froid}} + (9/10)M_{\text{eff,chaud}}}$$

où:

$M_{\text{gaz,froid}}$ = masse totale des gaz polluants sur la durée du cycle de démarrage à froid (en g)

$M_{\text{gaz,chaud}}$ = masse totale des gaz polluants sur la durée du cycle de démarrage à chaud (en g)

$W_{\text{eff,froid}}$ = travail du cycle effectif sur la durée du cycle de démarrage à froid, tel qu'il est déterminé à l'annexe 4A, paragraphe 4.6.2 (kWh)

$W_{\text{eff,chaud}}$ = travail du cycle effectif sur la durée du cycle de démarrage à chaud, tel qu'il est déterminé à l'annexe 4A, paragraphe 4.6.2 (kWh).

2.2.5 Calcul des émissions de particules

2.2.5.1 Calcul du débit massique

Les masses de particules $M_{PT,froid}$ et $M_{PT,chaud}$ (g/essai) sont calculées comme suit:

$$M_{PT} = \frac{M_f}{M_{SAM}} \cdot \frac{M_{TOTW}}{1000}$$

où:

- M_{PT} = $M_{PT,froid}$ pour le cycle de démarrage à froid
 M_{PT} = $M_{PT,chaud}$ pour le cycle de démarrage à chaud
 M_f = masse de particules prélevée sur la durée du cycle (en mg)
 M_{TOTW} = masse totale de gaz d'échappement dilués sur la durée du cycle telle qu'elle est déterminée au paragraphe 2.2.1 (en kg)
 M_{SAM} = masse de gaz d'échappement dilués prélevée dans le tunnel de dilution pour la collecte des particules (en kg)

et

- M_f = $M_{f,p} + M_{f,b}$, si ces masses sont pesées séparément (en mg)
 $M_{f,p}$ = masse de particules collectée sur le filtre primaire (en mg)
 $M_{f,b}$ = masse de particules collectée sur le filtre secondaire (en mg).

Si un système à double dilution est utilisé, la masse d'air de dilution secondaire doit être déduite de la masse totale de gaz d'échappement doublement dilués qui a été prélevée au travers des filtres à particules.

$$M_{SAM} = M_{TOT} - M_{SEC}$$

où:

- M_{TOT} = masse de gaz d'échappement doublement dilués qui traverse le filtre à particules (en kg)
 M_{SEC} = masse d'air de dilution secondaire (en kg).

Si la concentration ambiante de particules dans l'air de dilution est déterminée conformément au paragraphe 4.4.4 de l'annexe 4A, la masse de particules peut être corrigée pour tenir compte de la concentration ambiante. Dans ce cas, les masses de particules $M_{PT,froid}$ et $M_{PT,chaud}$ (g/test) sont calculées comme suit:

$$M_{PT} = \left(\frac{M_f}{M_{SAM}} - \left(\frac{M_d}{M_{DIL}} \cdot \left(1 - \frac{1}{DF} \right) \right) \right) \cdot \frac{M_{TOTW}}{1000}$$

où:

- M_{PT} = $M_{PT,froid}$ pour le cycle de démarrage à froid
 M_{PT} = $M_{PT,chaud}$ pour le cycle de démarrage à chaud
 M_f, M_{SAM}, M_{TOTW} = voir ci-dessus
 M_{DIL} = masse d'air de dilution primaire prélevée par le système de prélèvement des particules ambiantes dans l'air de dilution (en kg)
 M_d = masse de particules ambiantes collectées dans l'air de dilution primaire (en mg)
 DF = facteur de dilution tel qu'il est déterminé au paragraphe 2.2.3.1.1.

2.2.5.2 Correction des émissions de particules pour l'humidité

Étant donné que les émissions de particules des moteurs diesel dépendent des conditions atmosphériques ambiantes, la concentration de particules doit être corrigée en fonction de l'humidité de l'air ambiant en appliquant le facteur K_p donné par la formule suivante:

$$K_p = \frac{1}{(1 + 0,0133 \cdot (H_a - 10,71))}$$

où:

H_a = humidité de l'air d'admission, en g d'eau par kg d'air sec

$$H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot P_a}{P_B - P_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

où:

R_a = humidité relative de l'air d'admission
(en pourcentage)

p_a = pression de vapeur saturante de l'air
d'admission (en kPa)

p_B = pression barométrique totale (en kPa).

Note: H_a peut être déterminée à partir de la mesure de l'humidité relative, comme décrit ci-dessus, ou à partir de la mesure du point de rosée, de la mesure de la pression de vapeur ou de la mesure par psychromètre à l'aide des formules communément acceptées.

2.2.5.3 Calcul des émissions spécifiques

Les émissions spécifiques (g/kWh) sont calculées de la manière suivante:

$$PT = \frac{(1/10)K_{p,froid} \cdot M_{PT,froid} + (9/10)K_{p,chaud} \cdot M_{PT,chaud}}{(1/10)W_{eff,froid} + (9/10)W_{eff,chaud}}$$

où:

$M_{PT,froid}$ = masse de particules sur la durée du cycle de démarrage
à froid (en g/essai)

$M_{PT,chaud}$ = masse de particules sur la durée du cycle de démarrage
à chaud (en g/essai)

$K_{p,froid}$ = facteur de correction de l'humidité pour les particules
sur la durée du cycle de démarrage à froid

$K_{p,chaud}$ = facteur de correction de l'humidité pour les
particules sur la durée du cycle de démarrage à chaud

$W_{eff,froid}$ = travail du cycle effectif sur la durée du cycle de
démarrage à froid, tel qu'il est déterminé à l'annexe 4A,
paragraphe 4.6.2 (kWh)

$W_{eff,chaud}$ = travail du cycle effectif sur la durée du cycle de
démarrage à chaud, tel qu'il est déterminé à
l'annexe 4A, paragraphe 4.6.2 (kWh).

Annexe 4A

Appendice 4

Système d'analyse et de prélèvement

1. Systèmes de prélèvement des gaz et de collecte des particules

Figure	Description
2	Système d'analyse des gaz d'échappement bruts
3	Système d'analyse des gaz d'échappement dilués
4	Circuit partiel, débit isocinétique, réglage par l'aspirateur, prélèvement fractionné
5	Circuit partiel, débit isocinétique, réglage par la soufflante, prélèvement fractionné
6	Circuit partiel, mesure du CO ₂ ou des NO _x , prélèvement fractionné
7	Circuit partiel, mesure du CO ₂ ou équivalence en carbone, prélèvement total
8	Circuit partiel, venturi simple et mesure des concentrations, prélèvement fractionné
9	Circuit partiel, venturi double ou orifice double et mesure des concentrations, prélèvement fractionné
10	Circuit partiel, séparation par tubes multiples et mesure des concentrations, prélèvement fractionné
11	Circuit partiel, réglage du débit, prélèvement total
12	Circuit partiel, réglage du débit, prélèvement fractionné
13	Circuit principal, pompe volumétrique ou venturi-tuyère en régime critique, prélèvement fractionné
14	Système de prélèvement des particules
15	Système de dilution en circuit principal

1.1 Détermination des émissions gazeuses

Le paragraphe 1.1.1 et les figures 2 et 3 décrivent en détail les systèmes de prélèvement et d'analyse recommandés. Différentes configurations pouvant donner les mêmes résultats, il n'est pas nécessaire de se conformer rigoureusement aux schémas. On peut utiliser des éléments complémentaires tels qu'instruments, robinets, solénoïdes, pompes et commutateurs, pour obtenir d'autres renseignements et coordonner les fonctions des divers systèmes constituant l'ensemble. D'autres éléments non indispensables pour assurer la précision de certains systèmes peuvent être éliminés à condition que la décision repose sur un jugement fondé sur les pratiques techniques reconnues.

1.1.1 Composantes CO, CO₂, HC et NO_x des gaz d'échappement

Le système d'analyse servant à déterminer la composante gazeuse des gaz d'échappement bruts ou dilués comprend les éléments suivants:

- Un analyseur HFID pour la mesure des hydrocarbures;
- Des analyseurs NDIR pour la mesure du monoxyde de carbone et du dioxyde de carbone;
- Un détecteur HCLD ou l'équivalent pour la mesure des oxydes d'azote.

Pour les gaz d'échappement bruts (fig. 2), l'échantillon pour toutes les composantes peut être prélevé au moyen d'une seule sonde ou de deux sondes proches l'une de l'autre et comportant des bifurcations internes menant aux différents analyseurs. Il faut veiller à ce qu'aucune des composantes des gaz d'échappement (notamment l'eau et l'acide sulfurique) ne se condense en un point quelconque du système d'analyse.

Pour les gaz d'échappement dilués (fig. 3), l'échantillon pour la mesure des hydrocarbures ne doit pas être prélevé avec la même sonde que celle utilisée pour les autres composantes. Il faut veiller là aussi à ce qu'aucune des composantes des gaz d'échappement (notamment l'eau et l'acide sulfurique) ne se condense en un point quelconque du système d'analyse.

Figure 2

Schéma du système d'analyse des gaz d'échappement pour la mesure des CO, NO_x et HC

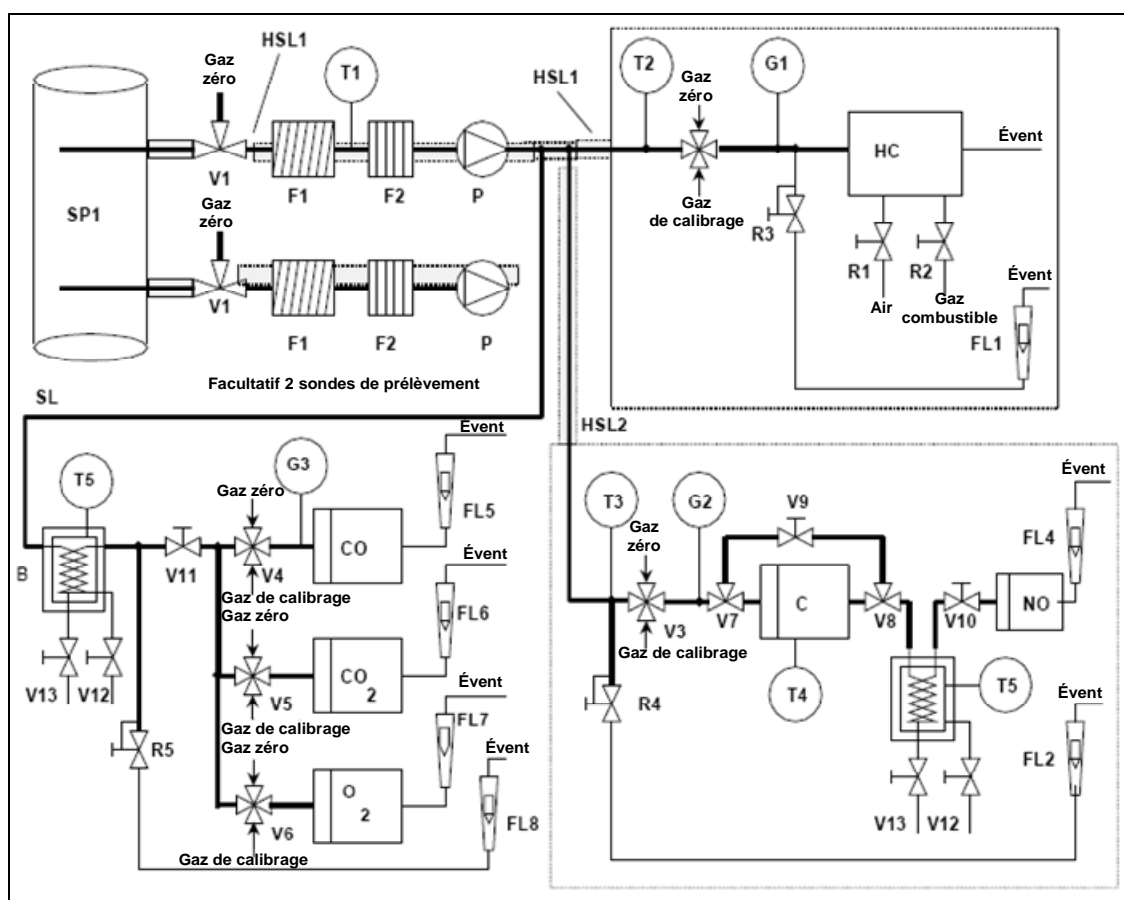
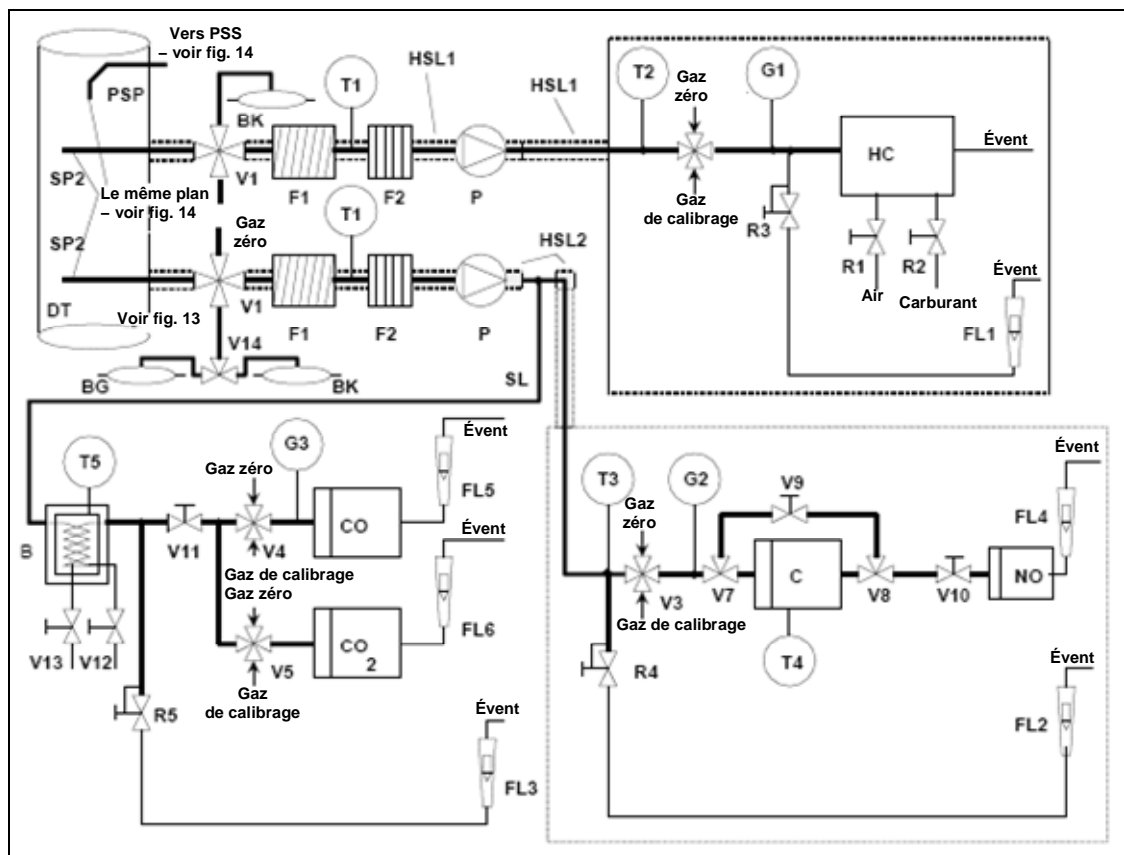


Figure 3

Schéma du système d'analyse des gaz d'échappement dilués pour la mesure des CO, CO₂, NO_x et HC

Descriptions – Figures 2 et 3

Indication générale:

Tous les éléments situés sur le circuit de prélèvement des gaz doivent être maintenus à la température indiquée pour chacun des systèmes.

- Sonde SP1 pour les gaz d'échappement bruts (fig. 2 seulement)

Il est recommandé d'utiliser une sonde statique en acier inoxydable, fermée au bout et comportant **plusieurs orifices**. Son diamètre intérieur ne doit pas dépasser celui de la conduite de prélèvement. L'épaisseur de la paroi de la sonde doit être au maximum de 1 mm. Elle doit comporter au minimum trois orifices dans trois plans radiaux différents, dont les dimensions permettent de prélever approximativement le même volume. La sonde doit s'étendre sur 80 % au moins du diamètre du tuyau d'échappement.

- Sonde SP2 pour l'analyse des HC dans les gaz d'échappement dilués (fig. 3 seulement)

La sonde:

- est, par définition, constituée par la première section de 254 à 762 mm de la conduite de prélèvement des hydrocarbures (HSL3);
- doit avoir un diamètre intérieur d'au moins 5 mm;

- doit être montée dans le tunnel de dilution DT (par. 1.2.1.2) à un point où l'air de dilution et les gaz d'échappement sont bien mélangés (c'est-à-dire à une distance d'environ 10 fois le diamètre du tunnel en aval du point où les gaz d'échappement pénètrent dans le tunnel);
- doit être suffisamment éloignée (distance radiale) des autres sondes et de la paroi du tunnel pour ne pas subir l'influence de remous ou de tourbillons;
- doit être chauffée, afin que la température des gaz atteigne 463 K (190 °C) \pm 10 K à la sortie de la sonde.
- Sonde SP3 pour l'analyse des CO, CO₂ et NO_x des gaz d'échappement dilués (fig. 3 seulement)

La sonde:

- doit être dans le même plan que SP2;
- doit être suffisamment éloignée (distance radiale) des autres sondes et de la paroi du tunnel pour ne pas subir l'influence de remous ou de tourbillons;
- doit être isolée et chauffée sur toute sa longueur, à une température minimale de 328 K (55 °C) afin d'empêcher la condensation de l'eau.
- Conduite de prélèvement chauffée HSL1

Au moyen d'une seule sonde, la conduite envoie des échantillons de gaz en direction des points de bifurcation et de l'analyseur des HC.

La conduite doit:

- avoir un diamètre intérieur de 5 mm au minimum et de 13,5 mm au maximum;
- être en acier inoxydable ou en PTFE;
- maintenir la température de la paroi à 463 K (190 °C) \pm 10 K au cas où la température des gaz d'échappement au niveau de la sonde serait égale ou inférieure à 463 K (190 °C); la température est mesurée sur chacune des sections chauffées pouvant être contrôlées séparément;
- maintenir la température de la paroi à 453 K (180 °C) au cas où la température des gaz d'échappement au niveau de la sonde serait supérieure à 463 K (190 °C);
- maintenir la température des gaz à 463 K (190 °C) \pm 10 K immédiatement en amont du filtre chauffé (F2) et du détecteur HFID.
- Conduite de prélèvement chauffée HSL2 pour NO_x

La conduite de prélèvement doit:

- maintenir la paroi à une température comprise entre 328 et 473 K (55 à 200 °C) jusqu'au convertisseur dans le cas où l'on utilise un refroidisseur et jusqu'à l'analyseur dans le cas contraire;
- être en acier inoxydable ou en PTFE.

Comme la conduite de prélèvement n'est chauffée que pour empêcher la condensation de l'eau et de l'acide sulfurique, sa température dépendra de la teneur du carburant en soufre.

- Conduite de prélèvement SL pour CO (CO₂)

La conduite est en acier inoxydable ou en PTFE. Elle peut être chauffée ou non.

- Sac de prélèvement pour les concentrations ambiantes BK (facultatif; fig. 3 seulement)

Ce sac sert à mesurer les concentrations ambiantes.

- Sac de prélèvement BG (facultatif; fig. 3, CO et CO₂ seulement)

Pour mesurer les concentrations dans les échantillons.

- Préfiltre chauffé F1 (facultatif)

La température doit être la même que pour la conduite HSL1.

- Filtre chauffé F2

Le filtre a pour fonction d'extraire toute particule solide de l'échantillon de gaz avant que celui-ci n'arrive à l'analyseur. La température doit être la même que celle de la conduite HSL1. Le filtre doit être changé selon les besoins.

- Pompe de prélèvement chauffée P

La pompe est chauffée à la température de la conduite HSL1.

- HC

Détecteur à ionisation de flamme chauffé (HFID) pour la détermination des hydrocarbures. La température doit être maintenue entre 453 et 473 K (180 à 200 °C).

- CO, CO₂

Analyseurs NDIR pour la détermination du monoxyde de carbone et du dioxyde de carbone.

- NO₂

Détecteur (H)CLD pour la détermination des oxydes d'azote. Si l'on utilise un détecteur HCLD, il doit être maintenu à une température comprise entre 328 et 473 K (55 à 200 °C).

- Convertisseur C

Un convertisseur est utilisé pour la réduction catalytique de NO₂ à NO avant l'analyse par le CLD ou le HCLD.

- Bain de refroidissement B

Pour refroidir et condenser l'eau contenue dans l'échantillon de gaz d'échappement. Le bain est maintenu à une température comprise entre 273 et 277 K (0 à 4 °C) au moyen de glace ou par réfrigération. Cet instrument est facultatif si l'analyseur ne contient aucune vapeur d'eau selon la définition donnée dans les paragraphes 1.9.1 et 1.9.2 de l'appendice 2 de l'annexe 4A.

L'élimination de l'eau dans l'échantillon ne doit pas se faire au moyen de dessiccatifs chimiques.

- Capteurs de température T1, T2 et T3

Pour relever la température des gaz.

- Capteur de température T4

Pour relever la température du convertisseur NO₂-NO.

- Capteur de température T5

Sert à relever la température du bain de refroidissement.

- Manomètres G1, G2, G3

Pour mesurer la pression à l'intérieur des conduites de prélèvement.

- Régulateurs de pression R1 et R2

Pour régler respectivement la pression de l'air et du carburant arrivant au HFID.

- Régulateurs de pression R3, R4 et R5

Pour régler la pression dans les conduites de prélèvement et le débit en direction des analyseurs.

- Débitmètres FL1, FL2 et FL3

Pour mesurer le débit de dérivation des gaz prélevés.

- Débitmètres FL4 à FL7 (facultatif)

Pour mesurer le débit dans les analyseurs.

- Robinets de sélection V1 à V6

Pour envoyer au choix dans l'analyseur l'échantillon prélevé, le gaz de calibrage ou le gaz zéro.

- Robinets électromagnétiques V7, V8

Pour contourner le convertisseur NO₂-NO.

- Robinet à pointeau V9

Pour équilibrer le débit entre le convertisseur NO₂-NO et la dérivation.

- Robinets à pointeau V10 et V11

Pour régler les débits en direction des analyseurs.

- Robinets de purge V12 et V13

Pour évacuer le condensat du bain B.

- Robinets de sélection V14

Pour choisir l'échantillon ou le sac de prélèvement pour les concentrations ambiantes.

1.2

Détermination des particules

Les paragraphes 1.2.1 et 1.2.2 et les figures 4 à 15 décrivent en détail les systèmes recommandés pour la dilution et les prélèvements. Différentes configurations pouvant donner les mêmes résultats, il n'est pas nécessaire de se conformer rigoureusement aux schémas. On peut utiliser des éléments complémentaires tels qu'instruments, robinets, solénoïdes, pompes et commutateurs pour obtenir d'autres renseignements et **coordonner** les fonctions des divers systèmes constituant l'ensemble. D'autres éléments qui ne sont pas indispensables pour assurer la précision de certains systèmes peuvent être éliminés à condition que la décision soit fondée sur des pratiques techniques reconnues.

1.2.1 Système de dilution

1.2.1.1 Système de dilution en circuit partiel (fig. 4 à 12)¹

Le système de dilution présenté fonctionne **sur le principe** de la dilution d'une partie du volume des gaz d'échappement. Le fractionnement de ce volume et l'opération de dilution qui y fait suite peuvent être effectués par différents systèmes. Pour la collecte ultérieure des particules, on peut faire passer à travers le système de prélèvement des particules (par. 1.2.2, fig. 14) soit le volume total des gaz d'échappement dilués, soit une fraction seulement, de celui-ci. La première méthode s'appelle un système de prélèvement total, la seconde un système de prélèvement partiel.

Le calcul du taux de dilution dépend du système utilisé.

Les différents systèmes recommandés sont les suivants:

- Systèmes isocinétiques (fig. 4 et 5)

Avec ces systèmes, le flux des gaz arrivant au tube de transfert doit avoir une vitesse et/ou une pression égales à celles de la masse totale des gaz d'échappement, ce qui exige un flux non perturbé et uniforme au niveau de la sonde. On y parvient généralement en utilisant un résonateur et un tube d'amenée rectiligne en amont du point de prélèvement. Le coefficient de fractionnement se calcule ensuite à partir de valeurs aisément mesurables comme les diamètres des tubes. Il est à noter que la méthode isocinétique n'est utilisée que pour égaliser les caractéristiques du débit et non pour égaliser la distribution des dimensions. En règle générale, cette dernière opération n'est pas nécessaire puisque les particules sont suffisamment fines pour suivre la ligne de courant des fluides.

- Systèmes avec réglage des débits et mesure des concentrations (fig. 6 à 10)

Avec ces systèmes, on prélève un échantillon de la masse totale des gaz en réglant le débit d'air de dilution et le débit total des gaz dilués. Le taux de dilution est déterminé d'après les concentrations de gaz traceurs, tels que CO₂ et NO_x, qui sont naturellement présents dans les gaz d'échappement de moteurs. On mesure les concentrations dans les gaz dilués et dans l'air de dilution, tandis que la concentration dans les gaz bruts peut soit être mesurée directement, soit déterminée à partir du débit du carburant et de l'équation du bilan carbone, à condition que l'on connaisse la composition du carburant. Les systèmes peuvent être réglés d'après le taux de dilution calculé (fig. 6 et 7) ou d'après le débit à l'intérieur du tube de transfert (fig. 8, 9 et 10).

- Systèmes avec réglage et mesure du débit (fig. 11 et 12)

Avec ces systèmes, on prélève un échantillon de la masse totale des gaz d'échappement en réglant le débit de l'air de dilution et le débit total des gaz dilués. Le taux de dilution est déterminé d'après la différence entre les deux débits. Cette méthode exige un étalonnage précis des débitmètres l'un par

¹ Les figures 4 à 12 montrent de nombreux types de systèmes de dilution en circuit partiel, qui peuvent normalement être utilisés pour l'essai en régime stationnaire (NRSC). Toutefois, en raison de contraintes très sévères des essais en transitoires, seuls les systèmes de dilution en circuit partiel (fig. 4 à 12) capables de remplir toutes les exigences mentionnées sous «Système de dilution en circuit partiel» à l'annexe 4A, appendice 1, sect. 2.4, sont acceptés pour l'essai transitoire (NRTC).

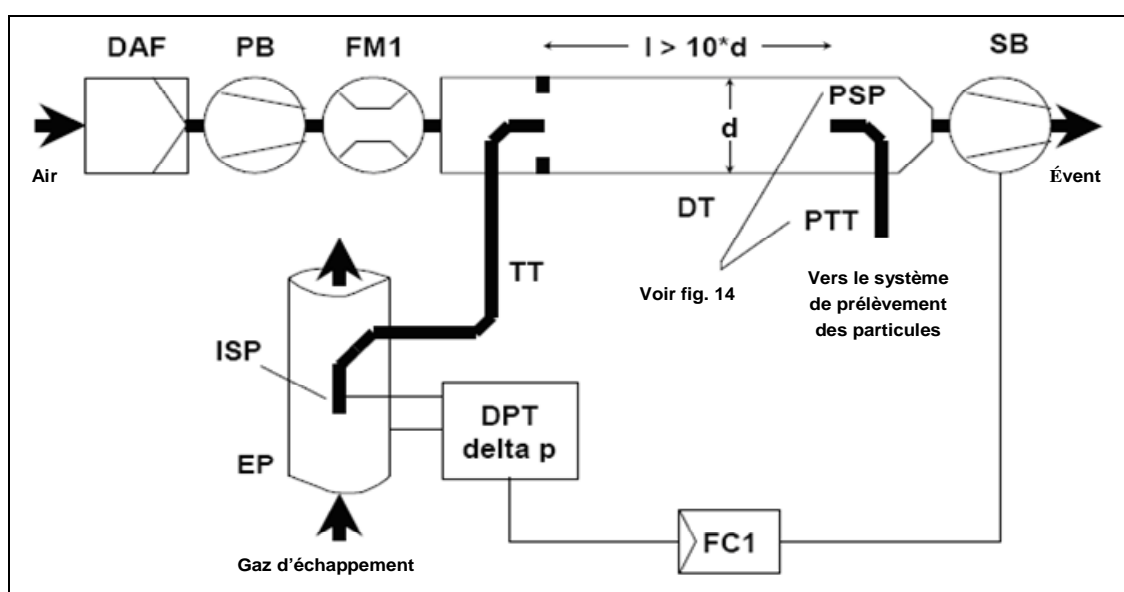
rapport à l'autre, l'importance relative des deux débits pouvant entraîner des erreurs considérables lorsque les **taux** de dilution sont élevés. On effectue très facilement le réglage **des débits** en maintenant constant le débit des gaz d'échappement dilués et en faisant varier, au besoin, le débit de l'air de dilution.

Pour pouvoir tirer parti des systèmes de dilution en circuit partiel, il faut éviter les problèmes que poserait la perte de particules dans le tube de transfert, veiller à obtenir un échantillon représentatif des gaz d'échappement du moteur, et déterminer le coefficient de fractionnement.

Les systèmes présentés ici tiennent compte de ces facteurs essentiels.

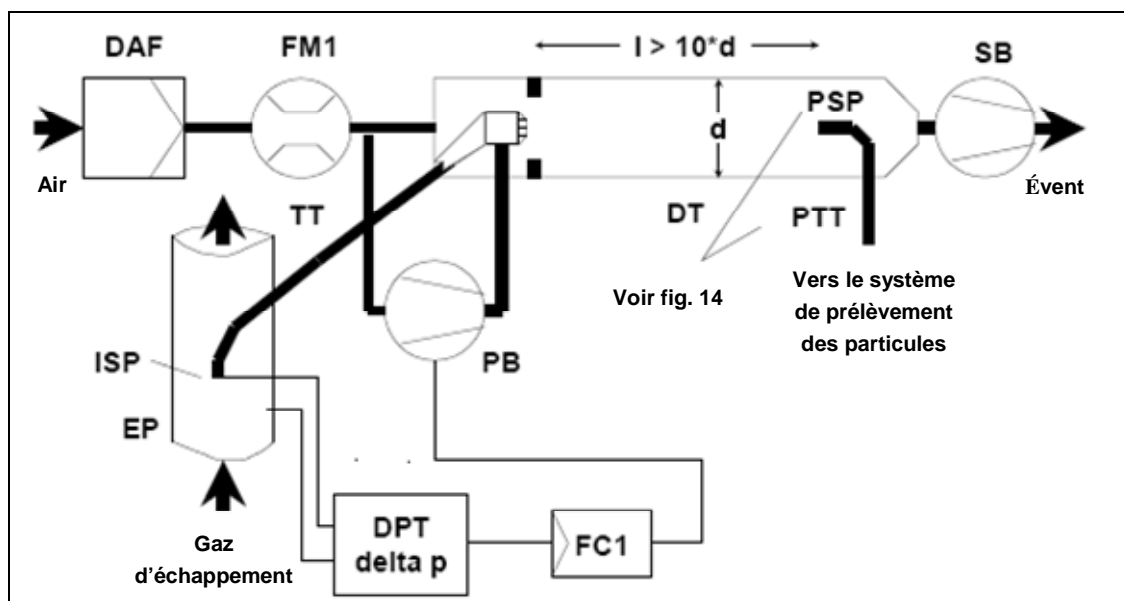
Figure 4

Système de dilution en circuit partiel avec sonde isocinétique et prélèvement fractionné (réglage par aspirateur SB)



Les gaz d'échappement bruts sont transférés du tuyau d'échappement EP au tunnel de dilution DT au moyen du tube de transfert TT et de la sonde isocinétique ISP. La différence de pression des gaz entre le tuyau d'échappement et l'entrée de la sonde est mesurée avec le transducteur DPT. Le signal est transmis au régulateur de débit FC1 commandant l'aspirateur SB, afin de maintenir une différence de pression nulle à la pointe de la sonde. Dans ces conditions, les vitesses des gaz en EP et ISP sont identiques et le débit à travers ISP et TT est une fraction constante de la masse totale des gaz. Le coefficient de fractionnement est déterminé d'après la surface des sections d'EP et d'ISP. Le débit de l'air de dilution est mesuré au moyen du débitmètre FM1. Le taux de dilution est calculé d'après le débit de l'air de dilution et le coefficient de fractionnement.

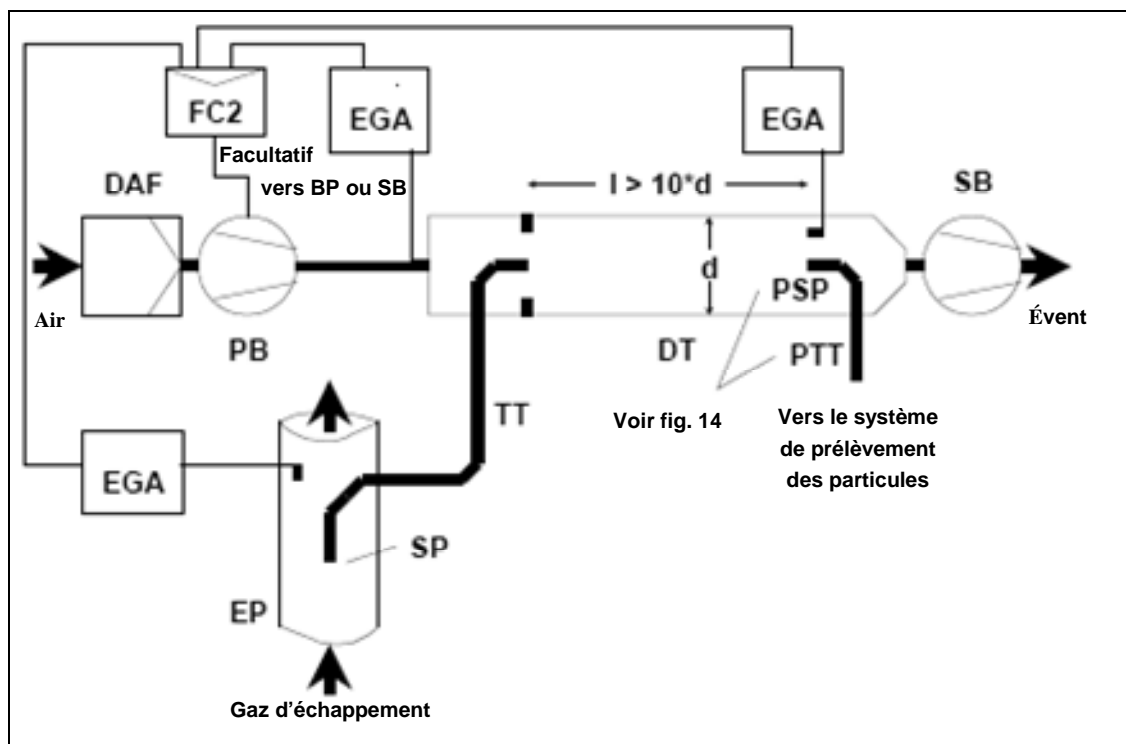
Figure 5
Système de dilution en circuit partiel avec sonde isocinétique et prélèvement fractionné
(réglage par soufflante PB)



Les gaz d'échappement bruts sont transférés du tuyau d'échappement EP au tunnel de dilution DT au moyen du tube de transfert TT et de la sonde isocinétique ISP. La différence de pression des gaz entre le tuyau d'échappement et l'entrée de la sonde est mesurée au moyen du transducteur DPT. Le signal est transmis au régulateur de débit FC1 commandant la soufflante PB, afin de maintenir une différence de pression nulle à la pointe de la sonde. On y parvient en prélevant une petite fraction de l'air de dilution dont le débit a déjà été mesuré avec le débitmètre FM1 et en l'amenant à travers TT au moyen d'un orifice pneumatique. Dans ces conditions, les vitesses des gaz d'échappement en EP et ISP sont identiques et le débit à travers ISP et TT est une fraction constante de la masse totale des gaz. Le coefficient de fractionnement est déterminé d'après la surface des sections d'EP et d'ISP. L'air de dilution est aspiré à travers DT par la soufflante SB et le débit est mesuré par FM1 à l'entrée de DT. Le taux de dilution est calculé d'après le débit de l'air de dilution et le coefficient de fractionnement.

Figure 6

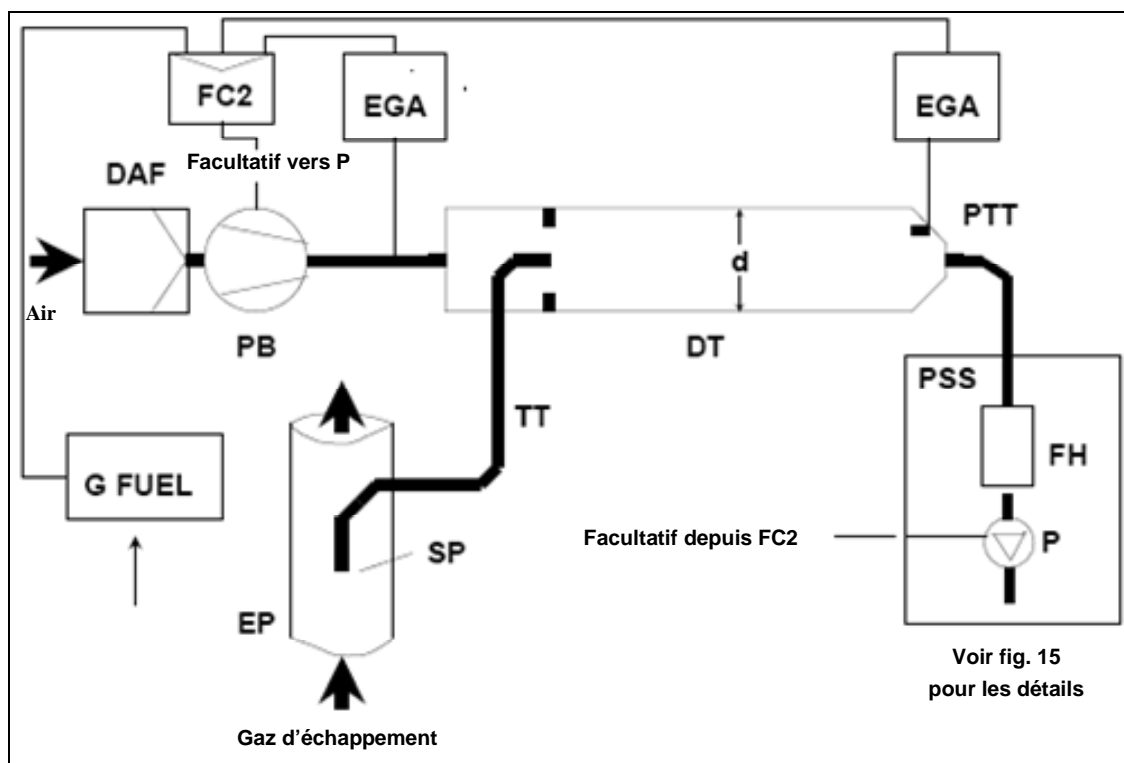
Système de dilution en circuit partiel avec mesure des concentrations de CO₂ ou NO_x et prélèvement fractionné



Les gaz d'échappement bruts sont transférés du tuyau d'échappement EP au tunnel de dilution DT au moyen de la sonde SP et du tube de transfert TT. Les concentrations de gaz traceurs (CO₂ ou NO_x) sont mesurées dans les gaz bruts et dilués, de même que dans l'air de dilution, au moyen d'un ou plusieurs analyseurs EGA. Les signaux sont transmis au régulateur de débit FC2 qui commande soit la soufflante PB, soit l'aspirateur SB, de façon à assurer dans DT le fractionnement des gaz d'échappement et le taux de dilution souhaités. Le taux de dilution est calculé d'après les concentrations de gaz traceurs dans les gaz bruts, les gaz dilués et l'air de dilution.

Figure 7

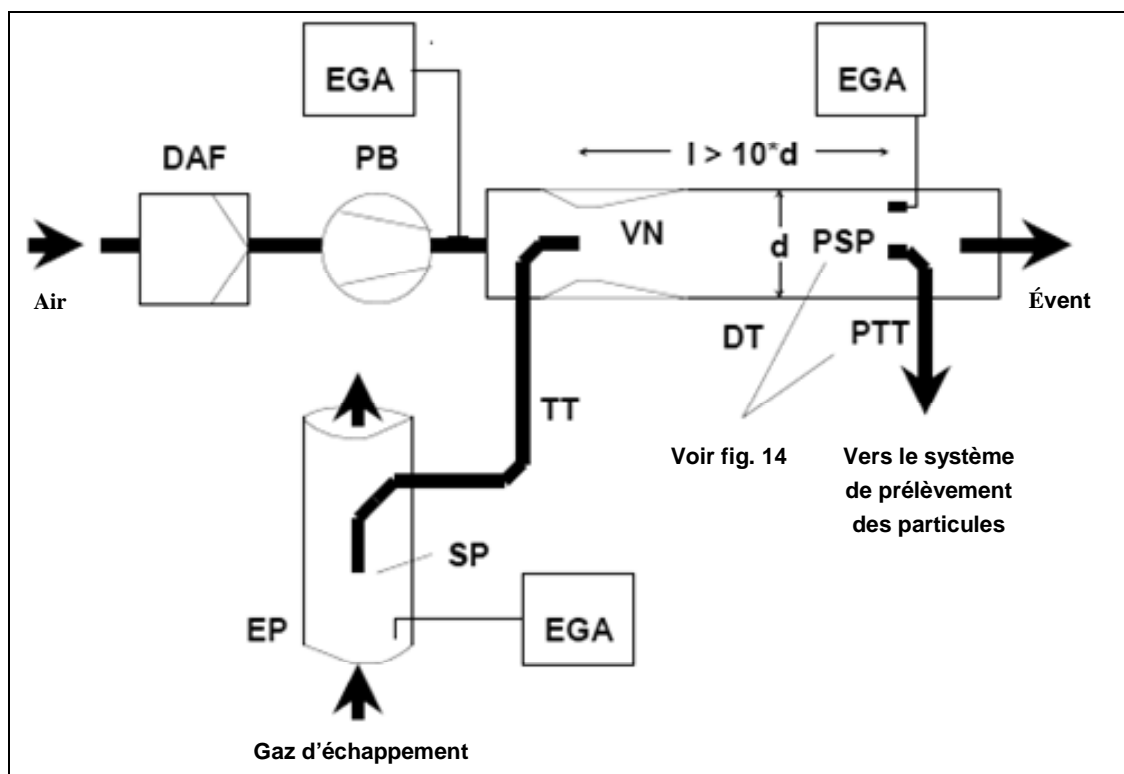
Système de dilution en circuit partiel avec mesure des concentrations de CO₂, bilan carbone et prélèvement total



Les gaz d'échappement bruts sont transférés du tuyau d'échappement EP au tunnel de dilution DT au moyen de la sonde SP et du tube de transfert TT. Les concentrations de CO₂ sont mesurées dans les gaz d'échappement dilués et dans l'air de dilution au moyen d'un ou plusieurs analyseurs EGA. Les signaux CO₂ et G_{FUEL} (débit-masse du carburant) sont transmis soit au régulateur de débit FC2, soit au régulateur de débit FC3 du système de prélèvement des particules (voir fig. 14). FC2 commande la soufflante PB, le régulateur FC3 commande le système de prélèvement des particules (voir fig. 14); ils règlent ainsi les débits à l'entrée et à la sortie du système et assurent dans DT le fractionnement des gaz d'échappement et le taux de dilution souhaités. On calcule le taux de dilution d'après les concentrations de CO₂ et d'après G_{FUEL} avec la méthode du bilan carbone.

Figure 8

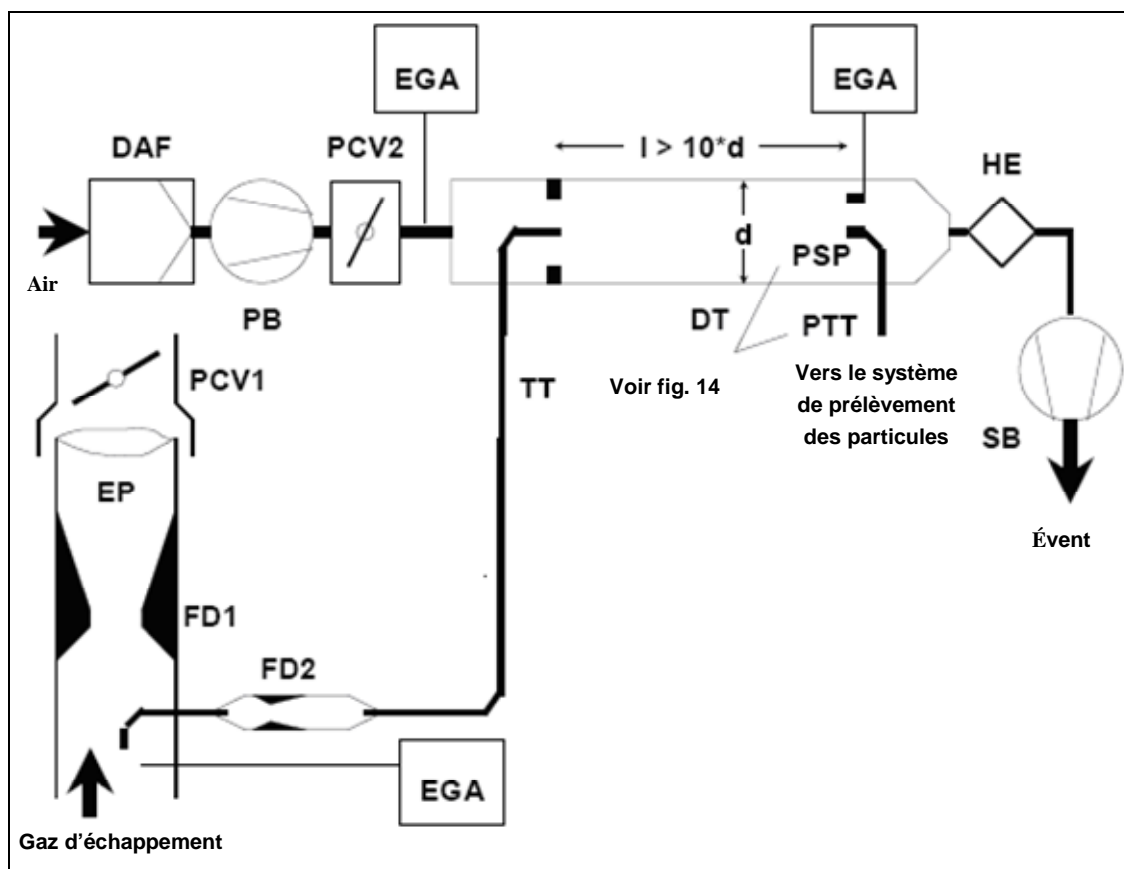
Système de dilution en circuit partiel avec tube venturi simple, mesure des concentrations et prélèvement fractionné



Les gaz d'échappement bruts sont transférés du tuyau d'échappement EP au tunnel de dilution DT au moyen de la sonde SP et du tube de transfert TT, sous l'action de la pression négative créée par le venturi VN dans DT. Le débit des gaz à travers TT dépend de l'échange des forces dans la zone du venturi et, par conséquent, de la température absolue des gaz à la sortie de TT. Il s'ensuit que le fractionnement des gaz pour un débit donné dans le tunnel ne peut être constant et que le taux de dilution à faible charge est légèrement inférieur à ce qu'il est avec une charge plus lourde. Les concentrations de gaz traceurs (CO_2 ou NO_x) sont mesurées dans les gaz bruts, les gaz dilués et l'air de dilution au moyen d'un ou plusieurs analyseurs EGA; le taux de dilution est calculé d'après les valeurs ainsi obtenues.

Figure 9

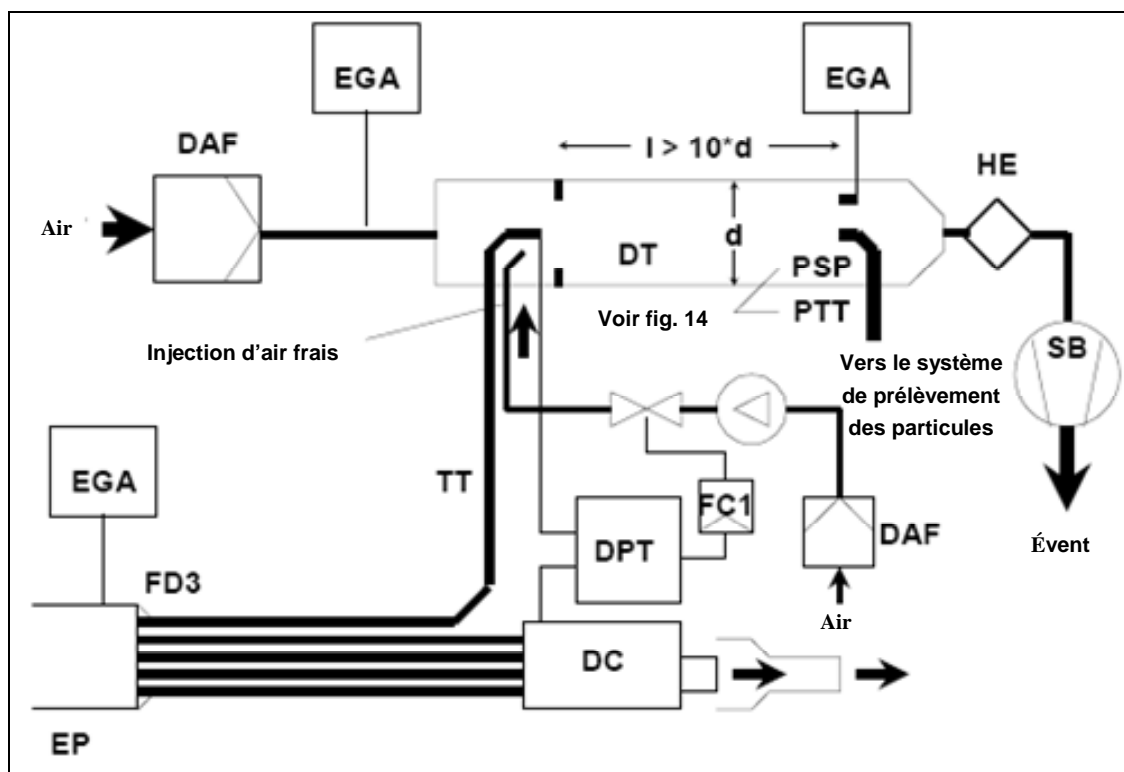
Système de dilution en circuit partiel avec venturi double ou orifice double, mesure des concentrations et prélèvement fractionné



Les gaz d'échappement bruts sont transférés du tuyau d'échappement EP au tunnel de dilution DT au moyen de la sonde SP, du tube de transfert TT et de séparateurs comprenant un ensemble d'orifices ou de tubes venturi. Le premier (FD1) est situé en EP, le deuxième (FD2) est situé en TT. Il faut aussi deux papillons de réglage de la pression (PCV1 et PCV2) pour maintenir un fractionnement constant des gaz par réglage de la contre-pression en EP et de la pression en DT. PCV1 est situé en aval de SP en EP, PCV2 entre la soufflante PB et le tunnel DT. Les concentrations de gaz traceurs (CO_2 ou NO_x) sont mesurées dans les gaz bruts, les gaz dilués et l'air de dilution au moyen d'un ou plusieurs analyseurs EGA. Ceux-ci sont nécessaires pour vérifier la séparation des gaz et peuvent servir à régler PCV1 et PCV2 pour obtenir une séparation rigoureuse. Le taux de dilution est calculé d'après les concentrations de gaz traceurs.

Figure 10

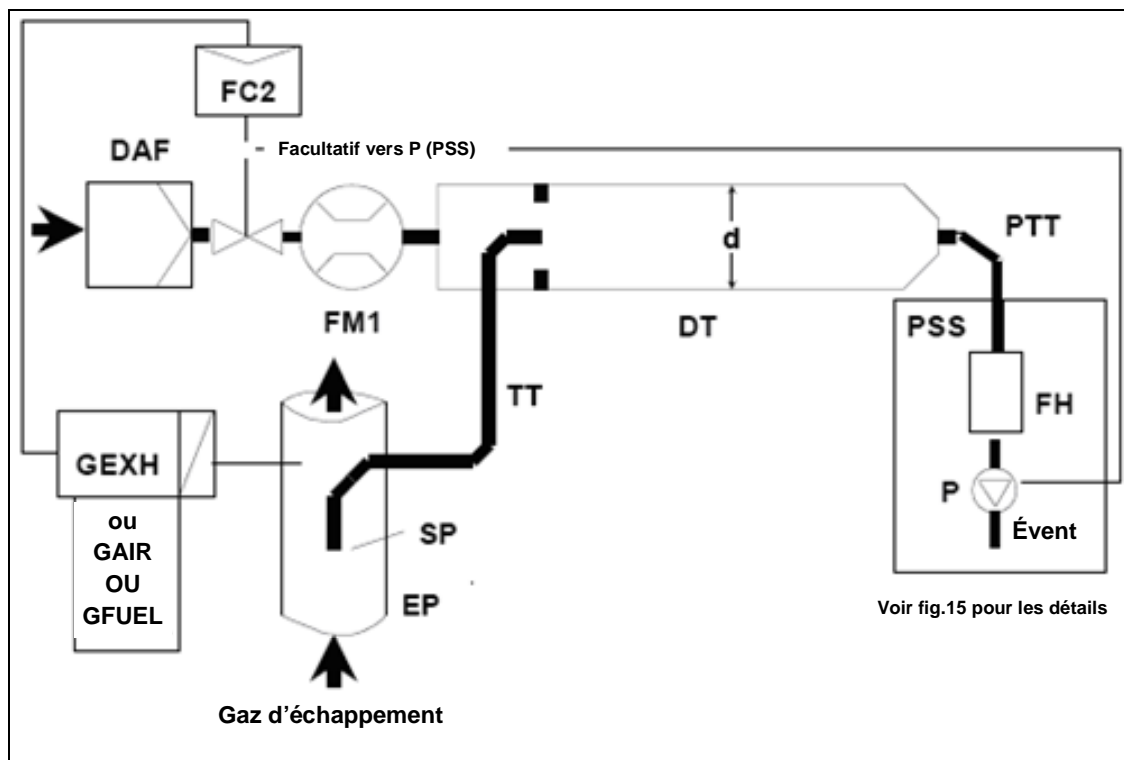
Système de dilution en circuit partiel avec séparation par tubes multiples, mesure des concentrations et prélèvement fractionné



Les gaz d'échappement bruts sont transférés du tuyau d'échappement EP au tunnel de dilution DT au moyen du tube de transfert TT et du séparateur FD3, composé de plusieurs tubes de mêmes dimensions (mêmes diamètre, longueur et rayon de courbure) qui sont montés dans EP. Les gaz passant par un de ces tubes sont conduits en DT et les gaz passant par les autres arrivent dans la chambre d'expansion DC. La séparation des gaz est donc déterminée par le nombre total de tubes. Un réglage constant de la séparation exige une différence de pression nulle entre DC et la sortie de TT, qui est mesurée au moyen du transducteur à pression différentielle DPT. Une différence de pression nulle s'obtient par injection d'air frais dans DT à la sortie de TT. Les concentrations de gaz traceurs (CO_2 ou NO_x) sont mesurées dans les gaz bruts, les gaz dilués et l'air de dilution au moyen d'un ou plusieurs analyseurs EGA. Ces derniers servent à contrôler la séparation mais aussi à régler le débit d'injection d'air pour obtenir la séparation précise souhaitée. Le taux de dilution est calculé d'après les concentrations de gaz traceurs.

Figure 11

Système de dilution en circuit partiel avec réglage du débit et prélèvement total

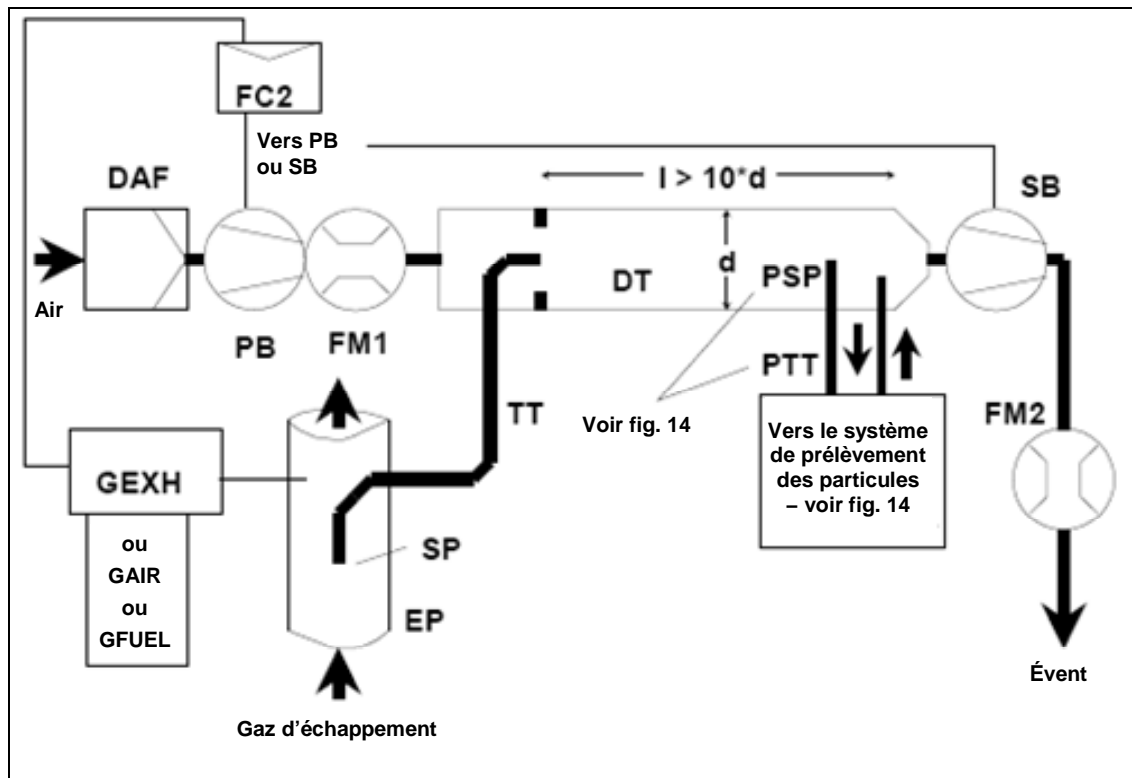


Les gaz d'échappement bruts sont transférés du tuyau d'échappement EP au tunnel de dilution DT au moyen de la sonde SP et du tube de transfert TT. Le débit total à travers le tunnel est réglé par le régulateur de débit FC3 et la pompe de prélèvement P du système d'échantillonnage des particules (voir fig. 16).

Le volume de l'air de dilution est réglé par le régulateur de débit FC2, qui peut utiliser comme signaux de commande G_{EXH} , G_{AIR} ou G_{FUEL} , pour donner la séparation des gaz souhaitée. Le volume prélevé arrivant à DT est la différence entre le volume total et le volume d'air de dilution. Le débit de l'air de dilution est mesuré au moyen du débitmètre FM1 et le débit total au moyen du débitmètre FM3 du système de collecte des particules (voir fig. 14). Le taux de dilution est calculé d'après ces deux débits.

Figure 12

Système de dilution en circuit partiel avec réglage du débit et prélèvement fractionné



Les gaz d'échappement bruts sont transférés du tuyau d'échappement EP au tunnel de dilution DT au moyen de la sonde SP et du tube de transfert TT. La séparation des gaz et le volume arrivant dans DT sont réglés au moyen du dispositif FC2 qui ajuste, selon le cas, le débit (ou le régime) de la soufflante PB et de l'aspirateur SB, opération possible puisque l'échantillon prélevé avec le système de prélèvement des particules est renvoyé à DT. On peut se servir de G_{EXH} , G_{AIR} ou G_{FUEL} comme signaux de commande pour FC2. Le débit de l'air de dilution est mesuré avec le débitmètre FM1 et le flux total avec le débitmètre FM2. Le taux de dilution est calculé d'après ces deux débits.

Description – Figures 4 à 12

– Tuyau d'échappement EP

Le tuyau d'échappement peut être **isolé**. Pour réduire l'inertie thermique du tuyau, il est recommandé que le rapport de son épaisseur au diamètre soit de 0,015 ou moins. L'utilisation de sections flexibles doit se limiter à un rapport longueur/diamètre de 12 ou moins. Les coudes doivent être réduits à un minimum afin d'éviter les dépôts par inertie. Si le système comprend un silencieux d'essai, celui-ci peut aussi être isolé.

Avec un système isocinétique, le tuyau d'échappement ne doit présenter aucun coude, courbure ou variation subite de diamètre sur une longueur au moins égale, depuis la pointe de la sonde, à six fois le diamètre du tuyau en amont et à trois fois le diamètre en aval. La vitesse des gaz d'échappement dans la zone de prélèvement doit être supérieure à 10 m/s sauf en mode

ralenti. Les variations de pression des gaz ne doivent pas dépasser ± 500 Pa en moyenne. Une intervention quelconque destinée à réduire les variations de pression, en dehors du recours à un système d'échappement en forme de châssis (y compris le pot d'échappement et un dispositif de traitement, par exemple catalytique) ne doit pas modifier le régime du moteur ni entraîner le dépôt de particules.

Avec les systèmes sans sonde isocinétique, il est recommandé d'utiliser un tuyau rectiligne d'une longueur égale, depuis la pointe de la sonde, à six fois le diamètre du tuyau en amont et à trois fois le diamètre en aval.

– Sonde de prélèvement SP (fig. 6 à 12)

Le diamètre intérieur minimal est de 4 mm. Le rapport minimal entre le diamètre du tuyau d'échappement et celui de la sonde est de 4. La sonde est constituée d'un tube ouvert orienté vers l'amont et situé sur l'axe médian du tuyau d'échappement, ou comprend des orifices multiples dont la description est donnée sous **SP1 au paragraphe 1.1.1.**

– Sonde de prélèvement isocinétique ISP (fig. 4 et 5)

La sonde de prélèvement isocinétique est dirigée vers l'amont sur l'axe médian du tuyau d'échappement au point où les conditions de débit de la section EP sont satisfaites; elle est conçue de manière à fournir un prélèvement proportionnel des gaz d'échappement bruts. Le diamètre intérieur doit être d'au moins 12 mm.

Il faut un système de contrôle pour la séparation isocinétique des gaz, qui doit être assurée par maintien d'une différence de pression nulle entre EP et ISP. Dans ces conditions, les vitesses des gaz d'échappement en EP et en ISP sont identiques et le débit-masse à travers ISP est une fraction constante du volume total débit de gaz d'échappement. L'ISP doit être reliée à un capteur de pression différentielle. La pression différentielle nulle entre EP et ISP s'obtient par variation de la vitesse de la soufflante ou avec un régulateur de débit.

– Séparateurs de flux FD1 et FD2 (fig. 9)

Une série de tubes venturis ou d'orifices est prévue sur le tuyau d'échappement EP ou sur le tube de transfert TT respectivement, afin de fournir un prélèvement proportionnel des gaz d'échappement bruts. Un système de réglage de la pression comprenant deux robinets PCV1 et PCV2 est utilisé pour le fractionnement proportionnel, qui est obtenu par réglage des pressions en EP et en DT.

– Séparateur FD3 (fig. 10)

Un ensemble de tubes (unité à tubes multiples) est monté sur le tuyau d'échappement EP afin de fournir un prélèvement proportionnel des gaz d'échappement bruts. Un des tubes amène les gaz d'échappement au tunnel de dilution DT, tandis que les autres tubes amènent les gaz d'échappement à la chambre d'expansion DC. Les tubes doivent avoir les mêmes dimensions (mêmes diamètre, longueur et rayon de courbure), de sorte que la séparation dépend du nombre total de tubes. Il faut prévoir un système de réglage pour obtenir une séparation proportionnelle par maintien d'une différence de pression nulle entre l'arrivée de l'unité à tubes multiples en DC et la sortie de TT. Dans ces conditions, les vitesses des gaz d'échappement en EP et FD3 sont proportionnelles et le débit en TT est une fraction constante du volume

total des gaz. Les deux points doivent être reliés à un capteur de pression différentielle DPT. La différence de pression nulle s'obtient au moyen du régulateur de débit FC1.

– Analyseur des gaz d'échappement EGA (fig. 6 à 10)

On peut utiliser des analyseurs de CO_2 ou de NO_x (mais uniquement avec la méthode du bilan carbone pour l'analyseur de CO_2). Les analyseurs doivent être étalonnés comme ceux qui sont utilisés pour la mesure des émissions gazeuses. On peut se servir d'un ou de plusieurs analyseurs pour déterminer les différences de concentration.

La justesse des systèmes de mesure doit être telle que la précision de $G_{\text{EDFW},i}$ se situe dans une marge de $\pm 4 \%$.

– Tube de transfert TT (fig. 4 à 12)

Le tube de transfert pour le prélèvement des particules doit:

- Être aussi court que possible, mais d'une longueur maximale de 5 m;
- Avoir un diamètre égal ou supérieur à celui de la sonde, mais n'excédant pas 25 mm;
- Avoir un point de sortie sur l'axe médian du tunnel de dilution et être orienté vers l'aval.

Si le tube a un mètre de long ou moins, il doit être isolé avec un matériau d'une conductivité thermique maximale de $0,05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, l'épaisseur radiale de l'isolant devant correspondre au diamètre de la sonde. Si le tube a plus d'un mètre de long, il doit être isolé et chauffé jusqu'à une température d'au moins 523 K (250 °C) au niveau de la paroi.

Une autre méthode consiste à déterminer les températures requises de la paroi du tube au moyen des calculs classiques de transfert de chaleur.

– Capteur de pression différentielle DPT (fig. 4, 5 et 10)

Le capteur de pression différentielle doit fonctionner dans une plage maximum de $\pm 500 \text{ Pa}$.

– Régulateur de débit FC1 (fig. 4, 5 et 10)

Avec les systèmes isocinétiques (fig. 4 et 5), il faut un régulateur de débit pour maintenir une différence de pression nulle entre EP et ISP. On peut maintenir celle-ci:

- a) En réglant la vitesse ou le débit de l'aspirateur (SB) et en maintenant constante la vitesse de la soufflante (PB) dans chacun des modes (fig. 4); ou
- b) En ajustant l'aspirateur (SB) de façon à obtenir un débit-masse constant des gaz dilués et en réglant le débit de la soufflante (PB) et, du même coup, le débit de prélèvement à l'extrémité du tube de transfert (TT) (fig. 5).

Si on utilise un système de régulation de la pression, l'erreur restante dans le circuit de contrôle ne doit pas dépasser $\pm 3 \text{ Pa}$. Les variations de la pression dans le tunnel de dilution ne doivent pas dépasser **$\pm 250 \text{ Pa}$ en moyenne**.

Avec un système multitube (fig. 10), il faut un régulateur de débit pour obtenir une séparation proportionnelle des gaz et une différence de pression nulle entre la sortie de l'unité multitube et la sortie de TT. On peut effectuer le réglage en ajustant le débit d'injection d'air en DT à la sortie de TT.

- Robinets de réglage de la pression PCV1 et PCV2 (fig. 9)

Deux robinets servant à régler la pression sont nécessaires avec le système à tube venturi double ou à orifice double devant assurer une séparation proportionnelle par réglage de la contre-pression en EP et de la pression en DT. Les robinets doivent être situés en aval de SP sur EP et entre PB et DT.

- Chambre d'expansion DC (fig. 10)

Une chambre d'expansion doit être montée à la sortie de l'unité multitube afin de réduire au maximum les variations de pression dans le tuyau d'échappement EP.

- Tube venturi VN (fig. 8)

Un tube venturi est monté dans le tunnel de dilution DT afin de créer une pression négative aux abords de la sortie du tube de transfert TT. Le débit des gaz à travers TT est déterminé par le transfert de quantité de mouvement dans la zone du tube venturi; en gros, il est proportionnel au débit de la soufflante PB, donnant ainsi un taux de dilution constant. Ce transfert étant affecté par la température à la sortie de TT et par la différence de pression entre EP et DT, le taux effectif de dilution est légèrement plus faible avec une charge légère qu'avec une charge lourde.

- Régulateur de débit FC2 (fig. 6, 7, 11 et 12; facultatif)

Un régulateur peut être utilisé pour régler le débit de la soufflante PB et/ou de l'aspirateur SB. Il peut être commandé par le signal de débit des gaz ou du débit du carburant, et/ou par le signal différentiel de CO₂ ou de NO_x.

Avec un système à air comprimé (fig. 11), le FC2 règle directement le débit d'air.

- Débitmètre FM1 (fig. 6, 7, 11 et 12)

Appareil mesurant les gaz ou le débit d'air de dilution. Le FM1 est facultatif si la soufflante PB est étalonnée pour mesurer le débit.

- Débitmètre FM2 (fig. 12)

Appareil mesurant les gaz ou le débit des gaz d'échappement dilués. Le FM2 est facultatif si l'aspirateur SB est étalonné pour mesurer le débit.

- Soufflante PB (fig. 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 12)

Pour régler le débit de l'air de dilution, on peut relier la soufflante au régulateur de débit FC1 ou FC2. La soufflante n'est pas nécessaire avec un robinet à papillon. Elle peut servir à mesurer le débit de l'air de dilution, à condition d'être étalonnée.

- Aspirateur SB (fig. 4, 5, 6, 9, 10 et 12)

Utilisé uniquement avec les systèmes de prélèvement fractionné. L'aspirateur peut servir à mesurer le débit des gaz dilués, à condition d'être étalonné.

- Filtre pour air de dilution DAF (fig. 4 à 12)

Il est recommandé de filtrer l'air de dilution et de l'épurer au charbon de bois afin d'en éliminer les hydrocarbures de fond. L'air de dilution doit être à une température de $298 \text{ K } (25 \text{ °C}) \pm 5 \text{ K}$.

À la demande des constructeurs, l'air de dilution doit être analysé avec des techniques normalisées afin d'en déterminer les concentrations particulières de fond, qui peuvent ensuite être soustraites des valeurs mesurées dans les gaz dilués.

- Sonde de prélèvement des particules PSP (fig. 4, 5, 6, 8, 9, 10 et 12)

La sonde est le premier élément du tube de transfert des particules PTT et:

- Doit être dirigée vers l'amont et située à un point où l'air de dilution et les gaz d'échappement sont parfaitement mélangés, c'est-à-dire sur l'axe médian du tunnel de dilution DT des systèmes de dilution, à une distance d'environ 10 fois le diamètre du tunnel en aval du point où les gaz d'échappement pénètrent dans le tunnel;
- Doit avoir un diamètre intérieur minimal de 12 mm;
- Peut être chauffée à une température maximale de $325 \text{ K } (52 \text{ °C})$ au niveau de la paroi, soit directement, soit par chauffage préalable de l'air de dilution, à condition que la température de l'air ne dépasse pas $325 \text{ K } (52 \text{ °C})$ avant l'introduction des gaz dans le tunnel de dilution;
- Peut être isolée.

- Tunnel de dilution DT (fig. 4 à 12)

Le tunnel de dilution:

- Doit avoir une longueur suffisante pour assurer un mélange complet des gaz d'échappement et de l'air de dilution dans des conditions de turbulence;
- Doit être fabriqué en acier inoxydable avec:
- Un rapport épaisseur/diamètre de 0,025 ou moins pour les tunnels d'un diamètre intérieur supérieur à 75 mm;
- Des parois d'une épaisseur nominale d'au moins 1,5 mm pour les tunnels ayant un diamètre intérieur égal ou inférieur à 75 mm;
- Doit avoir un diamètre minimal de 75 mm pour le prélèvement fractionné;
- Devrait, si possible, avoir un diamètre d'au moins 25 mm pour le prélèvement total;
- Peut être chauffée à une température maximale de $325 \text{ K } (52 \text{ °C})$ au niveau de la paroi, soit directement, soit par chauffage préalable de l'air de dilution, à condition que la température de l'air ne dépasse pas $325 \text{ K } (52 \text{ °C})$ avant l'introduction des gaz d'échappement dans le tunnel;
- Peut être isolé.

Les gaz d'échappement du moteur doivent être parfaitement mélangés avec l'air de dilution. Pour les systèmes à prélèvement fractionné, il faut vérifier la qualité du mélange après leur mise en service en établissant un profil CO_2 du tunnel, le moteur étant en marche (utiliser au moins quatre points de mesure également espacés). Si nécessaire, on peut aussi utiliser un orifice mélangeur.

Note: Si la température ambiante dans le voisinage du tunnel de dilution DT est inférieure à 293 K (20 °C), il faut veiller à éviter les pertes de particules sur les parois relativement froides du tunnel. Il est donc recommandé de chauffer et/ou d'isoler le tunnel dans les limites précitées.

Avec de lourdes charges, le tunnel peut être refroidi par des moyens non agressifs tels qu'un ventilateur de circulation, à condition que la température du liquide de refroidissement ne soit pas inférieure à 293 K (20 °C).

– Échangeur de chaleur HE (fig. 9 et 10)

L'échangeur de chaleur doit être d'une capacité suffisante pour maintenir la température à l'entrée de l'aspirateur SB à ± 11 K de la température de fonctionnement moyenne observée pendant l'essai.

1.2.1.2 Système de dilution en circuit principal (fig. 13)

Le système de dilution décrit fonctionne sur le principe de la dilution du volume total des gaz d'échappement, selon la méthode de prélèvement à volume constant (CVS). L'opération consiste à mesurer le volume total du mélange des gaz et de l'air de dilution. On peut utiliser une PDP, un **CFV** ou un **SSV**.

Pour la collecte ultérieure des particules, on fait passer un échantillon des gaz d'échappement dilués à travers le système de prélèvement des particules (par. 1.2.2, fig. 14 et 15). Si l'opération s'effectue directement, on l'appelle dilution simple. Si l'échantillon est dilué une deuxième fois dans un tunnel de dilution secondaire, on l'appelle dilution double. La deuxième opération est utile si la température requise à la surface du filtre ne peut être obtenue avec une seule dilution. Bien que constituant en principe un système de dilution, la méthode de dilution double est étudiée comme variante du système de prélèvement des particules au paragraphe 1.2.2 (fig. 15), puisque la plupart de ses composantes sont les mêmes que celles d'un système typique de prélèvement de particules.

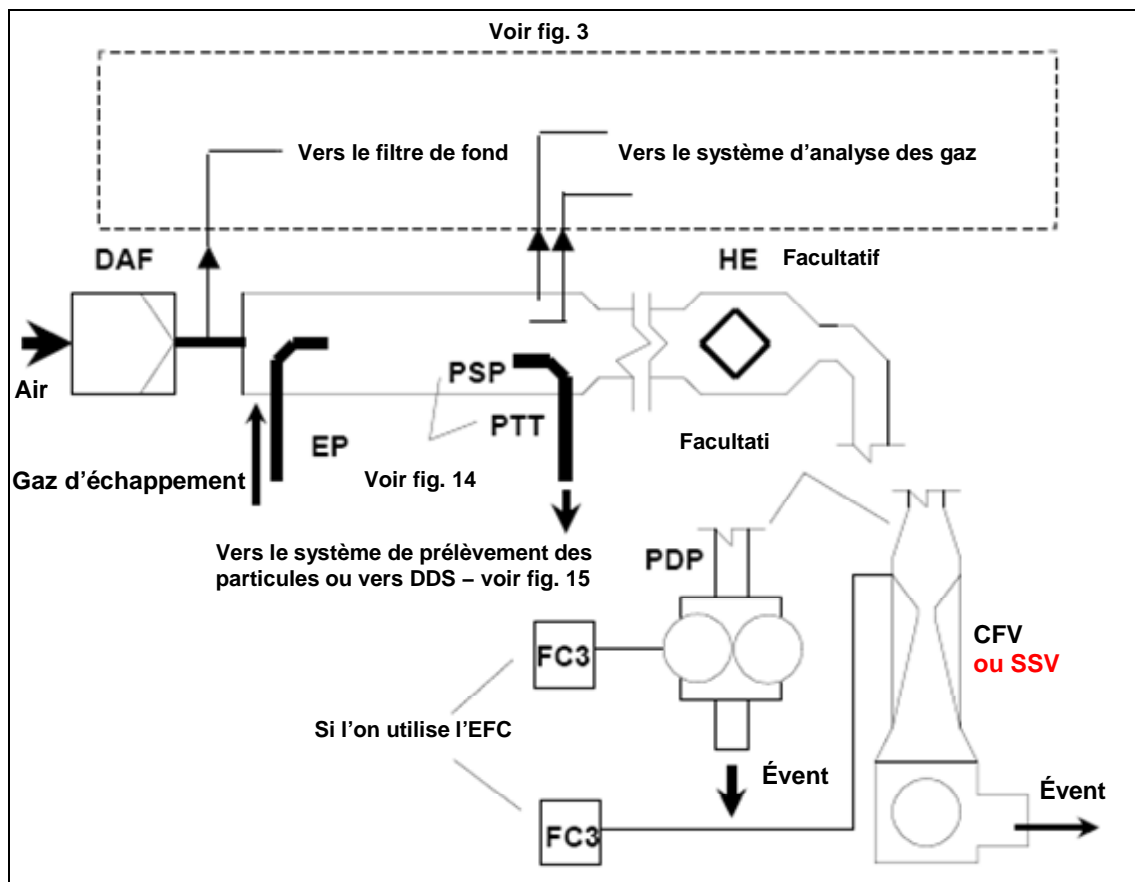
Les émissions gazeuses peuvent aussi être déterminées dans le tunnel de dilution d'un système de dilution en circuit principal. Les sondes de prélèvement pour les composantes gazeuses sont donc représentées dans la figure 13 mais ne sont pas mentionnées dans la liste descriptive. Les conditions à remplir sont indiquées dans le paragraphe 1.1.1.

Descriptions (fig. 13)

– Le tuyau d'échappement EP

La longueur du tuyau d'échappement ne doit pas dépasser 10 m depuis la sortie du collecteur du moteur, du compresseur ou du dispositif de traitement aval jusqu'au tunnel de dilution. Si le système dépasse 4 m, toute la section au-delà de cette longueur doit être isolée, à l'exception, le cas échéant, d'un instrument monté en ligne pour mesurer la fumée. L'épaisseur radiale de l'isolant doit être de 25 mm au moins. La conductivité thermique du matériau isolant ne doit pas dépasser $0,1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, mesurée à 673 K (400 °C). Pour réduire l'inertie thermique du tuyau d'échappement, il est recommandé d'avoir un rapport épaisseur/diamètre de 0,015 ou moins. L'utilisation de sections flexibles devra se limiter à un rapport longueur/diamètre de 12 ou moins.

Figure 13
Système de dilution en circuit principal



Le volume total des gaz d'échappement bruts est mélangé dans le tunnel de dilution DT avec l'air de dilution. Le débit des gaz d'échappement dilués est mesuré avec une pompe volumétrique PDP, avec un venturi-tuyère en régime critique CFV **ou avec un venturi subsonique SSV**. On peut utiliser un échangeur de chaleur HE ou un dispositif de compensation électronique EFC pour le prélèvement proportionnel des particules ou pour déterminer le débit. La masse des particules étant déterminée d'après le volume total des gaz d'échappement dilués, il est inutile de calculer le taux de dilution.

– Pompe volumétrique PDP

Cette pompe mesure le débit total des gaz d'échappement dilués à partir du nombre de tours de la pompe et de son déplacement. La contre-pression du système d'échappement ne doit pas être artificiellement abaissée par la PDP ou le système d'admission de l'air de dilution. La contre-pression statique de l'échappement mesurée avec le système CVS doit être maintenue à $\pm 1,5$ kPa de la pression statique mesurée en l'absence de CVS avec un régime du moteur et une charge identiques.

La température du mélange gazeux immédiatement en amont de la PDP doit être maintenue à ± 6 K de la température moyenne de fonctionnement observée au cours de l'essai, sans compensation du débit.

La compensation du débit n'est possible que si la température à l'entrée de la PDP ne dépasse pas 323 K (50 °C).

– Venturi-tuyère en régime critique CFV

Le CFV mesure le débit total des gaz d'échappement dilués dans des conditions de restriction (régime critique). La contre-pression statique mesurée avec le système CFV en marche doit être maintenue à $\pm 1,5$ kPa de la pression statique mesurée en l'absence de CFV, avec un régime du moteur et une charge identiques. La température du mélange gazeux immédiatement en amont du CFV doit être maintenue à ± 11 K de la température moyenne de fonctionnement observée au cours de l'essai, sans compensation du débit.

– Venturi subsonique SSV

Le SSV mesure le débit total des gaz d'échappement dilués en fonction de la pression et de la température à l'entrée ainsi que de la baisse de pression entre l'entrée et le col du SSV. La contre-pression statique mesurée avec le système SSV en marche doit être maintenue à $\pm 1,5$ kPa de la pression statique mesurée en l'absence de SSV, avec un régime et une charge du moteur identiques. La température du mélange gazeux immédiatement en amont du SSV doit être maintenue à ± 11 K de la température moyenne de fonctionnement observée au cours de l'essai, sans compensation du débit.

– Échangeur de chaleur HE (facultatif si on utilise un système EFC)

L'échangeur de chaleur doit être d'une capacité suffisante pour maintenir la température dans les limites indiquées ci-dessus.

– Dispositif de **compensation** électronique du débit EFC
(facultatif si on utilise un HE)

Si la température à l'entrée de la PDP ou du système CFV n'est pas maintenue dans les limites précitées, il faut utiliser un dispositif de **compensation** pour obtenir une mesure permanente du débit et régler le prélèvement proportionnel des particules. À cet effet, on utilise les relevés du débit effectués en permanence pour corriger en proportion le débit de l'échantillon passant à travers les filtres à particules du système de prélèvement (**fig. 14 et 15**).

– Tunnel de dilution DT

Le tunnel de dilution:

- Doit avoir un diamètre suffisamment restreint pour provoquer des turbulences (nombre de Reynolds supérieur à **4 000**) et une longueur suffisante pour assurer le mélange complet des gaz d'échappement et de l'air de dilution. On peut aussi utiliser un orifice mélangeur;
- Doit avoir un diamètre d'au moins 75 mm;
- Peut être isolé.

Les gaz d'échappement du moteur doivent être dirigés en aval jusqu'au point où ils pénètrent dans le tunnel de dilution, puis bien être mélangés avec l'air de dilution.

Avec la dilution simple, un échantillon provenant du tunnel de dilution est transféré au système de prélèvement des particules (par. 1.2.2, **fig. 14**). Le débit de la PDP ou la capacité du CFV **ou du SSV** doit être suffisant pour maintenir les gaz d'échappement dilués à une température inférieure ou égale à 325 K (52 °C) immédiatement en amont du filtre primaire.

Avec la dilution double, un échantillon provenant du tunnel de dilution est transféré dans le tunnel de dilution secondaire où il subit une deuxième dilution; il passe ensuite à travers les filtres de prélèvement (par. 1.2.2, fig. 15). Le débit de la PDP ou la capacité du CFV **ou du SSV** doit être suffisant pour maintenir les gaz dilués dans le DT à une température inférieure ou égale à 464 K (191 °C) dans la zone de prélèvement. Le système de dilution secondaire doit fournir un volume suffisant d'air de dilution secondaire pour maintenir les gaz ayant subi une double dilution à une température inférieure ou égale à 325 K (52 °C) immédiatement en amont du filtre primaire.

- Filtre pour air de dilution DAF

Il est recommandé de filtrer l'air de dilution et de l'épurer au charbon de bois afin d'en éliminer les hydrocarbures de fond. L'air de dilution doit être à une température de 298 K (25 °C) \pm 5 K. À la demande des constructeurs, l'air de dilution doit être analysé avec des techniques normalisées afin d'en déterminer les concentrations particulières de fond, qui peuvent ensuite être soustraites des valeurs mesurées dans les gaz d'échappement dilués.

- Sonde de prélèvement des particules PSP

La sonde est le premier élément du tube de transfert des particules PTT et:

- Doit être dirigée vers l'amont et située à un point où l'air de dilution et les gaz d'échappement sont parfaitement mélangés, c'est-à-dire sur l'axe médian du tunnel de dilution DT des systèmes de dilution, à une distance d'environ 10 fois le diamètre du tunnel en aval du point où les gaz d'échappement pénètrent dans le tunnel;
- Doit avoir un diamètre intérieur minimal de 12 mm;
- Peut être chauffée à une température maximale de 325 K (52 °C) au niveau de la paroi, soit directement, soit par chauffage préalable de l'air de dilution, à condition que la température de l'air ne dépasse pas 325 K (52 °C) avant l'introduction des gaz dans le tunnel de dilution;
- Peut être isolée.

1.2.2 Système de prélèvement des particules (fig. 14 et 15)

Le système de prélèvement des particules sert à recueillir celles-ci au moyen d'un ou plusieurs filtres. Dans le cas de la dilution en circuit partiel avec échantillonnage total, qui consiste à faire passer le volume total des gaz dilués à travers les filtres, le système de dilution (par. 1.2.1.1, fig. 7 et 11) et le système de prélèvement constituent généralement une seule unité. Dans le cas de la dilution en circuit partiel ou en circuit principal avec prélèvement fractionné, qui consiste à ne faire passer à travers les filtres qu'une partie des gaz d'échappement dilués, le système de dilution (par. 1.2.1.1, fig. 4, 5, 6, 8, 9, 10 et 12 et par. 1.2.1.2, **fig.** 13) et les systèmes de prélèvement constituent généralement des unités séparées.

Dans le présent Règlement, le système de dilution double **DDS** (fig. 15) en circuit principal est considéré comme une variante du système typique de prélèvement des particules illustré dans la figure 14. Il comprend en effet tous les éléments principaux du système de prélèvement des particules, tels que les porte-filtres et la pompe de prélèvement, plus certains autres tels que le système d'alimentation en air de dilution et le tunnel de dilution secondaire.

Pour éviter d'influer d'une manière quelconque sur les circuits de contrôle, il est recommandé que la pompe de prélèvement soit en marche pendant toute la durée de l'essai. Avec la méthode à filtre unique, il faut un système de dérivation pour faire passer l'échantillon à travers le filtre au moment voulu. L'interférence de la commutation sur les circuits de contrôle doit être réduite à un minimum.

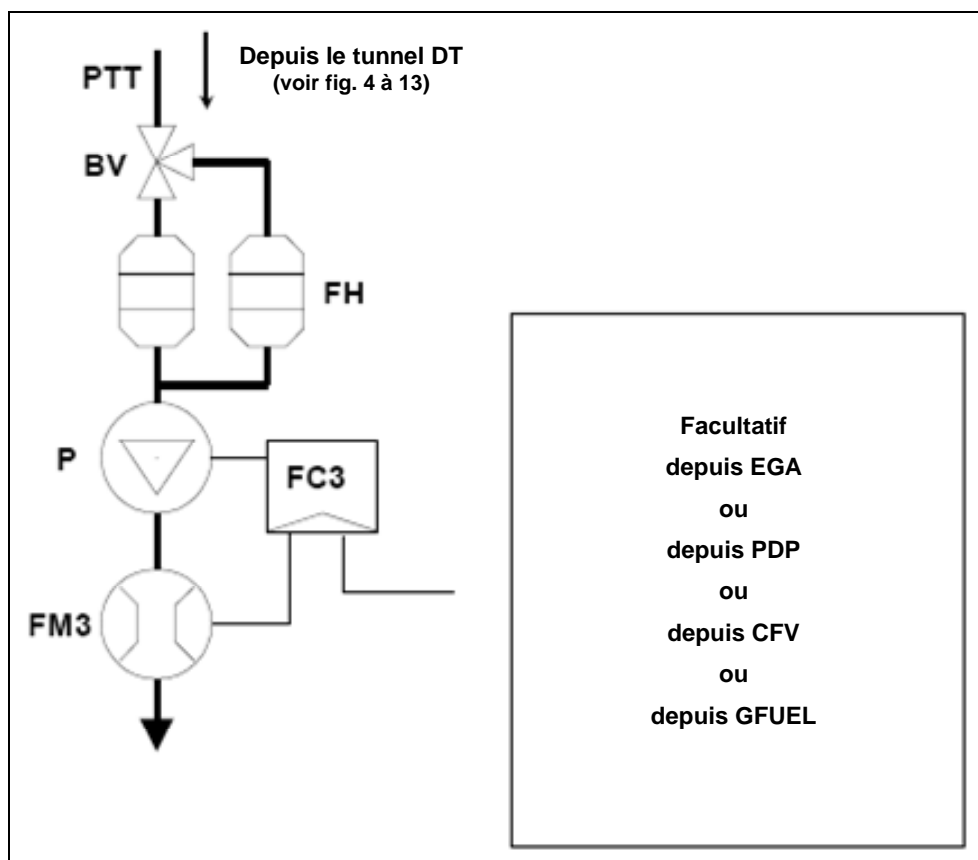
Descriptions – **Figures 14 et 15**

– Sonde de prélèvement des particules PSP (fig. 14 et 15)

La sonde de prélèvement des particules illustrée dans les figures est le premier élément du tube de transfert des particules PTT et:

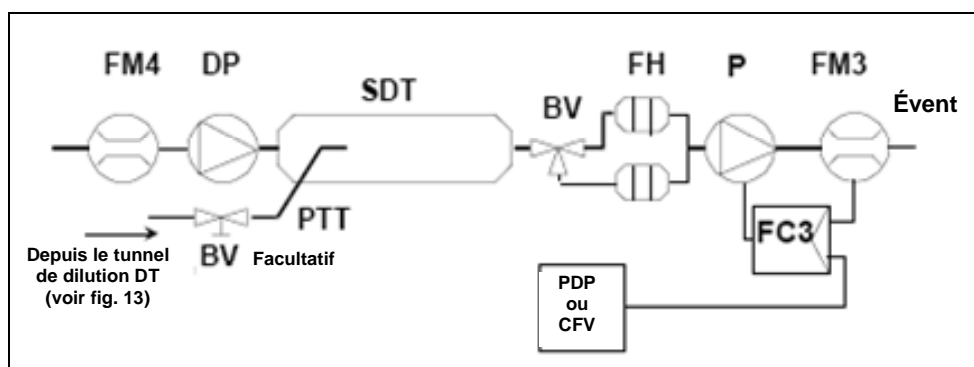
- Doit être dirigée vers l'amont et située à un point où l'air de dilution et les gaz d'échappement sont parfaitement mélangés c'est-à-dire sur l'axe médian du tunnel de dilution DT des systèmes de dilution (par. **1.2.1**), à une distance d'environ 10 fois le diamètre du tunnel en aval du point où les gaz d'échappement pénètrent dans le tunnel;
- Doit avoir un diamètre intérieur minimal de 12 mm;
- Peut être chauffée à une température maximale de 325 K (52 °C) au niveau de la paroi, soit directement, soit par chauffage préalable de l'air de dilution, à condition que la température de l'air ne dépasse pas 325 K (52 °C) avant l'introduction des gaz dans le tunnel;
- Peut être isolée.

Figure 14
Système de prélèvement des particules



Un échantillon des gaz d'échappement dilués est prélevé dans le tunnel de dilution DT d'un système de dilution en circuit partiel ou en circuit principal; on le fait passer ensuite à travers la sonde de prélèvement des particules PSP et le tube de transfert des particules PTT au moyen de la pompe de prélèvement P. L'échantillon passe à travers les porte-filtres FH qui reçoivent les filtres de prélèvement des particules. Le débit de l'échantillon est réglé par le régulateur FC3. Si on utilise un dispositif de compensation électronique du débit EFC (voir fig. 13), le débit des gaz d'échappement dilués sert de signal de commande pour le FC3.

Figure 15
Système de dilution (système en circuit principal seulement)



Au moyen de la sonde de prélèvement des particules PSP et du tube de transfert des particules PTT, un échantillon des gaz d'échappement dilués est transféré depuis le tunnel de dilution DT d'un système de dilution en circuit principal jusqu'au tunnel de dilution secondaire SDT, où l'échantillon subit une deuxième dilution. Il passe ensuite à travers des porte-filtres FH qui reçoivent les filtres de prélèvement des particules. Le débit de l'air de dilution est généralement constant tandis que le débit de l'échantillon est réglé par le régulateur de débit FC3. Si on utilise un dispositif de compensation électronique du débit EFC (voir fig. 13), le volume total des gaz dilués sert de signal de commande pour le FC3.

– Tube de transfert des particules PTT (fig. 14 et 15)

Le tube de transfert des particules doit avoir une longueur maximale de **1 020** mm et être le plus court possible.

Ces dimensions sont valables pour:

- Le prélèvement fractionné avec dilution en circuit partiel et le système de dilution simple en circuit principal depuis la pointe de la sonde jusqu'au porte-filtre;
- Le prélèvement total avec dilution en circuit partiel depuis la sortie du tunnel de dilution jusqu'au porte-filtre;
- Le système de dilution double en circuit principal depuis la pointe de la sonde jusqu'au tunnel de dilution secondaire.

Le tube de transfert:

- Peut être chauffé à une température maximale de 325 K (52 °C) au niveau de la paroi, soit directement, soit par chauffage préalable de l'air de dilution, à condition que la température de l'air ne dépasse pas 325 K (52 °C) avant l'introduction des gaz dans le tunnel de dilution;
- Peut être isolé.

– Tunnel de dilution secondaire SDT (fig. 15)

Le tunnel de dilution secondaire doit avoir un diamètre minimal de 75 mm et être suffisamment long pour permettre à l'échantillon deux fois dilué de séjourner au moins 0,25 s dans le tunnel. Le porte-filtre primaire FH ne doit pas être situé à plus de 300 mm de la sortie du tunnel de dilution secondaire.

Le tunnel de dilution secondaire:

- Peut être chauffé à une température maximale de 325 K (52 °C) au niveau de la paroi, soit directement, soit par chauffage préalable de l'air de dilution, à condition que la température de l'air ne dépasse pas 325 K (52 °C) avant l'introduction des gaz d'échappement dans le tunnel;
- Peut être isolé.

– Porte-filtre(s) FH (fig. 14 et 15)

Pour les filtres primaire et secondaire, on peut se servir d'un seul boîtier à filtre ou de boîtiers séparés. Il convient de respecter les dispositions du paragraphe 1.5.1.3 de l'appendice 1 de l'annexe 4A.

Les porte-filtres:

- Peuvent être chauffés à une température maximale de 325 K (52 °C) au niveau de la paroi, soit directement, soit par chauffage préalable de l'air de dilution, à condition que la température de l'air ne dépasse pas 325 K (52 °C);
- Peuvent être isolés.

– Pompe de prélèvement P (fig. 14 et 15)

La pompe de prélèvement des particules doit être située à une distance suffisante du tunnel pour que la température des gaz à l'entrée reste constante (± 3 K), en l'absence de correction du débit au moyen du FC3.

– Pompe pour l'air de dilution DP (fig. 15) (pour le système à dilution double en circuit principal seulement)

La pompe pour l'air de dilution doit être située de façon que l'air de dilution secondaire arrive à une température de 298 K (25 °C) ± 5 K.

– Régulateur de débit FC3 (fig. 14 et 15)

En l'absence d'autres moyens, un régulateur de débit doit être utilisé pour compenser les variations de température et de contre-pression du débit de l'échantillon de particules. Ce régulateur est nécessaire si le dispositif de compensation électronique du débit EFC (fig. 13) est utilisé.

– Débitmètre FM3 (fig. 14 et 15) (débit de l'échantillon de particules)

L'appareil mesurant les gaz ou le débit doit être situé à une distance suffisante de la pompe de prélèvement pour que la température des gaz à l'entrée reste constante (± 3 K), en l'absence de correction du débit au moyen du FC3.

– Débitmètre FM4 (fig. 15) (pour l'air de dilution, avec le système à dilution double en circuit principal seulement)

L'appareil mesurant les gaz ou le débit doit être situé de telle sorte que la température des gaz à l'entrée reste constante à 298 K (25 °C) ± 5 K.

– Robinet à boule BV (facultatif)

Le robinet à boule doit avoir un diamètre au moins égal au diamètre intérieur du tube de prélèvement et opérer la commutation en moins de 0,5 seconde.

Note: Si la température ambiante au voisinage du PSP, du PTT, du SDT et du FH est inférieure à 239 K (20 °C), il faut prendre des précautions pour éviter les pertes de particules sur les parois, relativement froides de ces éléments. Il est donc recommandé de les chauffer et/ou de les isoler dans les limites indiquées par les descriptions. Il est aussi recommandé de faire en sorte que la température à la surface du filtre au cours du prélèvement ne soit pas inférieure à 293 K (20 °C).

Avec des charges-moteur élevées, les éléments ci-dessus peuvent être refroidis par un moyen non agressif, tel qu'un ventilateur de circulation, à condition que la température du liquide de refroidissement ne soit pas inférieure à 293 K (20 °C).

Annexe 4B

Procédure d'essai des moteurs à allumage par compression destinés aux tracteurs agricoles et forestiers, ainsi qu'aux engins mobiles non routiers, en ce qui concerne les émissions de polluants provenant du moteur

1. Réservé
2. Réservé
3. Définitions, symboles et abréviations
- 3.1 Définitions
- Voir paragraphe 2.1 du présent Règlement.

3.2 Symboles généraux¹

Symbole	Unité	Signification
a_0	-	ordonnée à l'origine de la droite de régression
a_1	-	pende de la droite de régression
α_{sp}	rad/s ²	dérivée du régime moteur au point de consigne
A/F_{st}	-	rapport air/carburant stœchiométrique
c	ppm, % vol	concentration (aussi en $\mu\text{mol/mol} = \text{ppm}$)
D	-	facteur de dilution
d	m	Diamètre
E	%	Rendement de conversion
e	g/kWh	base spécifique du frein
e_{gas}	g/kWh	émissions spécifiques de constituants gazeux
e_{PM}	g/kWh	émissions spécifiques de particules
e_w	g/kWh	émissions spécifiques pondérées
F		statistique d'essai F
F	-	fréquence de la régénération compte tenu de la proportion des essais au cours desquels elle se produit
f_a	-	Facteur atmosphérique de laboratoire
k_r	-	Facteur de régénération multiplicatif
k_{Dr}	-	facteur d'ajustement vers le bas
k_{Ur}	-	facteur d'ajustement vers le haut
λ	-	facteur d'excédent d'air
L	-	couple en %
M_a	g/mol	masse molaire de l'air d'admission
M_e	g/mol	masse molaire des gaz d'échappement
M_{gas}	g/mol	masse molaire des constituants gazeux

¹ Des symboles spécifiques figurent dans les annexes.

m	kg	masse
m_{gas}	g	masse des émissions gazeuses sur l'ensemble du cycle d'essai
m_{PM}	g	Masse des émissions de particules sur l'ensemble du cycle d'essai
n	min⁻¹	régime de rotation du moteur
n_{hi}	min⁻¹	Régime moteur haut
n_{lo}	min⁻¹	Régime moteur bas
P	kW	Puissance
P_{max}	kW	puissance maximale observée ou déclarée au régime d'essai dans les conditions de l'essai (définies par le constructeur)
P_{AUX}	kW	Puissance totale déclarée absorbée par les accessoires prévus pour l'essai
p	kPa	Pression
p_a	kPa	Pression atmosphérique (conditions sèches)
PF	%	fraction de pénétration
q_{maw}	kg/s	débit-masse d'air d'admission (conditions humides)
q_{mdw}	kg/s	Débit-masse d'air de dilution (conditions humides)
q_{mdew}	kg/s	débit-masse de gaz d'échappement dilués (conditions humides)
q_{mew}	kg/s	débit-masse de gaz d'échappement (conditions humides)
q_{mf}	kg/s	Débit-masse de carburant
q_{mp}	kg/s	débit de l'échantillon de gaz d'échappement dans le système de dilution en circuit partiel
q_v	m³/s	débit volumique
RF	-	Facteur de réponse
r_d	-	taux de dilution
r²	-	coefficient de détermination
ρ	kg/m³	Densité
σ	-	écart type
S	kW	réglage du dynamomètre
SEE	-	erreur type de l'estimation de y en fonction de x
T	°C	Température
T_a	K	température absolue
T	N·m	couple moteur
T_{sp}	N·m	demande de couple au point de consigne «sp»
u	-	rapport entre les densités du constituant gazeux et des gaz d'échappement
t	s	Temps
Δt	s	intervalle de temps
t₁₀	s	temps écoulé entre l'application du signal et l'affichage de 10 % de la valeur finale

t_{50}	s	temps écoulé entre l'application du signal et l'affichage de 50 % de la valeur finale
t_{90}	s	temps écoulé entre l'application du signal et l'affichage de 90 % de la valeur finale
V	m ³	Volume
W	kWh	travail
y		variable générique
\bar{y}		moyenne arithmétique

3.3 Indices

abs	quantité absolue
act	quantité réelle
air	quantité d'air
amb	quantité ambiante
atm	quantité atmosphérique
cor	quantité corrigée
CFV	venturi-tuyère en régime critique
denorm	quantité dénormalisée
dry	quantité en conditions sèches
exp	quantité escomptée
filter	filtre d'échantillon MP
i	mesure instantanée (par exemple, 1 Hz)
i	élément d'une série
idle	état au ralenti
in	dans
leak	quantité de fuite
max	valeur maximale (crête)
meas	quantité mesurée
min	valeur minimale
mix	masse molaire de l'air
out	quantité sortante
PDP	pompe volumétrique
ref	quantité de référence
SSV	venturi subsonique
total	quantité totale
uncor	quantité non corrigée
vac	degré de vide
weight	poids d'étalonnage
wet	quantité en conditions humides

3.4 Symboles et abréviations des composants chimiques (aussi utilisés comme indices)

Voir le paragraphe 2.2.2 du présent Règlement.

3.5 Abréviations

Voir le paragraphe 2.2.3 du présent Règlement.

4. Prescriptions d'ordre général

Le système moteur doit être conçu, construit et installé de manière à lui permettre de satisfaire aux prescriptions du présent Règlement. Les mesures techniques prises par le constructeur doivent être telles que les émissions en question soient effectivement limitées, conformément au présent Règlement, pendant toute la durée de vie utile du moteur, comme cela est défini par la Partie contractante, et dans des conditions normales d'utilisation. À cet effet, les moteurs doivent être conformes aux exigences du paragraphe 5 lorsqu'ils sont soumis aux essais conformément aux conditions du paragraphe 6 et suivant la procédure d'essai du paragraphe 7.

5. Prescriptions fonctionnelles**5.1 Prescriptions d'ordre général****5.1.1 Réserve²****5.1.2 Émissions de polluants gazeux et de particules**

Les polluants sont représentés par:

- a) Les oxydes d'azote (NO_x);
- b) Les hydrocarbures, qui peuvent être exprimés de la manière suivante:
 - i) Hydrocarbures totaux (HC ou HCT);
 - ii) Hydrocarbures non méthaniques (HCNM);
- c) Les matières particulaires (MP);
- d) Le monoxyde de carbone (CO).

Les valeurs mesurées des polluants gazeux et particulaires émis par l'échappement du moteur sont des émissions spécifiques au frein en grammes par kilowatt/heure (g/kWh). On peut utiliser d'autres systèmes d'unités en appliquant le facteur de conversion approprié.

Les émissions doivent être déterminées en fonction des cycles d'utilisation (conditions stationnaires et/ou régime transitoire), comme indiqué au paragraphe 7. Les systèmes de mesure doivent satisfaire aux essais d'étalonnage et d'efficacité du paragraphe 8, avec les équipements de mesure prescrits au paragraphe 9.

D'autres systèmes ou analyseurs peuvent être approuvés par l'autorité d'homologation de type, s'il est constaté qu'ils donnent des résultats équivalents au sens du paragraphe 5.1.3.

² La numérotation de cette annexe est conforme à la numérotation du RTM n° 11 relatif aux EMNR. Certaines sections de ce RTM toutefois n'ont pas de raison d'être dans la présente annexe.

5.1.3 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 d'essai F et d'essai t comme décrit à l'annexe 4B, appendice A.2, obtenues dans la chambre d'essai et avec les conditions moteur décrites ci-dessus. Les valeurs aberrantes seront 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 Réserve

6. Conditions d'essai

6.1 Conditions d'essai en laboratoire

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 de choisir le paramètre f_a de telle façon que: $0,93 \leq f_a \leq 1,07$.

Moteurs à aspiration naturelle et moteurs à suralimentation mécanique:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s} \right) \cdot \left(\frac{T_a}{298} \right)^{0,7} \quad (6-1)$$

Moteurs à turbocompresseur avec ou sans refroidisseur intermédiaire:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s} \right)^{0,7} \cdot \left(\frac{T_a}{298} \right)^{1,5} \quad (6-2)$$

La température de l'air d'admission, mesurée en amont de tout composant moteur, doit être maintenue à $(25 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

L'utilisation des appareils suivants est admise:

- a) Un manomètre atmosphérique commun, pour autant que l'appareillage dans lequel passe l'air d'admission maintienne la pression ambiante à l'endroit où est effectué l'essai à ± 1 kPa de la pression atmosphérique commune;
- b) Un système commun de mesure de l'humidité de l'air d'admission, pour autant que l'appareillage dans lequel passe l'air d'admission maintienne le point de rosée à l'endroit où est effectué l'essai à $\pm 0,5 ^\circ\text{C}$ de la valeur de l'humidité commune mesurée.

6.2 Moteurs à refroidisseur intermédiaire

- a) Un système de refroidissement intermédiaire d'une capacité totale représentative de l'installation sur les moteurs de série en service doit être utilisé. Tout système de refroidissement intermédiaire de laboratoire doit être conçu pour réduire au minimum l'accumulation de condensat. Tout condensat éventuellement accumulé doit être évacué et les orifices de purge doivent être complètement fermés avant les essais d'émissions. Les purgeurs doivent être maintenus fermés pendant l'essai d'émissions. Les paramètres du réfrigérant doivent être maintenus aux valeurs suivantes:
 - i) Une température du réfrigérant d'au moins 20 °C doit être maintenue à l'entrée du refroidisseur intermédiaire pendant tout l'essai;
 - ii) Aux conditions moteur définies par le constructeur, le débit de réfrigérant doit être réglé de manière à obtenir une température d'air se situant à ± 5 °C de la valeur prévue par le constructeur à la sortie du refroidisseur intermédiaire. La température doit être mesurée à l'emplacement précisé par le constructeur. Cette valeur de consigne de débit du réfrigérant doit être appliquée pendant tout l'essai. Si le fabricant du moteur ne spécifie pas de conditions moteur ou de température correspondante de l'air à la sortie du refroidisseur intermédiaire, le débit de réfrigérant doit être réglé à la puissance maximale du moteur en vue d'obtenir une température à la sortie de l'air du refroidisseur intermédiaire représentative du fonctionnement en service;
 - iii) Si le fabricant du moteur précise les limites de la perte de charge dans le système de refroidisseur intermédiaire, il faut vérifier que cette perte de charge, aux conditions moteur spécifiées par le fabricant, reste dans les limites spécifiées par ce dernier. La perte de charge doit être mesurée aux emplacements définis par le constructeur;
- b) L'objectif de cette procédure est d'obtenir des résultats d'émissions représentatifs du fonctionnement en service. Si une analyse fondée sur les pratiques techniques reconnues montre que l'application des prescriptions de cette section aboutirait à des conditions d'essai non représentatives (refroidissement excessif de l'air d'admission par exemple), il peut être appliqué des points de consigne et des systèmes plus poussés de régulation de la perte de charge de l'air d'admission, de la température du réfrigérant et du débit afin d'obtenir des résultats plus représentatifs.

6.3 Puissance du moteur

6.3.1 Base de la mesure des émissions

La base de la mesure des émissions spécifiques est la valeur de puissance non corrigée.

6.3.2 Accessoires à monter pour l'essai

Les accessoires nécessaires pour le fonctionnement du moteur doivent être montés pour l'essai au banc conformément aux prescriptions de l'annexe 7.

6.3.3 Accessoires à démonter pour l'essai

Certains accessoires dont la fonction est liée au fonctionnement de l'engin et qui peuvent être montés sur le moteur doivent être démontés pour l'essai.

Lorsque les accessoires ne peuvent pas être démontés, la puissance qu'ils absorbent en fonctionnement à vide peut être déterminée et ajoutée à la puissance mesurée du moteur (voir note g du tableau de l'annexe 7). Si cette valeur est supérieure à 3 % de la puissance maximale au régime d'essai, l'autorité responsable des essais peut la vérifier. La valeur de puissance absorbée par les accessoires doit être prise en compte pour régler les valeurs de consigne et pour calculer le travail produit par le moteur au cours du cycle d'essai.

6.4 Système d'admission du moteur

6.4.1 Introduction

Le système d'admission d'air monté sur le moteur ou un système représentatif d'une configuration typique en service doit être utilisé. Les systèmes de refroidisseur intermédiaire et les systèmes de recyclage des gaz d'échappement doivent être inclus.

6.4.2 Perte de charge à l'admission

Il doit être utilisé un système d'admission d'air du moteur ou un système de laboratoire produisant une perte de pression de l'air d'admission se situant à ± 300 Pa de la valeur maximale fixée par le fabricant pour un filtre à air propre au régime nominal et à pleine charge. La pression différentielle statique correspondant à la perte de charge doit être mesurée à l'emplacement et aux points de consigne de régime et de couple précisés par le fabricant. Si le fabricant ne définit pas d'emplacement, la pression doit être mesurée en amont de tout turbocompresseur ou raccordement d'un système de recyclage des gaz d'échappement au système d'admission d'air. Si le fabricant ne définit pas de point de consigne de régime et de couple, la pression doit être mesurée alors que le moteur produit sa puissance maximale.

6.5 Système d'échappement du moteur

Le système d'échappement monté sur le moteur ou un système représentatif d'une configuration typique en service doit être utilisé. Pour les dispositifs de traitement aval, la perte de charge à l'échappement doit être précisée par le fabricant en fonction de l'état du système de traitement aval (rodage/vieillessement et régénération/encrassement). Le système d'échappement doit être conforme aux prescriptions en ce qui concerne le prélèvement des gaz d'échappement énoncées au paragraphe 9.3. Il doit être utilisé un système d'échappement du moteur ou un système de laboratoire produisant une contre-pression statique d'échappement de 80 à 100 % de la contre-pression maximale d'échappement, aux valeurs de régime et de couple fixées par le fabricant. Si la contre-pression maximale est de 5 kPa ou moins, le point de consigne ne doit pas être à moins de 1,0 kPa du

maximum. Si le fabricant ne fixe pas de valeurs de régime et de couple, la pression doit être mesurée alors que le moteur produit sa puissance maximale.

6.6 Moteur avec 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 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 contre-pression ou la restriction à l'échappement doit satisfaire aux critères énoncés plus haut, et elle peut être réglable au moyen d'une soupape. Le système de traitement aval peut être enlevé lors des essais à blanc et pendant l'établissement de la courbe de conversion du moteur et peut être remplacé par une enceinte équivalente contenant un élément catalyseur inactif.

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.

Pour les moteurs équipés d'un système de traitement aval avec régénération périodique, comme décrit 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. Dans le cas des systèmes de traitement aval à régénération continue, qui sont décrits au paragraphe 6.6.1, aucune procédure d'essai spéciale n'est nécessaire.

6.6.1 Régénération continue

Pour un système de traitement aval fonctionnant avec régénération continue, les émissions doivent être mesurées sur un système dont les caractéristiques ont été stabilisées de manière à garantir la répétabilité des valeurs d'émissions mesurées. L'opération de régénération doit se produire au moins une fois au cours de l'essai NRTC et le constructeur doit déclarer les conditions dans lesquelles la régénération a normalement lieu (charge en particules, température, contre-pression d'échappement, etc.). Afin de démontrer que l'opération de régénération est continue, il doit être exécuté au moins trois essais NRTC de démarrage à chaud ou essais à modes raccordés RMC. Au cours des essais, le moteur doit subir la procédure de réchauffement selon le paragraphe 7.8.2.1, puis la procédure de stabilisation à chaud selon le paragraphe 7.4.2; le premier essai NRTC de démarrage à chaud est ensuite exécuté. Les essais NRTC de démarrage à chaud suivants doivent être effectués après stabilisation à chaud selon le paragraphe 7.4.2. Au cours des essais, les valeurs de température et de pression des gaz d'échappement doivent être enregistrées (température en amont et en aval du système de traitement, contre-pression d'échappement, etc.). Le système de traitement aval est considéré comme satisfaisant si les conditions déclarées par le constructeur sont respectées au cours de

l'essai pendant une durée suffisante et si les résultats en matière d'émissions n'offrent pas une dispersion excédant $\pm 25 \%$ ou $0,005 \text{ g/kWh}$, selon la valeur qui est la plus élevée. Si le système de traitement aval comporte un mode défaut qui consiste en un passage à un mode de régénération périodique, il doit être contrôlé conformément au paragraphe 6.6.2. Dans ce cas particulier, les limites d'émissions applicables pourront être dépassées et elles ne seront pas pondérées.

6.6.2 Régénération périodique (ou peu fréquente)

Ces prescriptions s'appliquent seulement aux moteurs équipés de systèmes antipollution à régénération périodique. Pour les moteurs qui sont soumis au cycle d'essai à modes discrets, cette procédure n'est pas applicable.

Les émissions doivent être mesurées sur au moins trois essais NRTC de démarrage à chaud ou essais à modes raccordés RMC, un avec cycle de régénération et deux hors cycles de régénération, avec un système de traitement aval des gaz d'échappement de caractéristiques stabilisées. L'opération de régénération doit avoir lieu au moins une fois pendant l'essai NRTC ou RMC. Si l'opération dure plus longtemps qu'un essai NRTC ou RMC, les essais sont répétés et les émissions continuent d'être mesurées sans que le moteur soit arrêté jusqu'à ce que la régénération soit terminée et la moyenne pour l'ensemble des essais est calculée. Si la régénération se termine pendant un cycle, celui-ci doit être poursuivi pendant toute sa durée normale. 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, contre-pression d'échappement, etc.). Il doit aussi indiquer la fréquence de l'opération de régénération en termes de nombre d'essais au cours desquels il y a régénération. La manière exacte de déterminer cette fréquence doit être approuvée par l'autorité d'homologation de type en fonction des pratiques techniques reconnues.

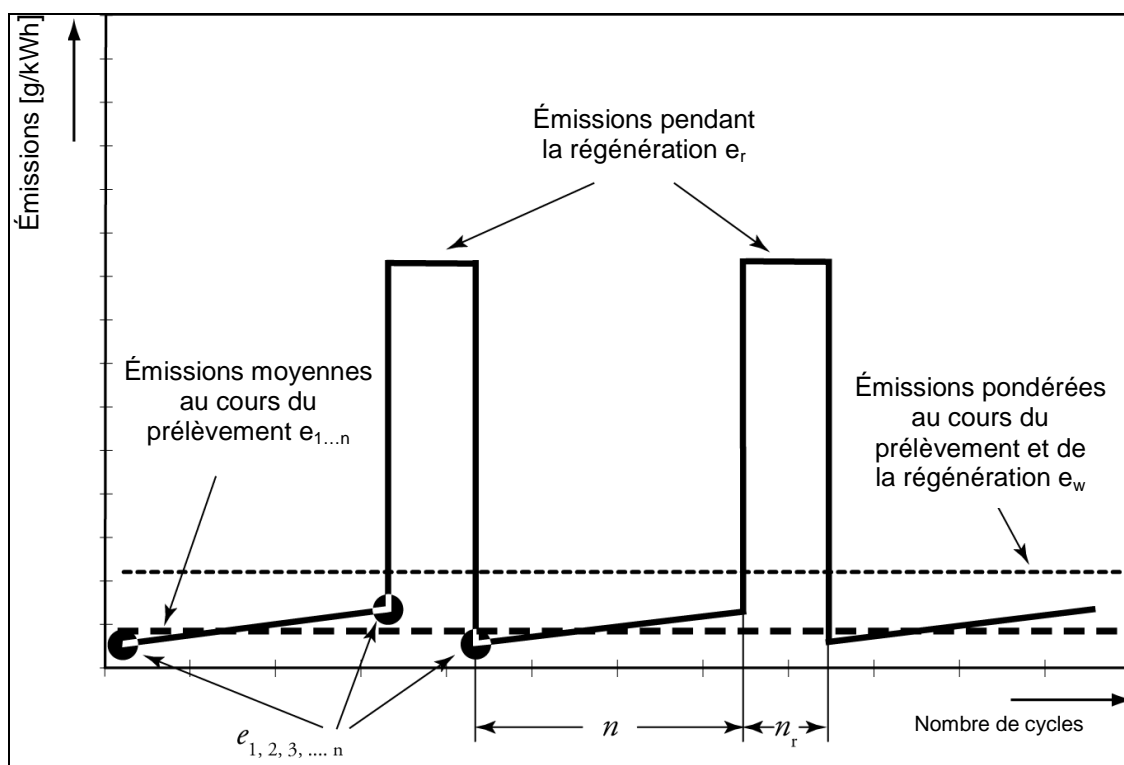
Pour un essai avec régénération, le constructeur doit fournir un système de traitement aval qui a subi un traitement préliminaire d'encrassage. La régénération ne doit pas avoir lieu au cours de cette phase de préparation du système. Le constructeur peut aussi exécuter des essais NRTC de démarrage à chaud ou RMC jusqu'à ce que le système soit dans l'état d'encrassage voulu. Il n'est pas nécessaire que les émissions soient mesurées pendant tous ces essais.

Les émissions moyennes entre phases de régénération doivent être déterminées sur la base de la moyenne arithmétique de plusieurs essais NRTC de démarrage à chaud ou RMC également espacés. Au minimum, il doit être exécuté au moins un essai NRTC de démarrage à chaud ou RMC le plus tard possible avant un essai où il y a régénération et un essai NRTC de démarrage à chaud ou RMC immédiatement après un tel essai.

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_x, température en amont et en aval du système de traitement, contre-pression d'échappement, etc.). Pendant l'opération de régénération, les limites d'émissions applicables peuvent être dépassées. La procédure d'essai est représentée schématiquement à la figure 6.1.

Figure 6.1

Représentation schématique de la régénération périodique avec n mesures et n_r mesures pendant la régénération



Les taux d'émissions spécifiques moyens liés au démarrage à chaud \bar{e}_w [g/kWh] doivent être pondérés comme suit (voir fig. 6.1):

$$\bar{e}_w = \frac{n \cdot \bar{e} + n_r \cdot \bar{e}_r}{n + n_r} \quad (6-3)$$

où:

n = nombre d'essais au cours desquels il n'y a pas régénération,

n_r = nombre d'essais au cours desquels il y a régénération (un au minimum),

\bar{e} = émissions spécifiques moyennes lors d'un essai dans lequel la régénération ne se produit pas [g/kWh]

\bar{e}_r = émissions spécifiques moyennes dans un essai pendant lequel se produit la régénération [g/kWh].

Au choix du fabricant et sur la base des pratiques techniques reconnues, le facteur k_r d'ajustement de régénération, qui exprime le taux d'émissions moyen, peut être calculé de manière multiplicative ou additive de la manière suivante:

Procédé multiplicatif

$$k_{Ur} = \frac{\bar{e}_w}{\bar{e}} \quad (\text{facteur d'ajustement vers le haut}) \quad (6-4a)$$

$$k_{Dr} = \frac{\bar{e}_w}{\bar{e}_r} \quad (\text{facteur d'ajustement vers le bas}) \quad (6-4b)$$

Procédé additif

$$k_{Ur} = \bar{e}_w - \bar{e} \quad (\text{facteur d'ajustement vers le haut}) \quad (6-5)$$

$$k_{Dr} = \bar{e}_w - \bar{e}_r \quad (\text{facteur d'ajustement vers le bas}) \quad (6-6)$$

Les facteurs d'ajustement vers le haut sont appliqués comme facteurs multiplicatifs ou additifs aux taux d'émissions pour tous les essais dans lesquels la régénération n'a pas lieu. Les facteurs d'ajustement vers le bas sont appliqués comme facteurs multiplicatifs ou additifs aux taux d'émissions mesurés pour tous les essais dans lesquels survient la régénération. La survenue de la régénération doit être signalée de manière bien visible au cours de tout l'essai. Si aucune régénération n'est observée, il convient d'appliquer le facteur d'ajustement vers le haut.

En référence à l'annexe 4B, appendices A.7 et A.8 sur les émissions spécifiques au frein, le facteur d'ajustement pour la régénération:

- a) Doit être appliqué aux résultats de l'essai pondérés NRTC et des essais RMC;
- b) Peut être appliqué aux cycles à modes raccordés et à l'essai NRTC à froid si une régénération a lieu au cours du cycle;
- c) Peut être appliqué à d'autres membres de la même famille de moteurs;
- d) peut être étendu à d'autres familles de moteurs utilisant le même système de traitement aval avec l'autorisation préalable de l'autorité d'homologation de type, accordée sur la base de données techniques fournies par le constructeur, démontrant que les émissions sont similaires.

Il convient de prendre en considération les options suivantes:

- a) Un fabricant peut choisir de négliger les facteurs d'ajustement pour une ou plusieurs de ses familles (ou configurations) de moteur, étant donné que l'effet de régénération est faible ou parce qu'il n'est guère pratique de déterminer à quel moment survient la régénération. Dans ces cas, on n'utilise pas de facteur d'ajustement et le fabricant est responsable de la conformité avec les limites d'émissions pour tous les essais, qu'une régénération survienne ou non;
- b) Sur la demande du fabricant, l'autorité d'homologation de type ou de certification peut prendre en compte des cycles de régénération autrement que comme il est prévu au point a). Toutefois, cette option ne s'applique qu'aux événements qui surviennent extrêmement rarement et qui ne peuvent être traités de manière pratique au moyen des facteurs d'ajustement décrits dans le point a).

6.7 Système de refroidissement

Il convient d'utiliser un système de refroidissement du moteur ayant la capacité suffisante pour maintenir aux températures normales de fonctionnement prescrites par le fabricant les températures de l'huile, du réfrigérant, du bloc et de la culasse. Il est permis d'utiliser des refroidisseurs et des ventilateurs auxiliaires de laboratoire.

6.8 Huile lubrifiante

L'huile lubrifiante doit être spécifiée par le constructeur et être représentative des huiles lubrifiantes disponibles sur le marché; les spécifications de l'huile lubrifiante utilisée pour l'essai doivent être enregistrées et communiquées avec les résultats de l'essai.

6.9 Spécifications du carburant de référence

Le carburant de référence est spécifié à l'annexe 6, tableau 3.

La température du carburant doit être conforme aux recommandations du fabricant. La température du carburant doit être mesurée à l'entrée à la pompe d'injection du carburant ou conformément aux spécifications du fabricant, et l'endroit où la mesure a été faite doit être enregistré.

6.10 Émissions de gaz de carter

Aucune émission de gaz de carter ne doit être libérée directement dans l'atmosphère ambiante, avec les exceptions suivantes: les moteurs équipés de turbocompresseurs, de pompes, de soufflantes ou de compresseurs pour l'air d'alimentation peuvent libérer des émissions de gaz de carter dans l'atmosphère ambiante si les émissions sont ajoutées aux émissions d'échappement (physiquement ou mathématiquement) durant tous les essais d'émissions. Les fabricants qui tireront profit de cette exception devront installer les moteurs de telle manière que toutes les émissions provenant du carter puissent être acheminées dans le système de prélèvement des émissions. Aux fins du présent paragraphe, les émissions provenant du carter qui sont introduites dans le conduit d'échappement en amont du système de traitement aval des gaz d'échappement pendant toutes les opérations ne sont pas considérées comme ayant été libérées directement dans l'atmosphère ambiante.

Les émissions provenant d'un système à carter ouvert doivent être acheminées dans le système d'échappement aux fins de mesure d'émissions, et ce dans les conditions suivantes:

- a) Les matériaux des tubes utilisés doivent avoir des parois lisses, être électriquement conducteurs et ne pas réagir aux gaz de carter. La longueur des tubes doit être maintenue aussi faible que possible;
- b) Il convient de réduire le plus possible le nombre de cintrages des tubes et le rayon de tout cintrage inévitable doit être aussi grand que possible;
- c) Les conduites d'échappement utilisées dans le laboratoire doivent être conformes aux spécifications du fabricant de moteurs en ce qui concerne la contre-pression du carter;
- d) Le conduit d'échappement des gaz de carter doit être branché dans le flux d'échappement brut en aval de tout système de traitement aval, en aval de toute restriction introduite à

l'échappement et suffisamment en amont de toute sonde de prélèvement pour garantir un mélange complet avec les gaz d'échappement du moteur avant le prélèvement. Le conduit d'échappement du carter doit aboutir dans le flux libre de l'échappement pour éviter les effets de couche limite et pour favoriser le mélange. La sortie du tube d'échappement du carter doit être orientable dans toute direction par rapport au flux d'échappement brut.

7. Méthodes d'essai

7.1 Introduction

Le présent paragraphe traite de la détermination des émissions spécifiques par ch de puissance utile de polluants gazeux et particuliers des moteurs soumis aux essais. La configuration du moteur soumis aux essais doit être la configuration typique pour la famille de moteurs, comme spécifié au paragraphe 5.2.

Un essai d'émissions en laboratoire consiste à mesurer des émissions et d'autres paramètres pour les cycles d'essai spécifiés dans la présente annexe. Les aspects suivants sont pris en considération (dans la présente annexe 4B):

- a) Les configurations de laboratoire pour mesurer les émissions spécifiques au frein (par. 7.2);
- b) Les procédures de vérification avant et après essais (par. 7.3);
- c) Les cycles d'essai (par. 7.4);
- d) La séquence générale de l'essai (par. 7.5);
- e) La courbe de conversion du moteur (par. 7.6);
- f) L'établissement du cycle d'essai (par. 7.7);
- g) La procédure d'application du cycle d'essai spécifique (par. 7.8).

7.2 Principe de la mesure des émissions

Pour mesurer les émissions spécifiques au frein, il faut faire fonctionner le moteur conformément aux cycles d'essai définis dans le paragraphe 7.4, selon qu'ils s'appliquent. La mesure des émissions spécifiques par ch de puissance utile requiert la détermination de la masse de polluants contenue dans les gaz d'échappement (c'est-à-dire HC, HCNM, CO, NO_x et PM) et du travail correspondant fourni par le moteur.

7.2.1 Masse du constituant

Il convient de déterminer la masse totale de chaque constituant sur tout le cycle d'essai applicable au moyen des méthodes suivantes:

7.2.1.1 Prélèvement en continu

En prélèvement en continu, on mesure la concentration du constituant de manière continue à partir des gaz d'échappement bruts ou dilués. Cette concentration est multipliée par le débit des gaz d'échappement continu (bruts ou dilués) à l'emplacement de prélèvement des émissions afin de déterminer le débit du constituant. Les émissions de constituant sont continuellement additionnées sur tout l'intervalle de l'essai. Cette somme est la masse totale des constituants émis.

7.2.1.2 Prélèvement par lots

Dans le prélèvement par lots, on extrait en continu des gaz d'échappement bruts ou dilués qui sont ensuite stockés pour mesures ultérieures. L'échantillon extrait doit être proportionnel au débit d'échappement brut ou dilué. Des exemples de prélèvement par lots sont la collecte d'émissions gazeuses diluées dans un sac et la collecte de matières particulaires sur un filtre. En principe, la méthode de calcul des émissions se fait de la manière suivante: les concentrations des échantillons par lots sont multipliées par la masse totale ou le débit-masse des gaz d'échappement (bruts ou dilués) d'où elles ont été extraites au cours du cycle d'essai. Ce produit est la masse totale ou le débit-masse du constituant émis. Pour calculer la concentration de particules, on divise la quantité de particules déposées sur un filtre par la quantité de gaz d'échappement filtrés.

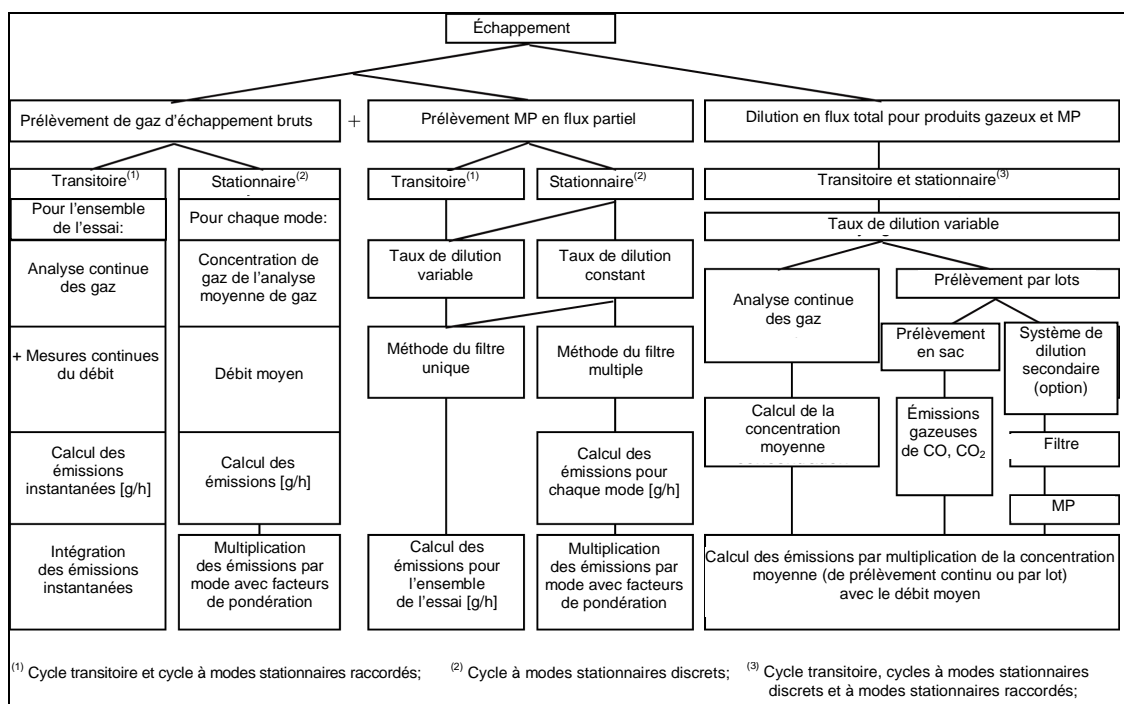
7.2.1.3 Prélèvement combiné

Toute combinaison de prélèvement en continu et de prélèvement par lots est permise (par exemple, les particules avec un prélèvement par lots et les émissions de gaz avec un prélèvement continu).

La figure 7.1 qui suit illustre les deux aspects des procédures d'essai utilisées pour mesurer les émissions: les équipements avec les lignes de prélèvement dans les gaz d'échappement bruts et dilués et les opérations nécessaires pour calculer les émissions de polluant dans les cycles d'essai en conditions stationnaires et transitoires (fig. 7.1).

Figure 7.1

Procédure d'essai pour la mesure des émissions



Note: L'expression «Prélèvement de MP en flux partiel» englobe la dilution du flux partiel pour extraire uniquement une fraction de gaz d'échappement bruts avec des rapports de dilution constants ou variables.

7.2.2 Détermination du travail

On détermine le travail sur le cycle d'essai en multipliant de manière synchronisée le régime et le couple de freinage pour calculer les valeurs instantanées de puissance au frein du moteur. Cette puissance est intégrée dans l'ensemble du cycle d'essai pour déterminer la totalité du travail.

7.3 Vérification et étalonnage**7.3.1 Procédures préalables à l'essai****7.3.1.1 Préconditionnement**

Pour obtenir des conditions stables, le système de prélèvement et le moteur doivent être preconditionnés avant le début d'une séquence d'essai, comme cela est spécifié dans les paragraphes 7.3 et 7.4. Le preconditionnement destiné à refroidir le moteur en vue d'un essai transitoire de démarrage à froid est particulièrement indiqué dans le paragraphe 7.4.2.

7.3.1.2 Vérification de la contamination par les hydrocarbures

S'il y a la moindre présomption d'une contamination essentielle par hydrocarbures des systèmes de mesure des gaz d'échappement, on peut vérifier la contamination par les HC à l'aide d'un gaz zéro, ce qui permet d'apporter la correction nécessaire. S'il y a lieu de contrôler l'importance de la contamination du système de mesure et le système de prélèvement des concentrations HC ambiantes, il convient de le faire dans les 8 h suivant le lancement de chaque cycle d'essai. Les valeurs doivent être enregistrées pour correction ultérieure. Avant cette vérification, il est nécessaire de faire un contrôle des fuites et d'étalonner l'analyseur FID (détecteur à ionisation de flamme).

7.3.1.3 Préparation des instruments de mesure en vue du prélèvement

Il convient de prendre les dispositions ci-après avant de commencer le prélèvement aux fins de la mesure des émissions:

- a) Le contrôle des fuites doit être effectué dans les 8 h précédant le prélèvement aux fins de la mesure des émissions conformément aux indications du paragraphe 8.1.8.7;
- b) En cas de prélèvement par lots, on utilise du matériel de stockage propre tel que des sacs vides ou des filtres pesés à vide;
- c) Tous les instruments de mesure doivent être mis en marche conformément aux instructions du fabricant et conformément aux pratiques techniques reconnues;
- d) Les systèmes de dilution, les pompes de prélèvement, les ventilateurs de refroidissement et le système de collecte de données doivent être mis en marche;
- e) Les débits des échantillons doivent être ajustés aux niveaux souhaités, éventuellement au moyen d'une dérivation;
- f) Les échangeurs de chaleur du système de prélèvement doivent être préchauffés ou prérefroidis pour être amenés dans leurs plages de température de fonctionnement pour les essais;

- g) Les éléments chauffés ou refroidis, comme les conduites de prélèvement, les filtres, les refroidisseurs et les pompes doivent se stabiliser à leurs températures de fonctionnement;
- h) Le système de dilution des gaz d'échappement doit être mis en marche au moins 10 min avant la séquence d'essai;
- i) L'étalonnage des analyseurs de gaz et la mise à zéro des analyseurs en continu doivent être effectués conformément à la procédure décrite au paragraphe 7.3.1.4 ci-dessous;
- j) Tout dispositif d'intégration électronique doit être mis ou remis à zéro avant le début d'un quelconque intervalle d'essai.

7.3.1.4 Étalonnage des analyseurs de gaz

Il convient de sélectionner les plages appropriées pour les analyseurs de gaz. Les analyseurs de mesure des émissions à commutation manuelle ou automatique de la plage de mesure sont autorisés. Au cours d'un essai à modes stationnaires discrets et à modes stationnaires raccordés ou d'un essai NRTC et pendant une période de prélèvement des émissions gazeuses à la fin de chaque mode pour les essais à modes discrets, la plage des analyseurs de mesure des émissions ne peut être modifiée. Par ailleurs, il convient de ne pas modifier le gain du ou des amplificateurs opérationnels analogiques de l'analyseur pendant le cycle d'essai.

Tous les analyseurs en continu doivent être mis à zéro et réglés au moyen de gaz internationalement traçables conformes aux spécifications du paragraphe 9.5.1 de l'annexe 4B. Les analyseurs FID doivent être réglés sur la base d'un nombre carbone de un (C_1).

7.3.1.5 Préconditionnement du filtre à particules et mesure du poids à vide

Ces procédures se déroulent conformément aux dispositions du paragraphe 8.2.3.

7.3.2 Procédures faisant suite aux essais

Les mesures suivantes doivent être prises après le prélèvement effectué aux fins de la mesure des émissions:

7.3.2.1 Vérification du prélèvement proportionnel

Pour tout échantillon proportionnel comme un échantillon en sac ou un échantillon de MP, il faut s'assurer que le prélèvement proportionnel s'est effectué conformément au paragraphe 8.2.1. Pour la méthode à filtre unique et le cycle d'essai en conditions stationnaires à modes discrets, il convient de calculer le facteur de pondération MP effectif. Tout échantillon qui ne répond pas entièrement aux prescriptions du paragraphe 8.2.1 doit être refusé.

7.3.2.2 Conditionnement et pesage des particules après l'essai

Les filtres à échantillon de MP usagés doivent être placés dans des récipients fermés ou scellés afin de protéger les filtres à échantillon contre la contamination ambiante. Ainsi protégés, les filtres en question doivent être renvoyés à la chambre de conditionnement du filtre MP. Ensuite, les filtres à échantillons de MP doivent être conditionnés et pesés conformément aux indications du paragraphe 8.2.4 (postconditionnement du filtre MP et procédures de pesage complètes).

7.3.2.3 Analyse du prélèvement de gaz par lots

Dès que cela est possible, il convient de faire ce qui suit:

- a) Tous les analyseurs de gaz prélevé par lots doivent être mis à zéro et réglés moins de 30 min après la fin du cycle d'essai ou durant la période de stabilisation à chaud si possible afin de vérifier si les analyseurs de gaz sont toujours stables;
- b) Tout échantillon de gaz doit être analysé au plus tard 30 min après le cycle d'essai de départ à chaud ou pendant la période de stabilisation à chaud;
- c) Les échantillons de concentrations ambiantes doivent être analysés dans les 60 min suivant la fin du cycle d'essai avec démarrage à chaud.

7.3.2.4 Vérification de la dérive

Après la quantification des gaz d'échappement, il convient de vérifier la dérive de la manière suivante:

- a) Pour les analyseurs de gaz par lots et en continu, la valeur moyenne de l'analyseur doit être enregistrée après l'envoi d'un gaz zéro dans l'analyseur et la stabilisation de ce gaz. La stabilisation peut englober le temps nécessaire pour analyser un quelconque échantillon de gaz, ainsi que tout temps additionnel nécessaire pour tenir compte de la réponse de l'analyseur;
- b) La valeur moyenne de l'analyseur doit être enregistrée après stabilisation du gaz de calibrage dans l'analyseur. La stabilisation peut englober le temps nécessaire pour purger l'analyseur de tout échantillon de gaz, ainsi que le temps nécessaire additionnel pour tenir compte de la réponse de l'analyseur;
- c) On utilise ces données pour valider les résultats et les corriger pour tenir compte de la dérive, comme indiqué au paragraphe 8.2.2.

7.4 Cycles d'essai

Les cycles d'utilisation suivants s'appliquent:

- a) Pour les moteurs à régime variable, le cycle d'essai à 8 modes ou le cycle à modes raccordés correspondant, ainsi que le cycle NRTC transitoire, tel que spécifié à l'annexe 5;
- b) Pour les moteurs à régime constant, le cycle d'essai à 5 modes ou le cycle à modes raccordés correspondant, tel que spécifié à l'annexe 5.

7.4.1 Cycles d'essai en conditions stationnaires

Les cycles d'essai en conditions stationnaires sont spécifiés dans l'annexe 5 sous la forme d'une liste de modes discrets (points de fonctionnement), qui indique pour chaque point de fonctionnement une valeur de vitesse et une valeur de couple. Un cycle d'essai en conditions stationnaires doit être effectué avec le moteur en marche et à chaud, conformément aux spécifications du fabricant. Un cycle d'essai en conditions stationnaires peut être exécuté en tant que cycle à modes discrets ou cycle à modes raccordés, comme cela est expliqué dans les paragraphes qui suivent.

7.4.1.1 Cycles d'essai en conditions stationnaires à modes discrets

Le cycle d'essai en conditions stationnaires à 8 modes discrets est constitué de 8 modes de vitesse et de charge (avec le facteur de pondération respectif pour chaque mode) et pour la plage de fonctionnement habituelle des moteurs à régime variable. Le cycle est représenté dans l'annexe 5.

Le cycle d'essai en conditions stationnaires à 5 modes discrets pour moteurs à vitesse constante est constitué de 5 modes de charge (avec le facteur de pondération respectif pour chaque mode), tous situés au régime nominal qui couvre la plage de fonctionnement habituelle des moteurs à régime constant. Le cycle est représenté dans l'annexe 5.

7.4.1.2 Cycles d'essai en conditions stationnaires à modes raccordés

Les cycles d'essai en conditions stationnaires à modes raccordés (RMC) sont des cycles de fonctionnement à chaud dans lesquels la mesure des émissions commence une fois que le moteur a démarré, qu'il est monté en température et qu'il fonctionne comme indiqué au paragraphe 7.8.2.1. Le moteur est sous contrôle permanent de l'unité de contrôle des bancs d'essai pendant le cycle d'essai RMC. Les émissions de gaz et de particules doivent être mesurées et faire l'objet de prélèvement en continu pendant le cycle d'essai RMC tout comme dans un cycle transitoire.

Dans le cycle d'essai à 5 modes, le RMC est constitué des mêmes modes dans le même ordre que ceux du cycle d'essai à modes discrets en conditions stationnaires correspondant. Dans le cas du cycle d'essai à 8 modes, le cycle RMC comporte un mode de plus (mode ralenti séparé) et la séquence de modes n'est pas la même que celle du cycle d'essai à modes discrets en conditions stationnaires correspondant afin d'éviter des variations extrêmes dans les températures de traitement aval. La longueur des modes doit être choisie de manière à concorder avec les facteurs de pondération des cycles d'essai à modes discrets en conditions stationnaires correspondants. Les variations du régime moteur et de la charge d'un mode au suivant doivent être contrôlées régulièrement sur une période de 20 ± 1 s. La durée nécessaire au changement de mode fait partie du nouveau mode (y compris pour le premier mode).

7.4.2 Cycle d'essai transitoire (NRTC)

Le cycle transitoire non routier (NRTC) est défini dans l'annexe 5, sous la forme d'une séquence seconde par seconde des valeurs normalisées de vitesse et de couple. Pour effectuer l'essai dans une cellule d'essai pour moteurs, les valeurs normalisées doivent être converties en leurs valeurs de référence équivalentes pour le moteur particulier à essayer sur la base des valeurs spécifiques de vitesse et de couple identifiées dans la courbe de conversion du moteur. La conversion est appelée dénormalisation et le cycle d'essai qui en résulte est le cycle d'essai NRTC de référence du moteur soumis aux essais (voir le paragraphe 7.7.2).

On trouvera à l'annexe 5 une représentation graphique du programme du dynamomètre NRTC normalisé.

Le cycle d'essai transitoire est effectué à deux reprises (voir le paragraphe 7.8.3):

- a) Après un démarrage à froid, le moteur et les systèmes de traitement aval ayant refroidi jusqu'aux températures ambiantes, après un refroidissement naturel du moteur, ou comme démarrage à froid après un refroidissement forcé du moteur, du réfrigérant et des températures d'huile, les systèmes de traitement aval et tous les dispositifs de régulation du moteur sont stabilisés entre 20 et 30 °C. La mesure des émissions avec démarrage à froid commence avec la mise en marche du moteur froid;
- b) Période de stabilisation à chaud – Immédiatement après avoir effectué la phase de démarrage à froid, le moteur doit être conditionné pour le démarrage à chaud par une période de stabilisation à chaud de 20 ± 1 min;
- c) Le démarrage à chaud est effectué immédiatement après la période de stabilisation à chaud par démarrage du moteur. Les analyseurs de gaz sont enclenchés au plus tard 10 s avant la fin de la période de stabilisation pour éviter les crêtes du signal de commutation. La mesure des émissions doit commencer parallèlement au début de la phase de démarrage à chaud, y compris le lancement du moteur.

Les émissions spécifiques au frein exprimées en g/kWh doivent être déterminées au moyen des procédures définies dans la présente section, tant pour les cycles d'essai avec démarrage à chaud que pour les cycles d'essai avec démarrage à froid. Les émissions pondérées composites sont calculées en pondérant les résultats des démarrages à froid de 10 % et les résultats de démarrage à chaud de 90 %, comme indiqué en détail dans l'annexe 4B, appendices A.7 et A.8.

7.5

Séquence d'essai générale

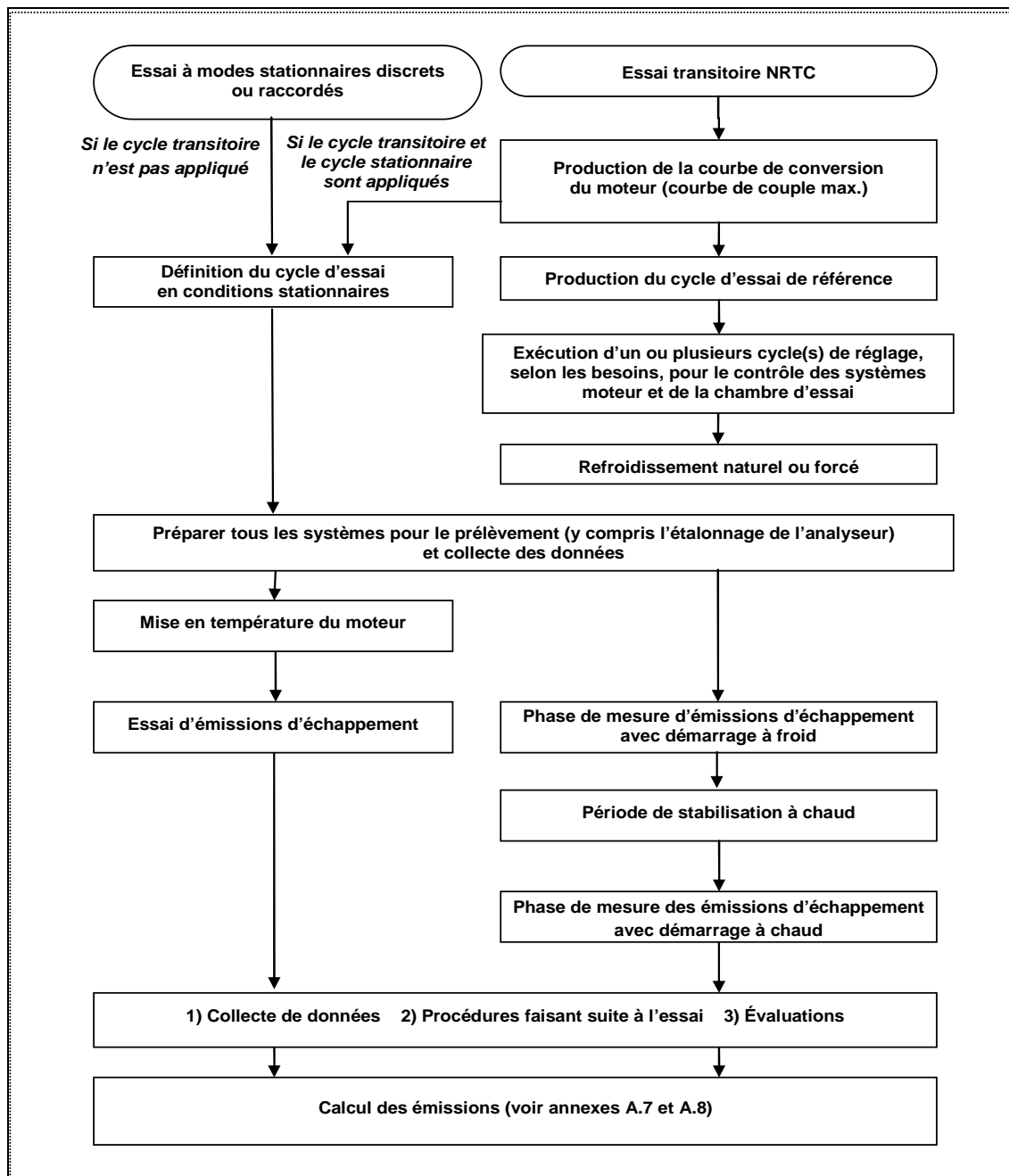
Pour mesurer les émissions du moteur il convient de procéder en respectant les étapes suivantes:

- a) Les régimes d'essai du moteur et les charges d'essai doivent être définis pour le moteur soumis aux essais par une mesure du couple maximal (pour les moteurs à régime constant) ou par le maximum de la courbe de couple (pour les moteurs à régime variable) en fonction du régime du moteur;
- b) Les cycles d'essai normalisés doivent être dénormalisés au moyen du couple (pour les moteurs à régime constant) ou des régimes et couples (pour les moteurs à régime variable) déterminés dans le point 7.5 a) ci-dessus;
- c) Le moteur, les équipements et les instruments de mesure doivent être préparés à l'avance pour l'essai ou la série d'essais d'émissions suivants (cycles froid et chaud);
- d) Il convient d'effectuer les procédures préalables aux essais pour vérifier le fonctionnement correct de certains équipements et appareils d'analyse. Ceux-ci doivent être étalonnés. Toutes les données antérieures à l'essai doivent être consignées;
- e) Le moteur doit être mis en marche (NRTC) ou maintenu en marche (cycles en conditions stationnaires) au début du cycle d'essai et les systèmes de prélèvement doivent être lancés au même moment;

- f) Les émissions et les autres paramètres requis doivent être mesurés ou enregistrés durant le temps de prélèvement (pour un NRTC et les cycles d'essai en conditions stationnaires à modes raccordés) pendant tout le cycle d'essai;
- g) Les procédures faisant suite aux essais doivent être effectuées pour vérifier le fonctionnement correct de certains équipements et analyseurs;
- h) Le ou les filtres à MP sont conditionnés, pesés (poids à vide), chargés, reconditionnés, pesés à nouveau (poids en charge), puis les échantillons sont évalués suivant les procédures préessai (par. 7.3.1.5) et postessai (par. 7.3.2.2);
- i) Les résultats des essais d'émissions doivent être évalués.

Le diagramme ci-dessous donne un aperçu général des opérations nécessaires pour effectuer les cycles d'essai EMNR avec mesures des émissions d'échappement du moteur.

Figure 7.3
Séquence d'essai



7.5.1 Démarrage du moteur et redémarrage

7.5.1.1 Démarrage du moteur

Le moteur doit être démarré:

- a) Suivant les recommandations du constructeur, qui figurent dans le manuel d'utilisation, au moyen du démarreur de série et d'une batterie correctement chargée, d'une alimentation électrique appropriée ou d'une source d'air comprimé appropriée; ou

- b) Au moyen d'un dynamomètre qui entraîne le moteur jusqu'à ce qu'il démarre. Généralement, le moteur est entraîné à sa vitesse normale de démarrage en service ± 25 %. On peut aussi mettre le moteur en marche en augmentant linéairement le régime du dynamomètre de zéro à 100 min^{-1} au-dessous du régime de ralenti mais uniquement jusqu'au moment où le moteur démarre.

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 celui-ci et on détermine la raison du non-démarrage, à moins que le manuel d'utilisation ou le manuel de service et de réparation ne décrive comme normale une durée de démarrage plus longue.

7.5.1.2 Calage du moteur

- a) Si le moteur cale à un stade quelconque de l'essai de démarrage du cycle NRTC, l'essai doit être annulé;
- b) Si le moteur cale à un moment quelconque de l'essai de démarrage à chaud du cycle NRTC, l'essai est annulé. Après une période de stabilisation à chaud conformément au paragraphe 7.8.3, l'essai de démarrage à chaud doit être répété. Dans ce cas l'essai de démarrage à froid n'a pas à être répété;
- c) Si le moteur cale à un moment quelconque au cours du cycle uniforme (à modes discrets ou à modes raccordés), l'essai est annulé et doit reprendre en commençant par la procédure d'échauffement du moteur. En cas de mesure des MP utilisant la méthode à plusieurs filtres (un filtre de prélèvement pour chaque mode de fonctionnement), il faut poursuivre l'essai en stabilisant le moteur dans le mode précédent pour le conditionnement de la température du moteur avant de lancer les mesures dans le mode dans lequel le moteur a calé.

7.6 Établissement de la courbe de conversion du moteur

Avant de commencer à établir la courbe de conversion du moteur, il convient de mettre celui-ci en température. Vers la fin du temps de mise en température, il doit être utilisé pendant 10 min au moins à sa puissance maximale ou conformément à la recommandation du fabricant et aux pratiques techniques reconnues afin de stabiliser les températures du liquide de refroidissement et du lubrifiant moteur. La courbe de conversion du moteur est établie lorsque le moteur est stabilisé.

Sauf dans le cas des moteurs à régime constant, il faut établir la courbe de conversion avec le levier de débit de carburant ou régulateur à la position grand ouvert en utilisant des régimes discrets dans l'ordre ascendant. Les régimes minimal et maximal pour la conversion sont définis de la manière suivante:

Régime minimal = régime de ralenti à chaud

Régime maximal = $n_{hi} \times 1,02$ ou régime auquel le couple maximal tombe à zéro, la valeur la plus petite étant retenue.

Où n_{hi} est le régime haut, défini comme étant le régime moteur le plus élevé où la puissance fournie est de 70 % de la puissance maximale.

Si le régime le plus élevé est dangereux ou non représentatif (par exemple dans le cas de moteurs sans régulateur), il convient de suivre les pratiques techniques reconnues pour atteindre le régime sans danger ou le régime maximal représentatif.

7.6.1 Établissement de la courbe de conversion pour le cycle en conditions stationnaires à 8 modes

En cas d'établissement de la courbe de conversion pour le cycle en conditions stationnaires à 8 modes (seulement pour les moteurs qui ne doivent pas effectuer le cycle NRTC), il faut suivre les pratiques techniques reconnues pour sélectionner un nombre suffisant (20 à 30) de points de réglage uniformément répartis. À chaque point de réglage, on stabilise le régime et on permet au couple de se stabiliser pendant au moins 15 s. Le régime et le couple moyen sont enregistrés pour chaque point de réglage. Ensuite, une interpolation linéaire permet de déterminer les vitesses et couples de l'essai à 8 modes. Si les régimes et les charges d'essai ne s'écartent pas de plus de $\pm 2,5$ % des régimes et couples indiqués par le fabricant, il faut appliquer les régimes et charges définis par celui-ci. Lorsque les moteurs sont soumis au cycle NRTC, la courbe NRTC de conversion du moteur est utilisée pour déterminer les vitesses et couples de l'essai en conditions stationnaires.

7.6.2 Établissement de la courbe de conversion pour le cycle NRTC

La courbe de conversion doit être établie conformément à la procédure suivante:

- a) Le moteur n'est pas chargé et tourne au régime de ralenti:
 - i) Dans le cas des moteurs ayant un régulateur de bas régime, la demande de l'opérateur est réglée au minimum; le dynamomètre ou tout autre dispositif de mise en charge est utilisé pour viser une valeur de couple zéro sur l'arbre principal de sortie du moteur et on laisse celui-ci réguler le régime. Ensuite il faut mesurer le régime de ralenti à chaud;
 - ii) Dans le cas des moteurs dépourvus de régulateur de bas régime, le dynamomètre doit être réglé pour obtenir un couple zéro sur l'arbre de sortie primaire du moteur; la demande de l'opérateur doit être réglée de manière à ce que le régime soit le régime le plus bas possible annoncé par le fabricant avec une charge minimale (également appelé régime de ralenti à chaud annoncé par le fabricant);
 - iii) Le couple à vide annoncé par le fabricant peut être utilisé pour tous les moteurs à régime variable (avec ou sans régulateur de bas régime), si un couple à vide différent de zéro est représentatif du fonctionnement en service;
- b) La demande de l'opérateur doit être réglée sur le maximum et le régime moteur doit être réglé entre le régime de ralenti à chaud et 95 % de ce régime de ralenti à chaud. Dans le cas des moteurs ayant des cycles d'utilisation de référence, dont le régime le plus bas est supérieur au régime des ralentis à chaud, la conversion doit commencer entre le régime de référence le plus bas et 95 % du régime de référence le plus bas;

- c) Le régime du moteur doit être augmenté à un taux moyen de $8 \pm 1 \text{ min}^{-1}/\text{s}$ ou bien la conversion doit faire appel à un balayage constant du régime à un rythme constant de telle sorte qu'il faille 4 à 6 min pour passer du minimum au maximum de la vitesse de balayage. La plage des régimes de conversion doit commencer entre le ralenti à chaud et 95 % du ralenti à chaud et se terminer au régime le plus élevé au-dessus de la puissance maximale à laquelle 70 % de la puissance nominale est délivrée. Si ce régime maximal est dangereux ou non représentatif (par exemple dans le cas de moteurs sans régulateur), il faut suivre les pratiques techniques reconnues pour établir la courbe jusqu'au régime maximal sûr ou le régime maximal représentatif. Les points de régime et de couple du moteur sont enregistrés à une fréquence d'au moins 1 Hz;
- d) Si un constructeur estime que les techniques de conversion exposées ci-dessus ne sont pas fiables ou représentatives d'un moteur donné, d'autres techniques de conversion peuvent être appliquées. Comme les procédures de conversion spécifiées, elles doivent viser à déterminer le couple maximal disponible à tous les régimes du moteur atteints au cours des cycles d'essai. Les techniques qui, pour des raisons de fiabilité ou de représentativité, s'écartent des techniques spécifiées doivent être approuvées par l'autorité d'homologation de type en même temps que la justification de leur emploi. En aucun cas cependant, la courbe de couple ne peut être obtenue à partir de vitesses décroissantes pour des moteurs à régulateur ou à turbocompresseur;
- e) L'établissement d'une courbe de conversion n'est pas nécessaire avant chaque cycle d'essai. Elle l'est si:
 - i) Sur la base des pratiques techniques reconnues, un laps de temps excessif s'est écoulé depuis la dernière conversion;
 - ii) Le moteur a subi des modifications physiques ou des modifications des réglages susceptibles d'influer sur ses performances;
 - iii) La pression atmosphérique à l'entrée d'air du moteur n'est pas dans les limites de $\pm 5 \text{ kPa}$ autour de la valeur enregistrée lors de la dernière conversion.

7.6.3 Conversion pour les moteurs à régime constant:

- a) Le moteur peut être utilisé avec un régulateur à régime constant de série ou on peut simuler un régulateur à vitesse constante en réglant le régime du moteur au moyen d'un système de commande géré par l'opérateur. On utilise un régulateur isochrone ou à écart permanent de tours, selon le cas;
- b) Le régime étant commandé par le régulateur ou le régulateur simulé et selon la demande de l'opérateur, le moteur fonctionne à un régime régulé sans charge (régime haut, pas de ralenti) pendant au moins 15 s;
- c) On utilise le dynamomètre pour augmenter le couple à un rythme constant. La conversion est réglée de telle manière qu'il faille 2 à 4 min pour passer du régime régulé sans charge au couple

maximal. Pendant l'opération, le régime et le couple réel doivent être enregistrés à une fréquence d'au moins 1 Hz;

- d) Dans le cas d'un moteur de groupe électrogène destiné à être utilisé pour produire du courant électrique à 50 Hz ou 60 Hz (régimes de 1 500 et 1 800 min⁻¹ par exemple), il convient d'essayer le moteur séparément à ces deux régimes constants.

Pour les moteurs à régime constant, il faut suivre les pratiques techniques reconnues pour appliquer d'autres méthodes visant à enregistrer les valeurs maximales de couple et de puissance aux régimes de fonctionnement définis.

7.7 Établissement du cycle d'essai

7.7.1 Établissement de cycles d'essai en conditions stationnaires

7.7.1.1 Régime nominal

Dans le cas des moteurs qui sont soumis au programme d'essai en conditions stationnaires et aussi en régime transitoire, on calcule le régime de dénormalisation conformément à la procédure transitoire (par. 7.6.2 et 7.7.2.1 et fig. 7.3).

Si le régime dénormalisé calculé (n_{denorm}) ne s'écarte pas de plus de $\pm 2,5$ % du régime dénormalisé annoncé par le fabricant, ce régime dénormalisé (n_{denorm}) peut être utilisé pour l'essai d'émissions. Si cette tolérance est dépassée, il convient d'utiliser le régime dénormalisé calculé (n_{denorm}) à cet effet. Dans le cas du cycle en conditions stationnaires, le régime dénormalisé calculé (n_{denorm}) est pris comme régime nominal.

Dans le cas des moteurs qui ne sont pas soumis au programme d'essai en conditions transitoires, le régime nominal des tableaux de l'annexe 5 pour le cycle à 8 modes discrets et le cycle à modes raccordés qui en est dérivé est calculé conformément à la procédure applicable (voir par. 7.6.1 et 7.7.2.1 et fig. 7.3). Le régime nominal est défini au paragraphe 3.1.53.

7.7.1.2 Établissement du cycle d'essai en conditions stationnaires à 8 modes (modes discrets et modes raccordés)

Le régime intermédiaire est déterminé par calcul conformément à sa définition (voir le paragraphe 3.1.32).

Le réglage du moteur pour chacun des modes d'essai est calculé au moyen de la formule:

$$S = \left((P_{max} + P_{AUX}) \cdot \frac{L}{100} \right) - P_{AUX} \quad (7-1)$$

où:

S = réglage du dynamomètre en kW

P_{max} = puissance maximale observée ou annoncée au régime d'essai dans les conditions d'essai (spécifiées par le fabricant) en kW

P_{AUX} = puissance totale déclarée absorbée par les éléments accessoires mis en place pour l'essai (voir par. 6.3) au régime d'essai en kW

L = couple en %.

Au cours du cycle d'essai, le moteur doit fonctionner aux régimes et couples spécifiés dans l'annexe 5.

Les valeurs de couple maximal au régime d'essai spécifié doivent être établies d'après la courbe de conversion du moteur (voir par. 7.6.1 ou 7.6.2). Les valeurs «mesurées» le sont, soit directement durant le processus d'établissement de la courbe de conversion, soit à partir de la courbe de conversion du moteur. Les valeurs «annoncées» sont indiquées par le fabricant. Quand on dispose à la fois des valeurs mesurées et des valeurs annoncées, on peut utiliser les valeurs annoncées au lieu des valeurs mesurées si elles ne s'écartent pas de plus de $\pm 2,5$ %. À défaut, il convient d'utiliser les couples mesurés obtenus d'après la courbe de conversion du moteur.

7.7.1.3 Création du cycle d'essai en conditions stationnaires à 5 modes (discrets ou raccordés)

Au cours du cycle d'essai, le moteur doit fonctionner aux régimes et couples spécifiés dans l'annexe 5.

Pour produire le cycle d'essai à 5 modes, on utilise les valeurs de couple maximal pour la conversion au régime nominal spécifié (voir le paragraphe 7.7.1.1). Un couple minimal à chaud qui est représentatif du fonctionnement en utilisation peut être annoncé. Par exemple, si le moteur est généralement connecté à une machine qui ne fonctionne pas au-dessous d'un couple minimal donné, ce couple peut être annoncé et utilisé pour établir le cycle. Quand les valeurs mesurées et annoncées sont toutes deux disponibles pour le couple maximal d'essai pour l'établissement du cycle, on peut utiliser la valeur annoncée au lieu de la valeur mesurée si elle se situe entre 95 et 100 % de cette dernière.

Les valeurs de couple sont des valeurs en pourcentage du couple correspondant à la puissance pour le service de base³. La puissance pour le service de base est définie comme étant la puissance maximale disponible au cours d'une séquence d'exploitation variable dont la durée peut atteindre un nombre d'heures illimité par an, entre des entretiens et dans les conditions ambiantes déclarées. L'entretien est effectué selon les prescriptions du constructeur.

7.7.2 Établissement du cycle d'essai transitoire (dénormalisation NRTC)

L'annexe 5 contient la définition des cycles d'essai applicables dans un format normalisé. Un cycle d'essai normalisé est constitué d'une suite de valeurs appariées pour le régime et le couple en pourcentage.

Les valeurs normalisées de régime et de couple doivent être transformées selon les conventions suivantes:

³ Des éclaircissements sur la définition de la puissance disponible sont données dans la figure 2 de la norme ISO 8528-1:1993 (E).

- a) Le régime normalisé doit être transformé en une suite de régimes de référence, n_{ref} , conformément aux dispositions du paragraphe 7.7.2.2;
- b) Le couple normalisé est exprimé en tant que pourcentage du couple reconnu au régime de référence correspondant. Ces valeurs normalisées doivent être transformées en une suite de couples de référence, T_{ref} , conformément aux dispositions du paragraphe 7.7.2.3;
- c) La puissance de référence est le résultat du produit du régime de référence par le couple de référence exprimés en unités cohérentes.

7.7.2.1 Régime de dénormalisation (n_{denorm})

Le régime de dénormalisation (n_{denorm}) est sélectionné de manière à correspondre au régime à 100 % normalisé spécifié dans la programmation du dynamomètre de l'annexe 5. Le cycle moteur de référence résultant de la dénormalisation au régime de référence dépend du choix du régime de dénormalisation approprié (n_{denorm}). Pour le calcul du régime de dénormalisation (n_{denorm}), obtenu à partir de la courbe de conversion mesurée, on peut utiliser au choix une des formulations équivalentes suivantes en accord avec les autorités d'homologation de type:

$$a) \quad n_{denorm} = n_{lo} + 0,95 \cdot (n_{hi} - n_{lo}) \quad (7-2)$$

où:

n_{denorm} = régime de dénormalisation

n_{hi} = régime haut (voir le paragraphe 3.1.30)

n_{lo} = régime bas (voir le paragraphe 3.1.34).

- b) n_{denorm} correspond au vecteur le plus long défini en tant que:

$$n_{denorm} = n_i \text{ au maximum de } \left(n_{normi}^2 + P_{normi}^2 \right) \quad (7-3)$$

où:

i = une variable d'indexage qui représente une valeur enregistrée d'une courbe de conversion de moteur

n_{normi} = un régime moteur que l'on a normalisé en le divisant par n_{Pmax} .

P_{normi} = une puissance moteur que l'on a normalisée en la divisant par P_{max} .

À noter que si l'on obtient plusieurs valeurs maximales, il convient de retenir comme régime de dénormalisation (n_{denorm}) la vitesse la moins élevée de tous les points ayant la même somme des carrés maximale. On peut utiliser une vitesse annoncée plus élevée si la longueur du vecteur à la vitesse annoncée est à 2 % près égale à la longueur du vecteur à la valeur mesurée.

Si la partie descendante de la courbe de pleine charge présente un bord très raide, cela peut poser des problèmes pour atteindre correctement les régimes de 105 % du cycle d'essai NRTC. Dans ce cas il est permis,

moyennant l'accord préalable des autorités d'homologation ou de certification, de diminuer quelque peu (3 % maximum) le régime de dénormalisation (n_{denorm}) pour rendre possible l'exécution correcte du cycle NRTC.

Si le régime de dénormalisation mesuré (n_{denorm}) est à 3 % près égale au régime de dénormalisation annoncé par le fabricant, on peut utiliser le régime de dénormalisation annoncé (n_{denorm}) pour l'essai d'émissions. Si la tolérance est dépassée, on utilise pour ces essais d'émissions la vitesse de dénormalisation mesurée (n_{denorm}).

7.7.2.2 Dénormalisation du régime moteur

Il convient de dénormaliser le régime moteur au moyen de l'équation suivante:

$$n_{ref} = \frac{\%speed \cdot (n_{denorm} - n_{idle})}{100} + n_{idle} \quad (7-4)$$

où:

n_{ref} = régime de référence

n_{denorm} = régime de dénormalisation

n_{idle} = régime de ralenti

%speed = régime normalisé NRTC inscrit au tableau.

7.7.2.3 Dénormalisation des valeurs de couple

Les valeurs de couple dans la programmation du dynamomètre (annexe 5, par. 1.3) sont normalisées jusqu'au couple maximal au régime correspondant. Les valeurs de couple du cycle de référence doivent être dénormalisées au moyen de la courbe de conversion déterminée conformément au paragraphe 7.6.2, comme suit:

$$T_{ref} = \frac{\%torque \cdot \max.torque}{100} \quad (7-5)$$

pour le régime de référence respectif déterminé conformément au paragraphe 7.7.2.2.

7.7.2.4 Exemple de procédure de dénormalisation

Il s'agit, par exemple, de dénormaliser les points suivants:

% régime = 43 %

% couple = 82 %

Sur la base des valeurs suivantes:

n_{denorm} = 2 200 min⁻¹

n_{idle} = 600 min⁻¹

ce qui donne

$$n_{ref} = \frac{43 \cdot (2\,200 - 600)}{100} + 600 = 1\,288 \text{ min}^{-1}$$

Compte tenu du couple maximal de 700 Nm déterminé d'après la courbe de conversion à 1 288 min⁻¹

$$T_{\text{ref}} = \frac{82 \times 700}{100} = 574 \text{ Nm}$$

7.8 Procédure spécifique d'exécution du cycle d'essai

7.8.1 Séquence d'essai d'émissions pour un cycle en conditions stationnaires à modes discrets

7.8.1.1 Mise en température du moteur pour un cycle en conditions stationnaires à modes discrets

Pour le préconditionnement, le moteur doit être mis en température conformément aux recommandations du fabricant et sur la base des pratiques techniques reconnues. Avant que le prélèvement des émissions ne puisse commencer, le moteur doit tourner jusqu'à ce que ses températures de fonctionnement (eau de refroidissement et lubrifiant) se soient stabilisées (normalement pendant 10 min au moins) au mode 1 (100 % de couple et régime nominal pour le cycle d'essai à 8 modes et au régime nominal constant et 100 % de couple pour le cycle d'essai à 5 modes). Le cycle de mesure démarre immédiatement à partir de ce point de mise en condition du moteur.

Il s'agit d'effectuer la procédure préalable aux essais conformément au paragraphe 7.3.1, y compris l'étalonnage de l'analyseur.

7.8.1.2 Cycles d'essai à modes discrets

- a) L'essai est effectué dans l'ordre ascendant des numéros de mode tels qu'ils sont établis pour le cycle d'essai (voir l'annexe 5);
- b) Chaque mode a une durée de 10 min au moins. Dans chacun de ces modes, le moteur doit être stabilisé pendant 5 min au moins et les émissions font l'objet d'un prélèvement pendant 1 à 3 min pour les émissions gazeuses à la fin de chaque mode. Une durée importante de prélèvement est permise pour améliorer la précision du prélèvement des particules.

La durée du mode doit être notée et consignée;

- c) Le prélèvement de particules peut se faire soit avec la méthode du filtre unique, soit avec la méthode des filtres multiples. Étant donné que les résultats des méthodes peuvent différer légèrement, il convient d'annoncer en même temps le mode utilisé et les résultats;

Pour la méthode du filtre unique, il faut tenir compte, pendant le prélèvement, des facteurs de pondération spécifiés dans la procédure du cycle d'essai et du débit d'échappement effectif en ajustant en conséquence le débit de l'échantillon et/ou la durée du prélèvement. Le facteur de pondération réel de l'échantillon de particules ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 0,003$ du facteur de pondération du mode en question;

Le prélèvement doit être fait le plus tard possible dans chaque mode. Pour la méthode du filtre unique, la fin du prélèvement des particules doit coïncider à 5 s près avec la fin de la mesure des

émissions gazeuses. La durée de prélèvement par mode doit être de 20 s au moins pour la méthode du filtre unique et de 60 s au moins pour la méthode du filtre multiple. Dans le cas des systèmes sans possibilité de dérivation, la durée de prélèvement par mode doit être de 60 s au moins pour les méthodes tant à filtre unique que du filtre multiple;

- d) Le régime et la charge du moteur, la température de l'air d'admission, le débit de carburant ainsi que le débit d'air ou d'échappement doivent être mesurés pour chaque mode au même intervalle que celui utilisé pour les mesures des concentrations gazeuses.

Il faut prendre note de toute donnée additionnelle nécessaire pour le calcul;

- e) Si le moteur cale ou que le prélèvement des émissions est interrompu à un moment quelconque après le délai du prélèvement pour un mode discret et la méthode à filtre unique, l'essai est considéré comme nul et il convient de le répéter en commençant par la procédure de mise en température du moteur. En cas de mesure des particules selon la méthode à plusieurs filtres (un filtre de prélèvement pour chaque mode de fonctionnement), il faut continuer l'essai en stabilisant le moteur dans le mode précédent pour la mise en température pour ensuite lancer la mesure dans le mode dans lequel le moteur a calé;
- f) Ensuite on effectue les procédures postessai conformément aux indications du paragraphe 7.3.2.

7.8.1.3 Critères de validation

Durant chaque mode du cycle d'essai en conditions stationnaires faisant suite à la période de transition initiale, le régime mesuré ne doit pas s'écarter de plus de 1 % du régime nominal ou de 3 min⁻¹, si cette seconde valeur est plus élevée, la seule exception étant que le régime mesuré du ralenti doit respecter les tolérances annoncées par le fabricant. Le couple mesuré ne doit pas s'écarter du couple de référence de plus de ± 2 % pour le couple maximal au régime d'essai.

7.8.2 Cycles d'essai à modes raccordés

7.8.2.1 Mise en température du moteur

Avant de lancer les cycles d'essai à modes raccordés (RMC) en conditions stationnaires, le moteur doit être mis en température et tourner jusqu'à ce que celle-ci (eau de refroidissement et lubrifiant) se soit stabilisée à 50 % du régime et à 50 % du couple pour les cycles d'essai RMC dérivés du cycle d'essai à 8 modes et au régime moteur nominal et à 50 % de couple pour le cycle d'essai dérivé du cycle d'essai à 5 modes. Immédiatement après cette procédure de mise en condition, le régime et le couple doivent être changés suivant une progression linéaire de 20 ± 1 s jusqu'au premier mode d'essai. Entre 5 et 10 s après la fin de la progression, le cycle de mesure doit commencer.

7.8.2.2 Réalisation d'un cycle d'essai à modes raccordés

Les cycles d'essai à modes raccordés dérivés des cycles d'essai à 8 et à 5 modes sont représentés à l'annexe 5.

Le moteur doit fonctionner pendant le temps prescrit pour chaque mode. Le passage d'un mode au suivant doit se faire linéairement en 20 ± 1 s en respectant les tolérances prescrites dans le paragraphe 7.8.2.4 (voir l'annexe 5).

Dans le cas des cycles d'essai à modes raccordés, les valeurs de référence de régime et de couple doivent être établies à la fréquence minimale de 1 Hz, et cette séquence de points doit être utilisée pour effectuer le cycle. Au cours de la transition entre les modes, les valeurs de référence de régime et de couple dénormalisés doivent être linéairement inclinées entre les modes pour générer des points de référence. Les valeurs de couple de référence normalisées ne doivent pas être linéairement inclinées entre les modes et ensuite dénormalisées. Si des rampes de transition de régime et de couple traversent un point au-dessus de la courbe de couple du moteur, il faut les prolonger pour atteindre les couples de référence et la demande de l'opérateur doit pouvoir aller jusqu'au maximum.

Pendant tout le cycle d'essai (dans chaque mode et y compris les progressions entre les modes), il faut mesurer la concentration de chaque polluant gazeux et effectuer le prélèvement de MP. Les polluants gazeux peuvent être mesurés sans dilution ou dilués et être enregistrés en permanence; s'ils sont dilués, ils peuvent également faire l'objet d'un prélèvement dans un sac. L'échantillon de particules doit être dilué avec de l'air propre et conditionné. On prend un échantillon sur l'ensemble de la procédure d'essai et celui-ci est prélevé au moyen d'un filtre unique de prélèvement de particules.

Pour calculer les émissions spécifiques au frein, il faut calculer le cycle de travail réel en intégrant la puissance moteur réelle sur l'ensemble du cycle.

7.8.2.3

Séquence d'essai d'émissions:

- a) L'exécution du cycle RMC, le prélèvement des gaz d'échappement, l'enregistrement des données et l'intégration des valeurs mesurées doivent commencer simultanément;
- b) Le régime et le couple doivent être contrôlés selon le premier mode du cycle d'essai;
- c) Si le moteur cale à un moment donné pendant l'exécution du cycle RMC, celui-ci est invalidé. Le moteur est à nouveau préconditionné et l'essai est répété;
- d) À la fin du cycle RMC, on poursuit le prélèvement, exception faite du prélèvement de MP, en faisant fonctionner tous les systèmes pour que les délais de réponse soient écoulés. Ensuite, tous les prélèvements et enregistrements sont arrêtés, y compris l'enregistrement des échantillons ambiants. Enfin, tout dispositif d'intégration est mis à l'arrêt et la fin du cycle d'essai est inscrite dans les données enregistrées;
- e) Ensuite ont lieu les procédures postessais conformément au paragraphe 7.4.

7.8.2.4 Critères de validation

Les essais RMC doivent être validés au moyen de l'analyse de régression comme indiqué dans les paragraphes 7.8.3.3 et 7.8.3.5. Les tolérances RMC permises sont indiquées dans le tableau 7.1 ci-dessous. À noter que celles-ci sont différentes des tolérances NRTC indiquées dans le tableau 7.2.

Tableau 7.1

Tolérances s'appliquant à la droite de régression RMC

	Régime	Couple	Puissance
Erreur type de l'estimation (SEE) de y sur x	Maximum 1 % du régime nominal	Maximum 2 % du couple maximal	Maximum 2 % de la puissance maximale
Pente de la droite de régression, a_1	0,99 à 1,01	0,98 à 1,02	0,98 à 1,02
Coefficient de détermination, r^2	Minimum 0,990	Minimum 0,950	Minimum 0,950
Ordonnée à l'origine de la droite de régression, a_0	± 1 % du régime nominal	± 20 Nm ou 2 % du couple maximal, la valeur la plus élevée étant retenue	± 4 kW ou 2 % de la puissance maximale, la valeur la plus élevée étant retenue

Si le cycle RMC ne s'effectue pas sur un banc pour essai transitoire, et donc que les valeurs de régime et de couple ne sont pas connues seconde par seconde, on utilise les critères de validation ci-après.

Pour chaque mode, les prescriptions de tolérance de régime et de couple sont indiquées dans le paragraphe 7.8.1.3. Pour les transitions linéaires de vitesse et linéaires de couple de 20 s entre les modes d'essai RMC en conditions stationnaires (par. 7.4.1.2) on applique les tolérances suivantes à la rampe, le régime doit être maintenu linéairement à 2 % près du régime nominal. Le couple doit être maintenu linéairement à 5 % près du couple maximal au régime nominal.

7.8.3 Cycle d'essai transitoire (NRTC)

Les ordres de régime et de couple de référence doivent être exécutés en séquences pour effectuer le cycle d'essai transitoire. Les ordres de régime et de couple doivent être émis à une fréquence d'au moins 5 Hz. Comme le cycle d'essai de référence est prévu pour 1 Hz, les ordres de régime et de couple intermédiaires sont interpolés linéairement à partir des valeurs de couple de référence générées par la création du cycle.

Les faibles régimes dénormalisés proches du régime de ralenti à chaud peuvent avoir pour conséquence que les régulateurs de ralenti à chaud s'activent et que le couple moteur dépasse le couple de référence, même si la demande de l'opérateur est au minimum. Dans de tels cas, il est recommandé de régler la commande du dynamomètre de manière à accorder la priorité au suivi du couple de référence plutôt que du régime de référence et de laisser le moteur régler le régime.

En conditions de démarrage à froid, les moteurs peuvent utiliser un dispositif de ralenti rapide pour réchauffer rapidement le moteur et les dispositifs de traitement aval. Dans de telles conditions, des régimes normalisés très faibles produisent des régimes de référence inférieurs à ce régime de ralenti accéléré. Dans ce cas, il est recommandé d'agir sur le dynamomètre pour qu'il accorde la priorité au suivi du couple de référence et de laisser le moteur régler le régime lorsque la demande de l'opérateur est au minimum.

Au cours d'un essai d'émissions, les régimes et couples de référence ainsi que les régimes et couples réels doivent être enregistrés avec une fréquence minimale de 1 Hz, mais de préférence de 5, voire de 10 Hz. Cette fréquence d'enregistrement plus élevée peut être importante étant donné qu'elle contribue à réduire au minimum l'effet de biais du décalage entre les valeurs de régime et de couple de référence et les valeurs mesurées.

Les régimes et les couples de référence et réels peuvent être enregistrés à des fréquences plus basses (jusqu'à 1 Hz) si l'on enregistre les valeurs moyennes pendant l'intervalle entre les valeurs enregistrées. Les valeurs moyennes doivent être calculées sur la base des valeurs réelles actualisées à une fréquence d'au moins 5 Hz. Ces valeurs enregistrées doivent être utilisées pour calculer les statistiques de validation du cycle et le travail total.

7.8.3.1 Préconditionnement du moteur

Pour obtenir des conditions stables en vue de l'essai d'émissions suivant, il faut preconditionner le système de prélèvement et le moteur, soit par exécution d'un cycle pré-NRTC, soit en amenant le moteur et les systèmes de mesure à des conditions similaires à celles qui doivent être rencontrées dans le cycle d'essai proprement dit. Si l'essai précédent est également un essai NRTC à chaud, aucun conditionnement supplémentaire n'est requis.

Une méthode de refroidissement naturel ou forcé peut être utilisée. Pour un refroidissement forcé, un système reposant sur les pratiques techniques reconnues est utilisé, comme le soufflage d'air de refroidissement, la circulation d'huile froide dans le circuit de lubrification du moteur, le refroidissement de l'agent de refroidissement dans le circuit du moteur et l'extraction de la chaleur d'un système de traitement aval de l'échappement. Dans le cas du refroidissement forcé du système de traitement aval, l'air de refroidissement ne doit pas être appliqué avant que la température de ce système ne soit descendue en dessous de sa température d'activation catalytique. Aucune méthode de refroidissement donnant des résultats d'émissions non représentatifs n'est admise.

Il faut exécuter les procédures préessais, y compris l'étalonnage de l'analyseur, conformément au paragraphe 7.3.1.

7.8.3.2 Exécution d'un cycle d'essai transitoire NRTC

L'essai commence de la manière décrite ci-après:

La séquence d'essai doit commencer immédiatement après la mise en route du moteur à froid en cas d'essai NRTC à froid ou à partir de l'état stabilisé à chaud dans le cas de l'essai NRTC à chaud. On suit les instructions de l'annexe 5.

L'enregistrement chronologique des données, le prélèvement des gaz d'échappement et l'intégration des valeurs mesurées doivent commencer simultanément au départ du moteur. Le cycle d'essai doit être lancé lorsque le moteur démarre et doit être exécuté conformément au programme de l'annexe 5.

À la fin du cycle, le prélèvement doit se poursuivre, tous les systèmes étant en fonctionnement afin de tenir compte du temps de réponse du système. Ensuite on met fin à tous les prélèvements et enregistrements, y compris l'enregistrement des échantillons de concentrations ambiantes. Enfin, tout dispositif d'intégration doit être mis à l'arrêt et la fin du cycle d'essai doit être notée dans les données enregistrées.

Ensuite il faut effectuer toutes les procédures suivant l'essai conformément au paragraphe 7.3.2.

7.8.3.3 Critères de validation du cycle pour le cycle d'essai transitoire

Pour vérifier la validité d'un essai, on applique les critères de validation des cycles du présent paragraphe aux valeurs de référence et aux valeurs obtenues de régime, de couple, de puissance et de travail global.

7.8.3.4 Calcul du travail au cours du cycle

Avant le calcul du travail sur le cycle, les points enregistrés au cours du démarrage du moteur doivent être omis. Les points pour lesquels les valeurs de couple sont négatives sont comptés comme travail nul. Le travail au cours du cycle réel W_{act} (kWh) doit être calculé sur la base des valeurs réelles de régime et de couple. Le travail au cours du cycle de référence W_{ref} (kWh) est calculé sur la base des valeurs de référence du régime et du couple. Le travail au cours du cycle réel W_{act} est utilisé pour la comparaison du travail au cours du cycle de référence W_{ref} et pour le calcul des émissions spécifiques au frein (voir le paragraphe 7.2).

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

7.8.3.5 Statistiques de validation (voir l'annexe 4B, appendice A.2)

Pour le régime, le couple et la puissance, les régressions linéaires des valeurs réelles par rapport aux valeurs de référence doivent être calculées.

Afin de minimiser l'effet de biais du décalage dans le temps entre les valeurs réelles et celles du cycle de référence, toute la séquence des signaux des valeurs réelles du régime et du couple du moteur peut être avancée ou retardée dans le temps en fonction de la séquence de régime et de couple de référence. Si les signaux des valeurs réelles sont décalés, le régime et le couple doivent être décalés de la même valeur et dans le même sens.

On applique la méthode des moindres carrés, l'équation de meilleur ajustement se présentant comme suit:

$$y = a_1x + a_0 \quad (7-6)$$

où:

y = valeur réelle du régime (min^{-1}), du couple (Nm), ou de la puissance (kW)

a_1 = pente de la droite de régression

x = valeur de référence du régime (min^{-1}), du couple (Nm) ou de la puissance (kW)

a_0 = ordonnée à l'origine de la droite de régression.

L'erreur type d'estimation (SEE) de y sur x et le coefficient de détermination (r^2) doivent être calculés pour chaque droite de régression (annexe 4B, appendice A.2).

Il est recommandé d'effectuer cette analyse à 1 Hz. Pour qu'un essai soit jugé valide, il doit satisfaire aux critères du tableau 7.2 ci-après.

Tableau 7.2

Tolérances de la droite de régression

	<i>Régime</i>	<i>Couple</i>	<i>Puissance</i>
Erreur type de l'estimation (SEE) de y sur x	$\leq 5,0$ % du régime maximal de l'essai	$\leq 10,0$ % du couple maximal reconnu	$\leq 10,0$ % de la puissance maximale reconnue
Pente de la droite de régression, a_1	0,95 à 1,03	0,83 à 1,03	0,89 à 1,03
Coefficient de détermination, r^2	minimum 0,970	minimum 0,850	minimum 0,910
Ordonnée à l'origine de la droite de régression, a_0	≤ 10 % du régime de ralenti	± 20 Nm ou ± 2 % du couple maximal, la valeur la plus élevée étant retenue	± 4 kW ou ± 2 % de la puissance maximale, la valeur la plus élevée étant retenue

Pour les calculs de régression exclusivement, des suppressions de point sont admises dans les cas prévus au tableau 7.3 du présent paragraphe avant la réalisation des calculs de régression. Ces suppressions ne sont par contre pas autorisées pour le calcul du travail et des émissions au cours du cycle. Un point de ralenti est défini comme un point ayant un couple de référence normalisé de 0 %. La suppression du point peut être appliquée à l'ensemble du cycle ou à une de ses parties; il convient cependant de spécifier les suppressions de point.

Tableau 7.3

Points pouvant être supprimés dans une analyse de régression

<i>Événement</i>	<i>Conditions (n = régime moteur, T = couple)</i>	<i>Suppressions de point autorisées</i>
Demande minimale de l'opérateur (ralenti)	$n_{\text{ref}} = n_{\text{idle}}$ et $T_{\text{ref}} = 0$ et $T_{\text{act}} > (T_{\text{ref}} - 0,02 T_{\text{maxmappedtorque}})$ et $T_{\text{act}} < (T_{\text{ref}} + 0,02 T_{\text{maxmappedtorque}})$	Régime et puissance

<i>Événement</i>	<i>Conditions (n = régime moteur, T = couple)</i>	<i>Suppressions de point autorisées</i>
Demande minimale de l'opérateur	$n_{act} \leq 1,02 n_{ref}$ et $T_{act} > T_{ref}$ ou $n_{act} > n_{ref}$ et $T_{act} \leq T_{ref}$ ou $n_{act} > 1,02 n_{ref}$ et $T_{ref} < T_{act} \leq (T_{ref} + 0,02 T_{maxmappedtorque})$	Puissance et couple ou régime
Demande maximale de l'opérateur	$n_{act} < n_{ref}$ et $T_{act} \geq T_{ref}$ ou $n_{act} \geq 0,98 n_{ref}$ et $T_{act} < T_{ref}$ ou $n_{act} < 0,98 n_{ref}$ et $T_{ref} > T_{act} \geq (T_{ref} - 0,02 T_{maxmappedtorque})$	Puissance et couple ou régime

8. Méthodes de mesure

8.1 Contrôles d'étalonnage et de performance

8.1.1 Introduction

Le présent paragraphe traite des étalonnages et des vérifications des systèmes de mesure. Voir le paragraphe 9.4 en ce qui concerne les spécifications qui s'appliquent à chaque instrument.

Les étalonnages ou vérifications portent généralement sur la chaîne de mesure complète.

Si un étalonnage ou une vérification portant sur une partie du système de mesure n'a pas été spécifié, cette portion du système doit être étalonnée et il y a lieu de vérifier ses performances à une fréquence conforme à toutes les recommandations du fabricant du système de mesure et en suivant les pratiques techniques reconnues.

Il faut appliquer les normes internationalement reconnues et vérifiables par souci de conformité aux tolérances fixées pour les étalonnages et les vérifications.

8.1.2 Résumé de l'étalonnage et de la vérification

Le tableau 8.1 est un résumé des opérations d'étalonnage et de vérification décrites au paragraphe 8. Il précise à quel moment ces opérations doivent avoir lieu.

Tableau 8.1

Résumé des étalonnages et vérifications

<i>Type d'étalonnage ou de vérification</i>	<i>Fréquence minimale^a</i>
8.1.3: Justesse, répétabilité et bruit	<p>Justesse: opération non requise mais recommandée à l'installation initiale.</p> <p>Répétabilité: opération non requise mais recommandée à l'installation initiale.</p> <p>Bruit: opération non requise mais recommandée à l'installation initiale.</p>
8.1.4: Linéarité	<p>Régime: à l'installation initiale, dans les 370 jours avant les essais et après un grand entretien.</p> <p>Couple: à l'installation initiale, dans les 370 jours avant les essais et après un grand entretien.</p>

Type d'étalonnage ou de vérification	Fréquence minimale ^a
	<p>Débit de gaz propre et de gaz d'échappement dilué: à l'installation initiale, dans les 370 jours avant les essais et après un grand entretien, à moins que le débit ne soit vérifié par un contrôle au propane ou par un bilan du carbone ou de l'oxygène.</p> <p>Débit d'échappement brut: à l'installation initiale, dans les 185 jours avant les essais et après un grand entretien, à moins que le débit ne soit vérifié par un contrôle au propane ou par un bilan du carbone ou de l'oxygène.</p> <p>Analyseurs de gaz: à l'installation initiale, dans les 35 jours avant les essais et après un grand entretien.</p> <p>Bilan des MP: à l'installation initiale, dans les 370 jours avant les essais et après un grand entretien.</p> <p>Pression et température autonomes: à l'installation initiale, dans les 370 jours avant les essais et après un grand entretien.</p>
8.1.5: Réponse du système d'analyse des gaz fonctionnant en continu et mise à jour, enregistrement et vérification – pour analyseurs de gaz qui ne sont pas corrigés en permanence pour d'autres sortes de gaz	À l'installation initiale ou après une modification qui influencerait sur la réponse.
8.1.6: Réponse du système d'analyse des gaz fonctionnant en continu et mise à jour, enregistrement et vérification – pour analyseurs de gaz qui sont corrigés en permanence pour d'autres sortes de gaz	À l'installation initiale ou après une modification qui influencerait sur la réponse.
8.1.7.1: Couple	À l'installation initiale et après un grand entretien.
8.1.7.2: Pression, température, point de rosée	À l'installation initiale et après un grand entretien.
8.1.8.1: Débit de carburant	À l'installation initiale et après un grand entretien.
8.1.8.2: Débit d'admission	À l'installation initiale et après un grand entretien.
8.1.8.3: Débit d'échappement	À l'installation initiale et après un grand entretien.
8.1.8.4: Débit d'échappement dilué (CVS et PFD)	À l'installation initiale et après un grand entretien.
8.1.8.5: CVS/PFD et vérification du système de prélèvement par lots ^b	À l'installation initiale, dans les 35 jours avant les essais et après un grand entretien. (Contrôle au propane)
8.1.8.8: Fuite de vide	Avant chaque essai en laboratoire et conformément au paragraphe 7.1.
8.1.9.1: Interférence de H ₂ O pour les analyseurs NDIR de CO ₂	À l'installation initiale et après un grand entretien.
8.1.9.2: Interférence H ₂ O et CO ₂ et H ₂ O pour les analyseurs NDIR de CO	À l'installation initiale et après un grand entretien.
8.1.10.1: Étalonnage du FID Optimisation du FID pour les hydrocarbures totaux et vérification	<p>Étalonnage, optimisation et détermination de la réponse au CH₄: à l'installation initiale et après un grand entretien.</p> <p>Vérification de la réponse au CH₄: à l'installation initiale, dans les 185 jours avant l'essai et après un grand entretien.</p>

Type d'étalonnage ou de vérification	Fréquence minimale ^a
8.1.10.2: Interférence de O ₂ avec le FID/gaz d'échappement bruts	Pour tous les analyseurs FID: à l'installation initiale et après un grand entretien. Pour les analyseurs FID/HCT: à l'installation initiale et après une optimisation du FID conformément au 8.1.10.1.
8.1.10.3: Pénétration du convertisseur de HCNM	À l'installation initiale, dans les 185 jours avant les essais et après un grand entretien.
8.1.11.1: Extinction par CO ₂ et H ₂ O du CLD	À l'installation initiale et après un grand entretien.
8.1.11.3: Interférence de H ₂ O avec le NDUV/HC	À l'installation initiale et après un grand entretien.
8.1.11.4: Pénétration de NO ₂ dans le bain de refroidissement (refroidisseur)	À l'installation initiale et après un grand entretien.
8.1.11.5: Conversion par le convertisseur NO ₂ -à-NO	À l'installation initiale, dans les 35 jours avant les essais et après un grand entretien.
8.1.12.1: Balance des MP et pesage	Vérification indépendante: à l'installation initiale, dans les 370 jours avant les essais et après un grand entretien. Vérifications des échantillons zéro, de portée et de référence: dans les 12 h suivant la pesée et après un grand entretien.

^a Effectuer les étalonnages et les vérifications plus fréquemment en fonction des instructions du fabricant du système de mesure et des pratiques techniques reconnues.

^b La vérification CVS n'est pas nécessaire pour les systèmes qui sont conformes à 2 % près d'après le bilan chimique du carbone ou de l'oxygène dans l'air d'admission, le carburant et les gaz d'échappement dilués.

8.1.3 Vérification de la justesse, de la répétabilité et du bruit

Les niveaux de performances des divers instruments spécifiés dans le tableau 9.3 servent de base pour la détermination de la justesse, de la répétabilité et du bruit pour un appareil.

Il n'est pas nécessaire de vérifier la justesse, la répétabilité ou le bruit pour un appareil. Il peut toutefois être utile d'utiliser ces vérifications pour définir la spécification d'un nouvel instrument, pour contrôler les performances d'un nouvel appareil à sa réception ou pour remédier à la défaillance d'un instrument existant.

8.1.4 Contrôle de linéarité

8.1.4.1 Étendue et fréquence

Un contrôle de linéarité doit être effectué sur chaque système de mesure énuméré dans le tableau 8.2, avec au moins la fréquence minimale indiquée dans le tableau, conformément aux recommandations du fabricant du système de mesure et en suivant les pratiques techniques reconnues. L'objet d'un contrôle de linéarité est de déterminer si un système de mesure répond proportionnellement sur la plage de mesures présentant de l'intérêt. Un contrôle de linéarité consiste à introduire une série d'au moins 10 valeurs de référence dans un système de mesure, sauf indication contraire. Le système de mesure quantifie chacune de ces valeurs. Les valeurs mesurées sont collectivement comparées aux valeurs de référence au moyen d'une régression linéaire des moindres carrés et des critères de linéarité spécifiés dans le tableau 8.2 ci-après.

8.1.4.2 Conditions s'appliquant aux performances du système

Si un système de mesure ne satisfait pas aux critères de linéarité applicables du tableau 8.2, il convient de corriger cette lacune par un réétalonnage, un entretien ou le remplacement des pièces suivant les besoins. Il faut vérifier à nouveau la linéarité après avoir remédié au problème pour s'assurer que le système de mesure répond alors aux critères de linéarité.

8.1.4.3 Procédure

Il faut utiliser le protocole de vérification de la linéarité suivant:

- a) Un système de mesure doit être utilisé aux températures, aux pressions et aux débits spécifiés;
- b) L'instrument doit être mis à zéro comme il le serait avant un essai d'émissions par l'utilisation d'un signal zéro. Dans le cas des analyseurs de gaz, on utilise un gaz zéro répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1, qui est introduit directement à l'entrée de l'analyseur;
- c) L'instrument doit être calibré comme il le serait avant un essai d'émissions par utilisation d'un signal de calibrage. Dans le cas des analyseurs de gaz, on utilise un gaz de calibrage répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1, gaz qui est introduit directement à l'entrée de l'analyseur;
- d) Après le calibrage de l'instrument, le zéro est vérifié avec le même signal que celui utilisé au point b) du présent paragraphe. Sur la base de l'indication zéro et des pratiques techniques reconnues, on détermine s'il convient de remettre l'instrument à zéro ou de le recalibrer avant de procéder à l'étape suivante;
- e) Pour toutes les quantités mesurées on se réfère aux recommandations du fabricant et aux pratiques techniques reconnues pour sélectionner les valeurs de référence, y_{refi} , qui contrôlent la plage complète de valeurs escomptées pendant l'essai d'émissions, et éviter ainsi la nécessité d'extrapoler au-delà de ces valeurs. Un signal de référence zéro doit être sélectionné comme une des valeurs de référence du contrôle de linéarité. Pour les vérifications de linéarité pour la pression et la température autonomes, on retient au moins trois valeurs de référence. Pour toutes les autres vérifications de linéarité, on en retient au moins 10;
- f) Pour déterminer l'ordre dans lequel une série de valeurs de référence sera introduite, on suit les recommandations du fabricant de l'instrument et les pratiques techniques reconnues;
- g) Des quantités de référence sont produites et introduites comme indiqué au paragraphe 8.1.4.4. Dans le cas des analyseurs de gaz, on utilise des concentrations de gaz dont on sait qu'elles répondent aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et ces gaz sont introduits directement dans l'entrée de l'analyseur;
- h) On laisse à l'instrument le temps nécessaire pour se stabiliser pendant qu'il mesure la valeur de référence;

- i) À une fréquence d'enregistrement au moins égale à la fréquence minimale, comme spécifié dans le tableau 9.2, la valeur de référence doit être mesurée pendant 30 s et la moyenne arithmétique des valeurs enregistrées \bar{y}_i , doit être notée;
- j) Les étapes g) à i) ci-dessus doivent être répétées jusqu'à ce que toutes les quantités de référence aient été mesurées;
- k) On utilise les moyennes arithmétiques \bar{y}_i , et les valeurs de référence y_{ref} pour calculer les paramètres de la régression linéaire des moindres carrés et les valeurs statistiques afin de comparer les critères de performances minimaux spécifiés dans le tableau 8.2. On utilise à cet effet les calculs présentés dans l'annexe 4B, appendice A.2, paragraphe A.2.

8.1.4.4 Signaux de référence

Le présent paragraphe traite des méthodes recommandées pour produire des valeurs de référence nécessaires au protocole de vérification de la linéarité défini au paragraphe 8.1.4.3 de la présente section. On utilise les valeurs de référence qui simulent des valeurs réelles ou bien on introduit une valeur réelle et on la mesure au moyen d'un système de mesure de référence. Dans ce dernier cas, la valeur de référence est la valeur annoncée par le système de mesure de référence. Les valeurs de référence et les systèmes de mesure de référence doivent être internationalement vérifiables.

Dans le cas des systèmes de mesure de la température comportant des capteurs tels que des thermocouples, des RTD et des thermistors, on peut vérifier la linéarité en retirant le capteur du système et en utilisant à sa place un simulateur. On utilise dans ce cas un simulateur qui est étalonné de manière indépendante et compensé par jonction froide. L'incertitude du simulateur internationalement vérifiable proportionnée à la température doit être inférieure à 0,5 % de la température de fonctionnement maximale T_{max} . Si l'on utilise cette option, il faut recourir à des capteurs dont les fournisseurs garantissent une justesse meilleure que 0,5 % de T_{max} comparée à leur courbe d'étalonnage standard.

8.1.4.5 Systèmes de mesure qui requièrent une vérification de la linéarité

Le tableau 8.2 indique les systèmes de mesure qui requièrent des vérifications de linéarité. Les dispositions suivantes s'appliquent à ce tableau:

- a) La vérification de la linéarité doit être effectuée plus souvent si le fabricant de l'instrument le recommande ou s'il ressort des pratiques techniques reconnues qu'il est opportun de le faire;
- b) «min» désigne la valeur de référence minimale utilisée au cours de la vérification de la linéarité;

Il convient de noter que cette valeur peut être égale à zéro ou négative selon le signal;
- c) «max» désigne généralement la valeur de référence maximale utilisée pendant la vérification de la linéarité. Dans le cas des diviseurs de gaz, par exemple, x_{max} est la concentration du gaz de

calibrage non dilué, non divisé. Dans les cas spéciaux ci-après, «max» désigne une valeur différente:

- i) Pour le contrôle de la linéarité de la balance de MP, m_{\max} désigne la masse typique d'un filtre MP;
 - ii) Pour la vérification de la linéarité du couple, T_{\max} désigne la valeur de crête du couple du moteur telle que fixée par le fabricant pour le couple le plus élevé qu'il y a lieu d'essayer;
- d) Les plages prescrites englobent les valeurs extrêmes. Une plage de 0,98 à 1,02 pour la pente a_1 signifie une plage prescrite de $0,98 \leq a_1 \leq 1,02$;
- e) Ces vérifications de la linéarité ne sont pas nécessaires pour les systèmes qui n'appliquent pas la vérification du débit pour les gaz d'échappement dilués comme décrit au paragraphe 8.1.8.5 pour le contrôle du propane ou pour les systèmes qui sont conformes à ± 2 % près sur la base d'un bilan chimique du carbone ou de l'oxygène dans l'air d'admission, le carburant et les gaz d'échappement;
- f) Pour ces quantités, le critère a_1 ne doit être satisfait que si la valeur absolue de la quantité est requise, contrairement au signal qui est linéairement proportionnel à la valeur réelle seulement;
- g) Les températures autonomes englobent les températures du moteur et les conditions ambiantes utilisées pour régler et vérifier les conditions de fonctionnement, les températures utilisées pour régler ou vérifier les conditions critiques du système d'essai ainsi que les températures utilisées pour les calculs des émissions:
- i) Les contrôles de linéarité suivants de la température sont nécessaires: air d'admission, banc(s) pour le traitement aval (pour les moteurs soumis aux essais avec des dispositifs de traitement aval sur des cycles ayant des critères de départ à froid), l'air de dilution pour le prélèvement des MP (CVS, double dilution et systèmes à flux partiel); échantillons de MP, un échantillon du refroidisseur (pour les systèmes de prélèvement de gaz qui recourent à des refroidisseurs pour sécher les échantillons);
 - ii) Ces contrôles de linéarité de la température sont uniquement requis si cela est prescrit par le fabricant du moteur. L'admission de carburant, la sortie d'air du refroidisseur intermédiaire de la cellule d'essai (pour les moteurs soumis aux essais dans lesquels un échangeur de chaleur simule un refroidisseur intermédiaire d'admission de véhicule ou de machine), l'entrée de liquide de refroidissement du refroidisseur intermédiaire d'admission (pour les moteurs soumis aux essais avec un échangeur de chaleur de la cellule d'essai simulant un refroidisseur intermédiaire d'air d'admission du véhicule ou de la machine), l'huile du carter et le liquide de refroidissement avant le thermostat (pour les moteurs refroidis par un liquide);

- h) Les pressions autonomes sont les pressions du moteur et les conditions ambiantes utilisées pour régler ou vérifier les conditions de fonctionnement du moteur, les pressions utilisées pour régler ou vérifier des situations critiques dans le système d'essai ainsi que les pressions utilisées dans les calculs des émissions:
- i) Les contrôles de linéarité de la pression sont: restriction à l'admission; contre-pression à l'échappement; baromètre; pression d'entrée du CVS (si des mesures font appel au CVS); un échantillon de réfrigérant (pour les systèmes de prélèvement de gaz utilisant des refroidisseurs pour sécher les échantillons);
- ii) Les contrôles de linéarité de la pression qui sont nécessaires seulement s'ils sont prescrits par le fabricant du moteur: refroidisseur intermédiaire à refroidissement d'admission de la cellule d'essai et baisse de la pression dans le conduit d'interconnexion (pour les moteurs suralimentés essayés avec un échangeur de chaleur de la cellule d'essai simulant un refroidisseur intermédiaire d'air d'admission du véhicule ou de la machine), l'admission de carburant et la sortie de carburant.

Tableau 8.2

Systèmes de mesure qui requièrent une vérification de la linéarité

Système de mesure	Quantité	Fréquence de vérification minimale	Critères de linéarité			
			$ x_{\min} \cdot (a_1 - 1) + a_0 $	a	SEE	r^2
Régime moteur	n	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 0,05 \% n_{\max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% n_{\max}$	$\geq 0,990$
Couple moteur	T	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% T_{\max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% T_{\max}$	$\geq 0,990$
Débit de carburant	Q_m	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% Q_{m, \max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% Q_{m, \max}$	$\geq 0,990$
Débit d'air d'admission	Q_v	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% Q_{v, \max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% Q_{v, \max}$	$\geq 0,990$
Débit d'air de dilution	Q_v	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% Q_{v, \max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% Q_{v, \max}$	$\geq 0,990$
Débit de gaz d'échappement dilué	Q_v	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% Q_{v, \max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% Q_{v, \max}$	$\geq 0,990$
Débit de gaz d'échappement brut	Q_v	Dans les 185 jours avant l'essai	$\leq 1 \% Q_{v, \max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% Q_{v, \max}$	$\geq 0,990$
Débit du système de prélèvement par lots	Q_v	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% Q_{v, \max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% Q_{v, \max}$	$\geq 0,990$
Diviseurs de gaz	X/X_{span}	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 0,5 \% x_{\max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% x_{\max}$	$\geq 0,990$

Système de mesure	Quantité	Fréquence de vérification minimale	Critères de linéarité			
			$ x_{\min} \cdot (a_1 - 1) + a_0 $	a	SEE	r^2
Analyseurs de gaz	x	Dans les 35 jours avant l'essai	$\leq 0,5 \% x_{\max}$	0,99-1,01	$\leq 1 \% x_{\max}$	$\geq 0,998$
Balance des MP	m	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% m_{\max}$	0,99-1,01	$\leq 1 \% m_{\max}$	$\geq 0,998$
Pressions autonomes	p	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% p_{\max}$	0,99-1,01	$\leq 1 \% p_{\max}$	$\geq 0,998$
Conversion analogique/numérique des signaux de température autonomes	T	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% T_{\max}$	0,99-1,01	$\leq 1 \% T_{\max}$	$\geq 0,998$

8.1.5 Vérification en continu de la réponse du système d'analyse des gaz, ainsi que de l'enregistrement et des mises à jour

La présente section contient la description d'une procédure de vérification générale en continu de la réponse du système d'analyse des gaz, ainsi que de l'enregistrement et des mises à jour. Voir le paragraphe 8.1.6 qui traite des procédures de vérification des analyseurs de type à compensation.

8.1.5.1 Étendue et fréquence

Cette vérification doit être effectuée après l'installation ou le remplacement d'un analyseur de gaz qui est utilisé pour le prélèvement en continu. Cette vérification doit également être faite si le système a été reconfiguré d'une manière qui modifierait sa réponse. Cette vérification est requise pour les analyseurs de gaz en continu utilisés pour les essais transitoires ou à modes raccordés, mais elle n'est pas nécessaire pour les systèmes d'analyse de gaz par lots ou pour les analyseurs de gaz en continu utilisés uniquement pour les essais à modes discrets.

8.1.5.2 Principes de mesure

Cet essai sert à vérifier que les fréquences de mise à jour et d'enregistrement sont adaptées à la réponse globale du système à un changement rapide dans la valeur de concentration au niveau de la sonde de prélèvement. Les systèmes d'analyse de gaz doivent être optimisés de telle manière que la réponse globale à un changement rapide de concentration donne lieu à une mise à jour et soit enregistrée à une fréquence appropriée pour éviter toute perte d'information. Cet essai sert aussi à vérifier que les analyseurs de gaz en continu respectent un temps de réponse minimal.

Les réglages du système pour l'évaluation des temps de réponse sont exactement les mêmes que ceux utilisés lors des mesures du cycle d'essai (c'est-à-dire pression, débits, réglage des filtres sur les analyseurs et tous les autres éléments influent sur le temps de réponse). La détermination du temps de réponse est faite avec commutation des gaz directement à l'entrée de la sonde de prélèvement. Les dispositifs destinés à la commutation des gaz doivent être conçus de manière à effectuer la

commutation en moins de 0,1 s. Les gaz utilisés pour l'essai doivent produire un changement de concentration d'au moins 60 % de l'échelle (FS).

La concentration de chaque constituant gazeux est enregistrée.

8.1.5.3

Configuration nécessaire

- a) Le temps de réponse du système doit être ≤ 10 s avec un temps de montée de $\leq 2,5$ s, ou avec un temps de montée et de descente de ≤ 5 s chacun pour chaque composante mesurée (CO , NO_x , CO_2 et HC) et toutes les plages utilisées. Lorsqu'on utilise un convertisseur NMC pour la mesure des HCNM, le temps de réponse du système peut dépasser 10 s;

Il faut classer toutes les données (concentration, carburant et débit d'air) d'après leur temps de réponse mesuré avant d'effectuer les calculs d'émissions des annexes A.7 et A.8;

- b) Pour qu'une mise à jour et un enregistrement soient acceptables en ce qui concerne le temps de réponse global du système, il faut vérifier que le système satisfasse à l'un des critères suivants:
- i) Le produit du temps de montée moyen par la fréquence à laquelle le système enregistre une concentration mise à jour doit être d'au moins 5. En aucun cas le temps de montée moyen ne doit dépasser 10 s;
 - ii) La fréquence à laquelle le système enregistre la concentration doit être d'au moins 2 Hz (voir également le tableau 9.2).

8.1.5.4

Procédure

On utilise la procédure suivante pour vérifier la réponse de chaque système analyseur de gaz en continu:

- a) Il convient de respecter les instructions de fonctionnement des instruments données par le fabricant du système analyseur. Le système de mesure doit être ajusté selon les besoins pour atteindre les meilleures performances possibles. Cette vérification doit être faite lorsque l'analyseur fonctionne de la même manière que celle utilisée pour les essais d'émissions. Si l'analyseur utilise un système de prélèvement en partage avec d'autres analyseurs, et si le débit de gaz vers les autres analyseurs intervient sur le temps de réponse du système, il convient de faire démarrer les autres analyseurs et de les faire fonctionner pendant que s'effectue l'essai de vérification. Ce dernier peut être effectué sur plusieurs analyseurs utilisant simultanément le même système de prélèvement. En cas d'utilisation de filtres analogiques ou numériques en temps réel pendant les essais d'émissions, ces filtres doivent fonctionner de la même manière au cours de cette vérification;
- b) En ce qui concerne les équipements utilisés pour valider le temps de réponse du système, il est recommandé d'utiliser des lignes de transfert de gaz les plus courtes possibles entre toutes les connexions qu'il y a lieu d'utiliser; on connecte une source d'air pur servant de gaz zéro à l'entrée d'un distributeur rapide à

3 voies (2 entrées et 1 sortie) afin de gérer le débit des gaz zéro et des gaz mélangés jusqu'à l'entrée de la sonde du système de prélèvement ou un T proche de la sortie de la sonde. Normalement, le débit de gaz est plus élevé que le débit de prélèvement de la sonde et l'excédent déborde à l'entrée de la sonde. Si le débit de gaz est plus faible que le débit de la sonde, il faut ajuster les concentrations de gaz pour tenir compte de la dilution de l'air ambiant dans la sonde. On peut utiliser des gaz de calibrage binaires ou multiples. On peut utiliser un dispositif de mélange de gaz à cet effet. Un mélange de gaz ou un dispositif de mélange est recommandé lorsqu'on utilise des gaz de calibrage dilués dans du N_2 avec des gaz de calibrage dilués dans l'air;

Au moyen d'un mélangeur-doseur de gaz, on mélange à parts égales un gaz de calibrage $NO-CO-CO_2-C_3H_8-CH_4$ (complément N_2) avec un gaz de réglage de NO_2 , avec complément d'air synthétique purifié. On peut aussi utiliser des gaz de réglage binaires standard, le cas échéant, à la place du mélange $NO-CO-CO_2-C_3H_8-CH_4$; dans ce cas il convient de faire des essais de performances individuels pour chaque analyseur. La sortie du mélangeur-doseur doit être connectée à l'autre entrée du distributeur à 3 voies. La sortie du distributeur doit être connectée à un surdébit à la sonde du système d'analyse de gaz ou à un raccord de débordement entre la sonde et la ligne de transfert vers tous les analyseurs en cours de vérification. On utilise un montage qui évite les pulsations de pression résultant des arrêts du débit à travers le dispositif de mélange de gaz. On omet chacun des éléments constitutifs du gaz qui ne sont pas pertinents pour les analyseurs dans le cas de cette vérification. Une autre possibilité consiste à utiliser des bouteilles de gaz contenant des gaz uniques; une mesure séparée des temps de réponse est permise;

- c) La collecte des données se fait de la manière suivante:
- i) Agir sur la vanne pour lancer le débit de gaz zéro;
 - ii) Attendre que la situation se stabilise compte tenu du temps de transport et de la réponse complète la plus lente de l'analyseur;
 - iii) L'enregistrement des données doit commencer à la fréquence utilisée pendant les essais d'émissions. Chaque valeur inscrite doit être une concentration unique à jour mesurée par l'analyseur; on ne peut pas modifier les valeurs enregistrées en recourant à l'interpolation ou au filtrage;
 - iv) Commuter la vanne pour permettre aux gaz de calibrage mélangés de passer dans les analyseurs. Cette commutation a lieu à l'instant t_0 ;
 - v) Il faut tenir compte des temps de transport et de la réponse complète de l'analyseur le plus lent;
 - vi) Commuter le flux pour permettre au gaz zéro de passer dans l'analyseur. Cette commutation a lieu à l'instant t_{100} ;

- vii) Il faut tenir compte des temps de transport et de la réponse complète de l'analyseur le plus lent;
- viii) Les étapes c) iv) à vii) du présent paragraphe doivent être répétées jusqu'à obtenir sept cycles complets qui se terminent par l'envoi de gaz zéro dans les analyseurs;
- ix) Mettre fin aux enregistrements.

8.1.5.5 Évaluation des résultats obtenus

Il faut utiliser les données du paragraphe 8.1.5.4 c) de la présente section pour calculer le temps moyen de montée T_{10-90} pour chacun des analyseurs.

- a) Si l'on choisit de prouver la conformité avec le paragraphe 8.1.5.3 b) i) de la présente section, il convient d'appliquer la procédure suivante: multiplier les temps de montée (en s) par leurs fréquences d'enregistrement respectives en Hertz (1/s). La valeur de chaque résultat doit être d'au moins 5. Si elle est inférieure, il faut augmenter la fréquence d'enregistrement ou ajuster le débit ou encore modifier la conception du système de prélèvement pour allonger le temps de montée selon les besoins. On peut aussi configurer des filtres numériques pour augmenter le temps de montée;
- b) Si l'on souhaite prouver la conformité avec le paragraphe 8.1.5.3 b) ii) de la présente section, il suffit de démontrer que les prescriptions du paragraphe 8.1.5.3 b) ii) sont respectées.

8.1.6 Vérification du temps de réponse pour les analyseurs de type à compensation

8.1.6.1 Étendue et fréquence

Cette vérification doit être effectuée pour déterminer la réponse en continu de l'analyseur de gaz, dans le cas où une réponse de l'analyseur est compensée par une autre pour quantifier une émission gazeuse. Pour cet essai, on prend de la vapeur d'eau comme élément constitutif gazeux. Cette vérification est nécessaire dans le cas des analyseurs de gaz fonctionnant en continu utilisés pour les essais transitoires ou à modes raccordés. Cette vérification n'est pas requise pour les analyseurs de gaz prélevés par lots ou pour les analyseurs de gaz en continu utilisés pour les essais en modes discrets seulement. La vérification ne s'applique pas à la correction en fonction de l'eau enlevée de l'échantillon lors du traitement aval et ne s'applique pas à la détermination des HCNM à partir des HCT et CH_4 visée dans les annexes A.7 et A.8 relatives aux calculs des émissions. Cette vérification doit être effectuée après l'installation initiale (c'est-à-dire la mise en service de la cellule d'essai). Après un grand entretien, on peut se référer au paragraphe 8.1.5 pour analyser la réponse uniforme fournie à condition que tout composant remplacé ait fait l'objet d'une vérification du temps de réponse uniforme en conditions humides à un stade quelconque.

8.1.6.2 Principes de mesure

Cette procédure sert à vérifier l'alignement dans le temps et l'uniformité de la réponse des mesures de gaz combinées en permanence. Pour cette procédure, il faut s'assurer que tous les algorithmes de compensation et toutes les corrections de l'humidité sont en fonction.

8.1.6.3 Configurations nécessaires

Les prescriptions données au paragraphe 8.1.5.3 a) en ce qui concerne le temps de réponse général et le temps de montée sont également valables pour les analyseurs de type à compensation. De plus, si la fréquence d'enregistrement est différente de la fréquence de mise à jour du signal combiné/compensé en permanence, il faut utiliser la plus basse de ces deux fréquences pour la vérification requise en vertu du paragraphe 8.1.5.3 b) i).

8.1.6.4 Marche à suivre

Il faut appliquer toutes les procédures énoncées dans les paragraphes 8.1.5.4 a) à c). De plus, il faut mesurer le temps de réponse et le temps de montée de la vapeur d'eau si on utilise un algorithme de compensation basé sur la vapeur d'eau mesurée. Dans ce cas, un seul des gaz d'étalonnage utilisés (mais pas le NO₂) doit être humidifié de la manière suivante:

Si le système ne comporte pas de sécheur pour extraire l'eau du gaz échantillon, il faut humidifier le gaz de calibrage en faisant passer le mélange de gaz par un vase hermétique qui humidifie le gaz jusqu'à la valeur la plus élevée du point de rosée de l'échantillon estimée au cours du prélèvement d'émissions par barbotage dans l'eau distillée. Si le système comporte pendant l'essai un sécheur d'échantillon qui satisfait aux exigences, on peut introduire le mélange de gaz humidifié en aval du sécheur en le faisant traverser de l'eau distillée dans un récipient fermé à $(25 \pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C})$, ou à une température supérieure au point de rosée. Dans tous les cas, en aval du récipient, le gaz humidifié doit être maintenu à une température d'au moins $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ au-dessus du point de rosée local dans la ligne. Il convient de noter qu'il est possible d'omettre l'un de ces éléments constitutifs du gaz s'il n'est pas pertinent pour les analyseurs dans le cas de cette vérification. Si l'un quelconque des éléments du gaz n'est pas sensible à l'effet de compensation de l'eau, le contrôle de réponse pour ces analyseurs peut être effectué sans humidification.

8.1.7 Mesure des paramètres du moteur et des conditions ambiantes

Le fabricant du moteur doit appliquer des procédures de qualité internes satisfaisant à des normes nationales ou internationales reconnues. À défaut, les procédures ci-dessous s'appliquent.

8.1.7.1 Étalonnage du couple**8.1.7.1.1 Étendue et fréquence**

Il faut étalonner tous les systèmes de mesure du couple, y compris les capteurs et systèmes de mesure du couple au dynamomètre, lors de leur installation initiale et après un grand entretien en utilisant, notamment, une force de référence ou une longueur de bras de levier couplée à un point mort. Il convient de décider sur la base des pratiques techniques reconnues à quel moment il convient de répéter l'étalonnage. Il convient de suivre les instructions du fabricant du capteur de couple pour linéariser les résultats obtenus. D'autres méthodes d'étalonnage sont permises.

8.1.7.1.2 Étalonnage avec charge permanente

Par cette technique on applique une force connue en suspendant des poids à des distances connues le long d'un bras de levier. Il faut s'assurer que le bras de levier supportant le poids est perpendiculaire à la fois à la force de gravité (c'est-à-dire horizontal) et à l'axe de rotation du dynamomètre. On applique six combinaisons de poids d'étalonnage au moins pour chaque plage de mesures du couple applicable en espaçant les quantités de poids de manière à peu près égale sur l'ensemble de la plage. Le dynamomètre doit être soumis à des mouvements d'oscillation ou de rotation pendant l'étalonnage pour réduire l'hystérésis de frottement statique. Il faut déterminer la force correspondant à chaque poids en multipliant sa masse internationalement vérifiable par l'accélération locale de la gravité terrestre.

8.1.7.1.3 Étalonnage de l'extensomètre ou de l'anneau dynamométrique

Pour cette technique, on applique une force, soit en suspendant des poids à un bras de levier (ces poids et la longueur du bras de levier ne sont pas utilisés dans la partie détermination du couple de référence), soit en utilisant le dynamomètre à différents couples. On applique au moins six combinaisons de force à chaque plage de mesures applicable, en espaçant les quantités de force de manière à peu près égale sur toute la plage. Pendant l'étalonnage, le dynamomètre doit être soumis à des mouvements d'oscillation ou de rotation pour diminuer l'hystérésis de frottement statique. Dans ce cas, on détermine le couple de référence en multipliant le résultat obtenu avec l'instrument de référence (tel que l'extensomètre ou l'anneau dynamométrique) par la longueur de bras effective, qui est mesurée à partir du point où est faite la mesure de la force par rapport à l'axe de rotation du dynamomètre. On s'assure que cette longueur est mesurée perpendiculairement à l'axe de mesure de référence de l'instrument et perpendiculairement à l'axe de rotation du dynamomètre.

8.1.7.2 Étalonnage pour la pression, la température et le point de rosée

Il convient d'étalonner les instruments de mesure de la pression, de la température et du point de rosée avant l'installation initiale. On le fait conformément aux instructions du fabricant et on s'appuie sur les pratiques techniques reconnues pour décider à quel moment il convient de répéter l'étalonnage.

En ce qui concerne les systèmes de mesure de la température au moyen d'un thermocouple, d'un capteur à résistance ou d'un thermistor, l'étalonnage du système doit être effectué comme indiqué au paragraphe 8.1.4.4 pour la vérification de la linéarité.

8.1.8 Mesures en rapport avec le débit**8.1.8.1 Étalonnage pour le débit de carburant**

Les débitmètres de carburant doivent être étalonnés lors de l'installation initiale. On suit les instructions du fabricant et on s'appuie sur les pratiques techniques reconnues pour décider à quel moment il convient de répéter l'étalonnage.

8.1.8.2 Étalonnage pour le débit d'air d'admission

Les débitmètres d'air d'admission doivent être étalonnés lors de l'installation initiale. On suit les instructions du fabricant et on s'appuie sur les pratiques techniques reconnues pour décider à quel moment il convient de répéter l'étalonnage.

8.1.8.3 Étalonnage pour le débit d'échappement

Les débitmètres de flux d'échappement doivent être étalonnés à l'installation initiale. On suit les instructions du fabricant et on s'appuie sur les pratiques techniques reconnues pour décider à quel moment il convient de répéter l'étalonnage.

8.1.8.4 Étalonnage pour le débit d'échappement dilué (CVS)**8.1.8.4.1 Aperçu général**

- a) La présente section décrit la manière d'étalonner les débitmètres pour systèmes de prélèvement de gaz d'échappement dilués à volume constant (CVS);
- b) Cet étalonnage doit être effectué lorsque le débitmètre est à son emplacement permanent et qu'un élément quelconque du circuit en amont ou en aval a été modifié d'une manière pouvant influencer sur l'étalonnage du débitmètre. Cet étalonnage doit être effectué à l'installation initiale du système CVS et chaque fois qu'une action corrective ne permet pas de remédier à un échec dans la vérification du débit d'échappement dilué (c'est-à-dire le contrôle au propane) visée au paragraphe 8.1.8.5;
- c) Un débitmètre CVS peut être étalonné au moyen d'un débitmètre de référence tel qu'un débitmètre venturi subsonique, une tuyère à grand rayon, un orifice à admission lisse, un élément à flux laminaire, un ensemble de venturis-tuyères en régime critique ou un débitmètre à ultrasons. Il convient d'utiliser un débitmètre de référence qui indique les quantités internationalement vérifiables à ± 1 % près. L'indication du débitmètre de référence pour le débit est utilisée comme valeur de référence pour l'étalonnage du débitmètre CVS;
- d) On n'utilise ni un écran en amont ni un autre restricteur qui pourrait influencer sur le débit en amont du débitmètre, à moins que celui-ci n'ait été étalonné avec un tel restricteur;
- e) La séquence d'étalonnage décrite dans le présent paragraphe fait référence à la méthode fondée sur la molarité. La séquence correspondante de la méthode fondée sur la masse est présentée dans l'appendice 1 de l'annexe 8.

8.1.8.4.2 Étalonnage de la PDP

Il faut étalonner la pompe volumétrique (PDP) pour établir une équation débit/vitesse PDP qui tienne compte des fuites aux surfaces d'étanchéité de la PDP comme une fonction de la pression à l'entrée de celle-ci. Des coefficients d'équation uniques sont déterminés pour chaque vitesse à laquelle la pompe est utilisée. Le débitmètre de pompe PDP doit être étalonné de la manière suivante:

- a) Le système doit être connecté comme indiqué à la figure 8.1;

- b) Les fuites entre le débitmètre d'étalonnage et la pompe PDP doivent être inférieures à 0,3 % du débit total au point du débit étalonné le plus bas, par exemple à la plus grande restriction et à la vitesse de la pompe la plus basse;
- c) Pendant que la pompe fonctionne, il faut maintenir une température constante à l'entrée de celle-ci à ± 2 % de la température d'arrivée absolue moyenne, T_{in} ;
- d) La vitesse de la pompe est réglée sur le premier niveau de vitesse à laquelle il est prévu de faire l'étalonnage;
- e) Le restricteur variable est à sa position entièrement ouverte;
- f) La pompe PDP est actionnée pendant 3 min au moins pour stabiliser le système. Ensuite, la pompe étant constamment en marche, on enregistre les valeurs moyennes de 30 s au moins des données d'échantillon de chacune des quantités suivantes:
 - i) Le débit moyen du débitmètre de référence, \bar{q}_{Vref} ;
 - ii) La température moyenne à l'entrée de la pompe, T_{in} ;
 - iii) La pression statique absolue moyenne à l'entrée de la pompe, p_{in} ;
 - iv) La pression statique absolue moyenne à la sortie de la pompe, p_{out} ;
 - v) La vitesse moyenne de la pompe, n_{PDP} ;
- g) Le restricteur variable doit être progressivement fermé pour diminuer la pression absolue à l'entrée de la pompe, p_{in} ;
- h) Les étapes des paragraphes 8.1.8.4.2 f) et g) de la présente section doivent être répétées pour permettre d'enregistrer les données à un minimum de six positions du restricteur qui correspondent à la plage complète de pressions du travail possibles à l'entrée de la pompe;
- i) L'étalonnage de la pompe doit se faire au moyen des données rassemblées et des équations figurant dans les annexes A.7 et A.8;
- j) Les étapes des paragraphes f) à i) de la présente section doivent être répétées pour chaque vitesse à laquelle la pompe PDP est utilisée;
- k) Les équations de l'annexe 4B, appendice A.7 (méthode fondée sur la molarité) ou A.8 (méthode fondée sur la masse) permettent de déterminer l'équation du débit de la PDP pour les essais d'émissions;
- l) L'étalonnage fait l'objet d'une vérification CVS (c'est-à-dire un contrôle au propane) comme indiqué au paragraphe 8.1.8.5;
- m) La pompe ne peut pas être utilisée au-dessous de la pression d'entrée la plus basse essayée au cours de l'étalonnage.

8.1.8.4.3 Étalonnage du CFV

Il faut étalonner un venturi-tuyère en régime critique (CFV) pour vérifier son coefficient de décharge C_d à la pression différentielle statique

la plus basse prévue entre l'entrée et la sortie. Un débitmètre de CFV doit être étalonné de la manière suivante:

- a) Le système doit être connecté comme indiqué dans la figure 8.1;
- b) La soufflante est lancée en aval du CFV;
- c) Pendant le fonctionnement du CFV, il faut maintenir une température constante à son entrée à ± 2 % près de la température moyenne absolue à l'admission, T_{in} ;
- d) Les fuites entre le débitmètre d'étalonnage et le CFV doivent être inférieures à 0,3 % du débit total à la restriction la plus élevée;
- e) Le restricteur variable doit être mis à sa position grande ouverte. La pression en aval du CFV peut aussi être rendue variable au moyen d'une vitesse de soufflante variable ou par l'introduction d'une fuite contrôlée. Il convient de noter que certaines soufflantes font l'objet de restrictions lorsqu'elles ne sont pas en charge;
- f) Le CFV doit fonctionner pendant 3 min au moins pour stabiliser le système. Ensuite il continue de fonctionner et il faut prendre note des valeurs moyennes obtenues pendant 30 s au moins des données d'échantillon de chacune des quantités suivantes:
 - i) Le débit moyen du débitmètre de référence, \bar{q}_{Vref} ;
 - ii) Facultativement, le point de rosée moyen de l'air d'étalonnage, T_{dew} . Voir les annexes A.7 et A.8 en ce qui concerne les hypothèses acceptables au cours des mesures des émissions;
 - iii) La température moyenne à l'entrée du venturi, T_{in} ;
 - iv) La pression absolue statique moyenne à l'entrée du venturi, p_{in} ;
 - v) La pression différentielle statique moyenne entre l'entrée et la sortie du CFV, Δp_{CFV} ;
- g) Le restricteur variable doit être progressivement fermé pour diminuer la pression absolue à l'entrée du CFV, p_{in} ;
- h) On répète les actions des paragraphes f) et g) pour enregistrer les données moyennes à un minimum de 10 positions du restricteur variable de manière à essayer la plage pratique la plus complète possible de Δp_{CFV} . Il n'est pas nécessaire de retirer des éléments d'étalonnage ou des éléments CVS pour étalonner aux restrictions les plus faibles possibles;
- i) On détermine le coefficient C_d et le taux de pression le plus bas permis r comme indiqué dans les annexes A.7 et A.8;
- j) On utilise C_d pour déterminer le débit du CFV au cours d'un essai d'émissions. Il ne faut pas utiliser le CFV en dessous de la valeur de r la plus faible permise, calculée selon les annexes A.7 et A.8;
- k) L'étalonnage doit être contrôlé par une vérification du système CVS (c'est-à-dire un contrôle au propane), comme indiqué au paragraphe 8.1.8.5;

- l) Si le système CVS est configuré pour faire fonctionner plus d'un CFV en même temps et en parallèle, il faut l'étalonner par un des moyens suivants:
 - i) Toute combinaison de CFV doit être étalonnée conformément au présent paragraphe et aux annexes A.7 et A.8. Voir ces annexes qui contiennent les instructions pour le calcul du débit dans de telles conditions;
 - ii) Chaque CFV doit être étalonné conformément au présent paragraphe et aux annexes A.7 et A.8. Voir ces annexes qui contiennent les instructions pour le calcul du débit dans de telles conditions.

8.1.8.4.4 Étalonnage du SSV

Il faut étalonner le venturi subsonique (SSV) pour déterminer son coefficient d'étalonnage, C_d , compte tenu de la plage des pressions d'entrée escomptées. On procède de la manière suivante:

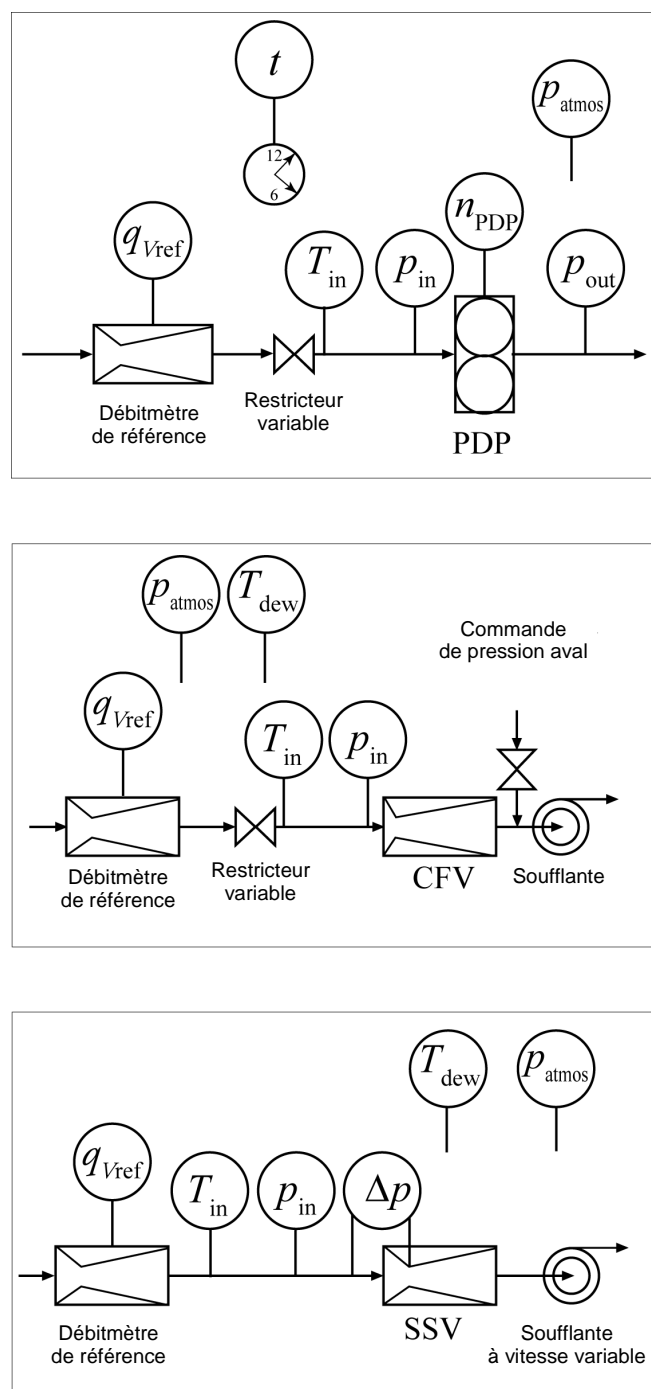
- a) Le système doit être connecté comme indiqué à la figure 8.1;
- b) La soufflante doit être mise en marche en aval du SSV;
- c) Les fuites entre le débitmètre d'étalonnage et le SSV doivent être inférieures à 0,3 % du débit total à la restriction la plus élevée;
- d) Pendant que le SSV fonctionne, on doit maintenir une température constante à l'entrée du SSV à ± 2 % de la température d'entrée absolue moyenne, T_{in} ;
- e) Le restricteur variable ou la soufflante à vitesse variable doit être mis à un débit supérieur au débit le plus important attendu au cours de l'essai. On ne peut pas extrapoler les débits au-delà des valeurs étalonnées et, dès lors, il est recommandé de s'assurer que le nombre de Reynolds, Re , au col du SSV au débit étalonné le plus grand, est supérieur au Re maximal attendu au cours de l'essai;
- f) Le SSV doit fonctionner pendant 3 min au moins pour stabiliser le système. Ensuite, pendant qu'il continue de fonctionner, on retient la moyenne des 30 s des données d'échantillon de chacune des quantités suivantes:
 - i) Le débit moyen du débitmètre de référence, \bar{Q}_{Vref} ;
 - ii) Facultativement, le point de rosée moyen de l'air d'étalonnage, T_{dew} . Voir les annexes A.7 et A.8 en ce qui concerne les hypothèses acceptables;
 - iii) La température moyenne à l'entrée du venturi, T_{in} ;
 - iv) La pression absolue statique moyenne à l'entrée du venturi, P_{in} ;
 - v) La pression différentielle statique entre l'entrée du venturi et le col du venturi, Δp_{SSV} ;
- g) Il faut fermer progressivement le restricteur variable ou réduire la vitesse de la soufflante pour diminuer le débit;

- h) Il faut répéter les étapes des points f) et g) du présent paragraphe pour enregistrer les données correspondant à un minimum de 10 débits différents;
- i) Il faut exprimer C_d en fonction de Re au moyen des données rassemblées et des équations des annexes A.7 et A.8;
- j) Il faut vérifier l'étalonnage en effectuant la vérification du système CVS (c'est-à-dire le contrôle au propane) tel que décrit dans le paragraphe 8.1.8.5 avec le nouveau C_d exprimé en fonction de Re ;
- k) Le SSV doit être uniquement utilisé entre les débits étalonnés minimal et maximal;
- l) On utilise les équations de l'annexe 4B, appendices A.7 (méthode fondée sur la molarité) ou A.8 (méthode fondée sur la masse) pour déterminer le débit SSV pendant l'essai.

8.1.8.4.5 Étalonnage aux ultrasons (réservé)

Figure 8.1

Schéma du système pour l'étalonnage CVS du débit de gaz d'échappement dilués



8.1.8.5 Vérification du système CVS et du prélèvement par lots (contrôle au propane)

8.1.8.5.1 Introduction

- a) Un contrôle au propane sert de vérification du système CVS pour déterminer s'il y a des divergences entre les valeurs mesurées du débit de gaz d'échappement dilués. Un contrôle au propane sert également de vérification du prélèvement par lots pour déterminer s'il y a une divergence dans un système de prélèvement par lots qui extrait un échantillon d'un CVS, comme indiqué au paragraphe f). En appliquant les pratiques reconnues et des méthodes fiables, on peut faire cette vérification avec un gaz autre que le propane, le CO₂ ou le CO, par exemple. L'échec d'un contrôle au propane peut révéler un ou plusieurs problèmes nécessitant une intervention, à savoir:
- i) Étalonnage incorrect de l'analyseur. L'analyseur FID doit être réétalonné, réparé ou remplacé;
 - ii) Des recherches de fuites sont effectuées sur le tunnel CVS, les connexions, les raccords et le système de prélèvement HC conformément au paragraphe 8.1.8.7;
 - iii) La recherche d'un mauvais mélange doit s'effectuer conformément au paragraphe 9.2.2;
 - iv) La vérification de la contamination par les hydrocarbures dans un système de prélèvement doit être effectuée comme indiqué au paragraphe 7.3.1.2;
 - v) Changement de l'étalonnage CVS. On effectue un étalonnage *in situ* du débitmètre CVS comme indiqué au paragraphe 8.1.8.4;
 - vi) Autres problèmes avec le CVS, le matériel de vérification des échantillons ou le logiciel. Il faut examiner le CVS, le matériel de vérification des échantillons ou le logiciel pour en rechercher les défauts éventuels;
- b) Un contrôle au propane fait appel soit à une masse de référence, soit à un débit de référence de C₃H₈ en tant que gaz traceur dans un CVS. Si l'on utilise le débit de référence, il faut prendre en compte tout comportement non idéal du gaz C₃H₈ dans le débitmètre de référence. Voir les annexes A.7 (méthode fondée sur la molarité) ou A.8 (méthode fondée sur la masse), où on trouve la description de l'étalonnage et de l'utilisation de certains débitmètres. On ne doit pas faire d'hypothèse sur le gaz idéal au titre du paragraphe 8.1.8.5 et dans les annexes A.7 ou A.8. Le contrôle au propane permet de comparer, au moyen de mesures des HC et du débit CVS, la masse de C₃H₈ injecté calculée avec la valeur de référence.

8.1.8.5.2 Méthode à utiliser pour introduire une quantité connue de propane dans le système CVS

Il faut déterminer la justesse totale du système de prélèvement CVS et du système analytique en introduisant une masse connue de gaz polluant dans le système pendant qu'il fonctionne de manière normale.

Le polluant est analysé et la masse calculée conformément aux annexes A.7 et A.8. On utilise au choix l'une des deux techniques suivantes:

- a) La mesure au moyen d'une technique gravimétrique doit se faire de la manière suivante: la masse d'une petite bouteille à gaz remplie de monoxyde de carbone ou de propane doit être déterminée avec une précision de $\pm 0,01$ g. Pendant 5 à 10 min, on utilise le système CVS comme dans un essai de gaz d'échappement normal pendant que du monoxyde de carbone ou du propane est injecté dans le système. La quantité de gaz pur libérée est déterminée par pesée différentielle. Un échantillon de gaz est analysé avec les équipements habituels (sacs de prélèvement ou méthode d'intégration) et la masse de gaz est calculée;
- b) La mesure au moyen d'un orifice à écoulement critique doit se faire de la manière suivante: une quantité connue de gaz pur (monoxyde de carbone ou propane) est introduite dans le système CVS via un orifice critique étalonné. Si la pression à l'admission est suffisamment grande, le débit, qui est ajusté au moyen d'un orifice à écoulement critique, est indépendant de la pression de sortie à l'orifice (écoulement critique). Le système CVS doit être utilisé comme dans un essai d'émissions d'échappement normal pendant 5 à 10 min. On analyse un échantillon de gaz avec les équipements usuels (sacs de prélèvement ou méthode d'intégration) et on calcule la masse de gaz.

8.1.8.5.3 Préparation du contrôle au propane

Le contrôle au propane doit être préparé de la manière suivante:

- a) Si l'on utilise une masse de référence de C_3H_8 à la place du débit de référence, on doit disposer d'une bouteille à gaz remplie de C_3H_8 . La masse de C_3H_8 dans la bouteille de référence doit être déterminée à $\pm 0,5$ % près de la quantité de C_3H_8 que l'on s'attend à utiliser;
- b) Il faut sélectionner les débits appropriés pour le CVS et le C_3H_8 ;
- c) Un orifice d'injection de C_3H_8 doit être choisi dans le CVS. On choisit l'orifice le plus près possible de l'emplacement où les gaz d'échappement sont introduits dans le CVS. La bouteille de C_3H_8 doit être raccordée au système d'injection;
- d) Il faut faire fonctionner le CVS jusqu'à ce qu'il se stabilise;
- e) Tout échangeur de chaleur du système de prélèvement doit être préchauffé ou prérefroidi;
- f) Les éléments chauffés ou refroidis tels que les tubes de prélèvement, les filtres, les refroidisseurs et les pompes doivent être stabilisés à la température de fonctionnement;
- g) Si nécessaire, on effectue une vérification des fuites du côté dépression du système de prélèvement HC comme indiqué au paragraphe 8.1.8.7.

8.1.8.5.4 Préparation du système de prélèvement des HC pour le contrôle au propane

La vérification décrite du côté dépression du système de prélèvement HC peut être effectuée conformément au point g) ci-après. En pareil cas, on peut appliquer la procédure relative à la contamination par les HC décrite au paragraphe 7.3.1.2. Si le contrôle de la fuite du côté dépression n'est pas effectué conformément au point g), on met le système de prélèvement HC à zéro, on le règle et on le vérifie au niveau de la contamination, et ce, de la manière suivante:

- a) On utilise la plage de l'analyseur HC la plus basse permettant de mesurer la concentration attendue de C_3H_8 pour les débits CVS et C_3H_8 ;
- b) L'analyseur HC doit être mis à zéro au moyen d'un gaz de mise à zéro introduit dans l'entrée de l'analyseur;
- c) L'analyseur HC doit être réglé au moyen du gaz de calibrage C_3H_8 introduit dans l'orifice de l'analyseur;
- d) De l'air pur servant de gaz zéro doit être introduit dans la sonde HC ou dans un raccord entre la sonde HC et la ligne de transfert;
- e) La concentration de HC stable du système de prélèvement HC doit être mesurée pendant un surdébit d'air pur servant de gaz zéro. Pour une mesure de HC par lots, il faut remplir le conteneur de lot (par exemple une cartouche) et mesurer la concentration du surdébit de HC;
- f) Si la concentration de HC de surdébit dépasse $2 \mu\text{mol/mol}$, il ne faut pas poursuivre la procédure tant que la contamination n'a pas été éliminée. On détermine la source de la contamination et on prend les mesures nécessaires, par exemple le nettoyage du système ou le remplacement des parties contaminées;
- g) Lorsque la concentration de HC de surdébit ne dépasse pas $2 \mu\text{mol/mol}$, il faut inscrire cette valeur en tant que x_{HCinit} et l'utiliser pour corriger la contamination par les HC, comme indiqué à l'annexe 4B, appendice A.7 (méthode fondée sur la molarité) ou appendice A.8 (méthode fondée sur la masse).

8.1.8.5.5 Exécution du contrôle au propane

- a) Le contrôle au propane doit être effectué de la manière suivante:
 - i) Pour le prélèvement des HC par lots, on raccorde le moteur au support de stockage propre, des sacs sous vide par exemple;
 - ii) Les instruments de mesure des HC doivent être utilisés conformément aux instructions du fabricant;
 - iii) Si l'on prévoit des corrections des concentrations ambiantes de l'air de dilution du HC, il convient de mesurer le niveau des HC ambiants dans l'air de dilution et d'en prendre note;
 - iv) Tout dispositif d'intégration doit être mis à zéro;

- v) Le prélèvement peut commencer et il faut mettre en marche tout intégrateur de débit;
 - vi) Le C_3H_8 doit être libéré à la vitesse sélectionnée. Si l'on utilise un débit de référence de C_3H_8 , il convient de lancer l'intégration de ce débit;
 - vii) On continue de libérer le C_3H_8 jusqu'à ce qu'il y en ait suffisamment pour assurer une quantification précise du C_3H_8 de référence et du C_3H_8 mesuré;
 - viii) On ferme la bouteille de C_3H_8 et on poursuit le prélèvement de manière à tenir compte des retards dus au transport de l'échantillon et de la réponse de l'analyseur;
 - ix) On arrête le prélèvement et tous les intégrateurs;
- b) Au cas où l'on utilise pour la mesure un orifice à écoulement critique, on peut recourir à la méthode suivante pour le contrôle du propane à la place de la méthode du paragraphe 8.1.8.5.5 a):
- i) Pour le prélèvement des HC par lots, on raccorde le moteur au support de stockage propre, des sacs sous vide par exemple;
 - ii) Les instruments de mesure des HC doivent être utilisés conformément aux instructions du fabricant;
 - iii) Si l'on prévoit des corrections des concentrations ambiantes de l'air de dilution du HC, il convient de mesurer le niveau des HC ambiants dans l'air de dilution et d'en prendre note;
 - iv) Tout dispositif d'intégration doit être mis à zéro;
 - v) Le contenu de la bouteille de référence de C_3H_8 doit être libéré au débit sélectionné;
 - vi) il faut commencer le prélèvement et lancer tout intégrateur de débit après la confirmation que la concentration de HC est stable;
 - vii) Il faut continuer à libérer le contenu de la bouteille jusqu'à ce qu'il y ait suffisamment de C_3H_8 pour garantir une quantification précise du C_3H_8 de référence et du C_3H_8 mesuré;
 - viii) On met tous les intégrateurs à l'arrêt;
 - ix) On ferme la bouteille de référence de C_3H_8 .

8.1.8.5.6 Évaluation du contrôle au propane

La procédure faisant suite à l'essai doit être exécutée de la manière suivante:

- a) Si l'on a utilisé le prélèvement par lots, les échantillons doivent être analysés dès que possible;
- b) Après les analyses des HC, il faut apporter des corrections pour tenir compte de la contamination et des concentrations ambiantes;

- c) On calcule la masse totale de C_3H_8 sur la base du CVS. Les données HC doivent être calculées comme indiqué dans les annexes A.7 et A.8 au moyen de la masse molaire de C_3H_8 , $M_{C_3H_8}$, à la place de la masse molaire effective de HC, M_{HC} ;
- d) Si l'on utilise une masse de référence (technique gravimétrique), il faut déterminer la masse de propane du cylindre à $\pm 0,5$ % près et déterminer la masse de référence de C_3H_8 en soustrayant la masse de la bouteille vide de la masse de la bouteille pleine. Si l'on utilise un orifice à écoulement critique, il faut déterminer la masse de propane en multipliant le débit par la durée de l'essai;
- e) Il faut soustraire la masse de C_3H_8 de référence de la masse calculée. Si la différence avec la masse de référence ne dépasse pas ± 3 % le CVS satisfait à cette vérification.

8.1.8.5.7 Vérification du système de dilution secondaire des particules

S'il faut recommencer le contrôle au propane pour vérifier le système de dilution secondaire des MP, on utilise la procédure suivante décrite aux points a) à d) pour faire cette vérification:

- a) Le système de prélèvement de HC doit être configuré pour extraire un échantillon près de l'emplacement du support de stockage de l'échantillonneur par lots (tel qu'un filtre à particules). Si la pression absolue à cet emplacement est trop basse pour extraire un échantillon de HC, celui-ci peut être prélevé à la sortie de la pompe de prélèvement par lots. Il faut prendre garde dans ce cas parce qu'une fuite à la pompe en aval du circuit du débitmètre du système de prélèvement, qui serait normalement acceptable, entraînerait une fausse défaillance dans le contrôle au propane;
- b) Le contrôle au propane doit être fait à plusieurs reprises comme indiqué dans le présent paragraphe mais les HC doivent être prélevés avec le système de prélèvement par lots;
- c) Il faut calculer la masse de C_3H_8 en tenant compte de toute dilution secondaire de l'échantillonneur par lots;
- d) Il faut soustraire la masse de C_3H_8 de référence de la masse calculée. Si la différence avec la masse de référence ne dépasse pas ± 5 %, le système de prélèvement par lots satisfait à cette vérification. Dans le cas contraire, des mesures correctives doivent être prises.

8.1.8.5.8 Vérification du sécheur d'échantillon

Si l'on utilise un capteur d'humidité pour la surveillance continue du point de rosée à la sortie du sécheur d'échantillon, ce contrôle n'est pas nécessaire tant que l'on veille à ce que l'humidité à la sortie du sécheur reste en dessous des valeurs minimales utilisées pour les contrôles d'extinction, d'interférence et de compensation.

- a) Si l'on utilise un sécheur d'échantillon, comme cela est permis au titre du paragraphe 9.3.2.3.1, pour extraire l'eau de l'échantillon de gaz, les performances doivent être vérifiées à l'installation et après un grand entretien au niveau du refroidisseur. Pour les sécheurs à membrane osmotique, les performances doivent être

vérifiées à l'installation, après un grand entretien et dans les 35 jours suivant les essais;

- b) L'eau peut compromettre la capacité d'un analyseur à mesurer correctement la partie du gaz d'échappement présentant de l'intérêt et, pour cette raison, elle est extraite avant que l'échantillon n'atteigne l'analyseur. À titre d'exemple, l'eau peut interférer négativement avec la réponse aux NO_x d'un CLD par extinction collisionnelle et peut interférer positivement avec un analyseur NDIR en produisant une réponse similaire à du CO ;
- c) Le sécheur d'échantillon doit répondre aux spécifications déterminées au paragraphe 9.3.2.3.1 pour le point de rosée, T_{dew} , et la pression absolue, p_{total} , en aval du sécheur à membrane osmotique ou du refroidisseur;
- d) On recourt à la procédure de vérification du sécheur d'échantillon pour déterminer les performances de celui-ci, ou on applique les pratiques techniques reconnues pour mettre au point un protocole différent:
 - i) On utilise des tubes en PTFE ou en acier inoxydable pour faire les connexions nécessaires;
 - ii) Le N_2 ou l'air purifié doit être humidifié par barbotage à travers de l'eau distillée dans un récipient étanche qui humidifie les gaz jusqu'à la valeur la plus élevée du point de rosée de l'échantillon estimée pendant le prélèvement;
 - iii) Le gaz humidifié doit être introduit en amont du sécheur d'échantillon;
 - iv) La température du gaz humidifié en aval du récipient doit être maintenue à 5 °C au moins au-dessus du point de rosée;
 - v) Il faut mesurer le point de rosée du gaz humidifié, T_{dew} , et la pression, p_{total} , le plus près possible de l'entrée du sécheur d'échantillon pour s'assurer que le point de rosée est le plus élevé de ceux qui ont été estimés pendant le prélèvement d'émissions;
 - vi) Le point de rosée du gaz humidifié, T_{dew} , et la pression, p_{total} , doivent être mesurés le plus près possible de la sortie du sécheur;
 - vii) Le sécheur satisfait à la vérification si le résultat de l'opération décrite au point d) vi) est inférieur au point de rosée correspondant aux spécifications du sécheur telles qu'elles ont été déterminées au paragraphe 9.3.2.3.1 majoré de 2 °C ou si la fraction molaire dans les conditions définies au point d) vi) est inférieure aux spécifications du sécheur d'échantillon correspondant majorées de 0,002 mol/mol ou 0,2 % vol. Il faut noter que, pour cette vérification, le point de rosée d'un échantillon est exprimé en température absolue (Kelvin).

8.1.8.6 Étalonnage périodique du débit partiel de MP et systèmes de mesure des gaz d'échappement bruts associés

8.1.8.6.1 Spécifications pour la mesure du débit différentiel

Pour que les systèmes de dilution du flux partiel puissent extraire un échantillon de gaz d'échappement bruts proportionnel, la précision du débit d'échantillon q_{mp} est particulièrement importante si elle n'est pas mesurée directement mais déterminée par des mesures de débit différentiel:

$$q_{mp} = q_{mdew} - q_{mdw} \quad (8-1)$$

où:

q_{mp} = débit massique d'échantillon de gaz d'échappement dans le système de dilution partiel

q_{mdw} = débit-masse d'air de dilution en conditions humides

q_{mdew} = débit-masse de gaz d'échappement dilué en conditions humides.

Dans ce cas, l'erreur maximale de la différence doit être telle que la précision de q_{mp} soit ≤ 5 % lorsque le taux de dilution est inférieur à 15. Elle peut être calculée au moyen de la valeur quadratique moyenne des erreurs de chaque instrument.

On peut obtenir une précision acceptable pour q_{mp} par l'une des méthodes suivantes:

- Les précisions absolues pour q_{mdew} et q_{mdw} sont de $\pm 0,2$ % ce qui garantit une précision de q_{mp} inférieure ou égale à 5 % à un taux de dilution de 15. Toutefois, des erreurs plus grandes surviendront à des taux de dilution plus élevés;
- L'étalonnage de q_{mdw} relatif à q_{mdew} est effectué de manière telle qu'on obtient les mêmes précisions pour q_{mp} qu'au point a). Pour plus de détails, voir le paragraphe 8.1.8.6.2;
- La précision pour q_{mp} est déterminée indirectement à partir de la précision pour le taux de dilution tel que déterminé par un gaz traceur tel que le CO_2 . Des précisions du même ordre que celles utilisées dans la méthode a) pour q_{mp} sont nécessaires;
- La précision absolue pour q_{mdew} et q_{mdw} est de ± 2 % de l'échelle totale, l'erreur maximale de la différence entre q_{mdew} et q_{mdw} est inférieure ou égale à 0,2 % et les erreurs de linéarité de $\pm 0,2$ % de la valeur q_{mdew} la plus élevée observée pendant l'essai.

8.1.8.6.2 Étalonnage pour la mesure du débit différentiel

Le système de dilution du flux partiel pour extraire un échantillon de gaz d'échappement proportionnel doit être périodiquement étalonné au moyen d'un débitmètre étalonné selon les normes internationales et/ou nationales. Le débitmètre ou les instruments de mesure du débit doivent être étalonnés suivant une des procédures ci-après de telle manière que le débit de la sonde q_{mp} dans le tunnel satisfasse entièrement aux prescriptions de précision du paragraphe 8.1.8.6.1:

- Le débitmètre pour q_{mdw} doit être connecté en série au débitmètre pour q_{mdew} , la différence entre les deux débitmètres doit être étalonnée pour au moins 5 points de réglage avec des valeurs de débit également espacées entre la valeur q_{mdw} la plus faible utilisée

durant l'essai et la valeur de q_{mdew} utilisée durant l'essai. Le tunnel de dilution peut être contourné;

- b) Un dispositif de débit étalonné doit être connecté en série au débitmètre pour q_{mdew} et la précision doit être vérifiée pour la valeur utilisée pendant l'essai. Le dispositif de débit étalonné doit être connecté en série au débitmètre pour q_{mdw} , et la précision doit être vérifiée pour au moins 5 réglages correspondant aux taux de dilution entre 3 et 15 relativement à q_{mdew} au cours de l'essai;
- c) La ligne de transfert TL (voir la figure 9.2) doit être déconnectée de l'échappement et un dispositif de mesure du débit étalonné disposant d'une plage de fonctionnement utilisée pour mesurer q_{mp} doit être connecté à la ligne de transfert. q_{mdew} doit être mis à la valeur utilisée durant l'essai et q_{mdw} doit être séquentiellement mis à au moins 5 valeurs correspondant à des taux de dilution compris entre 3 et 15. On peut aussi utiliser un débit d'étalonnage spécial dans lequel le tunnel est contourné, mais le total de l'air et de l'air de dilution traverse les compteurs correspondants comme dans l'essai de base;
- d) Un gaz traceur est introduit dans le tuyau de conduite TL de transfert des gaz d'échappement. Ce gaz traceur peut être une composante du gaz d'échappement telle que le CO_2 ou les NO_x . Après dilution dans le tunnel, il faut mesurer le gaz traceur. Cela doit se faire pour 5 taux de dilution compris entre 3 et 15. La précision du débit de l'échantillon doit être déterminée à partir du taux de dilution r_d :

$$q_{mp} = q_{mdew} / r_d \quad (8-2)$$

La justesse des analyseurs de gaz doit être prise en compte pour garantir la précision de q_{mp} .

8.1.8.6.3 Conditions particulières pour la mesure du débit différentiel

Un contrôle du flux de carbone sur les gaz d'échappement réels est fortement recommandé pour détecter les problèmes de mesure et de commande et vérifier le fonctionnement correct du système à flux partiel. Le contrôle du flux de carbone devrait être effectué au moins à chaque nouvelle installation de moteur, ou lorsqu'un changement notable a été apporté à la configuration de la cellule d'essai.

Le moteur doit fonctionner à la charge et au régime de couple maximal ou selon tout autre mode permanent produisant 5 % ou davantage de CO_2 . Le système de prélèvement du flux partiel doit fonctionner avec un facteur de dilution d'environ 15 à 1.

Si l'on effectue un contrôle du flux de carbone, il convient d'appliquer la procédure de l'annexe 4B, appendice A.4. Les taux du flux de carbone sont calculés avec les équations de l'annexe 4B, appendice A.4. Tous les débits de carbone doivent être les mêmes à 5 % près.

8.1.8.6.3.1 Contrôle préliminaire

Un contrôle préliminaire doit être effectué 2 h au maximum avant l'essai dans les conditions suivantes.

On mesure la justesse des débitmètres par les mêmes méthodes que celles utilisées pour l'étalonnage (voir le paragraphe 8.1.8.6.2) pour au moins deux points, y compris les valeurs de débit de q_{mdw} qui correspondent aux taux de dilution compris entre 5 et 15 pour la valeur q_{mdew} utilisée pendant l'essai.

Si l'on peut démontrer par des enregistrements de la procédure d'étalonnage au titre du paragraphe 8.1.8.6.2 que l'étalonnage du débitmètre est stable sur une période de temps plus longue, on peut omettre ce contrôle préliminaire.

8.1.8.6.3.2 Détermination du temps de transformation

Les réglages du système pour l'évaluation du temps de transformation doivent être les mêmes que ceux utilisés pour les mesures pendant l'essai proprement dit. Le temps de transformation, défini dans la figure 3.1, est déterminé selon la méthode suivante:

Un débitmètre de référence indépendant ayant une plage de mesure adaptée au débit dans la sonde est monté en série avec la sonde et connecté à celle-ci. Le temps de transformation de ce débitmètre doit être inférieur à 100 ms pour l'échelon de débit utilisé lors de la mesure du temps de réponse, avec une perte de charge suffisamment faible pour ne pas altérer la performance dynamique du système de dilution en circuit partiel, eu égard aux pratiques techniques reconnues. Une variation en échelon du débit de gaz d'échappement dans le système de dilution en circuit partiel (ou du débit d'air si le débit de gaz d'échappement est déterminé par calcul) est introduite, à partir d'un débit faible jusqu'à au moins 90 % de la pleine échelle. Le signal déclencheur de la variation par paliers doit être le même que celui utilisé pour démarrer le contrôle prédictif lors de l'essai proprement dit. L'impulsion de variation en échelon du débit de gaz d'échappement et la réponse du débitmètre sont enregistrées à une fréquence d'au moins 10 Hz.

Sur la base de ces données, on détermine le temps de transformation du système de dilution en circuit partiel, qui est le temps écoulé entre le déclenchement de l'impulsion de variation et le moment où la réponse du débitmètre a atteint 50 %. De la même manière, on détermine le temps de transformation du signal q_{mp} (c'est-à-dire le débit de l'échantillon de gaz d'échappement dans le système de dilution partielle du flux) et du signal $q_{mew,i}$ (c'est-à-dire le débit-masse de gaz d'échappement en conditions humides fourni par le débitmètre d'échappement). Ces signaux sont utilisés lors des contrôles de régression effectués après chaque essai (voir le paragraphe 8.2.1.2).

Le calcul est répété pour au moins 5 impulsions d'accroissement et de décroissement, et la moyenne des résultats est établie. Le temps de transformation interne (<100 ms) du débitmètre de référence doit être soustrait de cette valeur. Au cas où le système, conformément au paragraphe 8.2.1.2, nécessite l'emploi de la méthode prédictive, c'est la valeur prédictive du système de dilution du flux partiel qu'il convient d'appliquer conformément au paragraphe 8.2.1.2.

8.1.8.7 Vérification des fuites du côté dépression

8.1.8.7.1 Étendue et fréquence

Après installation initiale du système de prélèvement, après un grand entretien tel que les changements de préfiltre, et dans les 8 h précédant chaque séquence de cycle de travail, on vérifie qu'il n'y a pas de fuites notables côté dépression lorsque l'on réalise un des essais de fuite décrits dans la présente section. Cette vérification ne s'applique à aucune partie à flux total d'un système de dilution CVS.

8.1.8.7.2 Principes de mesure

On peut détecter une fuite en observant un faible débit alors que le débit doit être nul, en mesurant la dilution de concentration connue de gaz de calibrage lorsqu'il traverse le côté dépression du système de prélèvement ou en mesurant l'augmentation des pressions d'un système évacué.

8.1.8.7.3 Essai d'étanchéité à faible débit

Un système de prélèvement doit être vérifié de la manière suivante en ce qui concerne les fuites à faible débit:

- a) L'extrémité de la sonde du système doit être obturée de l'une des manières suivantes:
 - i) Au moyen d'un couvercle ou d'un bouchon à l'extrémité de la sonde de prélèvement;
 - ii) En déconnectant la ligne de transfert au niveau de la sonde; le conduit de transfert doit également être obturé par un couvercle ou un bouchon;
 - iii) En fermant la vanne hermétique en ligne entre la sonde et le conduit de transfert;
- b) Toutes les pompes à vide doivent être mises en marche. Après la stabilisation, il convient de s'assurer que le débit qui traverse le côté dépression du système de prélèvement est inférieur à 0,5 % du débit du système en utilisation normale. On peut estimer les débits de l'analyseur et de la dérivation par une approximation du débit normal du système en utilisation.

8.1.8.7.4 Essai d'étanchéité lors de la dilution du gaz de calibrage

On peut utiliser pour cet essai n'importe quel analyseur de gaz. Si l'on utilise un FID, toute contamination aux hydrocarbures dans le système de prélèvement doit être corrigée conformément aux annexes A.7 et A.8 relatives à la détermination des HC et des HCNM. On doit éviter des résultats induisant en erreur en utilisant uniquement des analyseurs qui ont une répétabilité de 0,5 % ou davantage à la concentration du gaz de calibrage utilisé pour cet essai. Le contrôle d'étanchéité du côté dépression doit être effectué de la manière suivante:

- a) On prépare un analyseur de gaz comme on le ferait pour un essai d'émissions;
- b) Du gaz de calibrage doit être envoyé dans l'ouverture de l'analyseur et on vérifie que la concentration de ce gaz répond aux attentes en matière de précision de mesure et de répétabilité;
- c) Le gaz de réglage en excès doit être acheminé vers l'un des emplacements suivants du système de prélèvement:
 - i) L'extrémité de la sonde de prélèvement;

- ii) La ligne de transfert doit être déconnectée à la connexion de la sonde et le gaz de réglage doit déboucher à l'extrémité ouverte de la ligne de transfert;
- iii) Une vanne à trois voies doit être installée en ligne entre la sonde et la ligne de transfert;
- d) On s'assure que la concentration de gaz de réglage en excès mesurée concorde à $\pm 0,5$ % près avec la concentration de gaz de réglage. Une valeur mesurée inférieure aux attentes signifie qu'il y a fuite, mais une valeur plus élevée peut être une indication d'un problème avec le gaz de réglage ou l'analyseur proprement dit. Une valeur mesurée supérieure à celle escomptée n'est pas l'indication d'une fuite.

8.1.8.7.5 Perte de dépression

Pour effectuer cet essai on applique du vide au volume du côté dépression du système de prélèvement pour ensuite observer le taux de fuite du système comme une décroissance de la dépression appliquée. Pour cet essai, il faut connaître le volume du côté dépression du système de prélèvement à ± 10 % de son volume réel. On utilise pour cet essai des instruments de mesure qui satisfont aux spécifications des paragraphes 8.1 et 9.4.

Un essai de perte de dépression doit être effectué de la manière suivante:

- a) L'extrémité sonde du système doit être obturée le plus près possible de l'ouverture de la sonde de l'une des manières suivantes:
 - i) Au moyen d'un couvercle ou d'un bouchon à l'extrémité de la sonde à échantillon;
 - ii) En déconnectant la ligne de transfert au niveau de la sonde; le conduit de transfert doit également être obturé par un couvercle ou un bouchon;
 - iii) En fermant la vanne hermétique en ligne entre la sonde et le conduit de transfert;
- b) Toutes les pompes à vide doivent être mises en marche. On obtient une dépression qui est représentative des conditions de fonctionnement normales. Dans le cas de sacs d'échantillon, il est recommandé de répéter à deux reprises la procédure normale de prélèvement pour réduire autant que possible les volumes emprisonnés;
- c) Les pompes de prélèvement doivent être mises à l'arrêt et le système doit être obturé. Il faut d'abord mesurer et noter la pression absolue du gaz emprisonné et, facultativement, la température absolue du système. On laisse s'écouler suffisamment de temps pour permettre aux régimes transitoires de se dérouler et pour qu'une fuite de 0,5 % puisse entraîner une modification de pression d'au moins 10 fois la résolution du capteur de pression.

La pression et, facultativement, la température sont notées une fois de plus;

- d) Il faut calculer le débit de fuite fondé sur une valeur hypothétique de zéro pour les volumes en sac pompés et basés sur des valeurs connues pour le volume du système de prélèvement, les pressions initiales et finales, les températures facultatives, ainsi que le temps écoulé. Il faut vérifier que le débit de fuite de perte de vide est inférieur à 0,5 % du débit normal lors de l'utilisation du système, et ce de la manière suivante:

$$q_{Vleak} = \frac{V_{vac}}{R} \frac{\left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right)}{(t_2 - t_1)} \quad (8-3)$$

où:

q_{Vleak} = débit de fuite de perte de vide [mol/s]

V_{vac} = volume géométrique du côté dépression du système de prélèvement [m³]

R = constante molaire du gaz [J/(mol·K)]

p_2 = pression absolue côté dépression à l'instant t_2 [Pa]

T_2 = température absolue côté dépression à l'instant t_2 [K]

p_1 = pression absolue côté dépression à l'instant t_1 [Pa]

T_1 = température absolue côté dépression à l'instant t_1 [K]

t_2 = instant auquel se termine l'essai de vérification des fuites produisant la ou les décroissances [s]

t_1 = instant auquel débutent les essais de vérification des fuites de vide [s].

8.1.9 Mesure du CO et du CO₂

8.1.9.1 Vérification de l'interférence par H₂O pour les analyseurs NDIR de CO₂

8.1.9.1.1 Étendue et fréquence

Si on mesure le CO₂ au moyen d'un analyseur NDIR, il convient de vérifier l'importance de l'interférence par H₂O qui doit être mesurée après l'installation initiale de l'analyseur et après un grand entretien.

8.1.9.1.2 Principes de mesure

Le H₂O peut perturber la réponse d'un analyseur NDIR au CO₂. Si l'analyseur NDIR fonctionne avec des algorithmes de compensation qui utilisent des mesures d'autres gaz pour effectuer cette vérification de l'interférence, il faut faire simultanément ces autres mesures pour soumettre aux essais les algorithmes de compensation pendant la vérification de l'interférence avec l'analyseur.

8.1.9.1.3 Prescriptions applicables au système

Un analyseur NDIR de CO₂ doit avoir une interférence par H₂O située dans les limites de (0,0 ± 0,4) mmol/mol (autour de la concentration de CO₂ moyenne attendue).

8.1.9.1.4 Mode opératoire

La vérification de l'interférence doit être effectuée de la manière suivante:

- a) L'analyseur NDIR de CO₂ doit être mis en marche, utilisé et remis à zéro et doit faire l'objet d'un réglage de sensibilité comme avant un essai d'émissions;
- b) Un gaz d'essai humidifié doit être créé par barbotage d'air pur conformément aux indications du paragraphe 9.5.1 à travers de l'eau distillée dans un récipient étanche. Si l'échantillon n'est pas passé par un sécheur, il faut contrôler la température du récipient afin de produire un niveau de H₂O au moins aussi élevé que le maximum attendu pendant l'essai. Si l'échantillon passe par un sécheur pendant les essais, il faut contrôler la température du récipient pour produire un niveau de H₂O qui soit au moins aussi élevé que celui déterminé au paragraphe 9.3.2.3.1;
- c) La température du gaz d'essai humidifié doit être maintenue à 5 °C au moins au-dessus du point de rosée en aval de ce récipient;
- d) Le gaz d'essai humidifié doit être introduit dans le système de prélèvement; il peut être introduit en aval de tout sécheur d'échantillon si un tel appareil est utilisé;
- e) Il faut mesurer la fraction molaire de l'eau, x_{H_2O} , du gaz d'essai humidifié aussi près que possible de l'entrée de l'analyseur. À titre d'exemple, on mesure le point de rosée, T_{dew} , et la pression absolue p_{total} , pour calculer x_{H_2O} ;
- f) On suit les pratiques techniques reconnues pour prévenir la condensation dans les lignes de transfert, les raccords ou les distributeurs entre le point où x_{H_2O} est mesuré et l'analyseur;
- g) Il faut attendre que la réponse de l'analyseur se stabilise. La durée de stabilisation englobe le temps nécessaire pour purger la ligne de transfert et pour tenir compte de la réponse de l'analyseur;
- h) Pendant que l'analyseur détermine la concentration de l'échantillon, on enregistre 30 s de données échantillonnées, puis on calcule la moyenne arithmétique de ces données. L'analyseur satisfait à la vérification de l'interférence si cette valeur se situe dans les limites de $(0,0 \pm 0,4)$ mmol/mol.

8.1.9.2 Vérification de l'interférence H₂O et CO₂ pour les analyseurs NDIR de CO**8.1.9.2.1 Étendue et fréquence**

Si le CO est analysé au moyen d'un analyseur NDIR, l'importance de l'interférence de H₂O et CO₂ doit être vérifiée après l'installation initiale de l'analyseur et après tout grand entretien.

8.1.9.2.2 Principes de mesure

Le H₂O et le CO₂ peuvent interférer positivement avec un analyseur NDIR en produisant une réponse similaire à celle du CO. Si l'analyseur NDIR utilise des algorithmes de compensation fondés sur des mesures d'autres gaz pour effectuer cette vérification de l'interférence, ces autres

mesures sont effectuées simultanément afin de vérifier les algorithmes de compensation pendant la vérification de l'interférence de l'analyseur.

8.1.9.2.3 Conditions relatives à l'appareillage

Un analyseur NDIR de CO doit avoir une interférence combinée par H₂O et CO₂ qui reste dans les limites de ± 2 % autour de la concentration moyenne escomptée de CO.

8.1.9.2.4 Procédure

La vérification de l'interférence doit être effectuée comme suit:

- a) L'analyseur NDIR de CO doit être mis en marche, utilisé et mis à zéro et faire l'objet d'un réglage de sensibilité comme avant un essai d'émissions;
- b) Un gaz d'essai CO₂ humidifié doit être créé par barbotage d'un gaz de réglage CO₂ dans de l'eau distillée à l'intérieur d'un récipient fermé. Si l'échantillon n'est pas passé par le sécheur, il faut régler la température du récipient pour produire un niveau de H₂O atteignant au moins le maximum attendu pendant l'essai. Si l'échantillon passe par un sécheur pendant l'essai, la température du récipient doit être maintenue sous contrôle pour produire un niveau de H₂O au moins aussi élevé que le niveau déterminé au paragraphe 8.1.8.5.8. Une concentration de gaz de calibrage CO₂ doit être utilisée à un niveau au moins aussi élevé que le maximum attendu pendant l'essai;
- c) Le gaz d'essai CO₂ humidifié doit être introduit dans le système de prélèvement; il peut être introduit en aval de tout sécheur d'échantillon si un tel appareil est utilisé pendant l'essai;
- d) Il faut mesurer la fraction molaire de l'eau, x_{H_2O} , du gaz d'essai humidifié aussi près que possible de l'entrée de l'analyseur. À titre d'exemple, on mesure le point de rosée, T_{dew} , et la pression absolue p_{total} , pour calculer x_{H_2O} ;
- e) Il faut suivre les pratiques techniques reconnues pour empêcher la condensation dans les lignes de transfert, les raccords ou les distributeurs entre le point où est mesuré x_{H_2O} et l'analyseur;
- f) Il faut attendre que la réponse de l'analyseur se stabilise;
- g) Pendant que l'analyseur mesure la concentration de l'échantillon, ses valeurs mesurées sont enregistrées pendant 30 s. On calcule ensuite la moyenne arithmétique de ces données;
- h) L'analyseur satisfait à la vérification de l'interférence si le résultat du point g) respecte la tolérance indiquée au paragraphe 8.1.9.2.3;
- i) On peut également appliquer les procédures d'interférence par le CO₂ et par le H₂O séparément. Si les niveaux de CO₂ et de H₂O utilisés sont plus élevés que les niveaux maximaux attendus pendant l'essai, il faut ramener chaque valeur d'interférence observée à une échelle plus petite en multipliant l'interférence observée par le taux de la valeur maximale attendue de concentration à la valeur réelle utilisée pendant cette procédure. On peut utiliser des procédures d'interférence avec des concentrations de H₂O (jusqu'à 0,025 mol/mol de contenu de H₂O)

qui sont plus basses que les niveaux maximaux attendus au cours de l'essai, mais il faut ramener l'interférence observée avec le H₂O à une échelle plus grande en multipliant l'interférence constatée par le taux de la valeur de concentration de H₂O maximale attendu à la valeur réelle utilisée au cours de cette procédure. La somme des deux valeurs d'interférence à l'échelle doit correspondre à la tolérance indiquée au paragraphe 8.1.9.2.3.

8.1.10 Mesure des hydrocarbures

8.1.10.1 Optimisation et vérification du FID

8.1.10.1.1 Étendue et fréquence

Pour tous les analyseurs de FID, il convient d'étalonner le FID lors de l'installation initiale. L'étalonnage doit être répété selon les besoins et en fonction des pratiques techniques reconnues. On suit les étapes suivantes pour un FID qui mesure les HC:

- a) Une réponse de FID aux divers hydrocarbures doit être optimisée après l'installation initiale de l'analyseur et après un grand entretien. La réponse du FID au propylène et au toluène doit être comprise entre 0,9 et 1,1 relativement au propane;
- b) Un facteur de réponse au méthane (CH₄) du FID doit être déterminé après l'installation initiale de l'analyseur et après un grand entretien, comme indiqué au paragraphe 8.1.10.1.4 de la présente section;
- c) La réponse au méthane (CH₄) doit être vérifiée dans les 185 jours précédant l'essai.

8.1.10.1.2 Étalonnage

On élabore une procédure d'étalonnage en suivant les pratiques techniques reconnues, par exemple une procédure fondée sur les instructions du fabricant de l'analyseur FID et la fréquence recommandée pour l'étalonnage du FID. Dans le cas d'un FID qui mesure les HC, il convient de faire l'étalonnage au moyen de gaz d'étalonnage C₃H₈ répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1. Dans le cas d'un FID qui mesure le CH₄, il convient de faire l'étalonnage au moyen de gaz d'étalonnage CH₄ répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1. Indépendamment de la composition du gaz d'étalonnage, il doit être étalonné sur la base d'un nombre de carbone de un (C₁).

8.1.10.1.3 Optimisation de la réponse de l'analyseur FID aux mesures de HC

Cette procédure s'applique uniquement aux analyseurs FID qui mesurent les HC.

- a) On suit les prescriptions du fabricant de l'instrument et les pratiques techniques reconnues pour le démarrage initial de l'instrument et les réglages de fonctionnement de base par contrôle des débits de carburant FID et d'air pur servant de gaz zéro. Les analyseurs FID chauffés doivent être à leur température de fonctionnement normale requise. La réponse du FID doit être optimisée pour satisfaire aux prescriptions des facteurs de réponse aux hydrocarbures et du contrôle d'interférence par l'oxygène

conformément aux paragraphes 8.1.10.1 a) et 8.1.10.2 à la plage de l'analyseur la plus courante prévue pendant les essais d'émissions. On peut utiliser une plage de l'analyseur plus élevée en suivant les recommandations du fabricant de l'instrument et les pratiques techniques reconnues pour optimiser le FID de manière précise si la plage courante de fonctionnement de l'analyseur est plus faible que la plage minimale pour l'optimisation spécifiée par le fabricant de l'instrument;

- b) Les analyseurs FID chauffés doivent être à leur température de fonctionnement normale requise. La réponse doit être optimisée pour la plage d'analyse la plus courante attendue au cours des essais portant sur les émissions. Les débits de carburant et d'air étant réglés selon les recommandations du fabricant, il convient d'introduire un gaz de calibrage dans l'analyseur;
- c) Pour l'optimisation, on suit les étapes i) à iv) ci-après ou la procédure préconisée par le fabricant de l'instrument. On peut, facultativement, utiliser à cet effet les procédures du document SAE n° 770141:
 - i) La réponse à un débit de carburant donné doit être déterminée par la différence entre la réponse du gaz de calibrage et la réponse du gaz zéro;
 - ii) Le débit de carburant doit être ajusté progressivement au-dessus et au-dessous des spécifications du fabricant. La réponse au gaz de calibrage et au gaz zéro à ces débits de carburant doit être notée;
 - iii) Ensuite on trace la différence entre la réponse aux deux gaz et le débit de carburant est adapté au côté riche de la courbe. Il s'agit du réglage du débit initial qui peut nécessiter davantage d'optimisation selon les résultats des facteurs de réponse aux hydrocarbures et du contrôle d'interférence par l'oxygène, conformément aux paragraphes 8.1.10.1.1 a) et 8.1.10.2;
 - iv) Si les facteurs d'interférence par l'oxygène ou les hydrocarbures ne répondent pas aux spécifications ci-après, le débit d'air sera ajusté progressivement au-dessus et au-dessous des spécifications du fabricant en répétant les paragraphes 8.1.10.1.1 a) et 8.1.10.2 pour chaque débit;
- d) Les débits et/ou pressions optimaux pour le carburant du FID et l'air du brûleur doivent être déterminés et ensuite échantillonnés et notés comme référence pour l'avenir.

8.1.10.1.4 Établissement du facteur de réponse au CH₄ du FID de mesure des HC

Cette procédure s'applique uniquement aux analyseurs FID qui mesurent les HC. Comme les analyseurs FID répondent généralement différemment au CH₄ et au C₃H₈, il faut déterminer le facteur de réponse au CH₄, $RF_{CH_4[THC-FID]}$ de chaque analyseur FID de HCT après l'optimisation du FID. Le facteur $RF_{CH_4[THC-FID]}$ le plus récent mesuré conformément au présent paragraphe doit être utilisé pour les calculs des HC décrit dans l'annexe 4B, appendice A.7 (méthode fondée sur la molarité) ou appendice

A.8 (méthode fondée sur la masse) afin de compenser la réponse au CH₄. On détermine $RF_{CH_4[THC-FID]}$ de la manière suivante, en notant que $RF_{CH_4[THC-FID]}$ n'est pas déterminé pour les FID qui sont étalonnés et réglés au moyen de CH₄ avec convertisseur de HCNM:

- a) On choisit une concentration de gaz de calibrage C₃H₈ afin de régler l'analyseur avant l'essai d'émissions. Seuls les gaz de calibrage répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1 doivent être retenus et on prend note de la concentration de C₃H₈;
- b) On choisit un gaz de calibrage CH₄ répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et on prend note de la concentration du CH₄;
- c) L'analyseur FID doit être utilisé conformément aux instructions du fabricant;
- d) Il faut confirmer que l'analyseur FID a été étalonné au moyen de C₃H₈. L'étalonnage s'effectue sur la base d'un nombre de carbone de un (C₁);
- e) Le FID doit être mis à zéro au moyen d'un gaz zéro utilisé pour les essais d'émissions;
- f) Le FID doit être réglé en sensibilité au moyen du gaz C₃H₈ sélectionné;
- g) Le gaz de calibrage CH₄ sélectionné doit être introduit dans l'orifice pour échantillon de l'analyseur FID; il s'agit du gaz de calibrage CH₄ qui a été choisi en application du point b) ci-dessus;
- h) Il faut attendre la stabilisation de la réponse de l'analyseur. Le temps nécessaire à la stabilisation peut englober celui nécessaire pour purger l'analyseur et pour prendre en compte sa réponse;
- i) Pendant que l'analyseur mesure la concentration de CH₄, il faut enregistrer des données d'échantillon pendant 30 s pour ensuite calculer la moyenne arithmétique de ces valeurs;
- j) La concentration mesurée moyenne doit être divisée par la concentration de gaz notée pour le gaz de calibrage CH₄. Le résultat est le facteur de réponse pour CH₄, $RF_{CH_4[THC-FID]}$, de l'analyseur FID.

8.1.10.1.5 Vérification de la réponse au méthane (CH₄) du FID de mesure des HC

Cette procédure s'applique uniquement aux analyseurs FID mesurant les HC. Si la valeur de $RF_{CH_4[THC-FID]}$ du paragraphe 8.1.10.1.4 est dans les limites de $\pm 5,0$ % autour de sa valeur précédente la plus récemment déterminée, le FID HC satisfait à la vérification de la réponse au méthane.

- a) Tout d'abord on vérifie que les pressions et/ou débits du carburant du FID, de l'air du brûleur et de l'échantillon sont dans les limites de $\pm 0,5$ % autour des valeurs les plus récemment observées, comme indiqué au paragraphe 8.1.10.1.3 de la présente section. S'il y a lieu d'ajuster ces débits, il convient de déterminer un nouveau $RF_{CH_4[THC-FID]}$ comme indiqué au paragraphe 8.1.10.1.4 de la présente section. Il faut s'assurer que la valeur de $RF_{CH_4[THC-FID]}$ déterminée respecte les tolérances spécifiées au paragraphe 8.1.10.1.5;

- b) Si $RF_{CH_4[THC-FID]}$ ne respecte pas cette tolérance, la réponse du FID doit à nouveau être optimisée, comme indiqué au paragraphe 8.1.10.1.5;
- c) Il convient de déterminer un nouveau $RF_{CH_4[THC-FID]}$ conformément aux dispositions du paragraphe 8.1.10.1.4 de la présente section. Cette nouvelle valeur de $RF_{CH_4[THC-FID]}$ est utilisée dans les calculs de détermination des HC comme décrit dans l'annexe 4B, appendice A.7 (méthode fondée sur la molarité) ou appendice A.8 (méthode fondée sur la masse).

8.1.10.2 Vérification non stœchiométrique de l'interférence de O_2 dans la mesure des gaz d'échappement bruts avec le FID

8.1.10.2.1 Étendue et fréquence

Si on utilise les analyseurs FID pour faire des mesures sur les gaz d'échappement bruts, l'importance de l'interférence de O_2 sur la réponse du FID doit être vérifiée à l'installation initiale et après un grand entretien.

8.1.10.2.2 Principes de mesure

Des changements de la concentration de O_2 dans les gaz d'échappement bruts peuvent influencer sur la réponse du FID par modification de la température de la flamme du FID. Le débit de carburant du FID, l'air de combustion et le débit de prélèvement doivent être optimisés en vue de cette vérification. Les performances du détecteur FID doivent être contrôlées au moyen des algorithmes de compensation des interférences de O_2 qui se produisent pendant un essai d'émissions.

8.1.10.2.3 Prescriptions applicables au système

Tout analyseur FID utilisé pendant les essais doit satisfaire à la vérification de l'interférence de O_2 avec le FID selon la procédure de la présente section.

8.1.10.2.4 Procédure

L'interférence de O_2 avec le FID doit être déterminée selon la méthode décrite ci-après; il est à noter que l'on peut utiliser un ou plusieurs mélangeurs-doseurs de gaz pour produire les concentrations de référence qui sont nécessaires à l'exécution de cette vérification:

- a) Il faut sélectionner trois gaz de référence de calibrage qui répondent aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et qui contiennent une concentration de C_3H_8 utilisée pour calibrer les analyseurs avant l'essai d'émissions. Seuls les gaz de calibrage répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1 sur le gaz de référence peuvent être utilisés pour les détecteurs FID étalonnés au CH_4 avec un convertisseur de HCNM. Les trois concentrations de gaz équilibrées doivent être choisies de telle manière que les concentrations de O_2 et de N_2 représentent les concentrations minimale, maximale et intermédiaire attendues au cours de l'essai. L'obligation d'utiliser la concentration de O_2 moyenne doit être supprimée si le FID est étalonné au moyen d'un gaz de calibrage équilibré avec la concentration d'oxygène moyenne attendue;

- b) Il faut confirmer que l'analyseur FID est conforme aux spécifications du paragraphe 8.1.10.1;
- c) L'analyseur FID doit être mis en marche et fonctionner comme il le ferait avant un essai d'émissions. Quelle que soit la source d'air du brûleur FID pendant les essais, on utilise pour cette vérification l'air pur servant de gaz zéro comme source d'air du brûleur FID;
- d) L'analyseur doit être mis à zéro;
- e) La sensibilité de l'analyseur est réglée au moyen d'un gaz de calibrage qui est utilisé au cours des essais d'émissions;
- f) La réponse zéro est vérifiée au moyen du gaz zéro utilisé pendant les essais d'émissions. On passe à l'étape suivante si la réponse zéro moyenne pour 30 s de données d'échantillon reste dans les limites de $\pm 0,5$ % autour de la valeur de référence de sensibilité du point e) ci-dessus. À défaut, il convient de relancer la procédure au point d) ci-dessus;
- g) La réponse de l'analyseur doit être contrôlée au moyen du gaz de calibrage ayant la concentration minimale de O_2 attendue au cours de l'essai. La réponse moyenne pour 30 s de données d'échantillon stabilisées est notée en tant que $x_{O2minHC}$;
- h) La réponse zéro de l'analyseur FID doit être vérifiée au moyen du gaz zéro qui a été utilisé pendant les essais d'émissions. On passe à l'étape suivante si la réponse zéro moyenne pour 30 s de données d'échantillon stabilisées se situe dans les limites de $\pm 0,5$ % autour de la valeur de référence du réglage de sensibilité utilisée au point e) ci-dessus; dans le cas contraire, la procédure est relancée à partir du point d) ci-dessus;
- i) La réponse de l'analyseur doit être vérifiée au moyen du gaz de calibrage ayant la concentration moyenne de O_2 attendue au cours de l'essai. La réponse moyenne pour 30 s de données d'échantillon stabilisées doit être notée en tant que $x_{O2avgHC}$;
- j) Il faut vérifier la réponse zéro de l'analyseur FID au moyen du gaz zéro utilisé au cours de l'essai. On passe à l'étape suivante si la réponse zéro moyenne pour 30 s de données d'échantillon stabilisées reste dans les limites de $\pm 0,5$ % autour de la valeur de référence de réglage de sensibilité utilisée au point e) ci-dessus; à défaut, la procédure est relancée à partir du point d);
- k) La réponse de l'analyseur doit être vérifiée au moyen du gaz de réglage ayant la concentration de O_2 maximale attendue au cours de l'essai. La réponse moyenne pour 30 s de données d'échantillon stabilisées doit être notée en tant que $x_{O2maxHC}$;
- l) La réponse zéro de l'analyseur FID doit être vérifiée au moyen du gaz zéro utilisé pendant l'essai d'émissions. On passe à l'étape suivante si la réponse zéro moyenne pour 30 s de données d'échantillon stabilisées reste dans les limites de $\pm 0,5$ % autour de la valeur de référence de réglage utilisée au point e) ci-dessus; à défaut, il faut relancer la procédure à partir du point d) ci-dessus;

- m) On calcule la différence en pourcentage entre x_{O_2maxHC} et sa concentration de gaz de référence. On calcule la différence en pourcentage entre x_{O_2avgHC} et sa concentration de gaz de référence. On calcule la différence en pourcentage entre x_{O_2minHC} et sa concentration de gaz de référence. On détermine la différence en pourcentage maximale des trois paramètres. Ceux-ci correspondent à l'interférence par O_2 ;
- n) Si l'interférence par O_2 est dans les limites de $\pm 3 \%$, l'analyseur FID satisfait à la vérification de l'interférence par O_2 ; si tel n'est pas le cas, il faut prendre une ou plusieurs des mesures suivantes pour remédier à ce problème:
 - i) Il faut recommencer la vérification pour déterminer si une erreur a été faite pendant la procédure;
 - ii) On choisit pour l'essai d'émissions des gaz zéro et des gaz de calibrage contenant des concentrations de O_2 plus fortes ou plus faibles pour recommencer la vérification;
 - iii) L'air, le carburant et les débits d'échantillon du brûleur FID doivent être ajustés. Il est à noter que si ces débits sont ajustés sur un FID/HCT pour satisfaire à la vérification de l'interférence par O_2 , le RF_{CH_4} doit être remis à zéro pour la vérification RF_{CH_4} suivante. La vérification de l'interférence par O_2 doit être répétée après l'ajustement et on détermine ensuite le RF_{CH_4} ;
 - iv) Le FID doit être réparé ou remplacé et la vérification de l'interférence par O_2 doit être répétée.

8.1.10.3 Fractions de pénétration du convertisseur de HCNM

8.1.10.3.1 Étendue et fréquence

Si l'on utilise un analyseur FID et un convertisseur de HCNM pour mesurer le méthane (CH_4), il faut déterminer les rendements de conversion du convertisseur pour le méthane, E_{CH_4} , et pour l'éthane, $E_{C_2H_6}$. Comme indiqué dans ce paragraphe, ces rendements de conversion peuvent être déterminés comme une combinaison de rendements de conversion de HCNM et de facteurs de réponse de l'analyseur FID selon la configuration particulière du HCNM et du FID.

Cette vérification doit être effectuée après l'installation du convertisseur de HCNM. Il faut répéter la vérification dans les 185 jours précédant l'essai afin de s'assurer que l'activité catalytique du convertisseur ne s'est pas dégradée.

8.1.10.3.2 Principes de mesure

Un convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques (NMC) est un catalyseur chauffé qui élimine les hydrocarbures non méthaniques du flux d'échappement avant que l'analyseur FID ne mesure la concentration restante d'hydrocarbures. Un convertisseur de HCNM idéal aurait un rendement de conversion du méthane de E_{CH_4} [-] de 0 (autrement dit, une fraction de pénétration du méthane, PF_{CH_4} , de 1,000), et le rendement de conversion de tous les autres hydrocarbures serait de 1,000, comme dans le cas où le rendement de conversion de l'éthane $E_{C_2H_6}$ [-] de 1 (autrement dit, une fraction de pénétration de

l'éthane $PF_{C_2H_6}$ [-] de 0). Les calculs d'émissions de l'annexe 4B, appendice A.7 ou A.8, utilisent les valeurs mesurées de rendement de conversion E_{CH_4} et $E_{C_2H_6}$ pour tenir compte des performances moins que parfaites du convertisseur de HCNM.

8.1.10.3.3 Conditions applicables au système

Les rendements de la conversion des HCNM ne sont pas limités à une plage donnée. Toutefois, il est recommandé d'optimiser, s'il y a lieu, le convertisseur de HCNM en ajustant sa température pour obtenir $E_{CH_4} < 0,15$ et $E_{C_2H_6} > 0,98$ ($PF_{CH_4} > 0,85$ et $PF_{C_2H_6} < 0,02$) ainsi que prévu au paragraphe 8.1.10.3.4. Si l'ajustement de la température du convertisseur de HCNM ne permet pas d'atteindre ces spécifications, il est recommandé de remplacer le matériau catalyseur. On utilise les valeurs de conversion les plus récemment déterminées pour calculer les émissions de HC, conformément aux annexes A.7 et A.8 selon qu'il convient.

8.1.10.3.4 Procédure

Toute procédure spécifiée aux paragraphes 8.1.10.3.4.1, 8.1.10.3.4.2 et 8.1.10.3.4.3 est recommandée. On peut aussi utiliser une autre méthode recommandée par le fabricant de l'instrument.

8.1.10.3.4.1 Procédure applicable à un détecteur FID étalonné avec le convertisseur de HCNM

Si le détecteur FID est toujours étalonné pour mesurer le CH_4 avec le convertisseur de HCNM, il doit être réglé avec le convertisseur utilisant un gaz de calibrage CH_4 ; le produit du facteur de réponse du FID au CH_4 par la fraction de pénétration du CH_4 , $RFPF_{CH_4[NMC-FID]}$, est fixé à 1,0 (c'est-à-dire un rendement E_{CH_4} [-] fixé à 0) pour tous les calculs concernant les émissions; le facteur de réponse combiné à l'éthane (C_2H_6) et la fraction de pénétration, $RFPF_{C_2H_6[NMC-FID]}$ (et le rendement $E_{C_2H_6}$ [-]) sont déterminés de la manière suivante:

- On choisit à la fois un mélange de gaz CH_4 et un mélange de gaz analytique C_2H_6 répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1. On retient une concentration de CH_4 pour le calibrage du FID au cours des essais d'émissions et la concentration de C_2H_6 qui est typique de la concentration de HCNM de crête attendue à la norme d'hydrocarbures ou égale à la valeur de réglage de l'analyseur HCT;
- Le convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques est démarré, utilisé et optimisé conformément aux instructions du fabricant, y compris toute optimisation de la température;
- Il faut confirmer que l'analyseur FID répond à toutes les spécifications du paragraphe 8.1.10.1;
- L'analyseur de FID doit être utilisé conformément aux instructions du fabricant;
- On utilise un gaz de calibrage CH_4 pour régler le détecteur FID avec le convertisseur. Le FID doit être réglé sur une base de C_1 . Par exemple, si le gaz de calibrage a une valeur de référence CH_4 de 100 $\mu\text{mol/mol}$, la réponse FID correcte à ce gaz de réglage est

100 $\mu\text{mol/mol}$ étant donné qu'il y a un atome de carbone par molécule de CH_4 ;

- f) Le mélange de gaz analytique C_2H_6 doit être introduit en amont du convertisseur;
- g) La réponse de l'analyseur doit se stabiliser. Le temps nécessaire à cet effet peut englober le temps requis pour purger le convertisseur et pour tenir compte de la réponse de l'analyseur;
- h) Pendant que l'analyseur mesure une concentration stable, il faut enregistrer 30 s de données d'échantillon pour calculer ensuite la moyenne arithmétique de ces points de données;
- i) La moyenne est divisée par la valeur de référence de C_2H_6 , convertie à une base C_1 . Le résultat est le facteur de réponse combiné C_2H_6 et la fraction de pénétration, $\text{RFPF}_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}$, équivalent à $(1 - E_{\text{C}_2\text{H}_6} [-])$. Ce facteur de réponse combiné et cette fraction de pénétration ainsi que le produit du facteur de réponse CH_4 et la fraction de pénétration CH_4 , $\text{RFPF}_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]}$, qui est mise à 1,0, sont utilisés dans les calculs d'émissions, conformément à l'annexe A.7 ou A.8, selon qu'il convient.

8.1.10.3.4.2 Procédure applicable à un détecteur FID étalonné avec du propane en dérivation du convertisseur de HCNM

Si l'on utilise un détecteur FID avec un convertisseur de HCNM qui est étalonné au propane, C_3H_8 , en contournant le convertisseur, on détermine les fractions de pénétration $\text{PF}_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}$ et $\text{PF}_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]}$ de la manière suivante:

- a) Il faut sélectionner un mélange de gaz CH_4 et un mélange de gaz analytique C_2H_6 répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1, la concentration de CH_4 étant typique de la concentration de crête attendue à la norme d'hydrocarbures et la concentration de C_2H_6 typique de la concentration d'hydrocarbures totaux de crête (HCT) attendue à la norme d'hydrocarbures, ou à la valeur de réglage de l'analyseur HCT;
- b) Le convertisseur doit être mis en marche et doit fonctionner conformément aux instructions du fabricant, y compris toute optimisation de la température;
- c) Il convient de confirmer que l'analyseur FID est conforme à toutes les spécifications du paragraphe 8.1.10.1;
- d) L'analyseur FID doit être utilisé conformément aux instructions du fabricant;
- e) Le détecteur FID doit être mis à zéro et réglé comme il le serait pendant un essai d'émissions. On le règle en contournant le convertisseur et en utilisant un gaz de réglage C_3H_8 . On le fait sur la base de C_1 ;
- f) Le mélange de gaz analytique C_2H_6 doit être introduit en amont du convertisseur, au même point que celui utilisé pour introduire le gaz zéro;

- g) On laisse le temps à l'analyseur de se stabiliser. La durée peut englober le temps nécessaire pour purger le convertisseur et tenir compte de la réponse de l'analyseur;
- h) Pendant que l'analyseur mesure une concentration stable, il faut enregistrer 30 s de données d'échantillon et calculer la moyenne arithmétique de ces points de données;
- i) Le circuit du flux doit être modifié pour contourner le convertisseur, le mélange de gaz analytique C_2H_6 doit être introduit dans la dérivation, puis on répète les étapes des points g) et h);
- j) La concentration moyenne de C_2H_6 mesurée par le convertisseur doit être divisée par la concentration moyenne mesurée après contournement du convertisseur. Le résultat est la fraction de pénétration C_2H_6 , $PF_{C_2H_6[NMC-FID]}$, qui est équivalente à $(1 - E_{C_2H_6} [-])$. Cette fraction de pénétration doit être utilisée conformément à l'annexe A.7 ou A.8 selon qu'il convient;
- k) Il convient de répéter les opérations des points f) à j) mais avec le mélange de gaz analytique CH_4 à la place du C_2H_6 . Le résultat donne la fraction de pénétration CH_4 , $PF_{CH_4[NMC-FID]}$ (équivalente à $(1 - E_{CH_4} [-])$). Cette fraction de pénétration est utilisée conformément à l'annexe A.7 ou A.8 selon qu'il convient.

8.1.10.3.4.3 Procédure applicable à un détecteur FID étalonné avec du méthane, avec contournement du convertisseur de HCNM

Si l'on utilise un détecteur FID avec un convertisseur de HCNM qui est étalonné au méthane (CH_4) en contournant le convertisseur, il faut déterminer son facteur de réponse combiné à l'éthane (C_2H_6) et sa fraction de pénétration, $RFPF_{C_2H_6[NMC-FID]}$, ainsi que sa fraction de pénétration CH_4 , $PF_{CH_4[NMC-FID]}$, de la manière suivante:

- a) On choisit des mélanges de gaz analytiques CH_4 et C_2H_6 répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1, la concentration de CH_4 étant typique de la concentration de crête attendue à la norme d'hydrocarbures et la concentration de C_2H_6 étant typique de la concentration d'hydrocarbures totaux de crête (HCT) attendue au niveau standard d'hydrocarbures ou à la valeur de réglage de l'analyseur HCT;
- b) Le convertisseur doit être mis en marche et fonctionner conformément aux instructions du fabricant, y compris toute optimisation de la température;
- c) Il convient de confirmer que l'analyseur FID est conforme à toutes les spécifications du paragraphe 8.1.10.1;
- d) L'analyseur FID doit être mis en marche et fonctionner conformément aux instructions du fabricant;
- e) Le détecteur FID doit être mis à zéro et réglé comme on le ferait au cours d'un essai d'émissions. Il convient de le régler au moyen d'un gaz d'étalonnage CH_4 avec contournement du convertisseur. Il est à noter que le FID doit être réglé en sensibilité sur la base de C_1 . Si, par exemple, le gaz de calibration a une valeur de référence de méthane de $100 \mu\text{mol/mol}$, la réponse FID correcte à ce gaz de

réglage est 100 $\mu\text{mol/mol}$ étant donné qu'il y a un atome de carbone par molécule de CH_4 ;

- f) Le mélange de gaz analytique C_2H_6 doit être introduit en amont du convertisseur au même point que celui utilisé pour introduire le gaz zéro;
- g) On laisse à l'analyseur le temps nécessaire de se stabiliser. Cette durée de stabilisation peut englober le temps nécessaire pour purger le convertisseur et pour tenir compte de la réponse de l'analyseur;
- h) Il convient d'enregistrer 30 s de données d'échantillon pendant que l'analyseur mesure une concentration stable. Ensuite il faut calculer la moyenne arithmétique de ces points de données;
- i) Le circuit du flux doit être modifié pour contourner le convertisseur, le mélange de gaz analytique C_2H_6 doit être introduit dans la dérivation puis on répète les étapes des paragraphes g) et h);
- j) La concentration moyenne de C_2H_6 mesurée dans le convertisseur doit être divisée par la concentration moyenne mesurée après contournement du convertisseur. Le résultat est le facteur de réponse combiné de C_2H_6 et la fraction de pénétration $\text{RFPF}_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}$. Ce facteur de réponse combiné et la fraction de pénétration sont utilisés conformément à l'annexe A.7 ou A.8 selon qu'il convient;
- k) Les étapes des paragraphes f) à j) ci-dessus doivent être répétées, mais avec le mélange de gaz analytiques CH_4 à la place du C_2H_6 . Le résultat est le facteur de pénétration du CH_4 , soit $\text{PF}_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]}$. Cette fraction de pénétration doit être utilisée conformément aux annexes A.7 ou A.8 selon qu'il convient.

8.1.11 Mesure des oxydes d'azote (NO_x)

8.1.11.1 Vérification des facteurs d'extinction par le CO_2 et le H_2O

8.1.11.1.1 Étendue et fréquence

Si l'on utilise un analyseur CLD pour mesurer les NO_x , il convient de vérifier l'importance des facteurs d'extinction par H_2O et CO_2 après l'installation de l'analyseur CLD et après un grand entretien.

8.1.11.1.2 Principes de mesure

Le H_2O et le CO_2 peuvent fausser la réponse aux NO_x d'un CLD par extinction collisionnelle, ce qui inhibe la réaction chimiluminescente qu'utilise un détecteur CLD pour détecter les NO_x . La présente procédure et les calculs du paragraphe 8.1.11.2.3 permettent de déterminer l'effet d'extinction et d'adapter les résultats à la fraction molaire maximale du H_2O et la concentration maximale de CO_2 attendue au cours de l'essai d'émissions. Si l'analyseur CLD utilise des algorithmes de compensation de l'extinction faisant appel à des instruments de mesure de H_2O et/ou de CO_2 , on évalue l'extinction avec ces instruments actifs et les algorithmes de compensation qui ont été appliqués.

8.1.11.1.3 Conditions applicables au système

Pour une mesure diluée, un analyseur CLD ne doit pas dépasser une extinction combinée par H₂O et CO₂ de ± 2 %. Il en est de même pour les mesures brutes. L'effet d'extinction combiné est la somme de l'extinction par CO₂ déterminée comme indiqué dans le paragraphe 8.1.11.1.4 et de l'extinction par H₂O telle qu'elle est déterminée dans le paragraphe 8.1.11.1.5. Si ces conditions ne sont pas respectées, il faut prendre les mesures nécessaires pour la réparation ou le remplacement de l'analyseur. Avant de faire des essais d'émissions, il convient de s'assurer que l'action corrective a remis l'analyseur en parfait état de fonctionnement.

8.1.11.1.4 Procédure de vérification du facteur d'extinction par CO₂

On peut utiliser la méthode ci-après ou une méthode prescrite par le fabricant de l'instrument pour déterminer le facteur d'extinction par CO₂ en utilisant un mélangeur-doseur de gaz qui mélange des gaz de calibrage binaires avec des gaz zéro en tant que gaz diluant et qui répond aux spécifications du paragraphe 9.4.5.6; on peut aussi suivre les pratiques techniques reconnues pour mettre au point un protocole différent:

- a) On utilise des tubes en PTFE ou en acier inoxydable pour faire les raccordements nécessaires;
- b) Le mélangeur-doseur de gaz doit être configuré de telle manière que des quantités à peu près égales de gaz de réglage et de gaz diluant soient mélangées entre elles;
- c) Si l'analyseur CLD a un mode de fonctionnement dans lequel il détecte les NO seulement, par opposition aux NO_x totaux, il doit fonctionner sur ce mode;
- d) On utilise un gaz de calibrage CO₂ satisfaisant aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et une concentration approximativement double de la concentration de CO₂ maximale attendue pendant l'essai d'émissions;
- e) On utilise un gaz de calibrage NO conforme aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et une concentration qui est approximativement double de la concentration maximale de NO attendue au cours de l'essai d'émissions. On peut utiliser des concentrations plus élevées conformément aux recommandations du fabricant de l'instrument et suivre les pratiques techniques reconnues afin d'obtenir une vérification précise au cas où la concentration de NO attendue serait plus basse que la plage minimale de vérification indiquée par le fabricant;
- f) L'analyseur CLD doit être mis à zéro et calibré avec le gaz NO visé au point e) ci-dessus via le mélangeur-doseur de gaz. Le gaz de calibrage NO doit être branché sur l'orifice de réglage du mélangeur-doseur de gaz. Un gaz zéro doit être raccordé à l'orifice du gaz diluant du mélangeur-doseur de gaz; on utilise le même taux de mélange nominal que celui sélectionné au point b) ci-dessus; et on utilise la concentration de sortie de NO du mélangeur-doseur de gaz pour régler le détecteur CLD. Des corrections des propriétés du gaz sont appliquées selon les besoins pour garantir un mélange/dosage précis du gaz;

- g) Le gaz de calibrage CO_2 doit être raccordé à l'orifice de réglage du mélangeur-doseur de gaz;
- h) Un gaz de réglage NO doit être connecté à l'orifice des gaz diluants du mélangeur-doseur de gaz;
- i) Pendant l'écoulement de NO et de CO_2 à travers le mélangeur-doseur de gaz, il faut stabiliser le débit de ce dernier. On détermine la concentration de CO_2 à la sortie du mélangeur-doseur de gaz et on applique une correction des propriétés du gaz selon les besoins pour aboutir à un mélange/dosage précis. Cette concentration, $x_{\text{CO}_2\text{act}}$, doit être notée et utilisée dans les calculs de vérification d'extinction du paragraphe 8.1.11.2.3. À la place du mélangeur-doseur de gaz, on peut utiliser un autre dispositif simple de mélange. Dans ce cas, on fait appel à un analyseur pour déterminer la concentration de CO_2 . Si on utilise un analyseur NDIR avec un dispositif de mélange de gaz simple, il doit satisfaire aux prescriptions de la présente section. Il est réglé en sensibilité avec le gaz de réglage CO_2 visé au point d) ci-dessus. Il convient de vérifier la linéarité de l'analyseur NDIR sur l'ensemble de la plage jusqu'à deux fois la concentration maximale de CO_2 attendue au cours de l'essai;
- j) La concentration de NO doit être mesurée en aval du mélangeur-doseur de gaz au moyen de l'analyseur CLD. Il faut attendre la stabilisation de la réponse de l'analyseur. Le temps de stabilisation peut englober le temps nécessaire pour purger la ligne de transfert et pour tenir compte de la réponse de l'analyseur. Pendant que l'analyseur mesure la concentration de l'échantillon, les résultats sont enregistrés pendant 30 s. À partir de ces données, on calcule la moyenne arithmétique, x_{NOmeas} . Cette valeur doit être notée pour être utilisée dans les calculs de vérification de l'extinction dont il est question au paragraphe 8.1.11.2.3;
- k) La concentration réelle de NO, x_{NOact} , doit être calculée à la sortie du mélangeur-doseur de gaz sur la base des concentrations de gaz de réglage et du $x_{\text{CO}_2\text{act}}$ conformément à l'équation (8-5). La valeur calculée doit être utilisée dans les calculs de vérification d'extinction de l'équation (8-4);
- l) Les valeurs enregistrées suivant les indications des paragraphes 8.1.11.1.4 et 8.1.11.1.5 de la présente section servent à calculer l'extinction, comme indiqué au paragraphe 8.1.11.2.3.

8.1.11.1.5 Procédure de vérification de l'effet d'extinction par l'eau

On peut utiliser la méthode ci-après ou celle prescrite par le fabricant de l'instrument pour déterminer l'effet d'extinction par l'eau. On peut aussi mettre au point un protocole différent en suivant les pratiques techniques reconnues:

- a) Faire les connexions nécessaires avec des tubes en PTFE ou en acier inoxydable;
- b) Si l'analyseur CLD est pourvu d'un mode par lequel il détecte les NO seulement, par opposition au NO_x total, on l'utilise uniquement dans ce mode;

- c) Il faut un gaz de calibrage NO répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et une concentration qui soit proche de la concentration maximale attendue au cours de l'essai. On peut utiliser des concentrations plus élevées conformément aux recommandations du fabricant de l'instrument et en suivant les règles du bon sens technique pour obtenir une vérification précise si la concentration de NO est inférieure à la gamme minimale des valeurs indiquées par le fabricant de l'instrument;
- d) Il faut ensuite mettre l'analyseur CLD à zéro et régler sa sensibilité. Cela se fait avec le gaz de calibrage NO mentionné au point c) ci-dessus; la concentration de ce gaz est notée en tant que x_{NOdry} , et elle est utilisée dans les calculs de vérification du facteur d'extinction (par. 8.1.11.2.3);
- e) Le gaz de réglage NO doit être humidifié par barbotage à travers de l'eau distillée dans un récipient fermé. Si l'échantillon de gaz de réglage NO humidifié ne passe pas par un sécheur pour cet essai, la température du récipient doit être réglée de manière à produire un niveau de H_2O approximativement égal à la fraction molaire maximale de H_2O prévue au cours de l'essai d'émissions. Si le gaz de calibrage NO humidifié ne traverse pas le sécheur d'échantillon, les calculs de vérification au paragraphe 8.1.11.2.3 situent l'effet d'extinction par H_2O à la fraction molaire la plus élevée de H_2O attendue au cours de l'essai d'émissions. Si le gaz de calibrage NO humidifié traverse un sécheur, la température du récipient doit être maintenue sous contrôle pour produire un niveau de H_2O au moins aussi élevé que le niveau déterminé au paragraphe 9.3.2.3.1. Dans ce cas, les calculs de vérification de l'effet d'extinction du paragraphe 8.1.11.2.3 ne permettent pas d'obtenir l'ordre de grandeur de l'extinction par le H_2O mesurée;
- f) Le gaz d'essai NO humidifié doit être introduit dans le système de prélèvement. Il peut être introduit en amont ou en aval du sécheur qui est utilisé au cours de l'essai d'émissions. Selon le point d'introduction, on choisit la méthode de calcul appropriée du point e). Il est à noter que le sécheur doit satisfaire au contrôle de vérification du paragraphe 8.1.8.5.8;
- g) On mesure la fraction molaire de H_2O dans le gaz de réglage NO humidifié. Si l'on utilise un sécheur d'échantillon, la fraction molaire de H_2O dans le gaz NO humidifié doit être mesurée en aval du sécheur en question ($x_{\text{H}_2\text{Omeas}}$). Il est recommandé de mesurer la valeur de $x_{\text{H}_2\text{Omeas}}$ aussi près que possible de l'entrée de l'analyseur CLD. On peut calculer $x_{\text{H}_2\text{Omeas}}$ à partir des mesures du point de rosée, T_{dew} , et de la pression absolue, p_{total} ;
- h) On suit les pratiques techniques reconnues pour empêcher la formation de condensation dans les lignes de transfert, les raccords ou les vannes à partir du point où $x_{\text{H}_2\text{Omeas}}$ est mesuré. Il est recommandé de concevoir le système de telle manière que les températures des parois dans les lignes de transfert, les raccords et les vannes mesurés dans l'analyseur soient d'au moins 5 °C au dessus du point de rosée du gaz d'échantillon local;

- i) La concentration du gaz de réglage NO humidifié doit être mesurée au moyen de l'analyseur CLD. On attend le temps nécessaire pour que la réponse de l'analyseur se stabilise. Ce temps de stabilisation peut englober le temps nécessaire pour purger la ligne de transfert et pour tenir compte du temps de réponse de l'analyseur. Pendant que l'analyseur mesure la concentration de l'échantillon, les résultats sont enregistrés pendant 30 s. Ensuite, on calcule la moyenne arithmétique de ces données, x_{NOwet} . Cette valeur doit être notée et utilisée dans les calculs de vérification de l'extinction du paragraphe 8.1.11.2.3.

8.1.11.2 Calculs de vérification de l'effet d'extinction sur le CLD

Ces calculs sont effectués conformément aux indications du présent paragraphe.

8.1.11.2.1 Quantité d'eau attendue au cours de l'essai

La fraction molaire maximale attendue de l'eau pendant l'essai d'émissions, $x_{\text{H}_2\text{Oexp}}$, doit faire l'objet d'une estimation. Celle-ci doit se faire au moment de l'introduction du gaz de calibrage NO humidifié (par. 8.1.11.1.5 f)). Pour évaluer la fraction molaire maximale attendue de l'eau, il faut prendre en compte la teneur maximale en eau attendue dans l'air de combustion, les produits de la combustion du carburant et l'air de dilution (le cas échéant). Si le gaz de réglage humidifié NO est introduit dans le système de prélèvement en amont d'un sécheur d'échantillon pendant l'essai de vérification, il n'est pas nécessaire d'évaluer la fraction molaire maximale attendue de l'eau et $x_{\text{H}_2\text{Oexp}}$ doit être mis à $x_{\text{H}_2\text{Omeas}}$.

8.1.11.2.2 Quantité de CO₂ attendue au cours de l'essai

Il faut faire une évaluation de la concentration maximale attendue de CO₂, $x_{\text{CO}_2\text{exp}}$. Cette évaluation doit être faite à l'emplacement du système de prélèvement où les gaz de réglage NO et CO₂ mélangés sont introduits conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 j). Pour l'évaluation de la concentration de CO₂ maximale attendue, on prend en considération la teneur en CO₂ maximale attendue des produits de combustion de carburant et de l'air de dilution.

8.1.11.2.3 Calculs des effets d'extinction combinés par H₂O et CO₂

Les effets d'extinction combinés par H₂O et CO₂ sont calculés de la manière suivante:

$$\text{quench} = \left[\left(\frac{x_{\text{NOwet}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{Omeas}}} - 1 \right) \cdot \frac{x_{\text{H}_2\text{Oexp}}}{x_{\text{H}_2\text{Omeas}}} + \left(\frac{x_{\text{NOmeas}}}{x_{\text{NOact}}} - 1 \right) \cdot \frac{x_{\text{CO}_2\text{exp}}}{x_{\text{CO}_2\text{act}}} \right] \cdot 100 \% \quad (8-4)$$

où:

quench = importance de l'effet d'extinction sur le CLD
 x_{NOdry} = concentration mesurée de NO en amont du barboteur, conformément au paragraphe 8.1.11.1.5 d)

X_{NOwet}	=	concentration mesurée de NO en aval du barboteur, conformément au paragraphe 8.1.11.1.5 i)
X_{H_2Oexp}	=	fraction molaire maximale attendue de l'eau pendant l'essai d'émissions, conformément au paragraphe 8.1.11.2.1
X_{H_2Omeas}	=	fraction molaire mesurée de l'eau pendant la vérification de l'extinction, conformément au paragraphe 8.1.11.1.5 g)
X_{NOmeas}	=	concentration mesurée de NO quand aucun gaz de calibrage n'est mélangé avec le gaz CO ₂ , conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 j)
X_{NOact}	=	concentration réelle de NO lorsque le gaz de calibrage NO est mélangé au gaz de calibrage CO ₂ , conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 k) et calculé au moyen de l'équation (8-5)
X_{CO_2exp}	=	concentration maximale attendue de CO ₂ pendant l'essai d'émissions, conformément au paragraphe 8.1.11.2.2
X_{CO_2act}	=	concentration réelle de CO ₂ quand aucun gaz de calibrage n'est mélangé au gaz CO ₂ , conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 i).

$$X_{NOact} = \left(1 - \frac{X_{CO_2act}}{X_{CO_2span}} \right) \cdot X_{NOspan} \quad (8-5)$$

où:

X_{NOspan}	=	concentration du gaz de calibrage NO à l'entrée du mélangeur-doseur de gaz, conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 e)
X_{CO_2span}	=	concentration de gaz de calibrage CO ₂ à l'entrée du mélangeur-doseur de gaz, conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 d).

8.1.11.3 Vérification de l'interférence par les HC et H₂O sur l'analyseur NDUV

8.1.11.3.1 Étendue et fréquence

Si l'on utilise un analyseur NDUV pour mesurer les NO_x, il faut mesurer l'importance de l'interférence par H₂O et les hydrocarbures après l'installation initiale de l'analyseur et après un grand entretien.

8.1.11.3.2 Principes de mesure

Les hydrocarbures et le H₂O peuvent effectivement fausser la réponse d'un analyseur NDUV en produisant une réponse analogue aux NO_x. Si l'analyseur NDUV emploie des algorithmes de compensation qui utilisent des mesures d'autres gaz pour effectuer cette vérification de l'interférence, il faut simultanément faire de telles mesures pour essayer les algorithmes pendant la vérification de l'interférence avec l'analyseur.

8.1.11.3.3 Conditions applicables au système

Pour un analyseur NDUV de NO_x, l'interférence par H₂O et HC combinés doit rester dans les limites de ± 2 % autour de la concentration moyenne de NO_x.

8.1.11.3.4 Marche à suivre

La vérification de l'interférence s'effectue de la manière suivante:

- a) L'analyseur NDUV de NO_x doit être lancé, fonctionner, être mis à zéro et réglé en sensibilité selon les instructions du fabricant de l'instrument;
- b) Il est recommandé de prélever des gaz d'échappement du moteur pour effectuer cette vérification. On utilise un analyseur CLD qui répond aux spécifications du paragraphe 9.4 pour quantifier les NO_x dans les gaz d'échappement. On utilise la réponse du CLD comme valeur de référence. Il faut également mesurer les HC dans les gaz d'échappement au moyen d'un analyseur FID conforme aux spécifications du paragraphe 9.4. Cette réponse de l'analyseur FID est utilisée comme valeur de référence pour les hydrocarbures;
- c) Les gaz d'échappement du moteur doivent être introduits dans l'analyseur NDUV en amont de tout sécheur d'échantillon, si un tel appareil est utilisé;
- d) On laisse à la réponse de l'analyseur le temps de se stabiliser. Celui-ci peut englober le temps nécessaire pour purger la ligne de transfert et tenir compte de la réponse de l'analyseur;
- e) Alors que les analyseurs mesurent la concentration de l'échantillon, on enregistre 30 s de données d'échantillon et on calcule la moyenne arithmétique pour les trois analyseurs;
- f) La moyenne CLD doit être soustraite de la moyenne NDUV;
- g) La différence doit être multipliée par le rapport de la concentration moyenne de HC attendue à la concentration de HC mesurée pendant la vérification. L'analyseur satisfait à la vérification de l'interférence de ce paragraphe si le résultat reste dans les limites de ± 2 % de la concentration de NO_x attendue à la norme:

$$\left| \bar{X}_{\text{NO}_x, \text{CLD}, \text{meas}} - \bar{X}_{\text{NO}_x, \text{NDUV}, \text{meas}} \right| \cdot \left(\frac{\bar{X}_{\text{HC}, \text{exp}}}{\bar{X}_{\text{HC}, \text{meas}}} \right) \leq 2 \% \cdot (\bar{X}_{\text{NO}_x, \text{exp}}) \quad (8-6)$$

où:

$\bar{X}_{\text{NO}_x, \text{CLD}, \text{meas}}$ = concentration moyenne de NO_x mesurée par le CLD [μmol/mol] ou [ppm]

$\bar{X}_{\text{NO}_x, \text{NDUV}, \text{meas}}$ = concentration moyenne de NO_x mesurée par le NDUV [μmol/mol] ou [ppm]

$\bar{X}_{\text{HC}, \text{meas}}$ = concentration moyenne de HC mesurée [μmol/mol] ou [ppm]

$\bar{X}_{\text{HC,exp}}$ = concentration moyenne de HC prévue à la norme [$\mu\text{mol/mol}$] ou [ppm]

$\bar{X}_{\text{NOx,exp}}$ = concentration moyenne de NO_x prévue à la norme [$\mu\text{mol/mol}$] ou [ppm]

8.1.11.3.5 Conditions applicables au bain de refroidissement (refroidisseur)

Il faut démontrer que pour la concentration de vapeur d'eau maximale attendue H_m , les techniques de neutralisation de l'eau maintiennent l'humidité CLD à ≤ 5 g eau/kg d'air sec (ou environ 0,8 % en volume de H_2O , soit 100 % d'humidité relative à 3,9 °C et 101,3 kPa. Cette spécification de l'humidité est également équivalente à 25 % d'humidité relative à 25 °C et 101,3 kPa. On peut le démontrer en mesurant la température à la sortie d'un déshumidificateur thermique ou en mesurant l'humidité en un point juste en amont du CLD.

8.1.11.4 Pénétration de NO_2 dans le bain de refroidissement

8.1.11.4.1 Étendue et fréquence

Si l'on utilise un bain de refroidissement (refroidisseur) pour sécher un échantillon en amont d'un instrument de mesure de NO_x , mais qu'aucun convertisseur de NO_2/NO n'est utilisé en amont du bain, cette vérification est effectuée pour la pénétration du bain par NO_2 , après l'installation initiale et après un grand entretien.

8.1.11.4.2 Principes de mesure

Un bain de refroidissement (refroidisseur) doit être utilisé pour neutraliser l'eau qui peut interférer avec une mesure de NO_x . Toutefois, l'eau liquide restant dans un bain de refroidissement mal conçu peut interférer avec les NO_2 de l'échantillon. Si l'on utilise un bain de refroidissement sans convertisseur NO_2/NO en amont, il pourrait en résulter une disparition du NO_2 de l'échantillon avant la mesure des NO_x .

8.1.11.4.3 Conditions applicables au système

Le bain de refroidissement doit permettre de mesurer au moins 95 % du NO_2 total à la concentration maximale escomptée de NO_2 .

8.1.11.4.4 Procédure

On utilise la procédure suivante pour vérifier le comportement du bain de refroidissement:

- a) Mise en place des instruments: Il faut respecter les opérations de lancement et de fonctionnement du fabricant du bain de refroidissement. L'analyseur et le bain de refroidissement doivent être réglés selon les besoins pour que leurs performances soient optimales;
- b) Mise en place des équipements et collecte des données:
 - i) Le ou les analyseurs de gaz NO_x doivent être mis à zéro et calibrés comme cela se fait avant un essai d'émissions;
 - ii) On utilise un gaz d'étalonnage NO_2 (gaz de complément air sec) qui a une concentration de NO_2 proche du maximum attendu au cours de l'essai. On peut utiliser une

concentration plus élevée, en suivant les recommandations du fabricant de l'instrument et les pratiques techniques reconnues pour obtenir une vérification précise si la concentration de NO₂ attendue est plus faible que la plage minimale pour la vérification indiquée par le fabricant de l'instrument;

- iii) Ce gaz d'étalonnage doit déborder au niveau de la sonde du système de prélèvement de gaz ou au raccord de débordement. On laisse la réponse aux NO_x totaux se stabiliser en tenant seulement compte des temps de transport et de réponse des instruments;
- iv) On calcule ensuite la moyenne de 30 s de données NO_x enregistrées et cette valeur doit être notée en tant que x_{NOxref} ;
- v) L'écoulement du gaz d'étalonnage NO₂ est arrêté;
- vi) Ensuite, le système de prélèvement doit être saturé par débordement à la sortie d'un générateur de point de rosée mis à un point de rosée de 50 °C, jusqu'à la sonde du système de prélèvement du gaz ou du raccord de débordement. Le produit du générateur de point de rosée doit être échantillonné par le système de prélèvement et le refroidisseur pendant 10 min au moins, jusqu'au moment où le refroidisseur est censé enlever l'eau avec un débit constant;
- vii) Il est commuté directement sur le gaz d'étalonnage NO₂ utilisé pour déterminer x_{NOxref} . Ensuite on attend la stabilisation de la réponse aux NO_x totaux en tenant compte uniquement du temps de transport et de la réponse des instruments. On calcule la moyenne de 30 s de données enregistrées de NO_x totaux et cette valeur est notée en tant que $x_{NOxmeas}$;
- viii) $x_{NOxmeas}$ doit être corrigé en x_{NOxdry} en fonction de la vapeur d'eau résiduelle qui a traversé le refroidisseur à la température et à la pression de ce refroidisseur;
- c) Évaluation des performances. Si x_{NOxdry} est inférieur à 95 % de x_{NOxref} , le refroidisseur doit être réparé ou remplacé.

8.1.11.5 Vérification de la conversion par le convertisseur NO₂/NO

8.1.11.5.1 Étendue et fréquence

Si, pour déterminer les NO_x, on utilise un analyseur qui mesure uniquement les NO, on emploie en amont un convertisseur NO₂/NO. Cette vérification doit être effectuée après l'installation du convertisseur, après un grand entretien et dans les 35 jours avant un essai d'émissions. Il faut répéter cette vérification à cette fréquence pour s'assurer que l'activité catalytique du convertisseur NO₂/NO ne s'est pas détériorée.

8.1.11.5.2 Principes de mesure

Un convertisseur NO₂/NO permet à un analyseur qui mesure uniquement le NO de déterminer les NO_x totaux en convertissant le NO₂ des gaz d'échappement en NO.

8.1.11.5.3 Prescriptions applicables au système

Un convertisseur NO₂/NO doit permettre de mesurer au moins 95 % du NO₂ total à la concentration maximale attendue de NO₂.

8.1.11.5.4 Procédure

On utilise la procédure suivante pour vérifier les performances d'un convertisseur NO₂/NO:

- a) Pour le montage des instruments, on suit les instructions de mise en marche et de fonctionnement du fabricant du convertisseur NO₂/NO. L'analyseur et le convertisseur sont réglés selon les besoins pour optimiser les performances;
- b) L'entrée d'un ozoniseur doit être connectée à une source d'air pur servant de gaz zéro ou à une source d'oxygène et sa sortie doit être raccordée à une branche d'un raccord en T. Un gaz de calibrage NO doit être connecté à une autre branche et l'entrée du convertisseur NO₂/NO sur la troisième;
- c) On effectue la vérification en suivant les étapes ci-après:
 - i) L'air de l'ozoniseur doit être coupé de même que l'alimentation électrique de l'ozoniseur; le convertisseur NO₂/NO doit être réglé sur le mode contournement (c'est-à-dire mode NO). On laisse le temps nécessaire à la stabilisation en ne tenant compte que du temps de transport et du temps de réponse des instruments;
 - ii) On ajuste les débits de NO et de gaz zéro de telle manière que la concentration de NO au niveau de l'analyseur soit proche de la concentration de NO_x totaux de crête attendue au cours de l'essai. La teneur en NO₂ du mélange gazeux doit être inférieure à 5 % de la concentration de NO. Pour obtenir celle-ci on calcule la moyenne de 30 s de données d'échantillon provenant de l'analyseur et cette valeur est notée en tant que x_{NOref} . On peut utiliser une concentration plus élevée en suivant les recommandations du fabricant de l'instrument et les pratiques techniques reconnues pour obtenir une vérification précise si la concentration de NO attendue est inférieure à la plage minimale de vérification indiquée par le fabricant;
 - iii) L'alimentation en O₂ de l'ozoniseur doit être mise en route et il faut ajuster le débit de O₂ de telle manière que le NO indiqué par l'analyseur soit d'environ 10 % inférieur à x_{NOref} . On enregistre la concentration de NO en calculant la moyenne de 30 s de données d'échantillon provenant de l'analyseur et cette valeur doit être inscrite en tant que $x_{NO+O2mix}$;

- iv) On met l'ozoniseur en marche et on règle le taux d'ozone de telle manière que le NO mesuré par l'analyseur s'élève à environ 20 % de x_{NOref} tout en maintenant au moins 10 % de NO inaltéré. On obtient la concentration de NO en calculant la moyenne de 30 s de données d'échantillon provenant de l'analyseur et on note cette valeur comme étant x_{NOmeas} ;
- v) On commute l'analyseur sur le mode NO_x et on mesure les NO_x totaux. On obtient la concentration de NO_x en calculant la moyenne de 30 s de données d'échantillon provenant de l'analyseur et on note cette valeur comme étant x_{NOxmeas} ;
- vi) L'ozoniseur doit être mis à l'arrêt, mais le débit de gaz traversant le système doit être maintenu. L'analyseur NO_x indique la quantité de NO_x dans le mélange $\text{NO} + \text{O}_2$. On obtient la concentration de NO_x en calculant la moyenne de 30 s de données d'échantillon provenant de l'analyseur et on prend note de cette valeur en tant que $x_{\text{NOx+O2mix}}$;
- vii) On arrête l'alimentation en O_2 . L'analyseur NO_x indique les NO_x présents dans le mélange initial NO dans N_2 . On obtient la concentration de NO_x en calculant la moyenne de 30 s de données d'échantillon provenant de l'analyseur et on note cette valeur en tant que x_{NOxref} . Il ne faut pas que cette valeur soit plus de 5 % au-dessus de la valeur x_{NOref} ;
- d) Évaluation des performances. On détermine l'efficacité du convertisseur de NO_x en remplaçant les concentrations par les valeurs obtenues dans l'équation suivante:

$$\text{Efficacité}[\%] = \left(1 + \frac{x_{\text{NOxmeas}} - x_{\text{NOx+O2mix}}}{x_{\text{NO+O2mix}} - x_{\text{NOmeas}}} \right) \cdot 100 \quad (8-7)$$

- e) Si le résultat est inférieur à 95 %, il convient de réparer le convertisseur NO_2/NO ou de le remplacer.

8.1.12 Mesures des MP

8.1.12.1 Vérifications de la balance des MP et vérification du pesage

8.1.12.1.1 Étendue et fréquence

Le présent paragraphe contient la description de trois vérifications:

- a) La vérification indépendante de la balance des MP dans les 370 jours précédant le pesage d'un filtre;
- b) La mise à zéro et le réglage de sensibilité de la balance 12 h avant le pesage d'un filtre quelconque;
- c) La vérification que la détermination de la masse des filtres de référence avant et après une séance de pesage de filtres satisfait à une tolérance spécifiée.

8.1.12.1.2 Vérification indépendante

Le fabricant de la balance (ou un représentant approuvé par ce fabricant) doit vérifier les performances de la balance dans les 370 jours précédant l'essai, conformément aux procédures d'audit interne.

8.1.12.1.3 Mise à zéro et calibrage

Une fois vérifiées les performances de la balance par sa mise à zéro et son réglage en sensibilité avec au moins un poids d'étalonnage, tout poids qui est utilisé doit satisfaire aux caractéristiques énoncées dans le paragraphe 9.5.2. On utilise une procédure manuelle ou automatique:

- a) Une procédure manuelle nécessite que l'on utilise une balance qui a été mise à zéro et réglée en sensibilité avec un poids d'étalonnage au moins. Si l'on obtient normalement des valeurs moyennes en répétant le processus de pesage pour améliorer la précision des mesures des MP, on utilise le même processus pour vérifier les performances de la balance;
- b) On effectue une procédure automatique avec des poids d'étalonnage internes qui sont utilisés automatiquement pour vérifier les performances de la balance. Pour cette vérification, ces poids d'étalonnage internes doivent avoir les caractéristiques indiquées au paragraphe 9.5.2.

8.1.12.1.4 Pesage de l'échantillon de référence

Toutes les valeurs de masse obtenues au cours d'une séance de pesage doivent être vérifiées par pesage du support d'échantillon MP de référence (par exemple les filtres) avant et après une séance de pesage. Une telle séance peut être aussi courte qu'on le désire, mais ne doit pas dépasser 80 h; elle peut englober des pesages de masses à la fois avant et après l'essai. Les déterminations successives de la masse de chaque échantillon de MP de référence doivent donner le même résultat avec une tolérance maximale de $\pm 10 \mu\text{g}$ ou $\pm 10 \%$ de la masse totale de particules attendue, la valeur la plus élevée étant retenue. Si plusieurs pesages de filtre de collecte de MP successifs ne sont pas conformes à ce critère, toutes les lectures de poids de filtre d'essai obtenues lors des pesages successifs doivent être invalidées. Ces filtres peuvent être à nouveau pesés lors d'une autre séance. Si un filtre est invalidé après l'essai, l'intervalle d'essai est nul. La vérification doit être effectuée de la manière suivante:

- a) On maintient dans l'environnement de stabilisation des MP au moins deux supports d'échantillons de MP inutilisés. Ceux-ci sont utilisés comme éléments de référence. Les filtres inutilisés faits du même matériau et ayant la même taille sont retenus pour être utilisés comme éléments de référence;
- b) Les éléments de référence doivent être stabilisés dans l'environnement de stabilisation des MP. On considère que les éléments de référence sont stabilisés s'ils ont été dans cet environnement pendant un minimum de 30 min, et que l'environnement de stabilisation des MP a été conforme aux prescriptions du paragraphe 9.3.4.4 pendant au moins les 60 min précédentes;

- c) Le pesage est effectué à plusieurs reprises avec un échantillon de référence mais sans enregistrement des valeurs;
- d) La balance doit être mise à zéro et réglée. À cet effet on met sur la balance un poids d'essai (tel qu'un poids d'étalonnage) et on l'enlève ensuite de telle manière que la balance revienne à une lecture zéro acceptable dans un temps de stabilisation normal;
- e) Tous les supports de référence (par exemple les filtres) doivent être pesés et leurs masses notées. Si l'on obtient des valeurs normalement moyennes en répétant le processus de pesage pour améliorer la précision des supports de référence (tels que les filtres), on utilise le même processus pour mesurer les valeurs moyennes des masses de support d'échantillon (les filtres par exemple);
- f) Il convient de noter les valeurs du point de rosée de l'environnement de la balance, de la température ambiante et de la pression atmosphérique;
- g) On utilise les conditions ambiantes qui auront été notées pour corriger les résultats en fonction de la flottabilité comme indiqué dans le paragraphe 8.1.12.2. On prend note de la masse corrigée en fonction de la flottabilité pour chacune des références;
- h) La masse de référence corrigée en fonction de la flottabilité de chacun des supports de référence (par exemple les filtres) est soustraite de la masse corrigée en fonction de la flottabilité précédemment mesurée;
- i) Si l'une des masses observées pour les filtres de référence change plus que ne l'autorise le présent paragraphe, toutes les déterminations de masse des MP faites depuis la dernière validation ayant abouti doivent être invalidées. Les filtres MP de référence peuvent être écartés si une seule de ces masses de filtres a changé plus que cela n'est autorisé et qu'on peut identifier positivement la cause particulière de ce changement de la masse du filtre qui n'aurait pas affecté d'autres filtres relevant du processus. La validation peut donc être considérée comme ayant abouti. Dans ce cas, le support de référence contaminé ne doit pas être inclus lors de la détermination de la conformité avec le point j) ci-dessous, mais le filtre de référence concerné doit être écarté et remplacé;
- j) Si l'une des masses de référence varie plus que ne l'autorise le paragraphe 8.1.12.1.4, tous les résultats en matière de MP qui ont été obtenus entre les deux instants où les deux masses de référence ont été déterminées doivent être invalidés. Si le support de l'échantillon MP de référence est rejeté en vertu du point i) ci-dessus, il faut disposer d'au moins une différence de masse de référence qui réponde aux critères du paragraphe 8.1.12.1.4. À défaut, tous les résultats en matière de MP qui ont été obtenus entre les deux instants où les masses des supports de référence (les filtres) ont été déterminées sont invalidés.

8.1.12.2 Correction en fonction de la flottabilité du filtre de collecte des MP

8.1.12.2.1 Considérations générales

Le filtre de collecte des MP est corrigé en fonction de sa flottabilité dans l'air. Cette correction dépend de la densité du support de l'échantillon, de la densité de l'air ainsi que de la densité du poids d'étalonnage utilisé pour étalonner la balance. La correction n'est pas fonction de la flottabilité des MP proprement dite étant donné que la masse des MP ne représente généralement que 0,01 à 0,10 % du poids total. Une correction en fonction de cette faible masse serait au maximum de 0,010 %. Les valeurs corrigées en fonction de la flottabilité sont les masses à vide des échantillons MP. Les valeurs corrigées en fonction de la flottabilité en vue du pesage du filtre avant l'essai sont ensuite soustraites des valeurs de poids corrigées en fonction de la flottabilité après l'essai du filtre correspondant afin de déterminer la masse de MP émise pendant l'essai.

8.1.12.2.2 Densité du filtre de collecte des MP

Des filtres de collecte des MP différents ont des densités différentes. On utilise la densité connue des supports d'échantillons ou l'une des densités connues pour certains supports d'échantillons:

- Pour le verre borosilicate enduit de PTFE, on utilise une densité de 2 300 kg/m³;
- Pour un support en membrane PTFE (film) avec un anneau support intégral en polyméthylpentène qui représente 95 % de la masse du support, on utilise une densité de 920 kg/m³;
- Pour un film en PTFE ayant un anneau support intégré de PTFE, on utilise une densité de 2 144 kg/m³.

8.1.12.2.3 Densité de l'air

Étant donné que l'environnement de la flottabilité des MP doit être maintenu avec précision à une température de 22 ± 1 °C et un point de rosée de 9,5 ± 1 °C, la densité de l'air est principalement fonction de la pression atmosphérique. Pour cette raison, une correction spécifique en fonction de la flottabilité dépend uniquement de la pression atmosphérique.

8.1.12.2.4 Densité du poids d'étalonnage

On utilise la densité annoncée du matériau du poids métallique d'étalonnage.

8.1.12.2.5 Calcul de la correction

La masse du filtre de prélèvement des particules doit être corrigée pour la flottabilité au moyen des équations suivantes:

$$m_{\text{cor}} = m_{\text{uncor}} \cdot \left(\frac{1 - \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{weight}}}}{1 - \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{media}}}} \right) \quad (8-8)$$

où:

m_{cor} = masse du filtre de prélèvement des particules corrigée pour la flottabilité

m_{uncor} = masse du filtre de prélèvement des particules non corrigée pour la flottabilité

ρ_{air} = densité de l'air dans l'environnement de la balance

ρ_{weight} = densité du poids d'étalonnage utilisé pour régler la balance

ρ_{media} = densité du filtre de prélèvement des particules.

$$\rho_{air} = \frac{\rho_{abs} \cdot M_{mix}}{R \cdot T_{amb}} \quad (8-9)$$

où:

p_{abs} = pression absolue dans l'environnement de la balance

M_{mix} = masse molaire de l'air dans l'environnement de la balance

R = constante molaire du gaz

T_{amb} = température ambiante absolue de l'environnement de la balance.

8.2 Validation de l'instrument pour l'essai

8.2.1 Validation du contrôle de débit proportionnel pour le prélèvement par lots et taux de dilution minimal pour le prélèvement par lots de MP

8.2.1.1 Critères de proportionnalité pour le prélèvement CVS

8.2.1.1.1 Débits proportionnels

Pour chaque paire de débitmètres, on utilise les débits d'échantillon enregistrés et les débits totaux ou leur moyenne pour 1 Hz avec les calculs statistiques de l'annexe 4B, appendice A.2, paragraphe A.2.9. Il faut déterminer l'erreur type de l'estimation du débit de l'échantillon par rapport au débit total. Pour chaque intervalle d'essai, il faut démontrer que l'erreur type était inférieure ou égale à 3,5 % du débit de l'échantillon moyen.

8.2.1.1.2 Débits constants

Pour chaque paire de débitmètres, on utilise les débits d'échantillon enregistrés et les débits totaux ou leurs moyennes pour 1 Hz afin de montrer que chaque débit était constant à $\pm 2,5$ % autour de son débit moyen réel ou visé. On peut recourir aux options suivantes au lieu d'enregistrer le débit de chaque type d'instrument:

- a) **Recours au venturi-tuyère en régime critique.** Pour ce type de venturi, on utilise les conditions enregistrées pour l'entrée du venturi ou leurs moyennes pour 1 Hz. Il faut démontrer que la densité du flux à l'entrée du venturi était constante à $\pm 2,5$ % autour de la densité moyenne ou visée lors de chaque intervalle d'essai. Pour un venturi CVS en régime critique, on peut démontrer que la température absolue à l'entrée du venturi était constante à ± 4 % autour de la température moyenne ou visée pendant chaque intervalle d'essai;

- b) Recours à la pompe volumétrique. On utilise les conditions enregistrées à l'entrée de la pompe ou leurs moyennes pour 1 Hz. On démontre que la densité du flux à l'entrée de la pompe était constante à $\pm 2,5$ % autour de la densité moyenne ou visée pendant chaque intervalle d'essai. Dans le cas d'une pompe CVS, on peut démontrer que la température absolue à l'entrée de la pompe était constante à ± 2 % autour de la température absolue moyenne ou visée pendant chaque intervalle d'essai.

8.2.1.1.3 Démonstration du prélèvement proportionnel

Pour chaque échantillon ayant fait l'objet d'un prélèvement proportionnel par lots tel qu'un sac ou un filtre à MP, il convient de démontrer que le prélèvement proportionnel a été conservé par l'emploi de l'un des moyens suivants, en notant qu'un maximum de 5 % du nombre total de points de données peuvent être omis en tant que points aberrants.

En suivant les pratiques techniques reconnues, on démontre par une analyse technique que le système de commande à débit proportionnel assure de manière inhérente le prélèvement proportionnel dans toutes les circonstances attendues au cours de l'essai. À titre d'exemple, on peut utiliser des venturis CFV, tant pour le débit d'échantillon que pour le débit total, s'il est prouvé qu'ils ont toujours les mêmes pressions et températures à leurs entrées et qu'ils fonctionnent toujours dans des conditions de régime critique.

On utilise les débits et/ou les concentrations de gaz traceur (par exemple le CO_2) mesurés ou calculés pour déterminer le taux de dilution minimal pour chaque prélèvement par lots de MP sur l'intervalle d'essai.

8.2.1.2 Validation du système de dilution du flux partiel

Pour régler le système de dilution du flux partiel aux fins du prélèvement d'un échantillon proportionnel de gaz d'échappement bruts, il faut un système à réponse rapide; on identifie un tel système par la rapidité du système de dilution du flux partiel. Le temps de transformation du système est déterminé au moyen de la procédure du paragraphe 8.1.8.6 et de la figure 3.1 qui s'y rapporte. La commande proprement dite du système de dilution de flux partiel est fondée sur les conditions courantes mesurées. Si le temps de transformation combiné de la mesure du débit des gaz d'échappement et du flux partiel du système est $\leq 0,3$ s, on utilise la commande en ligne. Si ce temps de transformation dépasse 0,3 s, on utilise une commande prédictive fondée sur un essai préalablement enregistré. Dans ce cas, le temps de montée combiné est ≤ 1 s et le temps du délai combiné ≤ 10 s. La réponse de l'ensemble du système doit être telle que l'échantillon de MP $q_{mp,i}$ (débit de l'échantillon de gaz d'échappement dans le système de dilution du flux partiel) soit représentatif des MP et proportionnel au débit-masse de gaz d'échappement. Pour établir la proportionnalité, on fait une analyse de régression de $q_{mp,i}$ sur $q_{mew,i}$ (débit-masse de gaz d'échappement en conditions humides) à une fréquence d'acquisition des données minimal de 5 Hz et répondant aux critères suivants:

- a) Le coefficient de corrélation r^2 de la régression linéaire de $q_{mp,i}$ sur $q_{mew,i}$ n'est pas inférieur à 0,95;

- b) L'erreur type de l'estimation de $q_{mp,i}$ sur $q_{mew,i}$ ne dépasse pas 5 % du q_{mp} maximal;
- c) L'ordonnée à l'origine q_{mp} de la droite de régression ne dépasse pas ± 2 % du q_{mp} maximal.

Une commande prédictive est nécessaire si les temps de transformation combinés du système de matières particulaires $t_{50,P}$ et le signal de débit-masse de gaz d'échappement $t_{50,F}$ sont $>0,3$ s. Dans ce cas, on procède à un essai préliminaire et on utilise le signal du débit-masse de gaz d'échappement de cet essai préliminaire pour gérer le débit d'échantillons dans le système de matières particulaires MP. On obtient une gestion correcte du système de dilution partielle si la trace temporelle de $q_{mew,pre}$ de l'essai préliminaire, qui contrôle q_{mp} , est décalée d'un délai «prédictif» de $t_{50,P} + t_{50,F}$.

Pour établir la corrélation entre $q_{mp,i}$ et $q_{mew,i}$ on utilise les données prélevées au cours de l'essai réel, avec le temps pour $q_{mew,i}$ ajusté de $t_{50,F}$ par rapport à $q_{mp,i}$ (pas de contribution de $t_{50,P}$ à l'alignement temporel). Le décalage dans le temps entre q_{mew} et q_{mp} est la différence entre leurs temps de transformation qui ont été déterminés selon le paragraphe 8.1.8.6.3.2.

8.2.2 Validation de la plage de l'analyseur de gaz, validation de la dérive et correction en fonction de la dérive

8.2.2.1 Validation de la plage de fonctionnement

Si un analyseur est utilisé à plus de 100 % de sa plage à un moment donné au cours de l'essai, il convient de procéder de la manière suivante:

8.2.2.1.1 Prélèvement par lots

En cas de prélèvement par lots, il faut analyser à nouveau l'échantillon en utilisant la plage de l'analyseur la plus faible qui donne la réponse maximale de l'instrument en dessous de 100 %. Le résultat doit être considéré comme la plage la plus faible à laquelle l'analyseur fonctionne en dessous de 100 % de sa plage pour l'ensemble de l'essai.

8.2.2.1.2 Prélèvement en continu

Pour le prélèvement en continu, on répète l'ensemble de l'essai en utilisant la plage immédiatement supérieure de l'analyseur. Si l'analyseur fonctionne à nouveau au-dessus de 100 % de sa plage, il faut répéter l'essai avec la plage suivante plus élevée. L'essai doit se poursuivre et être répété jusqu'à ce que l'analyseur fonctionne toujours à moins de 100 % de sa plage pour l'ensemble de l'essai.

8.2.2.2 Validation de la dérive et correction en fonction de la dérive

Si la dérive reste dans les limites de ± 1 %, les données peuvent être acceptées sans correction ou après correction. Si la dérive est supérieure à ± 1 %, il faut calculer les deux ensembles des résultats d'émissions spécifiques au frein pour chaque polluant, ou bien l'essai est considéré comme nul. Un ensemble est calculé au moyen des données précédant la correction en fonction de la dérive et un autre ensemble de données est calculé après la correction de toutes les données en fonction de la dérive conformément à l'appendice 2 des annexes A.7 ou A.8. La comparaison est faite en pourcentage des résultats non corrigés. La différence entre les valeurs d'émissions spécifiques au frein non corrigées et corrigées

doit être inférieure à ± 4 % des valeurs d'émissions spécifiques au frein non corrigées. Si tel n'est pas le cas, l'ensemble de l'essai est nul.

8.2.3 Préconditionnement et pesage du poids à vide du support de prélèvement des MP (par exemple les filtres)

Avant un essai d'émissions, on prend les mesures suivantes pour préparer le filtre à échantillon MP et l'équipement pour les mesures des MP:

8.2.3.1 Vérifications périodiques

On s'assure que la balance et les environnements de stabilisation des MP satisfont aux vérifications périodiques du paragraphe 8.1.12. Le filtre de référence est pesé juste avant que ne soient pesés les filtres soumis aux essais pour fixer un point de référence approprié (voir les détails de la procédure dans le paragraphe 8.1.12.1). La vérification de la stabilité des filtres de référence a lieu après la période de stabilisation faisant suite aux essais, immédiatement avant le pesage postessai.

8.2.3.2 Inspection visuelle

Le filtre à échantillon inutilisé doit être inspecté visuellement pour repérer les défauts. Les filtres défectueux doivent être rejetés.

8.2.3.3 Mise à la masse

On utilise des pinces mises électriquement à la masse ou une bride de mise à la masse pour manipuler les filtres MP comme indiqué au paragraphe 9.3.4.

8.2.3.4 Supports d'échantillon inutilisés

Les supports d'échantillon non utilisés doivent être placés dans un ou plusieurs récipients qui sont ouverts à l'environnement de stabilisation des MP. Si l'on utilise des filtres, on peut les placer dans la moitié inférieure d'une cassette à filtre.

8.2.3.5 Stabilisation

Le support d'échantillon doit être stabilisé dans l'environnement de stabilisation des MP. Un support d'échantillon inutilisé peut être considéré comme stabilisé s'il a séjourné dans cet environnement pendant au moins 30 min, temps pendant lequel l'environnement de stabilisation des MP doit répondre aux spécifications du paragraphe 9.3.4.

8.2.3.6 Pesage

Le support d'échantillon doit être pesé automatiquement ou manuellement de la manière suivante:

- a) Pour le pesage automatique, on suit les recommandations du fabricant du système pour préparer les échantillons en vue de leur pesage;
- b) Pour le pesage manuel, il convient de suivre les pratiques techniques reconnues;
- c) Facultativement, il est permis de faire un pesage de substitution (voir le paragraphe 8.2.3.10);

- d) Dès qu'un filtre a été pesé, il doit être remis dans la boîte de Petri et recouvert.

8.2.3.7 Correction en fonction de la flottabilité

Le poids mesuré doit être corrigé de la flottabilité comme indiqué au paragraphe 8.1.12.2.

8.2.3.8 Répétition

On peut répéter les mesures de la masse du filtre pour déterminer sa masse moyenne en suivant les pratiques techniques reconnues et pour exclure les aberrations dans les calculs de moyenne.

8.2.3.9 Mesure du poids à vide

Les filtres inutilisés qui ont été mesurés à vide doivent être mis dans une cassette à filtre propre et les cassettes ainsi chargées doivent être placées dans un conteneur recouvert ou fermé avant d'être amenées à la cellule d'essai pour prélèvement.

8.2.3.10 Pesage de substitution

Le pesage de substitution est une option qui, si elle est utilisée, fait intervenir la mesure d'un poids de référence avant et après chaque pesage d'un support d'échantillon MP (c'est-à-dire un filtre). Le pesage de substitution nécessite davantage de mesures, mais il permet de corriger une éventuelle dérive du zéro de la balance et il n'est fondé sur la linéarité de la balance que sur une plage étroite. Cela est particulièrement utile lorsqu'on quantifie des masses de MP totales qui sont inférieures à 0,1 % de la masse du support. Toutefois, un pesage de substitution n'est pas nécessairement approprié lorsque les masses de MP totales dépassent 1 % de la masse du support de l'échantillon. Si on utilise le pesage de substitution, il faut l'appliquer pour le pesage à la fois avant et après l'essai. On utilise le même poids de substitution pour le préessai et pour le postessai. La masse du poids de substitution doit être corrigée de la flottabilité si la densité de ce poids est inférieure à 2,0 g/cm³. Les étapes suivantes sont un exemple de pesage de substitution:

- a) On utilise des pinces mises électriquement à la masse ou une bride de mise à la masse, comme indiqué au paragraphe 9.3.4.6;
- b) Un neutralisateur d'électricité statique doit être utilisé comme indiqué au paragraphe 9.3.4.6 afin de réduire autant que possible la charge électrique statique de tout objet avant son placement sur le plateau de la balance;
- c) Il faut sélectionner un poids de substitution qui réponde aux spécifications des poids d'étalonnage du paragraphe 9.5.2. Le poids de substitution doit aussi avoir la même densité que le poids qui est utilisé pour régler la microbalance et doit avoir une masse similaire à celle d'un support échantillon inutilisé (par exemple un filtre). Si l'on utilise des filtres, la masse du poids doit être d'environ 80 à 100 mg pour des filtres d'un diamètre de 47 mm représentatifs;
- d) La valeur stabilisée affichée par la balance doit être enregistrée puis le poids d'étalonnage doit être enlevé;

- e) Ensuite il faut peser un support d'échantillon non utilisé (un filtre neuf) et noter la valeur affichée stabilisée de même que le point de rosée de l'environnement de la balance, la température ambiante et la pression atmosphérique;
- f) Le poids d'étalonnage doit être pesé à nouveau et il faut prendre note de la valeur stabilisée affichée par la balance;
- g) Il faut calculer la moyenne arithmétique des deux valeurs lues pour le poids d'étalonnage qui ont été enregistrées immédiatement avant et après le pesage de l'échantillon inutilisé. La valeur moyenne doit ensuite être soustraite de la valeur affichée pour l'échantillon inutilisé et on ajoute alors la masse réelle du poids d'étalonnage telle qu'elle est indiquée sur le certificat du poids d'étalonnage. Ce résultat doit être noté. Il s'agit du poids à vide de l'échantillon sans correction pour la flottabilité;
- h) Ces étapes de pesage de substitution doivent être répétées pour les autres supports d'échantillon inutilisés;
- i) Les instructions données dans les paragraphes 8.2.3.7 à 8.2.3.9 de la présente section doivent être suivies dès que le pesage est terminé.

8.2.4 Postconditionnement de l'échantillon de MP et pesage total

8.2.4.1 Vérification périodique

Il faut s'assurer que les environnements de pesage et de stabilisation des MP ont satisfait aux vérifications périodiques visées au paragraphe 8.1.12.1. Lorsque les essais sont terminés, les filtres doivent être ramenés dans l'environnement de pesage et de stabilisation des MP. Celui-ci doit répondre aux exigences en matière de conditions ambiantes énoncées au paragraphe 9.3.4.4, faute de quoi les filtres soumis aux essais doivent rester couverts jusqu'à ce que les conditions appropriées soient établies.

8.2.4.2 Retrait des récipients scellés

Dans l'environnement de stabilisation des MP, les échantillons de MP doivent être retirés des récipients scellés. Les filtres peuvent être retirés de leurs cassettes avant ou après stabilisation. Lorsqu'un filtre est retiré d'une cassette, la moitié supérieure de la cassette doit être séparée de la moitié inférieure au moyen d'un séparateur de cassette spécialement conçu à cet effet.

8.2.4.3 Mise à la masse électrique

Pour manipuler les échantillons de MP, on utilise des pinces électriquement à la masse ou une bride de mise à la masse, comme indiqué dans le paragraphe 9.3.4.5.

8.2.4.4 Inspection visuelle

Les échantillons de MP collectés et la matière du filtre associé doivent être visuellement inspectés. Si l'état du filtre ou de l'échantillon de MP donne à penser qu'il y a eu des négligences ou si les matières particulaires ont pu entrer en contact avec toute autre surface que celle du filtre, on ne peut pas utiliser l'échantillon pour déterminer les émissions de particules. En cas de contact avec une autre surface, il faut nettoyer la surface touchée avant de poursuivre.

8.2.4.5 Stabilisation des échantillons de MP

Pour stabiliser des échantillons de MP, on doit les placer dans un ou plusieurs récipients qui sont exposés à l'environnement de stabilisation des MP défini au paragraphe 9.3.4.3. Un échantillon de MP est considéré comme stabilisé s'il a séjourné dans un tel environnement pour l'une des durées suivantes, au cours desquelles cet environnement de stabilisation est resté conforme aux conditions énoncées dans le paragraphe 9.3.4.3:

- a) Si l'on prévoit que la concentration de MP sur la surface totale d'un filtre de MP sera supérieure à $0,353 \mu\text{g}/\text{mm}^2$, en partant de l'hypothèse d'une charge de $400 \mu\text{g}$ sur une surface de filtration de 38 mm de diamètre, le filtre doit être exposé à l'environnement de stabilisation pendant 60 min au moins avant le pesage;
- b) Si on prévoit que la concentration de MP sur la surface totale du filtre sera inférieure à $0,353 \mu\text{g}/\text{mm}^2$, le filtre doit être exposé à l'environnement de stabilisation pendant 30 min au moins avant le pesage;
- c) Si la concentration de MP sur la surface totale du filtre pendant l'essai est inconnue, le filtre doit être exposé à l'environnement de stabilisation pour une durée de 60 min au moins avant le pesage.

8.2.4.6 Détermination de la masse du filtre après l'essai

Il faut répéter les procédures du paragraphe 8.2.3 (8.2.3.6 à 8.2.3.9) pour déterminer la masse du filtre après l'essai.

8.2.4.7 Masse totale

Chaque masse à vide de filtre corrigée de la flottabilité doit être soustraite de la masse après essai corrigée de la flottabilité. Le résultat est la masse totale, m_{total} , qui doit être utilisée dans les calculs d'émissions visés aux annexes A.7 et A.8.

9. Équipement de mesure**9.1 Spécification du banc moteur****9.1.1 Travaux sur arbre**

On utilise un banc moteur ayant les caractéristiques nécessaires pour effectuer le cycle de travail applicable, y compris la capacité de répondre aux critères appropriés de validation du cycle. On peut utiliser les dynamomètres suivants:

- a) Dynamomètres à courant de Foucault ou dynamomètres à frein hydraulique;
- b) Dynamomètres à courant alternatif ou à courant continu;
- c) Un ou plusieurs dynamomètres.

9.1.2 Cycle transitoire

Pour les mesures de couple on peut utiliser un capteur de force ou un instrument de mesure du couple.

Lorsqu'on utilise un capteur de force, le signal de couple doit être transféré à l'axe du moteur et l'inertie du dynamomètre doit être prise en considération. Le couple moteur réel est le couple lu sur le capteur de

force, majoré du moment d'inertie du frein multiplié par l'accélération angulaire. Le système de commande doit effectuer un tel calcul en temps réel.

9.1.3 Accessoires du moteur

Le travail des accessoires du moteur nécessaires pour alimenter le moteur en carburant, le lubrifier ou le chauffer, assurer la circulation du liquide de refroidissement vers le moteur ou actionner des dispositifs de traitement aval doit être pris en compte; les accessoires doivent être installés conformément aux indications du paragraphe 6.3.

9.2 Procédure de dilution (le cas échéant)

9.2.1 Conditions pour la dilution et concentrations ambiantes

Les composants gazeux peuvent être mesurés directement ou en dilution, alors que la mesure des MP nécessite généralement une dilution. Celle-ci peut être réalisée par un système de dilution du flux total ou du flux partiel. Lorsqu'on utilise la dilution, les gaz d'échappement peuvent être dilués avec de l'air ambiant, de l'air synthétique ou de l'azote. Pour les mesures des émissions gazeuses, le gaz diluant doit être à une température de 15 °C au moins. Pour le prélèvement des MP, la température du gaz diluant est spécifiée dans les paragraphes 9.2.2 pour le système CVS et 9.2.3 pour le système PFD avec des taux de dilution variables. Le débit du système de dilution doit être suffisamment grand pour éliminer complètement l'eau de condensation dans la dilution et les systèmes de prélèvement. La déshumidification de l'air de dilution avant son entrée dans le système de dilution est permise si l'humidité de l'air est élevée. Les parois du tunnel de dilution peuvent être chauffées ou isolées, de même que l'ensemble du tubage en aval du tunnel pour éviter la condensation de l'eau.

Avant qu'un gaz diluant ne soit mélangé avec les gaz d'échappement, il faut le préconditionner par augmentation ou diminution de sa température ou de son humidité. On peut enlever des éléments constitutifs du gaz diluant pour réduire les concentrations ambiantes. Les dispositions suivantes s'appliquent à la suppression d'éléments constitutifs ou à la prise en compte des concentrations ambiantes:

- a) On peut mesurer les concentrations des constituants dans le gaz diluant et compenser les effets des concentrations ambiantes sur les résultats d'essai. Voir les annexes A.7 et A.8 pour les calculs à faire pour compenser ces effets;
- b) Pour prendre en compte les MP ambiantes, les options suivantes sont possibles:
 - i) Pour enlever les MP ambiantes, il faut filtrer le gaz diluant avec des filtres HEPA (filtres à particules à haute efficacité) ayant une spécification de l'efficacité de la collecte minimale initiale de 99,97 % (voir le paragraphe 3.1 qui traite des procédures relatives aux efficacités de la filtration HEPA);
 - ii) Pour effectuer les corrections en fonction des MP ambiantes sans filtration HEPA, il faut que les MP ambiantes ne contribuent pas pour plus de 50 % à la quantité nette des MP collectées sur le filtre de prélèvement;

- iii) La correction en fonction de la quantité nette des MP pour tenir compte des concentrations ambiantes est permise sans restriction avec la filtration HEPA .

9.2.2 Système à flux total

Dilution du flux total, prélèvement à volume constant (CVS). Le flux total des gaz d'échappement bruts est dilué dans un tunnel de dilution. On peut rendre le débit constant en maintenant la température et la pression au niveau du débitmètre dans les limites prescrites. Si le débit n'est pas constant, il est mesuré directement pour permettre le prélèvement proportionnel. Le système doit être conçu de la manière suivante (voir la figure 9.1):

- a) On utilise un tunnel avec des surfaces internes en acier inoxydable. L'ensemble du tunnel de dilution doit être électriquement à la masse;
- b) La contre-pression du système d'échappement ne doit pas être artificiellement abaissée par le système d'entrée d'air de dilution. La pression statique à l'emplacement où les gaz d'échappement bruts sont introduits dans le tunnel doit être maintenue dans les limites de $\pm 1,2$ kPa autour de la pression atmosphérique;
- c) Pour faciliter le mélange, il faut introduire les gaz d'échappement bruts dans le tunnel en les dirigeant vers l'aval le long de la ligne centrale du tunnel. On peut introduire une fraction de l'air de dilution radialement depuis la surface interne du tunnel pour réduire autant que possible l'interaction des gaz d'échappement avec les parois du tunnel;
- d) Gaz diluant. Pour le prélèvement des MP, il faut maintenir la température des gaz diluants (air ambiant, air synthétique ou azote comme indiqué dans le paragraphe 9.2.1) entre 293 et 325 K (20 et 52 °C) à proximité de l'entrée du tunnel de dilution;
- e) Le nombre de Reynolds, Re , doit être d'au moins 4 000 pour le flux d'échappement dilué, où Re est fondé sur le diamètre intérieur du tunnel de dilution. Re est défini dans les annexes A.7 et A.8. Le contrôle de la qualité du mélange doit être effectué lorsque celui-ci traverse une sonde de prélèvement en diagonale dans le tunnel, verticalement et horizontalement. Si la réponse de l'analyseur fait apparaître un écart dépassant les limites de ± 2 % autour de la concentration moyenne mesurée, il faut utiliser le CVS à un débit supérieur, ou bien fixer une plaquette ou un orifice de mélange pour améliorer le mélange;
- f) Conditionnement avant la mesure du débit. Les gaz d'échappement dilués peuvent être conditionnés avant la mesure de leur débit, pour autant que ce conditionnement ait lieu en aval des sondes chauffées de prélèvement HC ou MP, de la manière suivante:
 - i) On peut utiliser des redresseurs de flux, des amortisseurs de pulsation ou les deux;
 - ii) On peut utiliser un filtre;

iii) On peut utiliser un échangeur de chaleur pour gérer la température en amont de tout débitmètre, mais des précautions doivent être prises pour empêcher la condensation aqueuse;

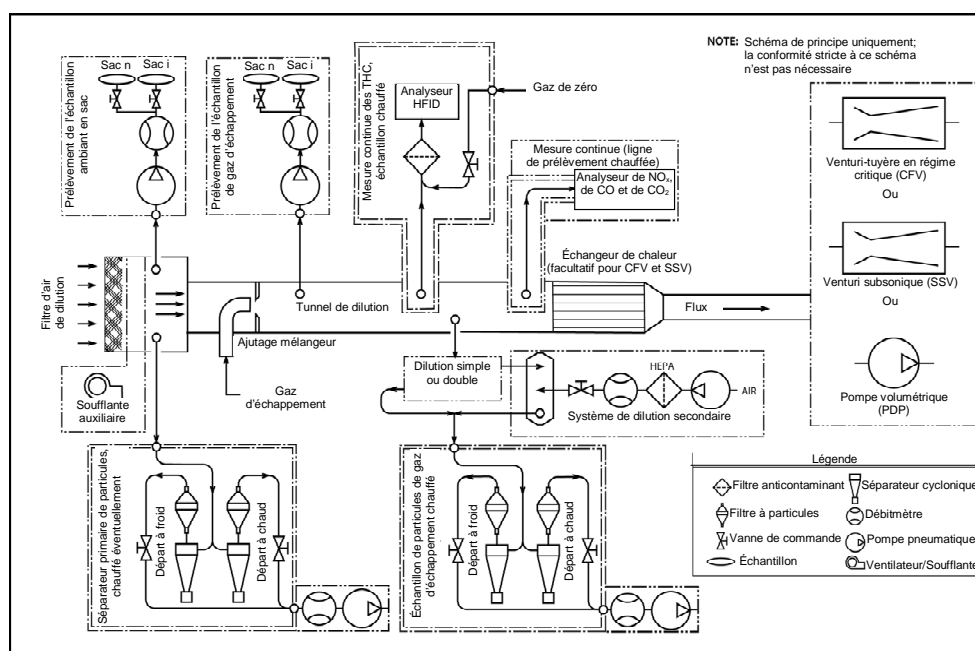
- g) Condensation aqueuse. Pour s'assurer que l'on mesure un débit qui correspond à une concentration mesurée il faut soit empêcher la formation de condensation aqueuse entre l'emplacement de la sonde de prélèvement et l'entrée du débitmètre dans le tunnel de dilution, soit laisser la condensation se former pour ensuite mesurer le débit à l'entrée du débitmètre. Les parois du tunnel de dilution ou les tubes du flux brut en aval du tunnel peuvent être chauffés ou isolés pour empêcher la condensation aqueuse. Il faut empêcher celle-ci de se produire dans l'ensemble du tunnel de dilution. Certains composants des gaz d'échappement peuvent être dilués ou supprimés en cas de présence d'humidité.

Pour le prélèvement des MP, le débit déjà proportionnel provenant du CVS subit une (ou plusieurs) dilution(s) secondaire(s) pour aboutir au taux de dilution global nécessaire comme indiqué dans la figure 9.2 et dans le paragraphe 9.2.3.2;

- h) Le taux de dilution global minimal doit être compris dans la plage de 5:1 à 7:1 et d'au moins 2:1 pour l'étape de dilution primaire sur la base du débit maximal des gaz d'échappement du moteur pendant le cycle d'essai ou l'intervalle d'essai;
- i) Le temps global de présence dans le système doit être compris entre 0,5 et 5 s, tel que mesuré depuis le point de l'introduction du gaz diluant dans le ou les porte-filtres;
- j) Le temps de présence dans le système de dilution secondaire, s'il y en a un doit être d'au moins 0,5 s, lorsqu'il est mesuré depuis le point de l'introduction du gaz diluant secondaire dans le ou les porte-filtres.

Pour déterminer la masse des matières particulaires, il faut un système de prélèvement des particules, un filtre de prélèvement des particules, une balance gravimétrique ainsi qu'une chambre de pesage à température et humidité contrôlées.

Figure 9.1

Exemples de configurations pour le prélèvement avec dilution du flux total**9.2.3 Système de dilution du flux partiel (PFD)****9.2.3.1 Description du système à flux partiel**

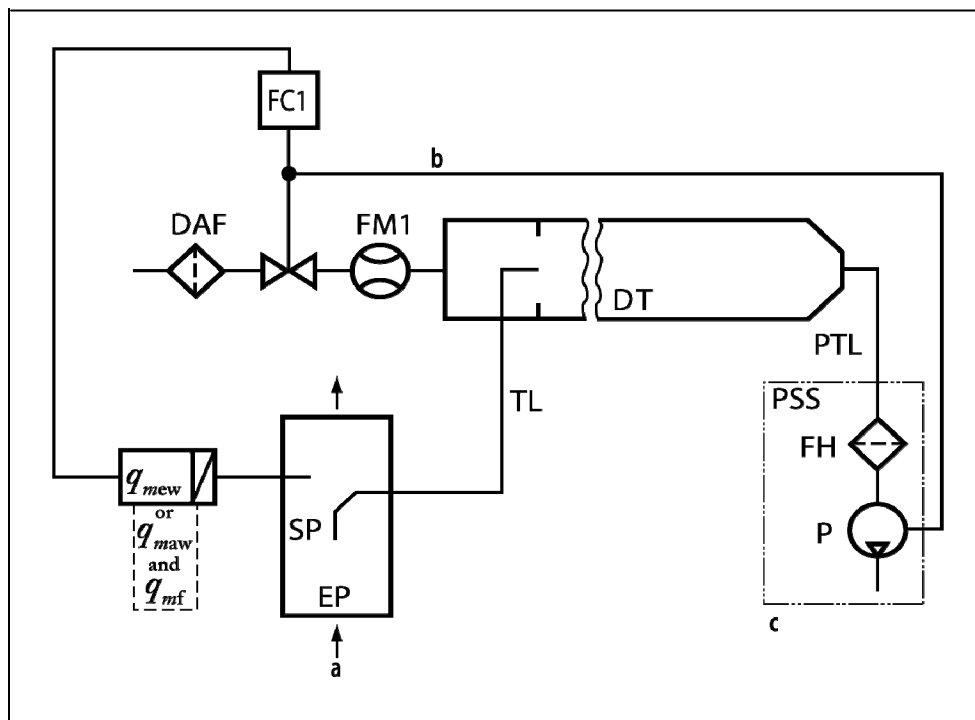
Un schéma de système PFD est montré à la figure 9.2. Il s'agit d'un schéma simple montrant les principes de l'extraction de l'échantillon, la dilution, et le prélèvement des MP. Il n'a pas pour but d'indiquer que tous les composants décrits dans la figure sont nécessaires pour d'autres systèmes de prélèvement qui répondent au but de prélèvement d'échantillons. D'autres configurations qui ne correspondent pas à ce schéma sont permises à condition qu'elles aient le même objet en matière de collecte d'échantillons, de dilution et de prélèvement des MP. Elles doivent satisfaire à d'autres critères tels que ceux des paragraphes 8.1.8.6 (étalonnage périodique), 8.2.1.2 (validation) pour un système PFD à dilution variable, du paragraphe 8.1.4.5 et du tableau 8.2 (vérification de la linéarité) ainsi que du paragraphe 8.1.8.5.7 (vérification) pour les systèmes PFD à dilution constante.

Comme il apparaît dans la figure 9.2, les gaz d'échappement bruts ou le flux dilué primaire sont transférés du tuyau d'échappement ou depuis le CVS respectivement dans le tunnel de dilution DT via la sonde de prélèvement SE et la ligne de transfert TL. Le débit total qui traverse le tunnel est ajusté au moyen d'un régulateur de débit et de la pompe de prélèvement P du système de prélèvement des particules (PSS). Pour le prélèvement proportionnel des gaz d'échappement bruts, le débit d'air de dilution est contrôlé par le régulateur de débit FC1, qui peut utiliser comme signal de commande pour la division des gaz d'échappement souhaitée q_{mew} (débit-masse de gaz d'échappement à l'état humide) ou q_{maw} (débit-masse d'air d'admission à l'état humide) et q_{mf} (débit-masse de carburant). Le débit de prélèvement dans le tunnel de dilution DT est la différence entre le débit total et le débit d'air de dilution. Le débit d'air de dilution est mesuré avec le dispositif de mesure du débit FM1, le débit total

avec le dispositif de mesure du débit du système de prélèvement des particules. Le taux de dilution est calculé à partir de ces deux débits. Pour le prélèvement avec un taux de dilution constant des gaz d'échappement bruts ou dilués par rapport au débit de gaz d'échappement (par exemple une dilution secondaire pour le prélèvement des MP), le débit d'air de dilution est généralement constant et réglé par le contrôleur de débit FC1 ou la pompe d'air de dilution.

Figure 9.2

Schéma du système de dilution du flux partiel (type prélèvement total)



a = gaz d'échappement ou flux dilué primaire.

b = facultatif.

c = prélèvement de MP.

Composants de la figure 9.2:

DAF = Filtre d'air de dilution – L'air de dilution (air ambiant, air synthétique ou azote) doit être filtré au moyen d'un filtre MP à grande efficacité (HEPA)

DT = Tunnel de dilution ou système de dilution secondaire

EP = Tuyau d'échappement ou système de dilution primaire

FC1 = Régulateur de débit

FH = Porte-filtre

FM1 = Dispositif de mesure du débit d'air de dilution

P = Pompe de prélèvement

PSS = Système de prélèvement des MP

PTL = Ligne de transfert des MP

SP = Sonde de prélèvement des gaz d'échappement bruts ou dilués

TL = Ligne de transfert.

Débits massiques applicables uniquement au prélèvement PFD proportionnel des gaz d'échappement bruts:

q_{mew} = Débit-masse des gaz d'échappement en conditions humides

q_{maw} = Débit-masse de l'air d'admission en conditions humides

q_{mf} = Débit-masse de carburant.

9.2.3.2 Dilution

Il faut maintenir la température des gaz diluants (air ambiant, air synthétique ou azote comme indiqué dans le paragraphe 9.2.1) entre 293 et 325 K (20 et 52 °C) à proximité de l'entrée du tunnel de dilution.

Il est permis de déshumidifier l'air de dilution avant que celui-ci n'entre dans le système de dilution. Le système de dilution du flux partiel doit être conçu de manière à extraire un échantillon de gaz d'échappement bruts proportionnel du flux des gaz d'échappement du moteur, répondant ainsi aux excursions dans le débit d'échappement, et à introduire l'air de dilution dans cet échantillon pour aboutir au niveau du filtre d'essai à une température conforme au paragraphe 9.3.3.4.3. Il est donc indispensable que le taux de dilution soit déterminé de telle manière que les prescriptions de précision du paragraphe 8.1.8.6.1 soient satisfaites.

Pour faire en sorte que le débit mesuré corresponde à la concentration mesurée, soit on empêche la condensation aqueuse entre l'emplacement de la sonde de prélèvement et l'entrée du débitmètre dans le tunnel de dilution, soit on accepte la condensation aqueuse et on mesure alors l'humidité à l'entrée du débitmètre. On peut chauffer ou isoler le système PFD pour empêcher la condensation aqueuse. On doit empêcher celle-ci de se former dans l'ensemble du tunnel de dilution.

Le taux de dilution minimal doit être compris dans la plage de 5:1 à 7:1 sur la base du débit d'échappement maximal du moteur au cours du cycle ou de l'intervalle d'essai.

Le temps de présence dans le système, mesuré entre le point d'introduction du gaz diluant et le ou les porte-filtres, doit être compris entre 0,5 et 5 s.

Pour déterminer la masse des matières particulaires, il faut un système de prélèvement, un filtre de prélèvement des particules, une balance gravimétrique ainsi qu'une chambre de pesage à température et humidité contrôlées.

9.2.3.3 Applicabilité

On peut utiliser le système PFD pour extraire un échantillon de gaz d'échappement bruts proportionnel pour tout prélèvement par lots ou en continu de MP et d'émissions gazeuses sur tout cycle transitoire, sur tout cycle en conditions stationnaires ou tout cycle à modes raccordés.

Le système peut être utilisé également pour des gaz d'échappement dilués au préalable dans lesquels est déjà dilué un flux proportionnel selon un taux de dilution constant (voir la figure 9.2). C'est ainsi qu'est effectuée la dilution secondaire à partir d'un tunnel CVS pour obtenir le taux de dilution global nécessaire pour le prélèvement des MP.

9.2.3.4 Étalonnage

L'étalonnage du système PFD pour extraire un échantillon de gaz d'échappement proportionnel est examiné dans le paragraphe 8.1.8.6.

9.3 Procédures de prélèvement**9.3.1 Conditions générales à observer dans le prélèvement****9.3.1.1 Conception et construction de la sonde**

La sonde est le premier élément d'un système de prélèvement. Elle fait saillie dans un flux de gaz d'échappement bruts ou dilués pour en extraire un échantillon, de telle manière que ses surfaces intérieure et extérieure soient en contact avec l'échappement. L'échantillon est amené depuis la sonde dans une ligne de transfert.

Les sondes de prélèvement doivent être faites avec des surfaces internes en acier inoxydable ou, pour le prélèvement de gaz bruts, en un matériau quelconque non réactif capable de supporter les températures des gaz d'échappement bruts. Les sondes de prélèvement doivent être situées là où les composants sont mélangés pour atteindre leur concentration d'échantillon moyenne et là où l'interférence avec d'autres sondes est réduite au minimum. Il est recommandé de veiller à éviter toute perturbation des sondes par les effets de couche limite, de sillage et de contre-courants, en particulier près de la sortie d'une conduite de gaz d'échappement bruts où une dilution non intentionnelle peut se produire. Le nettoyage ou la purge d'une sonde ne doit pas perturber une autre sonde pendant les essais. Une même sonde peut être utilisée pour extraire un échantillon de plusieurs composants, à condition que cette sonde réponde aux spécifications imposées pour chaque composant.

9.3.1.2 Lignes de transfert

Il faut faire en sorte que les lignes de transfert qui acheminent un échantillon d'une sonde jusqu'à un analyseur, un support de stockage ou un système de dilution soient aussi courtes que possible en plaçant les analyseurs, les supports de stockage et les systèmes de dilution aussi près que possible des sondes. Le nombre de courbes dans les lignes de transfert doit être maintenu au minimum et le rayon de courbure de toute courbe inévitable doit toujours être le plus grand possible.

9.3.1.3 Méthodes de prélèvement

Pour le prélèvement continu et le prélèvement par lots, présentés dans le paragraphe 7.2, les conditions suivantes s'appliquent:

- a) Lorsque l'on extrait un flux à débit constant, le prélèvement d'échantillon doit également être effectué à débit constant;
- b) Lorsque l'on extrait un flux à débit variable, le prélèvement d'échantillon doit également varier en proportion de celui-ci;
- c) Le prélèvement proportionnel doit être validé comme indiqué au paragraphe 8.2.1.

9.3.2 Prélèvement des émissions gazeuses

9.3.2.1 Sondes de prélèvement

On utilise des sondes à orifice unique ou à orifices multiples pour le prélèvement des émissions gazeuses. Les sondes peuvent être orientées dans n'importe quelle direction par rapport au flux des gaz d'échappement bruts ou dilués. Pour certaines sondes, la température de l'échantillon doit être réglée de la manière suivante:

- a) Dans le cas des sondes qui prélèvent les NO_x dans les gaz d'échappement dilués, la température de leur paroi doit être maintenue sous contrôle pour éviter la condensation aqueuse;
- b) Dans le cas des sondes d'extraction des hydrocarbures, il est recommandé que la température de leur paroi soit maintenue à environ 190 °C pour réduire autant que possible la contamination.

9.3.2.2 Lignes de transfert

On utilise des lignes de transfert dont les surfaces internes sont en acier inoxydable, en PTFE, en Viton® ou tout autre matériau qui a des propriétés meilleures pour prélever des échantillons de gaz émis. On utilise un matériau non réactif capable de résister aux températures des gaz d'échappement. On peut utiliser des filtres en ligne si le filtre et son boîtier répondent aux mêmes conditions de température que les lignes de transfert, à savoir:

- a) Pour les lignes de transfert de NO_x en amont soit d'un convertisseur NO_2/NO répondant aux spécifications du paragraphe 8.1.11.5, soit d'un refroidisseur conforme aux spécifications du paragraphe 8.1.11.4, il faut maintenir une température d'échantillon qui empêche la condensation aqueuse;
- b) Pour les lignes de transfert des HCT, il faut maintenir sur l'ensemble de la ligne une température de $(191 \pm 11)^\circ\text{C}$. Si l'échantillon est prélevé sur les gaz d'échappement bruts, on peut connecter directement à la sonde une ligne de transfert isolée non chauffée. La longueur et l'isolation de la ligne de transfert doivent être conçues pour refroidir les gaz d'échappement bruts atteignant les températures les plus élevées attendues sans toutefois les amener en dessous de 191 °C, les températures étant mesurées à la sortie de la ligne de transfert. Pour le prélèvement sur les gaz d'échappement dilués, une zone de transition pouvant atteindre une longueur de 0,92 m est autorisée entre la sonde et la ligne de transfert afin de permettre la transition avec la température de la paroi à $(191 \pm 11)^\circ\text{C}$.

9.3.2.3 Composantes pour le conditionnement des échantillons

9.3.2.3.1 Sécheurs d'échantillons

9.3.2.3.1.1 Prescriptions

L'instrument nécessaire pour éliminer l'humidité doit être conforme aux prescriptions minimales du paragraphe ci-après. Dans l'équation (A.8-14), on utilise une teneur en humidité de 0,8 % de H_2O en volume.

En ce qui concerne la concentration H_m de vapeur d'eau la plus élevée attendue, la technique de suppression de l'eau doit permettre de maintenir l'humidité CLD à ≤ 5 g eau/kg air sec (ou environ 0,8 % de H_2O en volume), ce qui représente une humidité relative de 100 % à 3,9 °C et 101,3 kPa. Cette spécification relative à l'humidité équivaut aussi à une humidité relative d'environ 25 % à 25 °C et 101,3 kPa. On peut le démontrer en mesurant la température à la sortie d'un déshumidificateur thermique, ou en mesurant l'humidité en un point juste en amont du CLD.

9.3.2.3.1.2 Types de sécheur d'échantillons autorisés et procédures à suivre pour évaluer la teneur en eau après le séchage

On peut utiliser n'importe quel type de sécheur d'échantillons décrit dans le présent paragraphe pour diminuer les effets de l'eau sur les mesures des émissions gazeuses:

- a) Si l'on utilise un sécheur à membrane osmotique en amont d'un analyseur de gaz ou d'un support de stockage, il faut respecter les spécifications de température du paragraphe 9.3.2.2. Il faut surveiller le point de rosée, T_{dew} , et la pression absolue, p_{total} , en aval d'un sécheur à membrane osmotique. Il faut calculer la quantité d'eau comme indiqué dans les annexes A.7 et A.8 en utilisant les valeurs continuellement enregistrées de T_{dew} et p_{total} ou leurs valeurs de crête observées lors d'un essai ou leurs valeurs de réglage d'alarme. En l'absence d'une mesure directe, la valeur nominale de p_{total} est donnée par la pression absolue la plus basse du sécheur attendue pendant l'essai;
- b) On ne peut pas utiliser un refroidisseur thermique en amont d'un système de mesure des HCT dans le cas des moteurs à allumage par compression. Si l'on utilise un refroidisseur thermique en amont d'un convertisseur NO_2/NO ou dans un système de prélèvement sans convertisseur NO_2/NO , le refroidisseur doit être conforme au contrôle de calcul des performances en ce qui concerne la perte de NO_2 comme spécifié dans le paragraphe 8.1.11.4. Il faut garder sous surveillance le point de rosée, T_{dew} , et la pression absolue, p_{total} , en aval d'un refroidisseur thermique. On calcule la quantité d'eau comme indiqué dans les annexes A.7 et A.8 en utilisant les valeurs enregistrées en permanence de T_{dew} et p_{total} ou leurs valeurs de crête observées lors d'un essai ou leurs valeurs de réglage d'alarme. En l'absence d'une mesure directe, la valeur nominale de p_{total} est donnée par la pression absolue la plus basse du refroidisseur thermique attendue pendant l'essai. Si l'on peut valablement faire une hypothèse sur le degré de saturation dans le refroidisseur thermique, on peut calculer T_{dew} sur la base de l'efficacité, connue, du refroidisseur, et de la surveillance continue de la température du refroidisseur, $T_{chiller}$. Si l'on n'enregistre pas en continu les valeurs de $T_{chiller}$ on peut utiliser sa valeur de crête observée au cours d'un essai ou sa valeur de réglage d'alarme comme une valeur constante pour déterminer une quantité constante d'eau conformément aux annexes A.7 et A.8. Si l'on peut valablement prendre pour hypothèse que $T_{chiller}$ est égal à T_{dew} , on peut utiliser $T_{chiller}$ à la place de T_{dew} conformément aux annexes A.7 et A.8. Si l'on peut valablement prendre pour

hypothèse qu'il y a un décalage de température constant entre T_{chiller} et T_{dew} , dû à un niveau connu et fixe de réchauffement de l'échantillon entre la sortie du refroidisseur et l'emplacement de mesure de la température, ce décalage de température peut être utilisé comme facteur dans les calculs des émissions. La validité de toute hypothèse autorisée par le présent paragraphe doit être fondée sur une analyse technique ou sur les données disponibles.

9.3.2.3.2 Pompes de prélèvement

On utilise les pompes de prélèvement en amont de tout analyseur ou support de stockage de tout gaz. Ces pompes doivent avoir des surfaces internes en acier inoxydable, en PTFE, ou en tout autre matériau ayant de meilleures propriétés pour le prélèvement de gaz émis. Pour certaines pompes de prélèvement, on règle la température de la manière suivante:

- a) Si l'on utilise une pompe de prélèvement des NO_x en amont d'un convertisseur NO_2/NO conforme au paragraphe 8.1.11.5 ou un refroidisseur conforme au paragraphe 8.1.11.4, il convient de les chauffer pour éviter la condensation aqueuse;
- b) Si l'on utilise une pompe de prélèvement des HCT en amont d'un analyseur de HCT ou d'un support de stockage, ses surfaces internes doivent être chauffées à $(191 \pm 11)^\circ\text{C}$.

9.3.2.4 Support de stockage d'échantillons

Dans le cas du prélèvement en sacs, les volumes de gaz doivent être mis dans des conteneurs suffisamment propres qui, de manière extrêmement faible seulement, laissent s'échapper les gaz ou permettent la pénétration des gaz. Il faut s'appuyer sur les pratiques techniques reconnues pour déterminer des seuils acceptables de propreté et de perméabilité du support de stockage. Pour nettoyer un conteneur, on peut le purger à plusieurs reprises et le vider pour ensuite le chauffer. On utilise un conteneur flexible (tel qu'un sac) dans un environnement où la température est maintenue sous contrôle, ou un conteneur rigide réglé en température qui est initialement vidé ou qui a un volume pouvant être déplacé, du fait par exemple de la présence d'un piston et d'un cylindre. On utilise des conteneurs conformes aux spécifications du tableau 9.1 ci-dessous.

Tableau 9.1

Matériaux des récipients pour prélèvement gazeux par lots

CO , CO_2 , O_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , NO et NO_2 ¹	fluorure de polyvynyle (PVF) ² (Tedlar® par exemple), fluorure de polyvinylidène ² (Kynar® par exemple) polytétrafluoroéthylène ³ (Teflon® par exemple) ou acier inoxydable ³
HCT, HCNM	polytétrafluoroéthylène ⁴ ou acier inoxydable ⁴

¹ À condition d'empêcher la condensation aqueuse dans le conteneur.

² Jusqu'à 40°C .

³ Jusqu'à 202°C .

⁴ À $(191 \pm 11)^\circ\text{C}$.

9.3.3 Prélèvement des particules (MP)

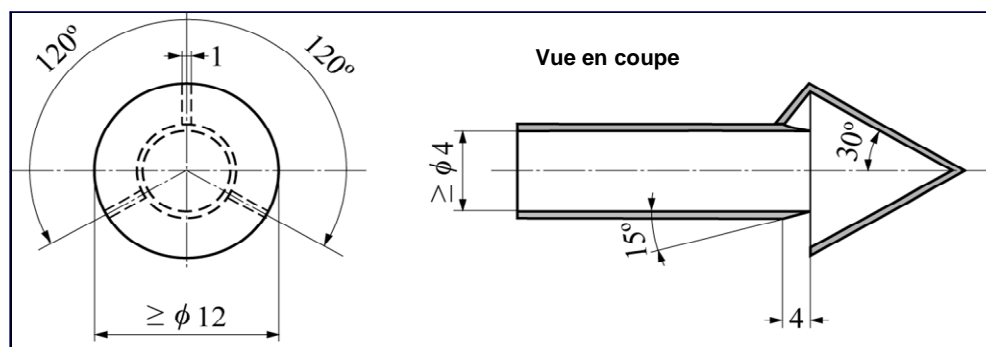
9.3.3.1 Sondes de prélèvement

On utilise des sondes MP à orifice unique d'extrémité. Elles doivent être orientées de manière à faire directement face à l'amont.

La sonde de prélèvement de MP peut être protégée par une coiffe conforme aux exigences définies dans la figure 9.3. Dans ce cas, on n'utilise pas le séparateur primaire décrit au paragraphe 9.3.3.3.

Figure 9.3

Représentation d'une sonde de prélèvement pourvue d'un séparateur primaire en forme de coiffe conique



9.3.3.2 Lignes de transfert

Il est recommandé d'utiliser des lignes de transfert isolées ou chauffées, pour réduire autant que possible les différences de température entre les lignes de transfert et les composants des gaz d'échappement. On utilise des lignes de transfert qui sont inertes par rapport aux MP et qui sont électriquement conductrices sur leurs faces intérieures. Il est recommandé d'utiliser pour les MP des lignes de transfert en acier inoxydable, mais on peut utiliser tout autre matériau ayant les mêmes qualités pour le prélèvement. La face interne des lignes de transfert de MP doit être électriquement à la masse.

9.3.3.3 Séparateur primaire

Il est permis d'utiliser un séparateur primaire de MP pour enlever les particules de grand diamètre; le séparateur primaire doit être installé dans le système de dilution directement avant le porte-filtre. Un seul séparateur primaire est autorisé. Si l'on utilise une sonde à coiffe conique (voir la figure 9.3), il est interdit d'utiliser un séparateur primaire.

Le séparateur primaire de MP doit être soit un impacteur par inertie, soit un séparateur cyclonique, en acier inoxydable. Le séparateur primaire doit avoir la capacité de retenir au moins 50 % des MP d'un diamètre aérodynamique de 10 μm et au maximum 1 % des MP d'un diamètre aérodynamique de 1 μm sur la plage des débits pour lesquels il est utilisé. La sortie du séparateur primaire doit être configurée avec un dispositif permettant de contourner tout filtre à échantillon MP de telle manière que le débit du séparateur primaire puisse être stabilisé avant le commencement d'un essai. Le filtre à échantillons de MP doit être situé à 75 cm au plus en aval de la sortie du séparateur primaire.

9.3.3.4 Filtre à échantillons

Les gaz d'échappement dilués doivent être prélevés au moyen d'un filtre répondant aux prescriptions des paragraphes 9.3.3.4.1 à 9.3.3.4.4 pendant la séquence d'essai.

9.3.3.4.1 Caractéristiques des filtres

Tous les types de filtre doivent avoir une efficacité de captage des DOP (di-octylphthalate) de $0,3 \mu\text{m}$ d'au moins 99,7 %. Les dimensions annoncées par le fabricant pour son filtre à échantillon peuvent être utilisées pour montrer qu'il est satisfait à cette prescription. La matière du filtre doit être:

- a) Soit de la fibre de verre revêtue de fluorocarbène (PTFE);
- b) Soit une membrane de chlorofluorocarbène (PTFE).

Si la masse nette des MP attendue sur le filtre dépasse $400 \mu\text{g}$, on peut utiliser un filtre ayant une efficacité de collecte initiale minimale de 98 %.

9.3.3.4.2 Taille du filtre

Le diamètre nominal du filtre doit être de $46,50 \pm 0,6 \text{ mm}$.

9.3.3.4.3 Dilution et régulation de la température des échantillons de MP

Les échantillons de MP doivent être dilués au moins une fois en amont des lignes de transfert dans le cas d'un système CVS et en aval en cas de système PFD (voir le paragraphe 9.3.3.2 relatif aux lignes de transfert). La température des échantillons doit être réglée à $(47 \pm 5) ^\circ\text{C}$ lorsqu'elle est mesurée en tout point situé dans les 200 mm en amont ou les 200 mm en aval du support de stockage des MP. L'échantillon de MP doit être chauffé ou refroidi essentiellement du fait des conditions de dilution, comme indiqué au paragraphe 9.2.1 a).

9.3.3.4.4 Vitesse nominale dans le filtre

La vitesse nominale dans le filtre doit être comprise entre 0,90 et 1,00 m/s et moins de 5 % des valeurs enregistrées doivent se situer en dehors de cette plage. Si la masse totale de MP dépasse $400 \mu\text{g}$, on peut diminuer cette vitesse. On calcule ladite vitesse en divisant le débit volumique de l'échantillon à la pression en amont du filtre et à la température à la surface du filtre par la superficie exposée du filtre. La pression dans la pipe d'échappement ou dans le tunnel CVS doit être utilisée pour la pression en amont si la chute de pression due au passage dans l'échantillonneur de MP jusqu'au filtre est inférieure à 2 kPa.

9.3.3.4.5 Porte-filtre

Pour réduire autant que possible le dépôt turbulent et pour déposer les MP de manière uniforme sur un filtre, il convient d'utiliser un angle conique divergent de $12,5^\circ$ (à partir du centre) jusqu'à la transition entre le diamètre intérieur de la ligne de transfert et le diamètre de la partie exposée de la surface du filtre. Pour cette transition on utilise de l'acier inoxydable.

9.3.4 Conditions de stabilisation et de pesage des MP pour l'analyse gravimétrique

9.3.4.1 Environnement pour l'analyse gravimétrique

La présente section contient la description des deux environnements nécessaires pour stabiliser et peser les MP en vue de l'analyse gravimétrique: l'environnement de stabilisation des MP, où les filtres sont stockés avant d'être pesés; et l'environnement de pesage où est située la balance. Ces deux environnements peuvent avoir une partie commune.

Les environnements de stabilisation et de pesage doivent être maintenus exempts d'éléments contaminants ambiants tels que la poussière, les aérosols ou les matériaux semi-volatils susceptibles de contaminer les échantillons de MP.

9.3.4.2 Propreté

Il faut vérifier la propreté de l'environnement de stabilisation des MP en utilisant des filtres de référence comme indiqué au paragraphe 8.1.12.1.4.

9.3.4.3 Température de la chambre

La température de la chambre ou de la pièce dans laquelle les filtres à particules sont conditionnés et pesés doit être maintenue à 22 ± 1 °C pendant toute la durée du conditionnement et du pesage des filtres. L'humidité doit être maintenue à un point de rosée de $9,5 \pm 1$ °C et l'humidité relative à 45 ± 8 %. Si les environnements de stabilisation et de pesage sont distincts, l'environnement de stabilisation doit être maintenu à une température de 22 ± 3 °C.

9.3.4.4 Vérification des conditions ambiantes

Lorsque l'on utilise des instruments de mesure qui répondent aux spécifications du paragraphe 9.4 il faut respecter les conditions ambiantes suivantes:

- a) Il faut prendre note du point de rosée et de la température ambiante. On utilise ces valeurs pour déterminer si les conditions de stabilisation et de pesage sont restées dans les tolérances spécifiées au paragraphe 9.3.4.3 de la présente section pendant au moins 60 min avant le pesage du filtre;
- b) Il faut enregistrer en continu la pression atmosphérique ambiante dans l'environnement de pesage. Une autre solution acceptable consiste à utiliser un baromètre qui mesure la pression atmosphérique à l'extérieur de l'environnement de pesage, pour autant que l'on puisse s'assurer que la pression atmosphérique dans l'environnement de la balance reste toujours dans les limites de ± 100 Pa autour de la pression atmosphérique commune. On doit pouvoir prendre note de la pression atmosphérique la plus récente à chaque pesage d'un échantillon de MP. Il faut utiliser cette valeur pour calculer la correction de la mesure des MP en fonction de la flottabilité, traitée dans le paragraphe 8.1.12.2.

9.3.4.5 Installation de la balance

Il faut installer la balance de la manière suivante:

- a) Sur une plate-forme isolée des vibrations afin de l'isoler du bruit et des vibrations extérieurs;

- b) Protégée contre les flux d'air convectifs au moyen d'un pare-vent antistatique mis électriquement à la masse.

9.3.4.6 Charge d'électricité statique

Il faut limiter autant que possible la charge d'électricité statique dans l'environnement de la balance, et ce de la manière suivante:

- a) La balance doit être électriquement mise à la masse;
- b) Il faut utiliser des pinces en acier inoxydable pour manipuler des échantillons de MP;
- c) Les pinces doivent être mises à la masse au moyen d'une bride ou bien l'opérateur doit porter un bracelet de mise à la masse de telle sorte que la masse soit commune avec la balance;
- d) Il faut utiliser un neutralisateur d'électricité statique électriquement relié à la même masse que la balance pour éliminer les charges d'électricité statique des échantillons de MP.

9.4 Instruments de mesure

9.4.1 Introduction

9.4.1.1 Domaine d'application

Le présent paragraphe indique les instruments de mesure et les systèmes associés nécessaires pour les essais d'émissions. Il s'agit notamment d'instruments de laboratoire servant à mesurer les paramètres du moteur, les conditions ambiantes, les paramètres liés aux débits ainsi que les concentrations des émissions (avec ou sans dilution).

9.4.1.2 Types d'instrument

Tout instrument mentionné dans la présente annexe doit être utilisé comme indiqué dans cette même annexe (voir le tableau 8.2 au sujet des quantités de mesure fournies par ces instruments). Quand un instrument mentionné dans la présente annexe est utilisé d'une manière autre que celle spécifiée, ou quand un autre instrument est utilisé à sa place, les prescriptions relatives à l'équivalence s'appliquent, comme indiqué au paragraphe 5.1.3. Lorsque plusieurs instruments sont spécifiés pour une mesure particulière, l'un de ceux-ci doit, sur demande, être identifié par l'autorité responsable de l'homologation de type comme l'instrument de référence à utiliser pour montrer que la procédure de rechange est équivalente à la procédure spécifiée.

9.4.1.3 Systèmes redondants

Les données obtenues de multiples instruments pour calculer les résultats d'un même essai doivent être utilisées pour tous les instruments de mesure décrits dans le présent paragraphe, moyennant l'accord préalable de l'autorité d'homologation de type. Les résultats de toutes les mesures sont enregistrés et les données brutes sont conservées, comme indiqué au paragraphe 5.3 de la présente annexe. Cette prescription s'applique indépendamment de l'utilisation ou non des mesures dans les calculs.

9.4.2 Enregistrement et contrôle des données

Le système d'essai doit avoir la capacité de mettre les données à jour, d'enregistrer les données et de gérer les systèmes en rapport avec la demande de l'opérateur, le dynamomètre, les équipements de prélèvement et les instruments de mesure. On utilise des systèmes d'acquisition et de contrôle des données qui sont capables d'enregistrer les données aux fréquences minimales spécifiées, comme indiqué dans le tableau 9.2 (ce tableau ne s'applique pas aux essais en mode discret).

Tableau 9.2

Fréquences minimales d'enregistrement et de contrôle des données

<i>Section applicable du protocole d'essai</i>	<i>Valeurs mesurées</i>	<i>Fréquence minimale de commande et de contrôle</i>	<i>Fréquence minimale d'enregistrement</i>
7.6	Régime et couple pendant une «step-map» du moteur	1 Hz	1 valeur moyenne par étape
7.6	Régime et couple pendant une «sweep-map» du moteur	5 Hz	1 Hz en moyenne
7.8.3	Régimes et couples réels en cycle d'essai transitoire	5 Hz	1 Hz en moyenne
7.8.2	Cycle d'essai en conditions stationnaires et à modes raccordés – vitesses et couples de référence et réels	1 Hz	1 Hz
7.3	Concentrations continues d'analyseurs de gaz bruts	s.o.	1 Hz
7.3	Concentrations continues d'analyseurs de gaz dilués	s.o.	1 Hz
7.3	Concentrations par lots des analyseurs de gaz bruts ou dilués	s.o.	1 valeur moyenne par intervalle d'essai
7.6 8.2.1	Débit des gaz d'échappement dilués provenant d'un prélèvement à volume constant avec un échangeur de chaleur en amont de la mesure du débit	s.o.	1 Hz
7.6 8.2.1	Débit des gaz d'échappement dilués provenant d'un prélèvement à volume constant sans échangeur de chaleur en amont de la mesure du débit	5 Hz	1 Hz en moyenne
7.6 8.2.1	Débit de l'air d'admission ou du débit d'échappement (pour mesure transitoire sur gaz bruts)	s.o.	1 Hz en moyenne
7.6 8.2.1	Air de dilution si activement contrôlé	5 Hz	1 Hz en moyenne
7.6 8.2.1	Débit d'échantillon d'un CVS avec un échangeur de chaleur	1 Hz	1 Hz
7.6 8.2.1	Débit d'échantillon d'un CVS sans échangeur de chaleur	5 Hz	1 Hz en moyenne

9.4.3 Spécifications des performances pour les instruments de mesure

9.4.3.1 Aperçu général

L'ensemble du système doit satisfaire à tous les critères d'étalonnage, de vérification et de validation des essais spécifiés dans le paragraphe 8.1, y compris les prescriptions en matière de contrôle de linéarité des paragraphes 8.1.4 et 8.2. Les instruments doivent être conformes aux spécifications du tableau 9.2 pour toutes les plages utilisées pour les essais. Par ailleurs, il faut conserver toute documentation reçue des fabricants des instruments prouvant que ceux-ci répondent aux spécifications du tableau 9.2.

9.4.3.2 Conditions s'appliquant à l'équipement

Le tableau 9.3 indique les spécifications applicables aux capteurs de couple, de régime et de pression, aux capteurs de température et de point de rosée et à d'autres instruments. L'ensemble du système nécessaire pour mesurer certaines quantités physiques et/ou chimiques doit satisfaire à la vérification de linéarité du paragraphe 8.1.4. En ce qui concerne les mesures des émissions gazeuses, on peut utiliser des analyseurs qui font appel à des algorithmes de compensation qui sont fonction d'autres composants gazeux mesurés et des propriétés du carburant pour l'essai spécifique du moteur. Tout algorithme de compensation ne doit assurer que la compensation du décalage sans influencer sur le gain (c'est-à-dire sans distorsion).

Tableau 9.3

Spécifications des performances recommandées des instruments de mesure

<i>Instrument de mesure</i>	<i>Symbole de la quantité mesurée</i>	<i>Temps de montée du système complet</i>	<i>Fréquence de mise à jour de l'enregistrement</i>	<i>Justesse^a</i>	<i>Répétabilité^a</i>
Capteur du régime moteur	n	1 s	1 Hz en moyenne	2,0 % de pt. ou 0,5 % de max	1,0 % de pt. ou 0,25 % de max
Capteur du couple moteur	T	1 s	1 Hz en moyenne	2,0 % de pt. ou 1,0 % de max	1,0 % de pt. ou 0,5 % de max
Débitmètre de carburant (totalisateur)		5 s (s.o.)	1 Hz (s.o.)	2,0 % de pt. ou 1,5 % de max	1,0 % de pt. ou 0,75 % de max
Instrument de mesure du total des gaz d'échappement dilués (CVS) (avec échangeur de chaleur avant l'instrument)		1 s (5 s)	1 Hz en moyenne (1 Hz)	2,0 % de pt. ou 1,5 % de max	1,0 % de pt. ou 0,75 % de max
Débitmètre d'air de dilution, d'air d'admission, de gaz d'échappement et de prélèvement		1 s	1 Hz moyenne d'échantillons 5 Hz	2,5 % de pt. ou 1,5 % de max	1,25 % de pt. ou 0,75 % de max
Analyseur de gaz bruts en continu	x	2,5 s	2 Hz	2,0 % de pt. ou 2,0 % de meas	1,0 % de pt. ou 1,0 % de meas
Analyseur de gaz dilués en continu	x	5 s	1 Hz	2,0 % de pt. ou 2,0 % de meas	1,0 % de pt. ou 1,0 % de meas
Analyseur de gaz en continu	x	5 s	1 Hz	2,0 % de pt. ou 2,0 % de meas	1,0 % de pt. ou 1,0 % de meas
Analyseur de gaz par lots	x	s.o.	s.o.	2,0 % de pt. ou 2,0 % de meas	1,0 % de pt. ou 1,0 % de meas
Balance MP gravimétrique	m _{PM}	s.o.	s.o.	Voir 9.4.11	0,5 µg
Balance MP inertielle	m _{PM}	5 s	1 Hz	2,0 % de pt. ou 2,0 % de meas	1,0 % de pt. ou 1,0 % de meas

^a La justesse et la répétabilité sont déterminées à partir des mêmes données rassemblées, comme indiqué au paragraphe 9.4.3, et basées sur des valeurs absolues. Par «pt.» on entend la valeur moyenne globale escomptée à la limite d'émissions; «max» désigne la valeur de crête attendue à la limite d'émissions sur le cycle d'essai, et non le maximum de la plage totale de l'instrument; «meas» désigne la moyenne réelle mesurée sur le cycle d'essai.

9.4.4 Mesure des paramètres du moteur et des conditions ambiantes

9.4.4.1 Capteurs de régime et de couple

9.4.4.1.1 Application

Les instruments de mesure pour les intrants et les extrants de travail pendant le fonctionnement du moteur doivent être conformes aux spécifications du présent paragraphe. Il est recommandé d'utiliser des capteurs, des transducteurs et des instruments de mesure répondant aux spécifications du tableau 9.3. Les systèmes globaux de mesure des intrants et des extrants de travail doivent satisfaire aux vérifications de linéarité du paragraphe 8.1.4.

9.4.4.1.2 Travail sur l'arbre

Le travail et la puissance doivent être calculés à partir des valeurs de sortie des capteurs de vitesse et de couple conformément au paragraphe 9.4.4.1. Les systèmes intégrés de mesure du régime et du couple doivent satisfaire aux étalonnages et aux vérifications des paragraphes 8.1.7 et 8.1.4.

Le couple produit par l'inertie des éléments en accélération et en décélération reliés au volant, par exemple l'arbre d'entraînement et le rotor de dynamomètre, doit être compensé comme nécessaire, sur la base des pratiques techniques reconnues.

9.4.4.2 Capteurs de pression, capteurs de température et capteurs de point de rosée

Les systèmes intégrés de mesure de la pression, de la température et du point de rosée doivent satisfaire aux étalonnages du paragraphe 8.1.7.

Les capteurs de pression doivent être situés dans un environnement dont la température est sous contrôle; à défaut, ils doivent compenser les changements de température sur leur plage de fonctionnement attendue. Les matériaux des capteurs doivent être compatibles avec le fluide qu'ils sont appelés à mesurer.

9.4.5 Mesures en rapport avec le débit

Pour tout type de débitmètre (pour carburant, air d'admission, gaz d'échappement bruts, gaz d'échappement dilués, échantillons), le débit doit être conditionné selon les besoins pour empêcher les effets de sillage, de turbulence, de contre-courants et de pulsations du débit pouvant affecter la justesse ou la répétabilité de la mesure. Pour certains instruments, on peut satisfaire à cette condition en utilisant une longueur suffisante de tube droit (par exemple une longueur correspondant à au moins 10 fois le diamètre du tube) ou en utilisant des coudes de tube spécialement étudiés, des ailettes de guidage, des plaques à orifice calibré (ou des amortisseurs de pulsations pneumatiques pour le débitmètre de carburant) afin d'établir un profil de vitesse prévisible et constant en amont de l'instrument.

9.4.5.1 Débitmètre de carburant

L'ensemble du système de mesure du débit de carburant doit satisfaire aux dispositions du paragraphe 8.1.8.1 relatives à l'étalonnage.

Dans toute mesure du débit du carburant, on tient compte du carburant qui contourne le moteur ou revient du moteur jusqu'au réservoir de carburant.

9.4.5.2 Débitmètre d'air d'admission

L'ensemble du système de mesure du débit d'air d'admission doit satisfaire aux dispositions du paragraphe 8.1.8.2 relatives à l'étalonnage.

9.4.5.3 Débitmètre des gaz d'échappement bruts

9.4.5.3.1 Conditions s'appliquant à l'équipement

L'ensemble du système de mesure du débit des gaz d'échappement bruts doit satisfaire aux prescriptions du paragraphe 8.1.4 relatives à la linéarité. Tout débitmètre de gaz d'échappement bruts doit être conçu pour compenser de manière appropriée les changements intervenant dans les états thermodynamiques, de fluidité et de composition des gaz d'échappement bruts.

9.4.5.3.2 Temps de réponse du débitmètre

Pour gérer un système de dilution du flux partiel en vue d'en extraire un échantillon de gaz d'échappement bruts proportionnel, il faut un temps de réponse du débitmètre plus court que celui indiqué dans le tableau 9.3. Dans le cas des systèmes de dilution du flux partiel, avec des commandes en ligne, le temps de réponse du débitmètre doit satisfaire aux prescriptions du paragraphe 8.2.1.2.

9.4.5.3.3 Refroidissement des gaz d'échappement

Il est permis de refroidir les gaz d'échappement en amont du débitmètre avec les restrictions suivantes:

- a) Les MP ne doivent pas être prélevées en aval du refroidissement;
- b) Si le refroidissement est tel que les températures passent de plus de 202 °C à moins de 180 °C, les HCNM ne doivent pas être prélevés en aval du refroidissement;
- c) Si le refroidissement provoque une condensation aqueuse, il ne faut pas prélever les NO_x en aval du refroidissement à moins que le refroidisseur ne satisfasse aux prescriptions du paragraphe 8.1.11.4 relatives à la vérification des performances;
- d) Si le refroidissement produit une condensation aqueuse avant que le flux n'atteigne le débitmètre, le point de rosée T_{dew} et la pression p_{total} doivent être mesurés à l'entrée du débitmètre. Ces valeurs doivent être utilisées dans les calculs d'émissions conformément aux annexes A.7 et A.8.

9.4.5.4 Débitmètres d'air de dilution et de gaz d'échappement dilués

9.4.5.4.1 Application

Il convient de déterminer les débits instantanés des gaz d'échappement dilués ou le débit total des gaz d'échappement dilués sur un intervalle donné en utilisant un débitmètre de gaz d'échappement dilués. On peut calculer le débit des gaz d'échappement bruts ou le débit des gaz d'échappement bruts totaux sur un intervalle d'essai à partir de la différence entre les résultats obtenus avec un débitmètre de gaz d'échappement dilués et ceux obtenus avec un débitmètre d'air de dilution.

9.4.5.4.2 Conditions applicables à l'équipement

L'ensemble du système de mesure du débit des gaz d'échappement dilués doit satisfaire aux prescriptions des paragraphes 8.1.8.4 et 8.1.8.5 relatives aux étalonnages et vérifications. On peut utiliser les instruments suivants:

- a) Pour un prélèvement à volume constant (CVS) du débit total des gaz d'échappement dilués, on peut utiliser un venturi-tuyère en régime critique (CFV) ou plusieurs de ces venturis disposés en parallèle, une pompe volumétrique (PDP), un venturi subsonique (SSV) ou un débitmètre à ultrasons (UFM). Utilisé en combinaison avec un échangeur de chaleur disposé en amont, un CFV ou une PDP fonctionne également comme un régulateur de débit passif en maintenant la température des gaz d'échappement dilués constante dans un système CVS;
- b) Pour le système de dilution du flux partiel (PFD), on peut associer un débitmètre et un système actif de régulation du flux afin de conserver le prélèvement proportionnel des éléments constitutifs des gaz d'échappement. Le débit total des gaz d'échappement dilués, ou un ou plusieurs de ces débits d'échantillons, voire une combinaison de ces débits, peuvent être réglés pour maintenir le prélèvement proportionnel.

Pour tout autre système de dilution, on peut utiliser un élément à flux laminaire, un débitmètre ultrasonique, un venturi subsonique, un ou plusieurs venturis en régime critique disposés en parallèle, un compteur volumétrique, un instrument de mesure de la masse thermique, un tube de Pitot calculant la moyenne ou un anémomètre thermique.

9.4.5.4.3 Refroidissement des gaz d'échappement

Le flux de gaz d'échappement dilués d'un débitmètre peut être refroidi à condition que soient respectées les conditions suivantes:

- a) Les MP ne doivent pas être prélevées en aval du refroidissement;
- b) Si le refroidissement est tel que les températures des gaz d'échappement passent de plus de 202 °C à moins de 180 °C, les HCNM ne doivent pas être prélevés en aval du refroidissement;
- c) Si le refroidissement provoque une condensation aqueuse, il ne faut pas prélever les NO_x en aval du refroidissement à moins que le refroidisseur ne satisfasse aux prescriptions du paragraphe 8.1.11.4 relatives à la vérification des performances;
- d) Si le refroidissement produit une condensation aqueuse avant que le flux n'atteigne le débitmètre, le point de rosée, T_{dew} et la pression p_{total} doivent être mesurés à l'entrée du débitmètre. Ces valeurs doivent être utilisées dans les calculs d'émissions conformément aux annexes A.7 et A.8.

9.4.5.5 Débitmètre d'échantillon pour le prélèvement par lots

Il convient d'utiliser un débitmètre d'échantillon pour déterminer les débits des échantillons ou le débit total prélevé dans un système de prélèvement par lots sur un intervalle d'essai. La différence entre les résultats obtenus avec deux débitmètres peut être utilisée pour calculer

le débit d'échantillon dans le tunnel de dilution, par exemple pour la mesure des MP dans la dilution du flux partiel et la mesure des MP dans le flux de dilution secondaire. Les spécifications applicables à une mesure du débit différentiel pour en tirer un échantillon de gaz d'échappement bruts proportionnel sont données au paragraphe 8.1.8.6.1 et l'étalonnage de la mesure du débit différentiel est donné au paragraphe 8.1.8.6.2.

L'ensemble du système pour le débitmètre d'échantillon doit satisfaire aux prescriptions du paragraphe 8.1.8 relatives à l'étalonnage.

9.4.5.6 Mélangeur-doseur de gaz d'échappement

On peut utiliser un mélangeur-doseur de gaz d'échappement pour mélanger différents gaz.

Il convient d'utiliser un mélangeur-doseur de gaz d'échappement qui mélange les gaz conformément aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et aux concentrations attendues pendant les essais. On peut utiliser les mélangeurs-doseurs de gaz à flux critique, les mélangeurs-doseurs de gaz à tube capillaire ou les mélangeurs-doseurs de gaz mesurant la masse thermique. On applique les corrections de viscosité selon les besoins (si cela n'est pas fait par le logiciel interne du mélangeur-doseur de gaz) pour assurer un mélange/dosage approprié du gaz. Le mélangeur-doseur de gaz doit satisfaire aux prescriptions du paragraphe 8.1.4.5 relatives à la vérification de la linéarité. Facultativement, le dispositif mélangeur peut être vérifié au moyen d'un instrument qui, par nature, est linéaire, par exemple un instrument qui utilise un gaz NO avec un CLD. L'instrument doit être réglé en sensibilité au moyen du gaz de calibrage branché directement sur l'instrument. Le mélangeur-doseur de gaz doit être contrôlé aux réglages utilisés et la valeur nominale doit être comparée à la concentration mesurée par l'instrument.

9.4.6 Mesures du CO et du CO₂

Un analyseur de gaz infrarouge non dispersif (NDIR) doit être utilisé pour mesurer les concentrations de CO et de CO₂ dans les gaz d'échappement bruts ou dilués tant dans le cas du prélèvement par lots que dans celui du prélèvement en continu.

Le système fondé sur l'analyseur NDIR doit satisfaire aux prescriptions du paragraphe 8.1.8.1 relatives à l'étalonnage et à la vérification.

9.4.7 Mesure des hydrocarbures

9.4.7.1 Détecteur à ionisation de flamme

9.4.7.1.1 Application

Un analyseur à ionisation de flamme chauffé sert à mesurer les concentrations des hydrocarbures dans les gaz d'échappement bruts ou dilués tant pour le prélèvement par lots que pour le prélèvement en continu. Il convient de déterminer les concentrations d'hydrocarbures sur la base d'un nombre de carbone de un, C₁. Les concentrations d'hydrocarbures méthaniques et non méthaniques doivent être déterminées comme indiqué au paragraphe 9.4.7.1.4. Les analyseurs FID chauffés doivent maintenir toutes les surfaces qui sont exposées aux émissions à une température de 191 ± 11 °C.

9.4.7.1.2 Conditions applicables à l'équipement

Le système fondé sur le FID pour mesurer les HCT ou le CH₄ doit satisfaire à toutes les prescriptions du paragraphe 8.1.10 relatives aux vérifications pour les mesures des hydrocarbures.

9.4.7.1.3 Carburant et air de combustion du détecteur FID

Le carburant et l'air de combustion du FID doivent satisfaire aux spécifications du paragraphe 9.5.1. Le carburant et l'air ne doivent pas être mélangés avant d'entrer dans l'analyseur FID pour que celui-ci fonctionne avec une flamme de diffusion et non une flamme de prémélange.

9.4.7.1.4 Méthane

Les analyseurs FID mesurent la quantité d'hydrocarbures totaux (HCT). Pour déterminer les hydrocarbures non méthaniques (HCNM), il faut quantifier le méthane (CH₄), soit avec un convertisseur de HCNM et un analyseur FID comme indiqué au paragraphe 9.4.7.2, soit par une chromatographie en phase gazeuse comme celle décrite au paragraphe 9.4.7.3. En ce qui concerne l'analyseur FID utilisé pour déterminer les HCNM, son facteur de réponse au CH₄, RF_{CH_4} , doit être établi comme indiqué au paragraphe 8.1.10.1. Les calculs relatifs aux HCNM sont présentés dans les annexes A.7 et A.8.

9.4.7.1.5 Hypothèse relative au méthane

Au lieu de mesurer le méthane, on peut partir de l'hypothèse que 2 % des hydrocarbures totaux sont du méthane, comme indiqué dans les annexes A.7 et A.8.

9.4.7.2 Convertisseur de HCNM**9.4.7.2.1 Application**

Un convertisseur de HCNM peut être utilisé pour mesurer le CH₄ avec un analyseur FID. Un convertisseur de HCNM oxyde tous les hydrocarbures non méthaniques en CO₂ et H₂O. Il peut être utilisé pour les gaz d'échappement bruts ou dilués, pour le prélèvement tant par lots qu'en continu.

9.4.7.2.2 Performances du système

Les performances du convertisseur de HCNM doivent être déterminées comme indiqué au paragraphe 8.1.10.3 et les résultats doivent être utilisés pour calculer les émissions de HCNM conformément aux annexes A.7 et A.8.

9.4.7.2.3 Configuration

Le convertisseur de HCNM doit être configuré avec une canalisation de dérivation pour la vérification décrite au paragraphe 8.1.10.3.

9.4.7.2.4 Optimisation

Un convertisseur HCNM peut être optimisé pour rendre maximale la pénétration du CH₄ et l'oxydation de tous les autres hydrocarbures. Un échantillon peut être humidifié et un autre peut être dilué avec de l'air purifié ou de l'oxygène (O₂) en amont du convertisseur HCNM afin d'optimiser ses performances. On doit tenir compte de toute humidification et dilution de l'échantillon dans les calculs relatifs aux émissions.

9.4.7.3 Chromatographie en phase gazeuse

Application: On peut utiliser une chromatographie en phase gazeuse pour mesurer les concentrations de CH₄ dans les gaz d'échappement dilués pour le prélèvement par lots. Bien que l'on puisse aussi utiliser un convertisseur de HCNM pour mesurer le CH₄, comme indiqué dans le paragraphe 9.4.7.2, on utilise une procédure de référence basée sur la chromatographie en phase gazeuse pour établir la comparaison avec toute autre procédure de mesure proposée conformément au paragraphe 5.1.3.

9.4.8 Mesure des NO_x

Deux instruments de mesure sont spécifiés pour la mesure des NO_x. On peut utiliser indifféremment l'un ou l'autre des deux à condition qu'il réponde aux critères spécifiés dans les paragraphes 9.4.8.1 ou 9.4.8.2, respectivement. Il convient d'utiliser un détecteur à chimiluminescence comme procédure de référence en cas de comparaison avec une autre procédure de mesure proposée au titre du paragraphe 5.1.3.

9.4.8.1 Détecteur à chimiluminescence**9.4.8.1.1 Application**

Un détecteur à chimiluminescence (CLD) couplé à un convertisseur NO₂/NO est utilisé pour mesurer la concentration de NO_x dans les gaz d'échappement bruts ou dilués pour le prélèvement par lots ou en continu.

9.4.8.1.2 Conditions applicables à l'équipement

Le système fondé sur le CLD doit satisfaire aux prescriptions du paragraphe 8.1.11.1 relatives à la vérification des facteurs d'extinction. On peut utiliser un CLD chauffé ou non chauffé ainsi qu'un CLD qui fonctionne à la pression atmosphérique ou sous vide.

9.4.8.1.3 Convertisseur NO₂/NO

Un convertisseur NO₂/NO interne ou externe conforme aux prescriptions du paragraphe 8.1.11.5 relatives à la vérification doit être placé en amont du CLD alors que le convertisseur doit être configuré avec une dérivation pour faciliter cette vérification.

9.4.8.1.4 Effets de l'humidité

Toutes les températures au niveau du CLD doivent être maintenues pour éviter la condensation aqueuse. Pour enlever l'humidité d'un échantillon en amont du CLD, on utilise l'une des configurations suivantes:

- a) Un CLD connecté en aval de tout sécheur ou refroidisseur situé en aval d'un convertisseur NO₂/NO et qui satisfait aux prescriptions du paragraphe 8.1.11.5 relatives à la vérification;
- b) Un CLD connecté en aval de tout sécheur ou refroidisseur thermique qui satisfait aux prescriptions du paragraphe 8.1.11.4 relatives à la vérification.

9.4.8.1.5 Temps de réponse

On peut utiliser un CLD chauffé pour améliorer le temps de réponse du CLD.

- 9.4.8.2 Analyseur non dispersif à absorption dans l'ultraviolet**
- 9.4.8.2.1 Application**
- Un analyseur non dispersif à absorption dans l'ultraviolet (NDUV) est utilisé pour mesurer la concentration de NO_x dans les gaz d'échappement bruts ou dilués pour le prélèvement par lots ou en continu.
- 9.4.8.2.2 Conditions applicables à l'équipement**
- Le système fondé sur l'analyseur NDUV doit satisfaire aux prescriptions du paragraphe 8.1.11.3 relatives aux vérifications.
- 9.4.8.2.3 Convertisseur NO₂/NO**
- Si l'analyseur NDUV mesure uniquement le NO, il convient de placer un convertisseur NO₂/NO interne ou externe satisfaisant aux prescriptions du paragraphe 8.1.11.5 relatives à la vérification en amont de l'analyseur NDUV. Le convertisseur doit être équipé d'une dérivation pour faciliter cette vérification.
- 9.4.8.2.4 Effets de l'humidité**
- Il faut maintenir la température du NDUV pour éviter la condensation aqueuse à moins de recourir à l'une des configurations suivantes:
- a) Un NDUV connecté en aval de tout sécheur ou refroidisseur situé en aval d'un convertisseur NO₂/NO satisfaisant aux prescriptions du paragraphe 8.1.11.5 relatives à la vérification;
 - b) Un NDUV connecté en aval de tout sécheur ou refroidisseur thermique qui satisfait aux prescriptions du paragraphe 8.1.11.4 relatives à la vérification.
- 9.4.9 Mesures de O₂**
- On utilise un analyseur à détection paramagnétique (PMD) ou à détection magnéto-pneumatique (MPD) pour mesurer la concentration de O₂ dans les gaz d'échappement bruts ou dilués pour le prélèvement en continu ou par lots.
- 9.4.10 Mesures du rapport air-carburant**
- Un analyseur à sonde au zirconium (ZrO₂) peut être utilisé pour mesurer le rapport air-carburant dans les gaz d'échappement bruts pour un prélèvement en continu. Les mesures de O₂ avec des mesures de l'air d'admission ou de débit de carburant peuvent être utilisées pour calculer le débit des gaz d'échappement conformément aux annexes A.7 et A.8.
- 9.4.11 Mesure des MP avec une balance gravimétrique**
- On utilise une balance pour déterminer le poids net des particules collectées sur les filtres de prélèvement.
- La résolution minimale de la balance doit être égale ou inférieure à la valeur de répétabilité de 0,5 µg recommandée dans le tableau 9.3. Si la balance comporte des poids d'étalonnage internes pour les réglages et les vérifications de linéarité de routine, ces poids doivent satisfaire aux prescriptions du paragraphe 9.5.2.
- La balance doit être configurée de telle manière que son temps de stabilisation et sa stabilité soient optimaux à l'endroit où elle est placée.

9.5 Normes applicables aux gaz d'analyse et aux masses

9.5.1 Gaz d'analyse

Les gaz d'analyse doivent satisfaire aux spécifications de la présente section relatives à la précision et à la pureté.

9.5.1.1 Prescriptions concernant les gaz

Les prescriptions suivantes s'appliquent aux gaz:

- a) Il convient d'utiliser des gaz purifiés pour la mise à zéro des instruments de mesure et pour le mélange avec les gaz d'étalonnage. On utilise des gaz dont la contamination n'est pas supérieure à la plus élevée des valeurs suivantes dans le cylindre à gaz ou à la sortie d'un générateur de gaz zéro:
 - i) Contamination de 2 %, mesurée par rapport à la concentration moyenne attendue pour la norme. Par exemple, si l'on prévoit une concentration de CO de 100,0 µmol/mol, il est permis d'utiliser un gaz zéro dont la contamination par le CO est inférieure ou égale à 2,000 µmol/mol;
 - ii) La contamination telle que spécifiée dans le tableau 9.4, applicable aux mesures des gaz bruts ou dilués;
 - iii) La contamination telle que définie dans le tableau 9.5, applicable aux mesures des gaz bruts;

Tableau 9.4

Limites de contamination applicables aux mesures des gaz bruts ou dilués (µmol/mol = ppm (3.2))

<i>Constituant</i>	<i>Air synthétique purifié^a</i>	<i>N₂ purifié^a</i>
HCT (équivalent C ₁)	≤0,05 µmol/mol	≤0,05 µmol/mol
CO	≤1 µmol/mol	≤1 µmol/mol
CO ₂	≤10 µmol/mol	≤10 µmol/mol
O ₂	0,205 à 0,215 mol/mol	≤2 µmol/mol
NO _x	≤0,02 µmol/mol	≤0,02 µmol/mol

^a Il n'est pas nécessaire que ces niveaux de pureté soient prescrits par des normes internationales ou nationales reconnues.

Tableau 9.5

Limites de contamination applicables aux mesures des gaz bruts (µmol/mol = ppm (3.2))

<i>Constituant</i>	<i>Air synthétique purifié^a</i>	<i>N₂ purifié^a</i>
HCT (équivalent C ₁)	≤1 µmol/mol	≤1 µmol/mol
CO	≤1 µmol/mol	≤1 µmol/mol
CO ₂	≤400 µmol/mol	≤400 µmol/mol
O ₂	0,18 à 0,21 mol/mol	-
NO _x	≤0,1 µmol/mol	≤0,1 µmol/mol

^a Il n'est pas nécessaire que ces niveaux de pureté soient prescrits par des normes internationales ou nationales reconnues.

- b) On doit utiliser les gaz suivants avec un analyseur FID:
- i) Le carburant du FID doit être utilisé avec une concentration de H_2 de (0,39 à 0,41) mol/mol, le complément étant constitué par l'hélium. Le mélange ne doit pas contenir plus de 0,05 $\mu\text{mol/mol}$ d'hydrocarbures totaux;
 - ii) Il convient d'utiliser, pour le brûleur du FID, de l'air qui réponde aux prescriptions relatives à l'air purifié énoncées sous a) ci-dessus;
 - iii) Gaz zéro du FID. Les détecteurs à ionisation de flamme doivent être mis à zéro avec un gaz purifié qui satisfait aux prescriptions du paragraphe a) ci-dessus, à cela près que la concentration en O_2 du gaz purifié peut prendre n'importe quelle valeur;
 - iv) Propane utilisé pour le calibrage du FID. L'analyseur FID des hydrocarbures totaux doit être étalonné et calibré avec des concentrations de réglage de propane, C_3H_8 . Il doit être étalonné sur la base d'un nombre carbone de un (C_1);
 - v) Méthane utilisé pour le calibrage du FID. Si un analyseur FID de CH_4 est toujours étalonné et calibré avec un convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques, il doit être calibré et étalonné avec des concentrations d'étalonnage de méthane, CH_4 . Il doit être étalonné sur la base d'un nombre carbone de un (C_1);
- c) On doit utiliser les mélanges de gaz suivants, gaz qui doivent être traçables à $\pm 1,0$ % autour de la valeur réelle selon des normes internationalement et/ou nationalement reconnues ou d'autres normes relatives aux gaz qui sont approuvées:
- i) CH_4 , le complément étant l'air synthétique purifié et/ou N_2 (selon les cas);
 - ii) C_2H_6 , le complément étant l'air synthétique purifié et/ou N_2 (selon les cas);
 - iii) C_3H_8 , le complément étant l'air synthétique purifié et/ou N_2 (selon les cas);
 - iv) CO , le complément étant N_2 purifié;
 - v) CO_2 , le complément étant N_2 purifié;
 - vi) NO , le complément étant N_2 purifié;
 - vii) NO_2 , le complément étant l'air synthétique purifié;
 - viii) O_2 , le complément étant N_2 purifié;
 - ix) C_3H_8 , CO , CO_2 , NO , le complément étant N_2 purifié;
 - x) C_3H_8 , CH_4 , CO , CO_2 , NO , le complément étant N_2 purifié;
- d) Des gaz pour des espèces autres que celles énumérées dans le point c) ci-dessus peuvent aussi être utilisés (tels que du méthanol dans l'air pour déterminer les facteurs de réponse), pour autant qu'ils soient traçables à $\pm 3,0$ % autour de la valeur réelle selon

des normes internationales et/ou nationales reconnues et qu'ils satisfassent aux prescriptions du paragraphe 9.5.1.2 relatives à la stabilité;

- e) On peut produire ses propres gaz d'étalonnage au moyen d'un dispositif de mélange de précision, un mélangeur-doseur de gaz par exemple, pour diluer les gaz avec de l'azote purifié ou de l'air synthétique purifié. Si les mélangeurs-doseurs de gaz satisfont aux spécifications du paragraphe 9.4.5.6 et que les gaz en cours de mélange satisfont aux prescriptions des points a) et c) ci-dessus, on considère que les mélanges qui en résultent sont conformes aux prescriptions du présent paragraphe 9.5.1.1.

9.5.1.2 Concentration et date d'expiration

On prend note de la concentration de tout gaz d'étalonnage normalisé et de sa date d'expiration indiquée par le fournisseur:

- a) Aucun gaz d'étalonnage standard ne peut être utilisé après sa date d'expiration, sauf dans les limites autorisées par le point b) ci-dessous;
- b) Les gaz d'étalonnage peuvent être réétiquetés et utilisés après leur date d'expiration sur approbation préalable de l'autorité d'homologation de type.

9.5.1.3 Transfert des gaz

Les gaz sont transférés de leur source aux analyseurs au moyen de dispositifs qui sont exclusivement destinés au contrôle et au transfert de ces gaz.

Les dates limites d'utilisation de tous les gaz d'étalonnage doivent être respectées. La date d'expiration déclarée par le fabricant doit être enregistrée.

9.5.2 Normes applicables aux poids

Il convient d'utiliser pour la balance des MP des poids d'étalonnage qui sont certifiés et internationalement et/ou nationalement reconnus et traçables avec une incertitude inférieure ou égale à 0,1 %. Les poids d'étalonnage peuvent être certifiés par un laboratoire spécialisé au plan international et/ou national. On s'assure que le poids d'étalonnage le plus faible ne dépasse pas 10 fois celui d'un support d'échantillon de MP inutilisé. Le rapport d'étalonnage doit également préciser la densité des poids.

Annexe 4B

Appendice A.1 (réservé)

Annexe 4B

Appendice A.2

Statistiques

A.2.1 Moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique, \bar{y} , doit être calculée de la manière suivante:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \quad (\text{A.2-1})$$

A.2.2 Écart type

L'écart type pour un échantillon non biaisé (c'est-à-dire N-1), σ , doit être calculé de la manière suivante:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{(N-1)}} \quad (\text{A.2-2})$$

A.2.3 Valeur quadratique moyenne

La valeur quadratique moyenne, rms_y , doit être calculée de la manière suivante:

$$\text{rms}_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2} \quad (\text{A.2-3})$$

A.2.4 Essai t

Il convient de déterminer si les données satisfont à un essai t en utilisant les équations et tableaux suivants:

- a) Pour un essai t non apparié, la donnée statistique t et son nombre de degrés de liberté, v, sont calculés de la manière suivante:

$$t = \frac{|\bar{y}_{\text{ref}} - \bar{y}|}{\sqrt{\frac{\sigma_{\text{ref}}^2}{N_{\text{ref}}} + \frac{\sigma_y^2}{N}}} \quad (\text{A.2-4})$$

$$v = \frac{\left(\frac{\sigma_{\text{ref}}^2}{N_{\text{ref}}} + \frac{\sigma_y^2}{N} \right)^2}{\frac{(\sigma_{\text{ref}}^2 / N_{\text{ref}})^2}{N_{\text{ref}} - 1} + \frac{(\sigma_y^2 / N)^2}{N - 1}} \quad (\text{A.2-5})$$

- b) Pour un essai t apparié, la donnée statistique t et son nombre de degrés de liberté, v , sont calculés de la manière suivante, étant entendu que ε_i sont les erreurs (autrement dit les différences) entre chaque paire de $y_{\text{ref}i}$ et y_i :

$$t = \frac{|\bar{\varepsilon}| \cdot \sqrt{N}}{\sigma_{\varepsilon}} \quad v = N - 1 \quad (\text{A.2-6})$$

- c) On utilise le tableau A.2.1 du présent paragraphe pour comparer t aux valeurs de t_{crit} du tableau par rapport au nombre de degrés de liberté. Si les valeurs sont inférieures à t_{crit} , t satisfait à l'essai t.

Tableau A.2.1

Valeurs t critiques et nombre de degrés de liberté, v

v	Confiance	
	90 %	95 %
1	6,314	12,706
2	2,920	4,303
3	2,353	3,182
4	2,132	2,776
5	2,015	2,571
6	1,943	2,447
7	1,895	2,365
8	1,860	2,306
9	1,833	2,262
10	1,812	2,228
11	1,796	2,201
12	1,782	2,179
13	1,771	2,160
14	1,761	2,145
15	1,753	2,131
16	1,746	2,120
18	1,734	2,101
20	1,725	2,086
22	1,717	2,074
24	1,711	2,064
26	1,706	2,056
28	1,701	2,048
30	1,697	2,042
35	1,690	2,030

v	Confiance	
	90 %	95 %
40	1,684	2,021
50	1,676	2,009
70	1,667	1,994
100	1,660	1,984
1000+	1,645	1,960

On utilise une interpolation linéaire pour déterminer des valeurs qui ne sont pas représentées dans ce tableau.

A.2.5 Essai F

La donnée statistique F doit être calculée de la manière suivante:

$$F_y = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{\text{ref}}^2} \quad (\text{A.2-7})$$

- Pour un essai F à 90 % de confiance on utilise le tableau 2 du présent paragraphe pour comparer F aux valeurs de $F_{\text{crit}90}$ tirées du tableau par rapport à (N-1) et ($N_{\text{ref}}-1$). Si F est inférieur à $F_{\text{crit}90}$, F satisfait à l'essai F à 90 % de confiance;
- Pour un essai F à 95 % de confiance on utilise le tableau 3 du présent paragraphe pour comparer F aux valeurs de $F_{\text{crit}95}$ tirées du tableau par rapport à (N-1) et ($N_{\text{ref}}-1$). Si F est inférieur à $F_{\text{crit}95}$, F satisfait à l'essai F à 95 % de confiance.

Tableau A.2.2

Valeurs critiques de F , $F_{\text{crit}90}$, par rapport à $N-1$ et $N_{\text{ref}}-1$ à 90 % de confiance

N-1 $N_{\text{ref}}-1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	1000+
1	39,86	49,50	53,59	55,83	57,24	58,20	58,90	59,43	59,85	60,19	60,70	61,22	61,74	62,00	62,26	62,52	62,79	63,06	63,32
2	8,526	9,000	9,162	9,243	9,293	9,326	9,349	9,367	9,381	9,392	9,408	9,425	9,441	9,450	9,458	9,466	9,475	9,483	9,491
3	5,538	5,462	5,391	5,343	5,309	5,285	5,266	5,252	5,240	5,230	5,216	5,200	5,184	5,176	5,168	5,160	5,151	5,143	5,134
4	4,545	4,325	4,191	4,107	4,051	4,010	3,979	3,955	3,936	3,920	3,896	3,870	3,844	3,831	3,817	3,804	3,790	3,775	3,761
5	4,060	3,780	3,619	3,520	3,453	3,405	3,368	3,339	3,316	3,297	3,268	3,238	3,207	3,191	3,174	3,157	3,140	3,123	3,105
6	3,776	3,463	3,289	3,181	3,108	3,055	3,014	2,983	2,958	2,937	2,905	2,871	2,836	2,818	2,800	2,781	2,762	2,742	2,722
7	3,589	3,257	3,074	2,961	2,883	2,827	2,785	2,752	2,725	2,703	2,668	2,632	2,595	2,575	2,555	2,535	2,514	2,493	2,471
8	3,458	3,113	2,924	2,806	2,726	2,668	2,624	2,589	2,561	2,538	2,502	2,464	2,425	2,404	2,383	2,361	2,339	2,316	2,293
9	3,360	3,006	2,813	2,693	2,611	2,551	2,505	2,469	2,440	2,416	2,379	2,340	2,298	2,277	2,255	2,232	2,208	2,184	2,159
10	3,285	2,924	2,728	2,605	2,522	2,461	2,414	2,377	2,347	2,323	2,284	2,244	2,201	2,178	2,155	2,132	2,107	2,082	2,055
11	3,225	2,860	2,660	2,536	2,451	2,389	2,342	2,304	2,274	2,248	2,209	2,167	2,123	2,100	2,076	2,052	2,026	2,000	1,972
12	3,177	2,807	2,606	2,480	2,394	2,331	2,283	2,245	2,214	2,188	2,147	2,105	2,060	2,036	2,011	1,986	1,960	1,932	1,904
13	3,136	2,763	2,560	2,434	2,347	2,283	2,234	2,195	2,164	2,138	2,097	2,053	2,007	1,983	1,958	1,931	1,904	1,876	1,846
14	3,102	2,726	2,522	2,395	2,307	2,243	2,193	2,154	2,122	2,095	2,054	2,010	1,962	1,938	1,912	1,885	1,857	1,828	1,797
15	3,073	2,695	2,490	2,361	2,273	2,208	2,158	2,119	2,086	2,059	2,017	1,972	1,924	1,899	1,873	1,845	1,817	1,787	1,755
16	3,048	2,668	2,462	2,333	2,244	2,178	2,128	2,088	2,055	2,028	1,985	1,940	1,891	1,866	1,839	1,811	1,782	1,751	1,718
17	3,026	2,645	2,437	2,308	2,218	2,152	2,102	2,061	2,028	2,001	1,958	1,912	1,862	1,836	1,809	1,781	1,751	1,719	1,686
18	3,007	2,624	2,416	2,286	2,196	2,130	2,079	2,038	2,005	1,977	1,933	1,887	1,837	1,810	1,783	1,754	1,723	1,691	1,657
19	2,990	2,606	2,397	2,266	2,176	2,109	2,058	2,017	1,984	1,956	1,912	1,865	1,814	1,787	1,759	1,730	1,699	1,666	1,631
20	2,975	2,589	2,380	2,249	2,158	2,091	2,040	1,999	1,965	1,937	1,892	1,845	1,794	1,767	1,738	1,708	1,677	1,643	1,607
21	2,961	2,575	2,365	2,233	2,142	2,075	2,023	1,982	1,948	1,920	1,875	1,827	1,776	1,748	1,719	1,689	1,657	1,623	1,586
20	2,949	2,561	2,351	2,219	2,128	2,061	2,008	1,967	1,933	1,904	1,859	1,811	1,759	1,731	1,702	1,671	1,639	1,604	1,567
23	2,937	2,549	2,339	2,207	2,115	2,047	1,995	1,953	1,919	1,890	1,845	1,796	1,744	1,716	1,686	1,655	1,622	1,587	1,549
24	2,927	2,538	2,327	2,195	2,103	2,035	1,983	1,941	1,906	1,877	1,832	1,783	1,730	1,702	1,672	1,641	1,607	1,571	1,533
25	2,918	2,528	2,317	2,184	2,092	2,024	1,971	1,929	1,895	1,866	1,820	1,771	1,718	1,689	1,659	1,627	1,593	1,557	1,518
26	2,909	2,519	2,307	2,174	2,082	2,014	1,961	1,919	1,884	1,855	1,809	1,760	1,706	1,677	1,647	1,615	1,581	1,544	1,504
27	2,901	2,511	2,299	2,165	2,073	2,005	1,952	1,909	1,874	1,845	1,799	1,749	1,695	1,666	1,636	1,603	1,569	1,531	1,491
28	2,894	2,503	2,291	2,157	2,064	1,996	1,943	1,900	1,865	1,836	1,790	1,740	1,685	1,656	1,625	1,593	1,558	1,520	1,478
29	2,887	2,495	2,283	2,149	2,057	1,988	1,935	1,892	1,857	1,827	1,781	1,731	1,676	1,647	1,616	1,583	1,547	1,509	1,467
30	2,881	2,489	2,276	2,142	2,049	1,980	1,927	1,884	1,849	1,819	1,773	1,722	1,667	1,638	1,606	1,573	1,538	1,499	1,456
40	2,835	2,440	2,226	2,091	1,997	1,927	1,873	1,829	1,793	1,763	1,715	1,662	1,605	1,574	1,541	1,506	1,467	1,425	1,377
60	2,791	2,393	2,177	2,041	1,946	1,875	1,819	1,775	1,738	1,707	1,657	1,603	1,543	1,511	1,476	1,437	1,395	1,348	1,291
120	2,748	2,347	2,130	1,992	1,896	1,824	1,767	1,722	1,684	1,652	1,601	1,545	1,482	1,447	1,409	1,368	1,320	1,265	1,193
1000+	2,706	2,303	2,084	1,945	1,847	1,774	1,717	1,670	1,632	1,599	1,546	1,487	1,421	1,383	1,342	1,295	1,240	1,169	1,000

Tableau A.2.3

Valeurs critiques de F, $F_{\text{crit}95}$, par rapport à N-1 et $N_{\text{ref}}-1$ à 95 % de confiance

N-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	1000+
$N_{\text{ref}}-1$																			
1	161,4	199,5	215,7	224,5	230,1	233,9	236,7	238,8	240,5	241,8	243,9	245,9	248,0	249,0	250,1	251,1	252,2	253,2	254,3
2	18,51	19,00	19,16	19,24	19,29	19,33	19,35	19,37	19,38	19,39	19,41	19,42	19,44	19,45	19,46	19,47	19,47	19,48	19,49
3	10,12	9,552	9,277	9,117	9,014	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,745	8,703	8,660	8,639	8,617	8,594	8,572	8,549	8,526
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,912	5,858	5,803	5,774	5,746	5,717	5,688	5,658	5,628
5	6,608	5,786	5,410	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,773	4,735	4,678	4,619	4,558	4,527	4,496	4,464	4,431	4,399	4,365
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,000	3,938	3,874	3,842	3,808	3,774	3,740	3,705	3,669
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,575	3,511	3,445	3,411	3,376	3,340	3,304	3,267	3,230
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,688	3,581	3,501	3,438	3,388	3,347	3,284	3,218	3,150	3,115	3,079	3,043	3,005	2,967	2,928
9	5,117	4,257	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,073	3,006	2,937	2,901	2,864	2,826	2,787	2,748	2,707
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,136	3,072	3,020	2,978	2,913	2,845	2,774	2,737	2,700	2,661	2,621	2,580	2,538
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,788	2,719	2,646	2,609	2,571	2,531	2,490	2,448	2,405
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,687	2,617	2,544	2,506	2,466	2,426	2,384	2,341	2,296
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,604	2,533	2,459	2,420	2,380	2,339	2,297	2,252	2,206
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,534	2,463	2,388	2,349	2,308	2,266	2,223	2,178	2,131
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,791	2,707	2,641	2,588	2,544	2,475	2,403	2,328	2,288	2,247	2,204	2,160	2,114	2,066
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,425	2,352	2,276	2,235	2,194	2,151	2,106	2,059	2,010
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,381	2,308	2,230	2,190	2,148	2,104	2,058	2,011	1,960
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,342	2,269	2,191	2,150	2,107	2,063	2,017	1,968	1,917
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,308	2,234	2,156	2,114	2,071	2,026	1,980	1,930	1,878
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,278	2,203	2,124	2,083	2,039	1,994	1,946	1,896	1,843
21	4,325	3,467	3,073	2,840	2,685	2,573	2,488	2,421	2,366	2,321	2,250	2,176	2,096	2,054	2,010	1,965	1,917	1,866	1,812
22	4,301	3,443	3,049	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,226	2,151	2,071	2,028	1,984	1,938	1,889	1,838	1,783
23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,204	2,128	2,048	2,005	1,961	1,914	1,865	1,813	1,757
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,621	2,508	2,423	2,355	2,300	2,255	2,183	2,108	2,027	1,984	1,939	1,892	1,842	1,790	1,733
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,237	2,165	2,089	2,008	1,964	1,919	1,872	1,822	1,768	1,711
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,266	2,220	2,148	2,072	1,990	1,946	1,901	1,853	1,803	1,749	1,691
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,132	2,056	1,974	1,930	1,884	1,836	1,785	1,731	1,672
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,118	2,041	1,959	1,915	1,869	1,820	1,769	1,714	1,654
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,105	2,028	1,945	1,901	1,854	1,806	1,754	1,698	1,638
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211	2,165	2,092	2,015	1,932	1,887	1,841	1,792	1,740	1,684	1,622
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,450	2,336	2,249	2,180	2,124	2,077	2,004	1,925	1,839	1,793	1,744	1,693	1,637	1,577	1,509
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,167	2,097	2,040	1,993	1,917	1,836	1,748	1,700	1,649	1,594	1,534	1,467	1,389
120	3,920	3,072	2,680	2,447	2,290	2,175	2,087	2,016	1,959	1,911	1,834	1,751	1,659	1,608	1,554	1,495	1,429	1,352	1,254
1000+	3,842	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,010	1,938	1,880	1,831	1,752	1,666	1,571	1,517	1,459	1,394	1,318	1,221	1,000

A.2.6 Pente

La pente de la droite de régression des moindres carrés, a_{1y} , doit être calculée de la manière suivante:

$$a_{1y} = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}) \cdot (y_{\text{ref}} - \bar{y}_{\text{ref}})}{\sum_{i=1}^N (y_{\text{ref}} - \bar{y}_{\text{ref}})^2} \quad (\text{A.2-8})$$

A.2.7 Ordonnée à l'origine

L'ordonnée à l'origine de la droite de régression des moindres carrés, a_{0y} , doit être calculée de la manière suivante:

$$a_{0y} = \bar{y} - (a_{1y} \cdot \bar{y}_{\text{ref}}) \quad (\text{A.2-9})$$

A.2.8 Erreur type de l'estimation

L'erreur type de l'estimation SEE, est calculée de la manière suivante:

$$SEE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [y_i - a_{0y} - (a_{1y} \cdot y_{refi})]^2}{N - 2}} \quad (\text{A.2-10})$$

A.2.9 Coefficient de détermination

Le coefficient de détermination, r^2 , doit être calculé de la manière suivante:

$$r_y^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [y_i - a_{0y} - (a_{1y} \cdot y_{refi})]^2}{\sum_{i=1}^N [y_i - \bar{y}]^2} \quad (\text{A.2-11})$$

Annexe 4B

Appendice A.3

Formule gravimétrique internationale 1980

L'accélération de la gravité terrestre, a_g , varie selon l'emplacement. On calcule a_g pour une latitude donnée de la manière suivante:

$$a_g = 9,7803267715 \left[1 + 5,2790414 \times 10^{-3} \sin^2 \theta + 2,32718 \times 10^{-5} \sin^4 \theta + 1,262 \times 10^{-7} \sin^6 \theta + 7 \times 10^{-10} \sin^8 \theta \right] \quad (\text{A.3-1})$$

où:

θ représente la latitude nord ou sud exprimée en degrés.

Annexe 4B

Appendice A.4

Vérification du flux de carbone

A.4.1 Introduction

Pratiquement tout le carbone qui se trouve dans les gaz d'échappement provient du carburant et est présent dans les gaz d'échappement sous la forme de CO_2 . C'est la raison pour laquelle la vérification du système est fondée sur les mesures du CO_2 .

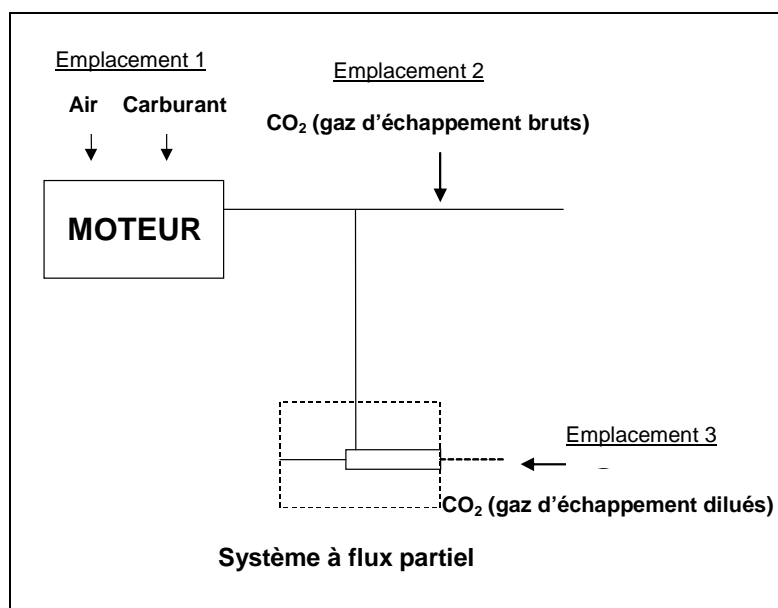
Le flux de carbone dans les systèmes de mesure des gaz d'échappement est déterminé à partir du débit de carburant. Le flux de carbone aux divers points du système de prélèvement des gaz et des particules est déterminé à partir des concentrations de CO_2 et des débits de gaz en ces points.

Le moteur est bien connu comme une source de flux de carbone, et le fait d'observer le même débit de carbone dans le tuyau d'échappement et à la sortie du système de prélèvement des particules en flux partiel permet de vérifier l'étanchéité et la précision de la mesure du débit. L'avantage de cette vérification est que les composants fonctionnent dans des conditions réelles de température et de débit.

La figure A.4.1 représente les points de prélèvement où les débits de carbone sont contrôlés. Les équations spécifiques pour les débits de carbone à chaque point de prélèvement sont données dans les paragraphes qui suivent.

Figure A.4.1

Points de mesure pour la vérification du flux de carbone



A.4.2 Flux de carbone entrant dans le moteur (emplacement 1)

Le débit-masse de carbone entrant dans le moteur q_{mCf} [kg/s] pour un carburant CH_aO_e est donné par la formule:

$$q_{mCf} = \frac{12,011}{12,011 + a + 15,9994 \cdot e} \cdot q_{mf} \quad (A.4-1)$$

où:

$$q_{mf} = \text{débit-masse du carburant [kg/s]}$$

A.4.3 Débit de carbone dans les gaz d'échappement bruts (emplacement 2)

Le débit-masse de carbone dans le tuyau d'échappement du moteur q_{mCe} [kg/s] doit être déterminé à partir de la concentration de CO_2 brut et du débit-masse des gaz d'échappement au moyen de la formule suivante:

$$q_{mCe} = \left(\frac{c_{CO_2,r} - c_{CO_2,a}}{100} \right) \cdot q_{mew} \cdot \frac{12,011}{M_e} \quad (A.4-2)$$

où:

$$c_{CO_2,r} = \text{concentration de } CO_2 \text{ en conditions humides dans les gaz d'échappement bruts [\%]}$$

$$c_{CO_2,a} = \text{concentration de } CO_2 \text{ en conditions humides dans l'air ambiant [\%]}$$

$$q_{mew} = \text{débit-masse de gaz d'échappement en conditions humides [kg/s]}$$

$$M_e = \text{masse molaire des gaz d'échappement [g/mol]}.$$

Si le CO_2 est mesuré en conditions sèches on le convertit en conditions humides conformément au paragraphe A.7.3.2 ou A.8.2.2.

A.4.4 Débit de carbone dans le système de dilution (emplacement 3)

Pour le système de dilution du flux partiel il faut aussi tenir compte du taux de fractionnement. Le débit de carbone dans un système de dilution équivalent q_{mCp} [kg/s] (par équivalent, on entend un système équivalent à un système fonctionnant à plein débit où le flux total est dilué) doit être déterminé à partir de la concentration de CO_2 dilué, du débit-masse des gaz d'échappement et du débit d'échantillon; la nouvelle équation est presque identique à l'équation A.4-2, étant seulement complétée par le facteur de dilution q_{mdew} / q_{mp} .

$$q_{mCp} = \left(\frac{c_{CO_2,d} - c_{CO_2,a}}{100} \right) \cdot q_{mew} \cdot \frac{12,011}{M_e} \cdot \frac{q_{mdew}}{q_{mp}} \quad (A.4-3)$$

où:

$$c_{CO_2,d} = \text{concentration de } CO_2 \text{ en conditions humides dans les gaz d'échappement dilués à la sortie du tunnel de dilution [\%]}$$

$$c_{CO_2,a} = \text{concentration de } CO_2 \text{ en conditions humides dans l'air ambiant [\%]}$$

q_{mdew} = débit d'un échantillon dilué dans le système de dilution du flux partiel [kg/s]

q_{mew} = débit-masse de gaz d'échappement en conditions humides [kg/s]

q_{mp} = débit d'échantillon de gaz d'échappement dans le système de dilution du flux partiel [kg/s]

M_e = masse molaire de gaz d'échappement [g/mol].

Si le CO_2 est mesuré en conditions sèches on le convertit en conditions humides conformément au paragraphe A.7.3.2 ou A.8.2.2.

A.4.5 Calcul de la masse molaire des gaz d'échappement

La masse molaire des gaz d'échappement doit être calculée selon l'équation A.8-15 (voir le paragraphe A.8.2.4.2).

Au besoin, on peut appliquer la masse molaire suivante des gaz d'échappement:

M_e (gazole) = 28,9 g/mol.

Annexe 4B

Appendice A.5 (réservé)

Annexe 4B

Appendice A.6 (réservé)

Annexe 4B

Appendice A.7

Calcul des émissions fondé sur la molarité

A.7.0 Conversion des symboles

A.7.0.1 Symboles généraux

<i>Appendice A.7¹</i>	<i>Appendice A.8</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantité</i>
A		m²	Superficie
A_t		m²	Superficie de la section transversale du col de venturi
a₀	b, D₀	a.d.⁷	Ordonnée à l'origine de la droite de régression, ordonnée à l'origine pour l'étalonnage PDP
a₁	m	a.d.⁷	Pente de la droite de régression
β	r_D	m/m	Rapport des diamètres
C		-	Coefficient
C_d	C_d	-	Coefficient de décharge
C_f		-	Coefficient de débit
d	d	m	Diamètre
DR	r_d	-	Taux de dilution²
e	e	g/kWh	Base spécifique du banc
e_{gas}	e_{gas}	g/kWh	Émissions spécifiques de gaz
e_{PM}	e_{PM}	g/kWh	Émissions spécifiques de particules
f		Hz	Fréquence
f_n	n	min⁻¹, s⁻¹	Fréquence de rotation (arbre de transmission)
γ		-	Rapport des chaleurs spécifiques
K			Facteur de correction
K_s	X₀	s/tr	Facteur de correction pour le glissement de la PDP
k_{Dr}	k_{Dr}	-	Facteur d'ajustement vers le bas
	k_h		Facteur de correction d'humidité pour NO_x
k_r	k_r	-	Facteur de régénération multiplicatif
k_{Ur}	k_{Ur}	-	Facteur d'ajustement vers le haut
μ	μ	kg/(m·s)	Viscosité dynamique
M	M	g/mol	Masse molaire³
M_{gas}⁴	M_{gas}	g/mol	Masse molaire des composants gazeux

<i>Appendice A.7¹</i>	<i>Appendice A.8</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantité</i>
m	m	kg	Masse
\dot{m}	q_m	kg/s	Débit-masse
ν		m^2/s	Viscosité cinématique
N			Nombre total en série
n		mol	Quantité de substance
\dot{n}		mol/s	Taux de quantité de substance
P	P	kW	Puissance
p	p	kPa	Pression
p_{abs}	p_p	kPa	Pression absolue
p_{H_2O}	p_r	kPa	Pression de vapeur d'eau
PF	1 – E	%	Fraction de pénétration (E = rendement de conversion)
\dot{V}	q_v	m^3/s	Débit volumique
ρ	ρ	kg/m^3	Masse volumique
r		-	Rapport de pressions
Ra		μm	Rugosité moyenne de surface
Re[#]	Re	-	Nombre de Reynolds
RH %	RH	%	Humidité relative
σ	σ	-	Écart type
S		K	Constante de Sutherland
T	T_a	K	Température absolue
T	T	°C	Température
T		N·m	Couple moteur
t	t	s	Temps
Δt	Δt	s	Intervalle temporel
V	V	m^3	Volume
\dot{V}	q_v	m^3/s	Débit volumique
W	W	kWh	Travail
W_{act}	W_{act}	kWh	Travail réel au cours du cycle d'essai
WF	WF	-	Facteur de pondération
w	w	g/g	Fraction de masse
X^5	c	mol/mol, % vol	Quantité de fraction molaire de substance⁶/concentration (également en $\mu mol/mol$ = ppm)
\bar{x}		mol/mol	Concentration moyenne pondérée par le débit

Appendice A.7 ¹	Appendice A.8	Unité	Quantité
y		-	Variable générique
\bar{y}		-	Moyenne arithmétique
Z		-	Facteur de compressibilité

¹ Voir les indices; par exemple: \dot{m}_{air} pour le débit-masse d'air sec ou \dot{m}_{fuel} pour le débit-masse de carburant.

² Taux de dilution r_d dans l'appendice A.8 et DR dans l'appendice A.7: symboles différents mais même sens et mêmes équations. Facteur de dilution D dans l'appendice A.8 et $x_{\text{dil/exh}}$ dans l'appendice A.7: symboles différents mais même sens physique; l'équation A.7-47 représente la relation entre $x_{\text{dil/exh}}$ et DR.

³ Voir le paragraphe A.7.1.1 de la présente section en ce qui concerne les valeurs à utiliser pour les masses molaires. Dans les cas des NO_x et HC, le Règlement impose l'utilisation des masses molaires effectives fondées sur une spéciation effectuée en fonction d'hypothèses plutôt que sur une spéciation effectuée en fonction de la réalité.

⁴ Voir les symboles et abréviations des constituants chimiques.

⁵ Voir les symboles spécifiques dans le tableau du bilan chimique.

⁶ Les fractions molaires pour les HCT et les HCNM sont exprimées en équivalent-carbone 1 (C1).

⁷ a.d. = à définir.

A.7.0.2 Indices

Appendice A.7	Appendice A.8 ¹	Quantité
abs		Quantité absolue
act	act	Quantité réelle
air		Air sec
atmos		Atmosphérique
bkgnd		Ambiant
C		Carbone
cal		Quantité d'étalonnage
CFV		Venturi-tuyère en régime critique
cor		Quantité corrigée
dil		Air de dilution
dexh		Gaz d'échappement dilués
dry		Quantité en conditions sèches
exh		Gaz d'échappement bruts
exp		Quantité escomptée
eq		Quantité équivalente
fuel		Carburant
	i	Mesure instantanée (par exemple: 1 Hz)
i		Un d'une série
idle		État au ralenti
in		Quantité dans

<i>Appendice A.7</i>	<i>Appendice A.8¹</i>	<i>Quantité</i>
init		Quantité initiale, généralement avant un essai d'émissions
max		Valeur maximale (c'est-à-dire de crête)
meas		Quantité mesurée
min		Valeur minimale
mix		Masse molaire de l'air
out		Quantité sortie
part		Quantité partielle
PDP		Pompe volumétrique
raw		Gaz d'échappement bruts
ref		Quantité de référence
rev		Tour
sat		État saturé
slip		Glissement de la PDP
smpl		Prélèvement
span		Quantité de calibrage
SSV		Venturi subsonique
std		Quantité standard
test		Quantité d'essai
total		Quantité totale
uncor		Quantité non corrigée
vac		Degré de vide
weight		Poids d'étalonnage
wet		Quantité en conditions humides
zero		Quantité zéro

¹ Dans l'appendice A.8, le sens de l'indice est déterminé par la quantité associée. Par exemple, l'indice «d» peut signifier «en conditions sèches» dans c_d (c_d = concentration en conditions sèches); «air de dilution» dans p_d (p_d = pression de vapeur de saturation de l'air de dilution); «sec» dans $k_{w,d}$ ($k_{w,d}$ = facteur de correction sec à humide pour l'air de dilution); «dilution» dans r_d (r_d = taux de dilution). C'est la raison pour laquelle la colonne de l'appendice A.8 est pratiquement vide.

A.7.0.3 Symboles et abréviations des composants chimiques (aussi utilisés comme indices)

<i>Appendice A.7</i>	<i>Appendice A.8</i>	<i>Quantité</i>
Ar	Ar	Argon
C1	C1	Hydrocarbures exprimés en équivalent carbone 1
CH ₄	CH ₄	Méthane

<i>Appendice A.7</i>	<i>Appendice A.8</i>	<i>Quantité</i>
C_2H_6	C_2H_6	Éthane
C_3H_8	C_3H_8	Propane
CO	CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	CO ₂	Dioxyde de carbone
DOP	DOP	Di-octylphthalate
H		Hydrogène atomique
H ₂		Hydrogène moléculaire
HC	HC	Hydrocarbures
HCNM	HCNM	Hydrocarbures non méthaniques
He		Hélium
H ₂ O	H ₂ O	Eau
MP	MP	Particules
N		Azote atomique
N ₂		Azote moléculaire
NO _x	NO _x	Oxydes d'azote
NO	NO	Oxyde nitrique
NO ₂	NO ₂	Dioxyde d'azote
O		Oxygène atomique
S		Soufre

A.7.0.4 Symboles et abréviations relatifs à la composition du carburant

<i>Appendice A.7¹</i>	<i>Appendice A.8²</i>	<i>Quantité</i>
w_C^4	w_C^4	Teneur en carbone du carburant, fraction en masse [g/g] ou [pourcentage de masse]
w_H	w_H	Teneur en hydrogène du carburant, fraction en masse [g/g] ou [pourcentage de masse]
w_N	w_N	Teneur en azote du carburant, fraction en masse [g/g] ou [pourcentage de masse]
w_O	w_O	Teneur en oxygène du carburant, fraction en masse [g/g] ou [pourcentage de masse]
w_S	w_S	Teneur en soufre du carburant, fraction en masse [g/g] ou [pourcentage de masse]
α	α	Rapport hydrogène atomique/carbone (H/C)
β	ε	Rapport oxygène atomique/carbone (O/C) ³

Appendice A.7 ¹	Appendice A.8 ²	Quantité
γ	γ	Rapport soufre atomique/carbone (S/C)
δ	δ	Rapport azote atomique/carbone (N/C)

¹ Fait référence à un carburant ayant comme formule chimique $\text{CH}_a\text{O}_\beta\text{S}_\gamma\text{N}_\delta$.

² Fait référence à un carburant ayant comme formule chimique $\text{CH}_a\text{O}_\varepsilon\text{N}_\delta\text{S}_\gamma$.

³ Il convient de prêter attention aux divers sens du symbole β dans les deux appendices relatifs au calcul des émissions: dans l'appendice A.8, il désigne un carburant ayant comme formule chimique $\text{CH}_a\text{S}_\gamma\text{N}_\delta\text{O}_\varepsilon$ (c'est-à-dire la formule $\text{C}_\beta\text{H}_a\text{S}_\gamma\text{N}_\delta\text{O}_\varepsilon$ où $\beta = 1$, en partant de l'hypothèse d'un atome de carbone par molécule), alors que, dans l'appendice A.7, il désigne le rapport oxygène/carbone avec la formule $\text{CH}_a\text{O}_\beta\text{S}_\gamma\text{N}_\delta$. Dans ce cas, β de l'appendice A.7 correspond à ε de l'appendice A.8.

⁴ La fraction en masse w est accompagnée du symbole de l'élément chimique sous forme d'indice.

A.7.0.5 Symboles pour le bilan chimique utilisés dans l'appendice A.7

$x_{\text{dil/exh}}$	=	Quantité de gaz de dilution ou excès d'air par mole de gaz d'échappement
$x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$	=	Quantité d'eau par mole de gaz d'échappement
x_{Ccombdry}	=	Quantité de carbone en provenance du carburant présent dans chaque mole de gaz d'échappement secs
$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$	=	Quantité d'eau dans le gaz d'échappement par mole sèche de gaz d'échappement secs
$x_{\text{prod/intdry}}$	=	Quantité de produits stœchiométriques par mole d'air d'admission sec
$x_{\text{dil/exhdry}}$	=	Quantité de gaz de dilution et/ou excès d'air par mole de gaz d'échappement secs
$x_{\text{int/exhdry}}$	=	Quantité d'air d'admission nécessaire pour produire les produits de combustion proprement dits par mole de gaz d'échappement secs (bruts ou dilués)
$x_{\text{raw/exhdry}}$	=	Quantité de gaz d'échappement non dilué, sans excès d'air, par mole de gaz d'échappement secs (bruts ou dilués)
$x_{\text{O}_2\text{intdry}}$	=	Quantité d'air d'admission O_2 par mole d'air d'admission sec
$x_{\text{CO}_2\text{intdry}}$	=	Quantité de CO_2 dans l'air d'admission par mole d'air d'admission sec
$x_{\text{H}_2\text{Ointdry}}$	=	Quantité de H_2O dans l'air d'admission par mole d'air d'admission sec
$x_{\text{CO}_2\text{int}}$	=	Quantité de CO_2 dans l'air d'admission par mole d'air d'admission
$x_{\text{CO}_2\text{dil}}$	=	Quantité de gaz de dilution CO_2 par mole de gaz de dilution
$x_{\text{CO}_2\text{dildry}}$	=	Quantité de gaz de dilution CO_2 par mole de gaz de dilution sec

$x_{H_2O\text{dildry}}$	=	Quantité de gaz de dilution H_2O par mole de gaz de dilution sec
$x_{H_2O\text{dil}}$	=	Quantité de gaz de dilution H_2O par mole de gaz de dilution
$x_{[\text{emission}]\text{meas}}$	=	Quantité d'émissions mesurées dans l'échantillon par les analyseurs de gaz respectifs
$x_{[\text{emission}]\text{dry}}$	=	Quantité d'émissions par mole sèche d'échantillon sec
$x_{H_2O[\text{emission}]\text{meas}}$	=	Quantité d'eau dans l'échantillon à l'emplacement de détection des émissions
$x_{H_2O\text{int}}$	=	Quantité d'eau dans l'air d'admission fondée sur la mesure de l'humidité de cet air d'admission.

A.7.1 Paramètres et relations élémentaires

A.7.1.1 Air sec et espèces chimiques

Dans la présente annexe, les valeurs suivantes sont retenues pour la composition de l'air sec:

$$x_{O_2\text{airdry}} = 0,209445 \text{ mol/mol}$$

$$x_{CO_2\text{airdry}} = 0,000375 \text{ mol/mol}$$

Dans la présente annexe, les masses molaires ou les masses molaires effectives des espèces chimiques sont les suivantes:

M_{air}	=	28,96559 g/mol (air sec)
M_{Ar}	=	39,948 g/mol (argon)
M_{C}	=	12,0107 g/mol (carbone)
M_{CO}	=	28,0101 g/mol (monoxyde de carbone)
M_{CO_2}	=	44,0095 g/mol (dioxyde de carbone)
M_{H}	=	1,00794 g/mol (hydrogène atomique)
M_{H_2}	=	2,01588 g/mol (hydrogène moléculaire)
$M_{\text{H}_2\text{O}}$	=	18,01528 g/mol (eau)
M_{He}	=	4,002602 g/mol (hélium)
M_{N}	=	14,0067 g/mol (azote atomique)
M_{N_2}	=	28,0134 g/mol (azote moléculaire)
M_{NMHC}	=	13,875389 g/mol (hydrocarbures non méthaniques ^(a))
M_{NO_x}	=	46,0055 g/mol (oxydes d'azote ^(b))
M_{O}	=	15,9994 g/mol (oxygène atomique)
M_{O_2}	=	31,9988 g/mol (oxygène moléculaire)
$M_{\text{C}_3\text{H}_8}$	=	44,09562 g/mol (propane)
M_{S}	=	32,065 g/mol (soufre)
M_{THC}	=	13,875389 g/mol (hydrocarbures totaux ^(a)).

- a) Les masses molaires effectives des HCT et des HCNM sont définies par un rapport d'hydrogène atomique à carbone, α , de 1,85;
- b) La masse molaire effective de NO_x est définie par la masse molaire du dioxyde d'azote, NO_2 .

Dans la présente annexe, la constante molaire de gaz R est utilisée pour les gaz parfaits:

$$R = 8,314472 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

Dans la présente annexe, on utilise les rapports suivants des chaleurs spécifiques $\gamma \left[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \right] / \left[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \right]$ pour l'air de dilution et les gaz d'échappement dilués:

$$\gamma_{\text{air}} = 1,399 \text{ (rapport des chaleurs spécifiques de l'air d'admission ou de l'air de dilution)}$$

$$\gamma_{\text{dil}} = 1,399 \text{ (rapport des chaleurs spécifiques des gaz d'échappement dilués)}$$

$$\gamma_{\text{dil}} = 1,385 \text{ (rapport des chaleurs spécifiques des gaz d'échappement bruts).}$$

A.7.1.2 Air humide

La présente section décrit la manière de déterminer la quantité d'eau dans un gaz idéal:

A.7.1.2.1 Pression de vapeur de l'eau

La pression de vapeur de l'eau $p_{\text{H}_2\text{O}}$ [kPa] pour une température de saturation donnée, T_{sat} [K], doit être calculée de la manière suivante:

- a) Pour les mesures d'humidité faites à des températures ambiantes comprises entre 0 et 100 °C ou pour des mesures de l'humidité faites au-dessus d'eau surrefroidie à des températures ambiantes de -50 à 0 °C:

$$\begin{aligned} \log_{10}(p_{\text{H}_2\text{O}}) = & 10,79574 \cdot \left(1 - \frac{273,16}{T_{\text{sat}}} \right) - 5,02800 \cdot \log_{10} \left(\frac{T_{\text{sat}}}{273,16} \right) + \\ & + 1,50475 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - 10^{-8,2969 \cdot \left(\frac{T_{\text{sat}}}{273,16} - 1 \right)} \right) + 0,42873 \cdot 10^{-3} \cdot \left(10^{4,76955 \cdot \left(1 - \frac{273,16}{T_{\text{sat}}} \right)} - 1 \right) - 0,2138602 \end{aligned} \quad (\text{A.7-1})$$

où:

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \text{pression de vapeur de l'eau à température de saturation [kPa]}$$

$$T_{\text{sat}} = \text{température de saturation de l'eau aux conditions mesurées [K].}$$

- b) Pour les mesures de l'humidité faites sur de la glace à des températures ambiantes de (-100 à 0) °C:

$$\log_{10}(p_{\text{sat}}) = -9,096853 \cdot \left(\frac{273,16}{T_{\text{sat}}} - 1 \right) - 3,566506 \cdot \log_{10} \left(\frac{273,16}{T_{\text{sat}}} \right) + 0,876812 \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{sat}}}{273,16} \right) - 0,2138602 \quad (\text{A.7-2})$$

où:

T_{sat} = température de saturation de l'eau aux conditions mesurées [K].

A.7.1.2.2 Point de rosée

Si l'humidité est mesurée en tant que point de rosée, la quantité d'eau dans un gaz parfait $x_{\text{H}_2\text{O}}$ [mol/mol] doit être calculée de la manière suivante:

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{abs}}} \quad (\text{A.7-3})$$

où:

$x_{\text{H}_2\text{O}}$ = quantité d'eau dans un gaz parfait [mol/mol]

$p_{\text{H}_2\text{O}}$ = pression de vapeur de l'eau au point de rosée mesuré,
 $T_{\text{sat}} = T_{\text{dew}}$ [kPa]

p_{abs} = pression absolue statique en conditions humides à l'emplacement de mesure du point de rosée [kPa].

A.7.1.2.3 Humidité relative

Si l'on mesure l'humidité en tant qu'humidité relative RH%, la quantité d'eau d'un gaz parfait $x_{\text{H}_2\text{O}}$ [mol/mol] est calculée de la manière suivante:

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\text{RH}\%}{100} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{abs}}} \quad (\text{A.7-4})$$

où:

RH% = humidité relative [%]

$p_{\text{H}_2\text{O}}$ = pression de vapeur de l'eau à 100 % d'humidité relative à l'emplacement de la mesure de l'humidité relative,
 $T_{\text{sat}} = T_{\text{amb}}$ [kPa]

p_{abs} = pression absolue statique en conditions humides à l'emplacement de mesure de l'humidité relative [kPa].

A.7.1.3 Propriétés du carburant

La formule chimique générale du carburant est $\text{CH}_\alpha\text{O}_\beta\text{S}_\gamma\text{N}_\delta$, α étant le rapport atomique hydrogène-à-carbone (H/C), β le rapport atomique oxygène-à-carbone (O/C), γ le rapport atomique soufre-à-carbone (S/C), et δ le rapport atomique soufre-à-carbone (N/C). Cette formule permet de calculer la fraction de la masse de carbone w_C du carburant. Dans le cas d'un carburant pour moteurs diesel, on peut utiliser la formule simple $\text{CH}_\alpha\text{O}_\beta$. Les valeurs par défaut ci-dessous peuvent être utilisées pour la composition du carburant:

Tableau A.7.1

Valeurs par défaut du rapport atomique hydrogène-à-carbone α , du rapport atomique oxygène-à-carbone β , et fraction de la masse de carbone de carburant w_C pour carburants pour moteurs diesel

<i>Carburant</i>	<i>Rapports atomiques hydrogène à carbone et oxygène-à-carbone $CH_\alpha O_\beta$</i>	<i>Concentration en masse de carbone w_C [g/g]</i>
Diesel	$CH_{1,85}O_0$	0,866

A.7.1.4 Concentration des HCT et des HC non méthaniques

A.7.1.4.1 Détermination des HCT et corrections en fonction de la contamination initiale par HCT/CH₄

- a) S'il est nécessaire de déterminer les émissions de HCT, $x_{THC[THC-FID]}$ est calculé comme suit au moyen de la concentration de la contamination par HCT initiale $x_{THC[THC-FID]_{init}}$ du paragraphe 7.3.1.2:

$$x_{THC[THC-FID]_{cor}} = x_{THC[THC-FID]_{uncorr}} - x_{THC[THC-FID]_{init}} \quad (A.7-5)$$

où:

$x_{THC[THC-FID]_{cor}}$ = concentration des HCT corrigée de la contamination [mol/mol]

$x_{THC[THC-FID]_{uncorr}}$ = concentration des HCT non corrigée [mol/mol]

$x_{THC[THC-FID]_{init}}$ = concentration de contamination par les HCT initiale [mol/mol].

- b) Pour la détermination des HCNM comme décrit au paragraphe A.7.1.4.2, $x_{THC[THC-FID]}$ doit être corrigé de la contamination HC initiale au moyen de l'équation (A.7-5). On peut corriger la contamination initiale du train d'échantillons CH₄ au moyen de l'équation (A.7-5), en substituant dans CH₄ les concentrations des HCT.

A.7.1.4.2 Détermination des HCNM

Pour déterminer la concentration des HCNM, x_{NMHC} , on utilise l'une des méthodes suivantes:

- a) Si l'on ne mesure pas le CH₄, on peut déterminer les concentrations de HCNM de la manière suivante:

La masse des HCNM corrigée des concentrations ambiantes doit être comparée à la masse également corrigée des concentrations ambiantes de HCT. Si la première est supérieure à 0,98 fois la masse de HCT, la masse corrigée des HCNM doit être considérée comme étant égale à 0,98 fois la masse corrigée de HCT. Si les calculs des HCNM sont omis, la masse corrigée des HCNM doit être considérée comme étant de 0,98 fois la masse corrigée de HCT;

- b) Pour les convertisseurs de HCNM, il faut calculer x_{NMHC} sur la base des fractions de pénétration du convertisseur (PF) du CH_4 et du C_2H_6 du paragraphe 8.1.10.3, de la contamination HC et de la concentration de HCT corrigée de sec à humide $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}}$ comme indiqué au point a) du paragraphe A.7.1.4.1;
- i) On utilise l'équation suivante pour les fractions de pénétration déterminées utilisant une configuration de convertisseur NMC comme celle décrite au paragraphe 8.1.10.3.4.1:

$$x_{\text{NMHC}} = \frac{x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}} - x_{\text{THC}[\text{NMC-FID}]} \cdot \text{RF}_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]}}{1 - \text{RFPF}_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]} \cdot \text{RF}_{\text{CH}_4[\text{HCT-FID}]}} \quad (\text{A.7-6})$$

où:

- x_{NMHC} = concentration de HCNM
- $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}}$ = concentration de HCT, contamination HC avec correction de sec à humide, telle que mesurée par l'analyseur FID/HCT au cours du prélèvement avec contournement du convertisseur NMC
- $x_{\text{THC}[\text{NMC-FID}]}$ = concentration de HCT, contamination HC (facultative) avec correction de sec à humide, telle que mesurée par le FID/NMC pendant le prélèvement à travers le convertisseur NMC
- $\text{RF}_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]}$ = facteur de réponse du FID/HCT à CH_4 , conformément au paragraphe 8.1.10.1.4
- $\text{RFPF}_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}$ = facteur de réponse à l'éthane combiné et fraction de pénétration du convertisseur de HCNM, conformément au paragraphe 8.1.10.3.4.1

- ii) Pour les fractions de pénétration déterminées avec une configuration de NMC comme celle décrite au paragraphe 8.1.10.3.4.2, on utilise l'équation suivante:

$$x_{\text{NMHC}} = \frac{x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}} \cdot \text{PF}_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]} - x_{\text{THC}[\text{NMC-FID}]}}{\text{PF}_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]} - \text{PF}_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}} \quad (\text{A.7-7})$$

où:

- x_{NMHC} = concentration de HCNM
- $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}}$ = concentration de HCT, contamination HC avec correction de sec à humide, telle que mesurée par l'analyseur FID/HCT au cours du prélèvement avec contournement du convertisseur NMC

$PF_{CH_4[NMC-FID]}$	= fraction de pénétration du convertisseur de HCNM dans le CH_4 conformément au paragraphe 8.1.10.3.4.2
$X_{THC[NMC-FID]}$	= concentration de HCT, contamination HC (facultative) avec correction de sec à humide, telle que mesurée par le FID/NMC pendant le prélèvement à travers le convertisseur NMC
$PF_{C_2H_6[NMC-FID]}$	= fraction de pénétration du convertisseur de HCNM dans l'éthane, conformément au paragraphe 8.1.10.3.4.2

iii) Pour les fractions de pénétration déterminées en utilisant une configuration du convertisseur NMC telle que celle présentée dans le paragraphe 8.1.10.3.4.3, on utilise l'équation suivante:

$$X_{NMHC} = \frac{X_{THC[THC-FID]_{cor}} \cdot PF_{CH_4[NMC-FID]} - X_{THC[NMC-FID]} \cdot RF_{CH_4[THC-FID]}}{PF_{CH_4[NMC-FID]} - RFPF_{C_2H_6[NMC-FID]} \cdot RF_{CH_4[THC-FID]}} \quad (A.7-8)$$

où:

X_{NMHC}	= concentration de HCNM
$X_{THC[THC-FID]_{cor}}$	= concentration de HCT, contamination HC avec correction de sec à humide, telle que mesurée par l'analyseur FID/HCT au cours du prélèvement avec contournement du convertisseur NMC
$PF_{CH_4[NMC-FID]}$	= fraction de pénétration du convertisseur de HCNM dans le CH_4 , conformément au paragraphe 8.1.10.3.4.3
$X_{THC[NMC-FID]}$	= concentration de HCT, contamination HC (facultative) avec correction de sec à humide, telle que mesurée par le FID/NMC pendant le prélèvement à travers le convertisseur NMC
$RFPF_{C_2H_6[NMC-FID]}$	= facteur de réponse à l'éthane combiné et fraction de pénétration du convertisseur de HCNM, conformément au paragraphe 8.1.10.3.4.3
$RF_{CH_4[THC-FID]}$	= facteur de réponse du FID/HCT à CH_4 , conformément au paragraphe 8.1.10.1.4

- c) Pour une chromatographie en phase gazeuse, on calcule x_{NMHC} au moyen du facteur de réponse de l'analyseur de HCT (RF) pour CH_4 , selon le paragraphe 8.1.10.1.4, et de la contamination HC ainsi que la concentration de HCT initiale corrigée de sec à humide $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}}$ comme déterminé au point a) ci-dessus de la manière suivante:

$$x_{\text{NMHC}} = x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}} - \text{RF}_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]} \cdot x_{\text{CH}_4} \quad (\text{A.7-9})$$

où:

x_{NMHC} = concentration de HCNM

$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}}$ = concentration de CH_4 , contamination HC (facultative) avec correction de sec à humide, telle que mesurée à l'analyseur FID de HCT

x_{CH_4} = concentration de CH_4 , contamination HC (facultative) avec correction de sec à humide, telle que mesurée à l'analyseur FID en chromatographie gazeuse

$\text{RF}_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]}$ = facteur de réponse de l'analyseur FID/HCT au CH_4 .

A.7.1.4.3 Approximation des HCNM à partir des HCT

Les émissions de HCNM (hydrocarbures non méthaniques) peuvent être considérées comme étant approximativement égales à 98 % des émissions de HCT (hydrocarbures totaux).

A.7.1.5 Concentration moyenne pondérée en fonction du débit

Dans certains paragraphes de la présente annexe, il est parfois nécessaire de calculer une concentration moyenne pondérée en fonction du débit pour déterminer l'applicabilité de certaines dispositions. Une moyenne pondérée en fonction du débit est la moyenne d'une quantité après pondération proportionnellement à un débit correspondant. Si, par exemple, on mesure en continu une concentration de gaz provenant des gaz d'échappement bruts d'un moteur, sa concentration moyenne pondérée en fonction du débit est la somme des produits de chaque durée de concentration enregistrée par le débit molaire de l'échappement considéré, divisée par la somme des valeurs du débit. Autre exemple, la concentration dans le sac d'un système CVS est la même que la concentration pondérée étant donné que le système CVS lui-même pondère la concentration dans le sac. Une certaine concentration moyenne pondérée d'émissions types peut déjà être attendue sur la base d'essais préliminaires avec des moteurs analogues ou d'essais avec des équipements et des instruments analogues.

A.7.2 Bilans chimiques du carburant, de l'air d'admission et des gaz d'échappement

A.7.2.1 Considérations générales

On peut calculer les bilans chimiques du carburant, de l'air d'admission et des gaz d'échappement pour calculer les débits, la quantité d'eau contenue dans ces débits ainsi que la concentration en conditions humides des constituants dans leurs débits. Avec le débit du carburant,

de l'air d'admission ou de l'échappement, on peut utiliser les bilans chimiques pour déterminer le débit des deux autres. Par exemple, on peut utiliser les bilans chimiques avec l'air d'admission ou avec le débit du carburant pour déterminer le débit des gaz d'échappement.

A.7.2.2 Procédures nécessitant des bilans chimiques

Les bilans chimiques sont nécessaires pour déterminer ce qui suit:

- La quantité d'eau contenue dans un débit de gaz d'échappement bruts ou dilués, $x_{H_2O_{exh}}$, lorsque la quantité d'eau nécessaire pour corriger la quantité d'eau enlevée par le système de prélèvement n'a pas été mesurée;
- La fraction moyenne pondérée de l'air de dilution dans les gaz d'échappement, $x_{dil/exh}$, lorsque le débit d'air de dilution n'est pas mesuré pour effectuer des corrections en fonction des émissions ambiantes. Il convient de noter que si les bilans chimiques sont utilisés à cet effet, on part de l'hypothèse que les gaz d'échappement sont stœchiométriques, même s'ils ne le sont pas.

A.7.2.3 Procédure de bilan chimique

Les calculs d'un bilan chimique font intervenir un système d'équations qui nécessite une itération. On part de l'hypothèse pour les valeurs initiales d'un maximum de trois quantités: la quantité d'eau dans le débit mesuré, $x_{H_2O_{exh}}$, la fraction d'air de dilution dans les gaz d'échappement dilués (ou l'excès d'air dans les gaz d'échappement bruts), $x_{dil/exh}$, ainsi que la quantité de produits sur une base C1 par mole sèche ou de débit mesuré sec, $x_{C_{comb}dry}$. Les valeurs moyennes pondérées de l'humidité de l'air de combustion et de l'humidité de l'air de dilution dans le bilan chimique sont utilisables tant que l'humidité de l'air de combustion et l'humidité de l'air de dilution restent dans les tolérances de $\pm 0,0025$ mol/mol autour de leurs valeurs moyennes respectives sur la durée de l'essai. Pour chaque concentration d'émissions, x , et quantité d'eau $x_{H_2O_{exh}}$, il faut déterminer les concentrations pour un état parfaitement sec, x_{dry} et $x_{H_2O_{exh}dry}$. Il faut également utiliser le rapport atomique hydrogène-à-carbone du carburant α , le rapport oxygène-à-carbone β et la fraction en masse du carbone du carburant w_C . Pour l'essai du carburant, on peut utiliser α et β ou les valeurs par défaut du tableau 7.1.

On procède de la manière suivante pour obtenir le bilan chimique:

- Il faut convertir les concentrations mesurées telles que x_{CO_2meas} , x_{NOmeas} , et $x_{H_2O_{int}}$, en concentrations en conditions sèches en les divisant par un moins la quantité d'eau présente au cours de leurs mesures respectives; par exemple: $x_{H_2O_{exh}CO_2meas}$, $x_{H_2O_{exh}NOmeas}$, et $x_{H_2O_{int}}$. Si la quantité d'eau présente au cours d'une mesure en conditions humides est la même que la quantité d'eau inconnue dans le débit des gaz d'échappement, $x_{H_2O_{exh}}$, elle doit être calculée itérativement pour cette valeur dans le système d'équations. Si on mesure uniquement les NO_x totaux et non NO et NO_2 séparément, il faut suivre les pratiques techniques reconnues pour faire une distinction, dans la concentration de NO_x totaux, entre NO et NO_2 pour les bilans chimiques. La concentration molaire de NO_x , x_{NO_x} , peut être considérée comme égale à 75 % de NO et 25 % de NO_2 .

Pour les systèmes de traitement aval à stockage de NO_2 , on peut considérer que x_{NO_x} est égal à 25 % de NO et à 75 % de NO_2 . Pour calculer la masse des émissions de NO_x , on utilise la masse molaire de NO_2 pour la masse molaire effective de toutes les espèces de NO_x , indépendamment de la fraction exacte de NO_2 dans les NO_x ;

- b) Les équations (A.7-10 à A.7-26) du point d) du présent paragraphe doivent être introduites dans le programme informatique pour calculer de manière itérative $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$, x_{Ccombdry} et $x_{\text{dil/exh}}$. Il faut suivre les pratiques techniques reconnues pour estimer les valeurs initiales de $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$, x_{Ccombdry} et $x_{\text{dil/exh}}$. Il est recommandé de considérer qu'une quantité initiale d'eau représente environ deux fois la quantité d'eau dans l'air d'admission ou de dilution. Il est recommandé de considérer la valeur initiale de x_{Ccombdry} comme la somme des valeurs mesurées de CO_2 , CO et HCT . Il est également recommandé de partir d'une estimation initiale de x_{dil} située entre 0,75 et 0,95 ($0,75 < x_{\text{dil}} < 0,95$), par exemple 0,8. Les valeurs dans le système d'équations sont utilisées itérativement jusqu'à ce que les estimations à jour les plus récentes soient toutes à ± 1 % autour de leurs valeurs respectives les plus récemment calculées;
- c) On utilise les symboles et les indices suivants dans le système d'équations du point c) où l'unité x est mol/mol:

Symbole	Description
$x_{\text{dil/exh}}$	Quantité de gaz de dilution ou d'excès d'air par mole de gaz d'échappement
$x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$	Quantité de H_2O par mole de gaz d'échappement
x_{Ccombdry}	Quantité de carbone du carburant dans les gaz d'échappement par mole de gaz d'échappement secs
$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$	Quantité d'eau dans les gaz d'échappement par mole sèche de gaz d'échappement secs
$x_{\text{prod/intdry}}$	Quantité de produits stœchiométriques secs par mole sèche d'air d'admission
$x_{\text{dil/exhdry}}$	Quantité de gaz de dilution et/ou d'excès d'air par mole de gaz d'échappement secs
$x_{\text{int/exhdry}}$	Quantité d'air d'admission nécessaire pour produire des produits de combustion par mole de gaz d'échappements secs (bruts ou dilués)
$x_{\text{raw/exhdry}}$	Quantité de gaz d'échappement non dilués, sans air en excès, par mole de gaz d'échappement secs (bruts ou dilués)
$x_{\text{O}_2\text{intdry}}$	Quantité de O_2 dans l'air d'admission par mole d'air d'admission sec; $x_{\text{O}_2\text{intdry}} = 0,209445$ mol/mol est une bonne hypothèse
$x_{\text{CO}_2\text{intdry}}$	Quantité de CO_2 par mole d'air d'admission sec; $x_{\text{CO}_2\text{intdry}} = 375 \mu\text{mol/mol}$ peut être utilisé, mais il est recommandé de mesurer la concentration réelle dans l'air d'admission
$x_{\text{H}_2\text{Ointdry}}$	Quantité de H_2O dans l'air d'admission par mole d'air d'admission sec
$x_{\text{CO}_2\text{int}}$	Quantité de CO_2 dans l'air d'admission par mole d'air d'admission
$x_{\text{CO}_2\text{dil}}$	Quantité de gaz de dilution CO_2 par mole de gaz de dilution
$x_{\text{CO}_2\text{dildry}}$	Quantité de gaz de dilution CO_2 par mole de gaz de dilution sec. Si l'on utilise de l'air comme diluant, on peut utiliser $x_{\text{CO}_2\text{dildry}} = 375 \mu\text{mol/mol}$, mais il est recommandé de

<i>Symbole</i>	<i>Description</i>
	mesurer la concentration réelle dans l'air d'admission
$x_{H_2O_{dil}dry}$	Quantité de gaz de dilution H_2O par mole de gaz de dilution sec
$x_{H_2O_{dil}}$	Quantité de gaz de dilution H_2O par mole de gaz de dilution
$x_{[emission]meas}$	Quantité d'émissions mesurée dans l'échantillon par les analyseurs de gaz respectifs
$x_{[emission]dry}$	Quantité d'émissions par mole sèche d'échantillon sec
$x_{H_2O[emission]meas}$	Quantité d'eau dans l'échantillon à l'emplacement de la détection des émissions. Ces valeurs doivent être mesurées ou estimées conformément au paragraphe 9.3.2.3.1
$x_{H_2O_{int}}$	Quantité d'eau dans l'air d'admission, sur la base de mesure de l'humidité de l'air d'admission
α	Rapport atomique hydrogène-à-carbone du mélange de carburants, (CH_aO_β) étant brûlé, pondéré par la consommation molaire
β	Rapport atomique oxygène-à-carbone du mélange de carburants, (CH_aO_β) étant brûlé, pondéré par la consommation molaire

d) On utilise les équations suivantes pour calculer itérativement $x_{dil/exh}$, $x_{H_2O_{exh}}$ et $x_{C_{comb}dry}$:

$$x_{dil/exh} = 1 - \frac{x_{raw/exhdry}}{1 + x_{H_2O_{exhdry}}} \quad (A.7-10)$$

$$x_{H_2O_{exh}} = \frac{x_{H_2O_{exhdry}}}{1 + x_{H_2O_{exhdry}}} \quad (A.7-11)$$

$$x_{C_{comb}dry} = x_{CO_2dry} + x_{COdry} + x_{THCdry} - x_{CO_2dil} \cdot x_{dil/exhdry} - x_{CO_2int} \cdot x_{int/exhdry} \quad (A.7-12)$$

$$x_{H_2O_{exhdry}} = \frac{\alpha}{2} (x_{C_{comb}dry} - x_{THCdry}) + x_{H_2O_{dil}} \cdot x_{dil/exhdry} + x_{H_2O_{int}} \cdot x_{int/exhdry} \quad (A.7-13)$$

$$x_{dil/exhdry} = \frac{x_{dil/exh}}{1 - x_{H_2O_{exh}}} \quad (A.7-14)$$

$$x_{int/exhdry} = \frac{1}{2 \cdot x_{O_2int}} \left[\left(\frac{\alpha}{2} - \beta + 2 \right) (x_{C_{comb}dry} - x_{THCdry}) - (x_{COdry} - x_{NOdry} - 2x_{NO_2dry}) \right] \quad (A.7-15)$$

$$x_{raw/exhdry} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\alpha}{2} + \beta \right) (x_{C_{comb}dry} - x_{THCdry}) + (2x_{THCdry} + x_{COdry} - x_{NO_2dry}) \right] + x_{int/exhdry} \quad (A.7-16)$$

$$x_{O_2int} = \frac{0,209820 - x_{CO_2intdry}}{1 + x_{H_2O_{intdry}}} \quad (A.7-17)$$

$$x_{CO_2int} = \frac{x_{CO_2intdry}}{1 + x_{H_2O_{intdry}}} \quad (A.7-18)$$

$$x_{\text{HO2int dry}} = \frac{x_{\text{H2Oint}}}{1 + x_{\text{H2Oint}}} \quad (\text{A.7-19})$$

$$x_{\text{CO2dil}} = \frac{x_{\text{CO2dildry}}}{1 + x_{\text{H2Odildry}}} \quad (\text{A.7-20})$$

$$x_{\text{H2Odildry}} = \frac{x_{\text{H2Odil}}}{1 - x_{\text{H2Odil}}} \quad (\text{A.7-21})$$

$$x_{\text{COdry}} = \frac{x_{\text{COmeas}}}{1 - x_{\text{H2OCOmeas}}} \quad (\text{A.7-22})$$

$$x_{\text{CO2dry}} = \frac{x_{\text{CO2meas}}}{1 - x_{\text{H2OCO2meas}}} \quad (\text{A.7-23})$$

$$x_{\text{NOdry}} = \frac{x_{\text{NOmeas}}}{1 - x_{\text{H2ONomeas}}} \quad (\text{A.7-24})$$

$$x_{\text{NO2dry}} = \frac{x_{\text{NO2meas}}}{1 - x_{\text{H2ONO2meas}}} \quad (\text{A.7-25})$$

$$x_{\text{THCdry}} = \frac{x_{\text{THCmeas}}}{1 - x_{\text{H2OTHCmeas}}} \quad (\text{A.7-26})$$

À la fin du bilan chimique, le débit molaire \dot{n}_{exh} est calculé comme indiqué dans les paragraphes A.7.3.3 et A.7.4.3.

A.7.2.4 Correction des NO_x pour l'humidité

Toutes les concentrations de NO_x , y compris les concentrations ambiantes d'air de dilution, doivent être corrigées de l'humidité de l'air d'admission au moyen de l'équation suivante:

$$x_{\text{NOxcor}} = x_{\text{NOxcor}} \cdot (9,953 \cdot x_{\text{H2O}} + 0,832) \quad (\text{A.7-27})$$

où:

x_{NOxuncor} = concentration molaire de NO_x non corrigée dans les gaz d'échappement [$\mu\text{mol/mol}$]

x_{H2O} = quantité d'eau dans l'air d'admission [mol/mol].

A.7.3 Émissions de gaz bruts

A.7.3.1 Masse des émissions gazeuses

Pour calculer la masse totale par essai d'émissions gazeuses m_{gas} [g/essai], il faut multiplier la concentration molaire par le débit molaire correspondant et par la masse molaire des gaz d'échappement; ensuite on fait l'intégration sur le cycle d'essai:

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \int \dot{n}_{\text{exh}} \cdot x_{\text{gas}} \cdot dt \quad (\text{A.7-28})$$

où:

M_{gas} = masse molaire des émissions gazeuses génériques [g/mol]

\dot{n}_{exh} = débit molaire instantané des gaz d'échappement en conditions humides [mol/s]

x_{gas} = concentration molaire de gaz générique instantanée en conditions humides [mol/mol]

t = temps [s]

Étant donné que l'équation (A.7-28) doit être résolue par intégration numérique, elle est transformée comme suit:

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \int \dot{n}_{\text{exh}} \cdot x_{\text{gas}} \cdot dt \Rightarrow$$

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhi}} \cdot x_{\text{gasi}} \quad (\text{A.7-29})$$

où:

M_{gas} = masse molaire d'émissions génériques [g/mol]

\dot{n}_{exhi} = débit molaire instantané de gaz d'échappement en conditions humides [mol/s]

x_{gasi} = concentration molaire instantanée de gaz générique en conditions humides [mol/mol]

f = fréquence de collecte des données [Hz]

N = nombre de mesures [-]

La formule générale peut être modifiée selon le système de mesure utilisé, selon que le prélèvement est fait par lots ou en continu, et que le débit est plutôt variable que constant.

- a) Pour le prélèvement en continu, dans le cas général du débit variable, la masse des émissions gazeuses m_{gas} [g/essai] doit être calculée au moyen de la formule suivante:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhi}} \cdot x_{\text{gasi}} \quad (\text{A.7-30})$$

où:

M_{gas} = masse molaire des émissions gazeuses génériques [g/mol]

\dot{n}_{exhi} = débit molaire instantané de gaz d'échappement en conditions humides [mol/s]

x_{gasi} = fraction molaire instantanée d'émissions gazeuses en conditions humides [mol/mol]

f = fréquence de collecte des données [Hz]

N = nombre de mesures [-]

- b) Toujours pour le prélèvement en continu, mais dans le cas particulier du débit constant, on calcule la masse des émissions gazeuses m_{gas} [g/essai] au moyen de la formule suivante:

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \dot{n}_{\text{exh}} \cdot \bar{x}_{\text{gas}} \cdot \Delta t \quad (\text{A.7-31})$$

où:

M_{gas} = masse molaire des émissions gazeuses génériques [g/mol]

\dot{n}_{exh} = débit molaire des gaz d'échappement en conditions humides [mol/s]

\bar{x}_{gas} = fraction molaire moyenne des émissions gazeuses en conditions humides [mol/mol]

Δt = durée de l'intervalle d'essai.

- c) Dans le cas du prélèvement par lots, que le débit soit variable ou constant, on peut simplifier la formule (A.7-30) de la manière suivante:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \bar{x}_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhi}} \quad (\text{A.7-32})$$

où:

M_{gas} = masse molaire des émissions gazeuses génériques [g/mol]

\dot{n}_{exhi} = débit molaire instantané de gaz d'échappement en conditions humides [mol/s]

\bar{x}_{gas} = fraction molaire moyenne des émissions gazeuses en conditions humides [mol/mol]

f = fréquence de collecte des données [Hz]

N = nombre de mesures [-].

A.7.3.2 Conversion de la concentration de sec à humide

Les paramètres du présent paragraphe sont obtenus à partir des résultats du bilan chimique calculé au paragraphe A.7.2. La relation suivante existe entre les concentrations de gaz molaires dans les débits x_{gasdry} mesuré et x_{gas} [mol/mol] exprimés respectivement pour les conditions sèches et pour les conditions humides:

$$x_{\text{gasdry}} = \frac{x_{\text{gas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (\text{A.7-33})$$

$$x_{\text{gas}} = \frac{x_{\text{gasdry}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{Odry}}} \quad (\text{A.7-34})$$

où:

x_{H_2O} = fraction molaire de l'eau dans le débit mesuré en conditions humides [mol/mol]

x_{H_2Odry} = fraction molaire de l'eau dans le débit mesuré en conditions sèches [mol/mol].

Dans le cas des émissions gazeuses, une correction en fonction de l'eau éliminée doit être apportée à la concentration générique x [mol/mol] de la manière suivante:

$$X = X_{[emission]meas} \left[\frac{(1 - x_{H_2Oexh})}{1 - x_{H_2O[emission]meas}} \right] \quad (A.7-35)$$

où:

$X_{[emission]meas}$ = fraction molaire des émissions dans le débit mesuré à l'emplacement de mesure [mol/mol]

$x_{H_2O[emission]meas}$ = quantité d'eau dans le débit mesuré à l'emplacement de mesure des concentrations [mol/mol]

x_{H_2Oexh} = quantité d'eau au débitmètre [mol/mol].

A.7.3.3 Débit molaire des gaz d'échappement

On peut mesurer directement le débit des gaz d'échappement bruts ou bien le calculer sur la base du bilan chimique décrit au paragraphe A.7.2.3. Le calcul du débit molaire de gaz d'échappement bruts est effectué à partir du débit molaire de l'air d'admission ou du débit-masse de carburant. Le débit molaire des gaz d'échappement bruts peut être calculé à partir des échantillons prélevés, \dot{n}_{exh} , compte tenu du débit molaire de l'air d'admission mesuré, \dot{n}_{int} , ou du débit-masse de carburant mesuré, \dot{m}_{fuel} , ainsi que des valeurs calculées au moyen du bilan chimique décrit au paragraphe A.7.2.3. Il faut le déterminer pour le bilan chimique décrit au paragraphe A.7.2.3 à la même fréquence que celle de la mise à jour et de l'enregistrement de \dot{n}_{int} ou de \dot{m}_{fuel} .

- a) Débit de gaz de carter. Le débit de gaz d'échappement bruts ne peut être calculé sur la base de \dot{n}_{int} ou \dot{m}_{fuel} que si au moins l'une des conditions ci-après est vérifiée en ce qui concerne le débit d'émissions de gaz du carter:
 - i) Le moteur soumis à l'essai dispose de série d'un dispositif antipollution à carter fermé qui achemine les gaz du carter dans l'air d'admission, en aval du débitmètre d'air;
 - ii) Pendant les essais de contrôle des émissions, les débits de gaz du carter ouvert sont acheminés vers l'échappement conformément au paragraphe 6.10;
 - iii) Les émissions et le débit du carter à système ouvert sont mesurés et ajoutés aux calculs des émissions spécifiques au frein;

- iv) Sur la base des données relatives aux émissions ou d'une analyse technique, on peut démontrer que le fait de négliger le débit des émissions de carter à système ouvert ne nuit pas à la conformité aux normes applicables;

b) Calcul du débit molaire fondé sur l'air d'admission

Sur la base de \dot{n}_{int} , le débit molaire de gaz d'échappement \dot{n}_{exh} [mol/s] doit être calculé de la manière suivante:

$$\dot{n}_{exh} = \frac{\dot{n}_{int}}{\left[\frac{x_{int/exhdry} - x_{raw/exhdry}}{1 + x_{H_2Oexhdry}} \right]} \quad (A.7-36)$$

où:

- \dot{n}_{exh} = débit molaire de gaz d'échappement bruts à partir duquel sont mesurées les émissions [mol/s]
- \dot{n}_{int} = débit molaire de l'air d'admission y compris l'humidité dans l'air d'admission [mol/s]
- $x_{int/exhdry}$ = quantité d'air d'admission nécessaire pour produire les produits de combustion proprement dits par mole de gaz d'échappement secs (dilués ou bruts) [mol/mol]
- $x_{raw/exhdry}$ = quantité de gaz d'échappement non dilués, sans excès d'air, par mole de gaz d'échappement secs (bruts ou dilués) [mol/mol]
- $x_{H_2Oexhdry}$ = quantité d'eau dans les gaz d'échappement, par mole de gaz d'échappement secs [mol/mol]

c) Calcul du débit molaire fondé sur le débit-masse du carburant

Sur la base de \dot{m}_{fuel} , \dot{n}_{exh} [mol/s] doit être calculé de la manière suivante:

$$\dot{n}_{exh} = \frac{\dot{m}_{fuel} \cdot w_C \cdot (1 + x_{H_2Oexhdry})}{M_C \cdot x_{Ccombdry}} \quad (A.7-37)$$

où:

- \dot{n}_{exh} = débit molaire des gaz d'échappement bruts à partir duquel sont mesurées les émissions
- \dot{m}_{fuel} = débit de carburant, y compris l'humidité de l'air d'admission [g/s]
- w_C = fraction de masse de carbone pour le carburant considéré [g/g]
- $x_{H_2Oexhdry}$ = quantité de H₂O par mole sèche du débit mesuré [mol/mol]

M_C = masse molaire du carbone: 12,0107 g/mol
 $x_{Ccombdry}$ = quantité de carbone du carburant présent dans les gaz d'échappement par mole de gaz d'échappement secs [mol/mol].

A.7.4 Émissions de gaz diluées

A.7.4.1 Calcul de la masse des émissions et correction pour émissions ambiantes

Les équations pour le calcul de la masse des émissions de gaz m_{gas} [g/essai] en fonction des débits d'émissions molaires sont les suivantes:

a) Prélèvement en continu, débit variable

$$m_{gas} = \frac{1}{f} \cdot M_{gas} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{exhi} \cdot x_{gasi} \quad (\text{voir A.7-29})$$

où:

M_{gas} = masse molaire des émissions gazeuses génériques [g/mol]

\dot{n}_{exhi} = débit molaire instantané de gaz d'échappement en conditions humides [mol/s]

x_{gasi} = concentration molaire instantanée de gaz générique en conditions humides [mol/mol]

f = fréquence de collecte des données [Hz]

N = nombre de mesures [-]

Prélèvement en continu, débit constant

$$\dot{m}_{gas} = \frac{1}{f} \cdot M_{gas} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{exhi} \cdot x_{gasi} \quad (\text{voir A.7-31})$$

où:

M_{gas} = masse molaire des émissions gazeuses génériques [g/mol]

\dot{n}_{exh} = débit molaire instantané de gaz d'échappement en conditions humides [mol/s]

\bar{x}_{gas} = fraction molaire moyenne des émissions gazeuses en conditions humides [mol/mol]

Δt = durée de l'intervalle d'essai

b) Dans le cas du prélèvement par lots, que le débit soit variable ou constant, on utilise la formule suivante:

$$m_{gas} = \frac{1}{f} \cdot M_{gas} \cdot \bar{x}_{gas} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{exhi} \quad (\text{voir A.7-32})$$

où:

M_{gas} = masse molaire des émissions gazeuses génériques [g/mol]

\dot{n}_{exhi} = débit molaire instantané de gaz d'échappement en conditions humides [mol/s]

\bar{X}_{gas} = fraction molaire moyenne des émissions gazeuses en conditions humides [mol/mol]

f = fréquence de collecte des données [Hz]

N = nombre de mesures [-]

c) Dans le cas de gaz d'échappement dilués, les valeurs calculées pour la masse des polluants doivent être corrigées par soustraction de la masse des émissions ambiantes pour tenir compte de l'air de dilution:

i) En premier lieu, on détermine le débit molaire de l'air de dilution X_{airdil} [mol/s] sur l'ensemble de l'intervalle d'essai. Il peut s'agir d'une quantité mesurée ou d'une quantité calculée à partir du débit de gaz d'échappement dilués et de la fraction moyenne, pondérée en fonction du débit, de l'air de dilution dans les gaz d'échappement dilués, $X_{\text{dil/exh}}$;

ii) Le débit total d'air de dilution X_{airdil} [mol] doit être multiplié par la concentration moyenne d'émissions ambiantes. Il peut s'agir d'une moyenne pondérée par le temps ou d'une moyenne pondérée par le débit (c'est-à-dire un échantillon proportionnel des émissions ambiantes). Le produit de X_{airdil} et de la concentration moyenne d'émissions ambiantes est la quantité totale d'émissions ambiantes;

iii) Si le résultat est une quantité molaire, il faut le convertir en masse d'émissions ambiantes m_{bknd} [g] en le multipliant par la masse molaire d'émissions, M_{gas} [g/mol];

iv) La masse totale d'émissions ambiantes doit être soustraite de la masse totale pour apporter des corrections en fonction des émissions ambiantes;

v) On peut déterminer le débit total d'air de dilution par une mesure directe du débit. Dans ce cas, la masse totale d'émissions ambiantes est calculée à partir du débit d'air de dilution, X_{airdil} . La masse d'émissions ambiantes doit être soustraite de la masse totale. Le résultat est utilisé dans les calculs des émissions spécifiques au frein;

vi) Le débit total d'air de dilution peut être déterminé à partir du débit total de gaz d'échappement dilués et d'un bilan chimique de carburant, d'air d'admission et de gaz d'échappement, comme indiqué dans le paragraphe A.7.2. Dans ce cas, on calcule la masse totale d'émissions ambiantes, en utilisant le débit total de gaz d'échappement dilués, n_{dexh} . Ensuite, il faut multiplier ce résultat par la fraction moyenne, pondérée en fonction du débit, de l'air de dilution dans les gaz d'échappement dilués, $\bar{X}_{\text{dil/exh}}$.

Étant donné les deux cas v) et vi), on utilise les formules suivantes:

$$m_{\text{bkgnd}} = M_{\text{gas}} \cdot x_{\text{gasdil}} \cdot n_{\text{airdil}} \quad \text{ou}$$

$$m_{\text{bkgnd}} = M_{\text{gas}} \cdot \bar{x}_{\text{dil/exh}} \cdot \bar{x}_{\text{bkgnd}} \cdot n_{\text{dexh}} \quad (\text{A.7-38})$$

$$m_{\text{gascor}} = m_{\text{gas}} - m_{\text{bkgnd}} \quad (\text{A.7-39})$$

où:

m_{gas} = masse totale des émissions gazeuses [g]

m_{bkgnd} = masse totale des émissions ambiantes [g]

m_{gascor} = masse de gaz corrigée en fonction des émissions ambiantes [g]

M_{gas} = masse molaire des émissions gazeuses génériques [g/mol]

x_{gasdil} = concentration des émissions gazeuses dans l'air de dilution [mol/mol]

x_{airdil} = débit molaire de l'air de dilution [mol]

$\bar{x}_{\text{dil/exh}}$ = fraction moyenne pondérée en fonction du débit de l'air de dilution dans les gaz d'échappement dilués [mol/mol]

\bar{x}_{bkgnd} = fraction gazeuse des émissions ambiantes [mol/mol]

n_{dexh} = débit total de gaz d'échappement dilués [mol]

A.7.4.2 Conversion de la concentration de sec à humide

Pour la conversion sec à humide des échantillons dilués, on utilise la conversion indiquée pour les gaz bruts (par. A.7.3.2). Pour l'air de dilution, on effectue une mesure de l'humidité pour calculer sa fraction de vapeur d'eau $x_{\text{H}_2\text{O}dildry}$ [mol/mol]:

$$x_{\text{H}_2\text{O}dildry} = \frac{x_{\text{H}_2\text{O}dil}}{1 - x_{\text{H}_2\text{O}dil}} \quad (\text{voir A.7-21})$$

où:

$x_{\text{H}_2\text{O}dil}$ = fraction molaire d'eau dans le débit d'air de dilution [mol/mol]

A.7.4.3 Débit molaire des gaz d'échappement

a) Calcul au moyen du bilan chimique;

Le débit molaire \dot{n}_{exh} [mol/s] peut être calculé sur la base du débit-masse de carburant \dot{m}_{fuel} :

$$\dot{n}_{\text{exh}} = \frac{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot w_C \cdot (1 + x_{\text{H}_2\text{O}exhdry})}{M_C \cdot x_{\text{Ccombdry}}} \quad (\text{voir A.7-37})$$

où:

- \dot{n}_{exh} = débit molaire de gaz d'échappement bruts
à partir duquel sont mesurées les émissions gazeuses
- \dot{m}_{fuel} = débit de carburant y compris l'humidité dans l'air d'admission [g/s]
- w_C = fraction de masse de carbone pour le carburant considéré [g/g]
- $x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$ = quantité de H_2O par mole sèche de débit mesuré [mol/mol]
- M_C = masse molaire du carbone: 12,0107 g/mol
- x_{Ccombdry} = quantité de carbone provenant du carburant dans les gaz d'échappement, par mole de gaz d'échappement secs [mol/mol]

b) Mesure

Le débit molaire des gaz d'échappement peut être mesuré de trois manières:

- i) **Méthode PDP.** Sur la base de la vitesse de rotation à laquelle la pompe volumétrique fonctionne pour un intervalle d'essai, la pente correspondante a_1 , et l'ordonnée à l'origine, a_0 [-], telles que calculées avec la procédure d'étalonnage indiquée à l'appendice 1 de la présente annexe, permettent de calculer le débit molaire \dot{n} [mol/s] de la manière suivante:

$$\dot{n} = f_{n,\text{PDP}} \cdot \frac{P_{\text{in}} \cdot V_{\text{rev}}}{R \cdot T_{\text{in}}} \quad (\text{A.7-40})$$

où:

$$V_{\text{rev}} = \frac{a_1}{f_{n,\text{PDP}}} \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{out}} - P_{\text{in}}}{P_{\text{in}}}} + a_0 \quad (\text{A.7-41})$$

où:

- a_1 = coefficient d'étalonnage [m^3/s]
- a_0 = coefficient d'étalonnage [m^3/tr]
- $P_{\text{in}}, P_{\text{out}}$ = pressions d'entrée et de sortie [Pa]
- R = constante molaire des gaz [$\text{J}/(\text{mol K})$]
- T_{in} = température à l'entrée [K]
- V_{rev} = volume pompé par la PDP [m^3/tr]
- $f_{n,\text{PDP}}$ = vitesse de la pompe PDP [tr/s]
- ii) **Méthode du SSV.** Sur la base de l'équation liant C_d à $R_e^{\#}$ déterminée conformément à l'appendice 1 de la présente annexe, le débit molaire du venturi subsonique (SSV)

pendant un essai d'émissions \dot{n} [mol/s] est calculé de la manière suivante:

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot P_{in}}{\sqrt{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}}} \quad (\text{A.7-42})$$

où:

P_{in} = pression à l'entrée [Pa]

A_t = section transversale du col du venturi [m²]

R = constante molaire des gaz [J/(mol K)]

T_{in} = température à l'entrée [K]

Z = facteur de compressibilité

M_{mix} = masse molaire des gaz d'échappement dilués [kg/mol]

C_d = coefficient de décharge du venturi SSV [-]

C_f = coefficient de débit du SSV [-]

- iii) Méthode du venturi CFV. Pour calculer le débit molaire traversant un venturi ou une combinaison de venturis, on utilise leur moyenne respective C_d et d'autres constantes déterminées conformément à l'appendice 1 de la présente annexe. Le calcul de ce débit molaire \dot{n} [mol/s] pendant un essai d'émissions est effectué de la manière suivante:

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot P_{in}}{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}} \quad (\text{A.7-43})$$

où:

P_{in} = pression à l'entrée [Pa]

A_t = section transversale du col du venturi [m²]

R = constante molaire des gaz [J/(mol K)]

T_{in} = température à l'entrée [K]

Z = facteur de compressibilité

M_{mix} = masse molaire des gaz d'échappement dilués [kg/mol]

C_d = coefficient de décharge du venturi CFV [-]

C_f = coefficient de débit du CFV [-]

A.7.4.4 Détermination de la quantité de particules

A.7.4.4.1 Prélèvement

- a) Prélèvement à partir d'un débit variable:

Si l'on effectue un prélèvement par lots à partir d'un débit de gaz d'échappement variable, l'échantillon prélevé doit être proportionnel au débit variable. On intègre le débit sur un intervalle d'essai pour déterminer le débit total. On multiplie la

concentration en MP moyenne \overline{M}_{PM} (qui est déjà exprimée en unités de masse par mole d'échantillon) par le débit total pour obtenir la masse totale de MP m_{PM} [g]:

$$m_{PM} = \overline{M}_{PM} \cdot \sum_{i=1}^N (\dot{n}_i \cdot \Delta t_i) \quad (A.7-44)$$

où:

\dot{n}_i = débit molaire instantané de gaz d'échappement [mol/s]

\overline{M}_{PM} = concentration moyenne de MP [g/mol]

Δt_i = intervalle de prélèvement [s]

b) Prélèvement à partir d'un débit constant

Si l'on prélève un échantillon dans un débit de gaz d'échappement constant, on détermine le débit molaire moyen duquel est prélevé l'échantillon. Il faut multiplier la concentration moyenne de particules par le débit total pour obtenir la masse totale de MP m_{PM} [g]:

$$m_{PM} = \overline{M} \cdot \dot{n} \cdot \Delta t \quad (A.7-45)$$

où:

\dot{n}_i = débit molaire de gaz d'échappement [mol/s]

\overline{M}_{PM} = concentration moyenne de MP [g/mol]

Δt = durée de l'intervalle de prélèvement [s]

Pour le prélèvement avec un taux de dilution constant (*DR*), on calcule m_{PM} [g] au moyen de la formule suivante:

$$m_{PM} = m_{PMdil} \cdot DR \quad (A.7-46)$$

où:

m_{PMdil} = masse de MP dans l'air de dilution [g]

DR = taux de dilution [-] défini comme étant le rapport entre la masse des émissions *m* et la masse de gaz d'échappement dilués $m_{dil/exh}$ ($DR = m/m_{dil/exh}$).

Le taux de dilution *DR* peut être exprimé comme une fonction de $x_{dil/exh}$:

$$DR = \frac{1}{1 - x_{dil/exh}} \quad (A.7-47)$$

A.7.4.4.2 Correction en fonction des émissions ambiantes

On utilise la même approche que celle du paragraphe A.7.4.1 pour corriger la masse de MP en fonction des émissions ambiantes. En multipliant \overline{M}_{PMbknd} par le débit total d'air de dilution, on obtient la masse totale d'émissions ambiantes de MP (m_{PMbknd} [g]). Par

soustraction de la masse d'émissions ambiantes totale de la masse totale de gaz, on obtient la masse corrigée de matières particulaires m_{PMcor} [g]:

$$m_{PMcor} = m_{PMuncor} - \overline{M}_{PMbknd} \cdot n_{airdil} \quad (A.7-48)$$

où:

$m_{PMuncor}$ = masse de MP non corrigée [g]

\overline{M}_{PMbknd} = concentration moyenne de MP dans l'air de dilution [g/mol]

n_{airdil} = débit molaire de l'air de dilution [mol].

A.7.5 Travail et émissions spécifiques au cours du cycle d'essai

A.7.5.1 Émissions de gaz

A.7.5.1.1 Cycle transitoire et cycle à modes raccordés

On se réfère aux paragraphes A.7.3.1 et A.7.4.1 pour les gaz d'échappement bruts et dilués respectivement. Les valeurs qui en résultent pour la puissance P_i [kW] doivent être intégrées sur un intervalle d'essai. Le travail total W_{act} [kWh] est calculé de la manière suivante:

$$W_{act} = \sum_{i=1}^N P_i \cdot \Delta t_i = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{10^3} \frac{2 \cdot \pi}{60} \sum_{i=1}^N (n_i \cdot T_i) \quad (A.7-49)$$

où:

P_i = puissance instantanée du moteur [kW]

n_i = régime instantané du moteur [min^{-1}]

T_i = couple instantané du moteur [$\text{N} \cdot \text{m}$]

W_{act} = travail effectif au cours du cycle d'essai [kWh]

f = fréquence de collecte des données [Hz]

N = nombre de mesures [-].

Les émissions spécifiques e_{gas} [g/kWh] doivent être calculées selon les indications ci-après et en fonction du type de cycle d'essai.

$$e_{gas} = \frac{m_{gas}}{W_{act}} \quad (A.7-50)$$

où:

m_{gas} = masse totale des émissions [g/essai]

W_{act} = travail effectif au cours du cycle d'essai [kWh].

Dans le cas d'un cycle transitoire, le résultat final de l'essai e_{gas} [g/kWh] doit être une moyenne pondérée des résultats de l'essai de démarrage à froid et de l'essai de démarrage à chaud, calculée selon la formule:

$$e_{gas} = \frac{(0,1 \cdot m_{cold}) + (0,9 \cdot m_{hot})}{(0,1 \cdot W_{actcold}) + (0,9 \cdot W_{acthot})} \quad (A.7-51)$$

En cas de régénération périodique (peu fréquente) des gaz d'échappement (par. 6.6.2), les émissions spécifiques doivent être corrigées avec le facteur d'ajustement multiplicateur k_r (équation (6-4)) ou avec les deux paires distinctes des facteurs d'ajustement additifs k_{Ur} (facteur d'ajustement vers le haut de l'équation (6-5)) et k_{Dr} (facteur d'ajustement vers le bas de l'équation (6-6)).

A.7.5.1.2 Cycle en conditions stationnaires à modes discrets

Les émissions spécifiques e_{gas} [g/kWh] sont calculées comme suit:

$$e_{\text{gas}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} (\dot{m}_{\text{gasi}} \cdot \text{WF}_i)}{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} (P_i \cdot \text{WF}_i)} \quad (\text{A.7-52})$$

où:

$\dot{m}_{\text{gas},i}$ = débit-masse moyen d'émissions pour le mode i [g/h]

P_i = puissance du moteur pour le mode i [kW] avec

$P_i = P_{\text{max } i} + P_{\text{auxi}}$ (voir par. 7.7.1.2 et 6.3)

WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-].

A.7.5.2 Émissions de particules

A.7.5.2.1 Cycle transitoire et cycles à modes raccordés

Les émissions spécifiques de particules doivent être calculées avec la formule (A.7-50), où e_{gas} [g/kWh] et m_{gas} [g/essai] sont remplacés respectivement par e_{PM} [g/kWh] et m_{PM} [g/essai]:

$$e_{\text{PM}} = \frac{m_{\text{PM}}}{W_{\text{act}}} \quad (\text{A.7-53})$$

où:

m_{PM} = masse totale des émissions de particules calculée suivant le paragraphe A.8.3.4 [g/essai]

W_{act} = travail effectif au cours du cycle d'essai [kWh].

Les émissions sur le cycle transitoire composite (c'est-à-dire phase froide et phase chaude) doivent être calculées comme indiqué au paragraphe A.7.5.1.

A.7.5.2.2 Cycle en conditions stationnaires à modes discrets

Les émissions spécifiques de particules e_{PM} [g/kWh] doivent être calculées de la manière suivante:

A.7.5.2.2.1 Pour la méthode à filtre unique

$$e_{\text{PM}} = \frac{\dot{m}_{\text{PM}}}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot \text{WF}_i)} \quad (\text{A.7-54})$$

où:

P_i = puissance du moteur pour le mode i [kW] avec
 $P_i = P_{\max i} + P_{\text{auxi}}$ (voir par. 7.7.1.2 et 6.3)

WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-]

\dot{m}_{PM} = débit-masse de particules [g/h].

A.7.5.2.2.2 Pour la méthode à filtres multiples

$$e_{PM} = \frac{\sum_{i=1}^N (\dot{m}_{PMi} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (\text{A.7-55})$$

où:

P_i = puissance du moteur pour le mode i [kW]
 avec $P_i = P_{\max i} + P_{\text{auxi}}$ (voir par. 7.7.1.2 et 6.3)

WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-]

\dot{m}_{PMi} = débit-masse de particules en mode i [g/h].

Pour la méthode à filtre unique, le facteur de pondération effectif, WF_{effi} , doit être calculé pour chaque mode de la manière suivante:

$$WF_{\text{effi}} = \frac{m_{\text{smpldexhi}} \cdot \overline{\dot{m}_{\text{eqdexhwet}}}}{m_{\text{smpldex}} \cdot \dot{m}_{\text{eqdexhweti}}} \quad (\text{A.7-56})$$

où:

$m_{\text{smpldexhi}}$ = masse de l'échantillon de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte de particules en mode i [kg]

m_{smpldexh} = masse de l'échantillon de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte de particules [kg]

$\dot{m}_{\text{eqdexhweti}}$ = débit-masse équivalent de gaz d'échappement dilués en mode i [kg/s]

$\overline{\dot{m}_{\text{eqdexhwet}}}$ = débit-masse moyen équivalent de gaz d'échappement dilués [kg/s]

La valeur des facteurs de pondération effectifs doit être dans les limites de $\pm 0,005$ (valeur absolue) autour des facteurs de pondération indiqués dans l'annexe 5.

Annexe 4B

Appendice A.7.1

Étalonnage du débit des gaz d'échappement dilués

Le présent appendice traite des calculs d'étalonnage des divers débitmètres. Le paragraphe A.7.6.1 de cet appendice traite de la manière de convertir les valeurs lues sur le débitmètre de référence en vue de leur utilisation dans les formules d'étalonnage, qui sont présentées sur la base du débit molaire. Les autres paragraphes traitent des calculs d'étalonnage qui sont spécifiques à certains types de débitmètres.

A.7.6.1 Conversions des valeurs lues sur le débitmètre de référence

Les équations d'étalonnage contenues dans la présente section utilisent le débit molaire, \dot{n}_{ref} , comme quantité de référence. Si les valeurs correspondent à un autre débit, tel que le débit volumique standard, \dot{V}_{stdref} , le débit volumique réel, \dot{V}_{actref} , ou le débit-masse, \dot{m}_{ref} , il faut les convertir sur la base du débit molaire au moyen de l'une des équations ci-après, en tenant compte du fait que si les valeurs du débit volumique, du débit-masse, de la pression, de la température et de la masse molaire peuvent changer au cours d'un essai d'émissions, il convient néanmoins de les maintenir aussi constantes que cela est pratiquement possible pour chaque point de réglage individuel au cours de l'étalonnage du débitmètre:

$$\dot{n}_{\text{ref}} = \frac{\dot{V}_{\text{stdref}} \cdot p_{\text{std}}}{T_{\text{std}} \cdot R} = \frac{\dot{V}_{\text{actref}} \cdot p_{\text{act}}}{T_{\text{act}} \cdot R} = \frac{\dot{m}_{\text{ref}}}{M_{\text{mix}}} \quad (\text{A.7-57})$$

où:

\dot{n}_{ref}	=	débit molaire de référence [mol/s]
\dot{V}_{stdref}	=	débit volumique de référence, corrigé pour une pression et une température normales [m ³ /s]
\dot{V}_{actref}	=	débit volumique de référence à la pression et à la température réelles [m ³ /s]
\dot{m}_{ref}	=	débit-masse de référence [g/s]
p_{std}	=	pression normale [Pa]
p_{act}	=	pression réelle du gaz [Pa]
T_{std}	=	température normale [K]
T_{act}	=	température réelle du gaz [K]
R	=	constante molaire du gaz [J/(mol · K)]
M_{mix}	=	masse molaire du gaz [g/mol].

A.7.6.2 Calculs d'étalonnage du système PDP

Pour chaque position du restricteur, on calcule comme indiqué ci-après les valeurs suivantes à partir des valeurs moyennes déterminées selon le paragraphe 8.1.8.4:

- a) Volume de PDP pompé par tour, V_{rev} (m³/tr):

$$V_{rev} = \frac{\bar{n}_{ref} \cdot R \cdot \bar{T}_{in}}{\bar{p}_{in} \cdot \bar{f}_{nPDP}} \quad (\text{A.7-58})$$

où:

\bar{n}_{ref} = valeur moyenne du débit molaire de référence [mol/s]

R = constante molaire du gaz [J/(mol · K)]

\bar{T}_{in} = température moyenne d'entrée [K]

\bar{p}_{in} = pression moyenne d'entrée [Pa]

\bar{f}_{nPDP} = vitesse de rotation moyenne [tr/s]

- b) Facteur de correction du glissement de la PDP, K_s [s/tr]:

$$K_s = \frac{1}{\bar{f}_{nPDP}} \cdot \sqrt{\frac{\bar{p}_{out} - \bar{p}_{in}}{\bar{p}_{out}}} \quad (\text{A.7-59})$$

où:

\bar{n}_{ref} = débit molaire de référence moyen [mol/s]

\bar{T}_{in} = température moyenne d'entrée [K]

\bar{p}_{in} = pression moyenne d'entrée [Pa]

\bar{p}_{out} = pression moyenne de sortie [Pa]

\bar{f}_{nPDP} = vitesse de rotation moyenne de la PDP [tr/s]

R = constante molaire du gaz [J/(mol · K)]

- c) On effectue une régression des moindres carrés du volume PDP pompé par tour, V_{rev} , par rapport au facteur de correction de glissement PDP, K_s , en calculant la pente, a_1 , et l'ordonnée à l'origine, a_0 , comme indiqué à l'annexe 4B, appendice A.2;
- d) La procédure décrite aux points a) à c) du présent paragraphe doit être répétée pour chaque régime auquel la pompe PDP est utilisée;
- e) Le tableau suivant montre les résultats de ces calculs pour différentes valeurs de \bar{f}_{nPDP} :

Tableau A.7.2

Exemple de données d'étalonnage PDP

\bar{f}_{nPDP} [tr/min]	\bar{f}_{nPDP} [tr/s]	a_1 [m ³ /min]	a_1 [m ³ /s]	a_0 [m ³ /tr]
755,0	12,58	50,43	0,8405	0,056
987,6	16,46	49,86	0,831	-0,013
1 254,5	20,9	48,54	0,809	0,028
1 401,3	23,355	47,30	0,7883	-0,061

- f) Pour chaque vitesse à laquelle la pompe PDP est utilisée, la pente correspondante a_1 , et l'ordonnée à l'origine a_0 , doivent être utilisées pour le calcul du débit au cours de l'essai d'émissions, comme indiqué au paragraphe A.7.4.3 b).

A.7.6.3 Équations régissant le fonctionnement du venturi et hypothèses acceptables

La présente section indique les formules et les hypothèses acceptables pour l'étalonnage du venturi et le calcul du débit au moyen de cet instrument. Étant donné qu'un venturi subsonique (SSV) et un venturi en régime critique (CFV) fonctionnent d'une manière analogue, les équations qui les régissent sont pratiquement les mêmes, sauf pour l'équation qui indique leur rapport de pression, r (c'est-à-dire r_{SSV} sur r_{CFV}). Ces équations sont fondées sur l'hypothèse d'un débit compressible exempt de viscosité isentropique d'un gaz parfait. Au paragraphe A.7.6.3 d), sont décrites d'autres hypothèses pouvant être faites. Si l'hypothèse d'un gaz parfait pour le débit mesuré n'est pas admissible, les équations fondamentales comportent une correction du premier ordre pour le comportement d'un gaz réel; à savoir, le facteur de compressibilité, Z . S'il ressort des pratiques techniques reconnues qu'il faut employer une valeur autre que $Z = 1$, on peut utiliser une équation d'état appropriée pour déterminer des valeurs de Z en fonction des pressions et des températures mesurées, ou on peut mettre au point des formules d'étalonnage spécifiques en suivant les pratiques techniques reconnues. Il convient de noter que l'équation pour le coefficient de débit, C_f , est fondée sur l'hypothèse d'un gaz parfait selon laquelle l'exposant isentropique, γ , est égal au rapport des chaleurs spécifiques, c_p/c_v . S'il ressort des pratiques techniques reconnues qu'il faut utiliser un exposant isentropique de gaz réel, on peut appliquer une équation d'état appropriée pour déterminer les valeurs de γ en fonction des pressions et températures mesurées, ou on peut mettre au point des équations d'étalonnage spécifiques. Le débit molaire, \dot{n} [mol/s], doit être calculé comme suit:

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot p_{\text{in}}}{\sqrt{Z \cdot M_{\text{mix}} \cdot R \cdot T_{\text{in}}}} \quad (\text{A.7-60})$$

où:

C_d = coefficient de décharge, tel que déterminé au paragraphe A.7.6.3 a) [-]

C_f = coefficient de débit, tel que déterminé au paragraphe A.7.6.3 b) [-]

- A_t = section transversale du col du venturi [m²]
 p_{in} = pression statique absolue à l'entrée du venturi [Pa]
 Z = facteur de compressibilité [-]
 M_{mix} = masse molaire du mélange gazeux [kg/mol]
 R = constante molaire du gaz [J/(mol · K)]
 T_{in} = température absolue à l'entrée du venturi [K]
 a) À l'aide des données rassemblées conformément au paragraphe 8.1.8.4, on calcule C_d au moyen de la formule suivante:

$$C_d = \dot{n}_{ref} \cdot \frac{\sqrt{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}}}{C_f \cdot A_t \cdot p_{in}} \quad (A.7-61)$$

où:

\dot{n}_{ref} = débit molaire de référence [mol/s];

Les autres symboles sont les mêmes que ceux de la formule (A.7-60);

- b) On détermine C_f par l'une des méthodes suivantes:
 i) Pour les débitmètres CFV seulement, C_{fCFV} est tiré du tableau suivant sur la base des valeurs de β (rapport des diamètres du col et de l'entrée du venturi) et γ (rapport des chaleurs spécifiques du mélange gazeux); on procède à une interpolation linéaire pour déterminer les valeurs intermédiaires:

Tableau A.7.3

C_{fCFV} en fonction de β et de γ pour les débitmètres CFV

C_{fCFV}		
β	$\gamma_{exh} = 1,385$	$\gamma_{dexh} = \gamma_{air} = 1,399$
0,000	0,6822	0,6846
0,400	0,6857	0,6881
0,500	0,6910	0,6934
0,550	0,6953	0,6977
0,600	0,7011	0,7036
0,625	0,7047	0,7072
0,650	0,7089	0,7114
0,675	0,7137	0,7163
0,700	0,7193	0,7219
0,720	0,7245	0,7271
0,740	0,7303	0,7329
0,760	0,7368	0,7395

C_{tCFV}		
β	$\gamma_{exh} = 1,385$	$\gamma_{dexh} = \gamma_{air} = 1,399$
0,770	0,7404	0,7431
0,780	0,7442	0,7470
0,790	0,7483	0,7511
0,800	0,7527	0,7555
0,810	0,7573	0,7602
0,820	0,7624	0,7652
0,830	0,7677	0,7707
0,840	0,7735	0,7765
0,850	0,7798	0,7828

- ii) Pour tout débitmètre CFV ou SSV, on peut utiliser la formule suivante pour calculer C_f :

$$C_f = \left[\frac{2 \cdot \gamma \cdot \left(r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)}{(\gamma-1) \cdot \left(\beta^4 - r^{\frac{-2}{\gamma}} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A.7-62})$$

où:

γ = exposant isentropique [-]. Pour un gaz parfait, il s'agit du rapport des chaleurs spécifiques du mélange gazeux, c_p/c_v

r = rapport de pression, comme déterminé au paragraphe c) de la présente section

β = rapport entre les diamètres du col et de l'entrée du venturi

- c) Le rapport de pression r doit être calculé de la manière suivante:

- i) Pour les systèmes SSV seulement, r_{SSV} est calculé au moyen de la formule suivante:

$$r_{SSV} = 1 - \frac{\Delta p_{SSV}}{p_{in}} \quad (\text{A.7-63})$$

où:

Δp_{SSV} = pression statique différentielle entre l'entrée et le col du venturi [Pa]

- ii) Pour les systèmes CFV seulement, r_{CFV} doit être calculé itérativement au moyen de la formule suivante:

$$r_{CFV}^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} + \left(\frac{\gamma-1}{2} \right) \cdot \beta^4 \cdot r_{CFV}^{\frac{2}{\gamma}} = \frac{\gamma+1}{2} \quad (\text{A.7-64})$$

- d) On peut appliquer l'une quelconque des hypothèses de simplification suivantes des formules, ou suivre les pratiques techniques reconnues et déterminer des valeurs plus appropriées pour les essais:

- i) Pour les essais d'émissions sur l'ensemble des plages des gaz d'échappement bruts, des gaz d'échappement dilués et de l'air de dilution, on peut considérer que le mélange gazeux se comporte comme un gaz parfait: $Z = 1$;
- ii) Pour l'ensemble de la plage des gaz d'échappement bruts, on peut partir de l'hypothèse d'un rapport constant des chaleurs spécifiques $\gamma = 1,385$;
- iii) Pour la plage complète des gaz d'échappement dilués et d'air (air d'étalonnage ou air de dilution), on peut partir de l'hypothèse d'un rapport constant des chaleurs spécifiques $\gamma = 1,399$;
- iv) Pour la plage complète des gaz d'échappement et de l'air dilué, la masse molaire du mélange, M_{mix} [g/mol] peut être considérée comme étant seulement fonction de la quantité d'eau dans l'air de dilution ou d'étalonnage, x_{H_2O} , déterminée comme indiqué au paragraphe A.7.1.2, de la manière suivante:

$$M_{mix} = M_{air} \cdot (1 - x_{H_2O}) + M_{H_2O} \cdot (x_{H_2O}) \quad (\text{A.7-65})$$

où:

$$M_{air} = 28,96559 \text{ g/mol}$$

$$M_{H_2O} = 18,01528 \text{ g/mol}$$

$$x_{H_2O} = \text{quantité d'eau dans l'air de dilution ou d'étalonnage [mol/mol];}$$

- v) On peut partir de l'hypothèse, pour la plage complète des gaz d'échappement dilués et d'air, d'une masse molaire constante de mélange, M_{mix} , pour tous les étalonnages et les essais pour autant que la masse molaire supposée reste dans les limites de $\pm 1\%$ autour de la masse molaire minimale et maximale estimée pendant l'étalonnage et les essais. On peut partir de cette hypothèse si l'on est certain de contrôler suffisamment la quantité d'eau dans l'air d'étalonnage et dans l'air de dilution, ou si une quantité suffisante d'eau est éliminée à la fois de l'air d'étalonnage et de l'air de dilution. Le tableau suivant donne des exemples de plages possibles de point de rosée de l'air de dilution par rapport au point de rosée de l'air d'étalonnage:

Tableau A.7.4

Exemples de points de rosée de l'air de dilution et de l'air d'étalonnage pour lesquels on peut partir de l'hypothèse de M_{mix} constant

<i>Si étalonnage T_{dew} (°C) est ...</i>	<i>On part de l'hypothèse M_{mix} (g/mol) suivante</i>	<i>Pour les plages suivantes de T_{dew} (°C) pendant les essais d'émissions^a</i>
Sec	28,96559	sec à 18
0	28,89263	sec à 21
5	28,86148	sec à 22
10	28,81911	sec à 24
15	28,76224	sec à 26
20	28,68685	-8 à 28
25	28,58806	12 à 31
30	28,46005	23 à 34

^a Plage valable pour tous les essais d'étalonnage et d'émissions sur la plage de pression atmosphérique (80,000 à 103,325) kPa.

A.7.6.4 Étalonnage d'un débitmètre SSV

a) **Méthode molaire.** Pour étalonner un débitmètre SSV, on procède de la manière suivante:

- i) On calcule le nombre de Reynolds, $Re^{\#}$, pour chaque débit molaire de référence en utilisant le diamètre du col du venturi d_t . Étant donné que la viscosité dynamique μ est nécessaire pour calculer $Re^{\#}$, on peut utiliser un modèle de viscosité spécifique pour déterminer μ pour le gaz d'étalonnage (généralement de l'air), en suivant les pratiques techniques reconnues. On peut aussi utiliser le modèle de viscosité à trois coefficients de Sutherland pour déterminer approximativement μ :

$$Re^{\#} = \frac{4 \cdot M_{\text{mix}} \cdot \dot{n}_{\text{ref}}}{\pi \cdot d_t \cdot \mu} \quad (\text{A.7-66})$$

où:

d_t = diamètre du col du SSV [m]

M_{mix} = masse molaire du mélange [kg/mol]

\dot{n}_{ref} = débit molaire de référence [mol/s]

et, au moyen du modèle de viscosité à trois coefficients de Sutherland:

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T_{\text{in}}}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{T_0 + S}{T_{\text{in}} + S} \right) \quad (\text{A.7-67})$$

où:

- μ = viscosité dynamique du gaz d'étalonnage [kg/(m·s)]
- μ_0 = viscosité de référence de Sutherland [kg/(m·s)]
- S = constante de Sutherland [K]
- T_0 = température de référence de Sutherland [K]
- T_{in} = température absolue à l'entrée du venturi [K].

Tableau A.7.5

Paramètres du modèle de viscosité à trois coefficients de Sutherland

<i>Gaz^a</i>	μ_0	T_0	S	<i>Plage de température avec erreur de ± 2 %</i>	<i>Limite de pression</i>
	<i>kg/(m·s)</i>	<i>K</i>	<i>K</i>	<i>K</i>	<i>kPa</i>
Air	$1,716 \times 10^{-5}$	273	111	170 à 1 900	$\leq 1\ 800$
CO ₂	$1,370 \times 10^{-5}$	273	222	190 à 1 700	$\leq 3\ 600$
H ₂ O	$1,12 \times 10^{-5}$	350	1,064	360 à 1 500	$\leq 10\ 000$
O ₂	$1,919 \times 10^{-5}$	273	139	190 à 2 000	$\leq 2\ 500$
N ₂	$1,663 \times 10^{-5}$	273	107	100 à 1 500	$\leq 1\ 600$

^a On utilise uniquement des paramètres du tableau pour les gaz purs énumérés ici. Il ne faut pas combiner les paramètres de calcul de viscosité des mélanges gazeux.

- ii) On établit une formule pour C_d en fonction de $Re^\#$ en utilisant des valeurs appariées de ($Re^\#$, C_d). On calcule C_d au moyen de la formule (A.7-61), avec C_f obtenu par la formule (A.7-62), ou toute expression mathématique, y compris une série polynômiale ou une série de puissances. L'équation suivante est un exemple de la formule mathématique couramment utilisée pour établir la relation entre C_d et $Re^\#$:

$$C_d = a_0 - a_1 \cdot \sqrt{\frac{10^6}{Re^\#}} \quad (\text{A.7-68})$$

- iii) On effectue une analyse par régression des moindres carrés pour déterminer les coefficients de meilleur ajustement dans la formule et on calcule les statistiques de régression de la formule, l'erreur type d'estimation SEE et le coefficient de détermination r^2 , conformément à l'annexe 4B, appendice A.2;
- iv) Si l'équation satisfait aux critères $SEE < 0,5 \% \cdot \dot{m}_{refmax}$ (ou \dot{m}_{refmax}) et $r^2 \geq 0,995$, on peut l'utiliser pour déterminer C_d pour les essais d'émissions, comme indiqué dans le paragraphe A.7.4.3 b);
- v) Si les critères pour SEE et r^2 ne sont pas satisfaits, on peut, en suivant les procédures techniques reconnues, omettre des points d'étalonnage pour satisfaire aux statistiques de régression. On doit utiliser au moins sept points de données d'étalonnage pour satisfaire aux critères;

- vi) Si le fait d'omettre des points n'élimine pas les valeurs aberrantes, il faut prendre des mesures pour remédier à la situation. On utilise par exemple une autre expression mathématique pour l'équation de C_d en fonction de $Re^{\#}$, on doit rechercher la présence de fuites ou on répète le processus d'étalonnage. Si le processus doit être recommencé, on doit appliquer des tolérances plus serrées pour les mesures et attendre plus longtemps la stabilisation des débits;
- vii) Lorsque l'équation répond aux critères de régression, elle peut être utilisée uniquement pour déterminer les débits qui sont dans la plage des débits de référence à appliquer pour satisfaire aux critères de régression de l'équation de C_d en fonction de $Re^{\#}$.

A.7.6.5 Étalonnage du CFV

- a) Méthode fondée sur la molarité. Certains débitmètres CFV sont constitués d'un venturi unique et d'autres de venturis multiples, où les différentes combinaisons de venturis servent à mesurer des débits différents. Dans le cas de certains débitmètres CFV formés de plusieurs venturis, on peut soit étalonner chaque venturi indépendamment pour déterminer un coefficient de décharge distinct, C_d , pour chaque venturi soit étalonner une combinaison de venturis en une seule opération. Lors de l'étalonnage d'une combinaison de venturis, on prend la somme des surfaces actives des cols comme A_t , la racine carrée de la somme des carrés des diamètres actifs des cols des venturis comme d_t , et le rapport des diamètres du col et de l'entrée des venturis en tant que rapport de la racine carrée de la somme des diamètres actifs des cols des venturis (d_t) au diamètre de l'entrée commune de tous les venturis (D). Pour déterminer le C_d d'un venturi unique ou d'une combinaison unique de venturis, on procède de la manière suivante:
 - i) Avec les données rassemblées à chaque point d'étalonnage, on calcule un C_d individuel pour chaque point au moyen de l'équation (A.7-60);
 - ii) La moyenne et l'écart type de toutes les valeurs C_d doivent être calculés avec les équations (A.2-1) et (A.2-2);
 - iii) Si l'écart type de toutes les valeurs C_d est inférieur ou égal à 0,3 % de la valeur moyenne de C_d , on utilise la moyenne de C_d dans l'équation (A.7-43), et on utilise le CFV uniquement jusqu'à la valeur r la plus basse mesurée pendant l'étalonnage;

$$r = 1 - (\Delta p / p_{in}) \quad (A.7-69)$$
 - iv) Si l'écart type de toutes les valeurs de C_d dépasse 0,3 % du C_d moyen, les valeurs de C_d correspondant à ce point de données à la valeur r la plus basse mesurée pendant l'étalonnage doivent être omises;

- v) Si le nombre de points de données restant est inférieur à sept, on y remédie en vérifiant les données d'étalonnage ou en répétant le processus d'étalonnage. Si le processus d'étalonnage est répété, il est recommandé de rechercher la présence de fuites, d'appliquer des tolérances plus serrées pour les mesures et d'attendre plus longtemps la stabilisation des débits;
- vi) Si le nombre de valeurs de C_d restantes est égal ou supérieur à sept, il faut recalculer la moyenne et l'écart type des valeurs de C_d restantes;
- vii) Si l'écart type des valeurs de C_d restantes est inférieur ou égal à 0,3 % de la moyenne des valeurs de C_d restantes, on doit utiliser cette valeur moyenne de C_d dans l'équation (A.7-43) et on doit utiliser uniquement les valeurs de CFV jusqu'à la valeur r la plus basse associée au C_d restant;
- viii) Si l'écart type des C_d restants est toujours supérieur à 0,3 % de la moyenne des valeurs de C_d restantes, il faut répéter les opérations des sous-alinéas iv à viii du point e) de la présente section.

Annexe 4B

Appendice A.7.2

Correction pour tenir compte de la dérive

A.7.7.1 Étendue et fréquence

Les calculs mentionnés dans le présent appendice 2 sont effectués pour déterminer si la dérive de l'analyseur de gaz invalide les résultats d'un intervalle d'essai. Si les résultats d'un intervalle d'essai ne sont pas invalidés en raison de la dérive, il faut corriger de la dérive les réponses de l'analyseur de gaz de l'intervalle d'essai, conformément au présent appendice 2. Les résultats des analyseurs de gaz corrigés de la dérive doivent être utilisés dans tous les calculs d'émissions suivants. Le maximum acceptable pour la dérive d'un analyseur de gaz sur un intervalle d'essai est précisé au paragraphe 8.2.2.2.

A.7.7.2 Principes de correction

Les calculs du présent appendice 2 sont fondés sur les réponses d'un analyseur de gaz à des concentrations zéro et des concentrations de calibrage des gaz d'analyse, telles qu'elles sont déterminées peu avant et peu après un intervalle d'essai. Les calculs servent à corriger les réponses de l'analyseur de gaz qui ont été enregistrées au cours d'un intervalle d'essai. La correction est fondée sur les réponses moyennes de l'analyseur aux gaz de référence zéro ainsi qu'aux gaz de calibrage et sur les concentrations de référence de ces gaz. La validation et la correction pour tenir compte de la dérive s'effectuent de la manière décrite ci-après.

A.7.7.3 Validation de la dérive

Après avoir appliqué toutes les autres corrections – sauf les corrections en fonction de la dérive – à tous les signaux d'analyseur de gaz, on calcule les émissions spécifiques au frein conformément au paragraphe A.7.5. Ensuite tous les signaux de l'analyseur de gaz doivent être corrigés de la dérive, conformément au présent appendice 2. Les émissions spécifiques au frein doivent ensuite être recalculées à l'aide des signaux d'analyseur de gaz corrigés de la dérive. Les résultats des émissions spécifiques au frein doivent être validés et signalés avant et après la correction de la dérive, conformément au paragraphe 8.2.2.2.

A.7.7.4 Correction pour tenir compte de la dérive

Tous les signaux des analyseurs de gaz doivent être corrigés de la manière suivante:

- a) Chaque concentration enregistrée, x_i , doit être corrigée pour le prélèvement continu ou par lots, \bar{X} ;
- b) La correction pour la dérive doit être faite au moyen de la formule suivante:

$$x_{\text{idriftcor}} = x_{\text{refzero}} + (x_{\text{refspan}} - x_{\text{refzero}}) \frac{2x_i - (x_{\text{prezero}} + x_{\text{postzero}})}{(x_{\text{prespan}} + x_{\text{postspan}}) - (x_{\text{prezero}} + x_{\text{postzero}})} \quad (\text{A.7-70})$$

où:

$x_{\text{idriftcor}}$	=	concentration corrigée de la dérive [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{refzero}	=	concentration de référence du gaz zéro, qui est généralement zéro sauf si l'on sait qu'elle a une autre valeur [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{refspan}	=	concentration de référence du gaz de calibrage [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{prespan}	=	réponse de l'analyseur de gaz, dans l'intervalle préessai, à la concentration de gaz de calibrage [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{postspan}	=	réponse de l'analyseur de gaz, dans l'intervalle postessai, à la concentration de gaz de calibrage [$\mu\text{mol/mol}$]
x_i ou \bar{X}	=	concentration enregistrée, c'est-à-dire mesurée pendant l'essai, avant la correction en fonction de la dérive [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{prezero}	=	réponse de l'analyseur de gaz, dans l'intervalle préessai, à la concentration de gaz zéro [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{postzero}	=	réponse de l'analyseur de gaz, dans l'intervalle postessai à la concentration de gaz zéro [$\mu\text{mol/mol}$]

- c) Pour toute concentration dans l'intervalle préessai, il faut utiliser les concentrations déterminées le plus récemment avant l'intervalle d'essai. Pour certains intervalles d'essai, la concentration prézero ou précalibrage la plus récente peut avoir été obtenue avant un ou plusieurs intervalles d'essai antérieurs;
- d) Pour toute concentration dans l'intervalle postessai, il faut utiliser les concentrations déterminées le plus récemment après l'intervalle d'essai. Pour certains intervalles d'essai, la concentration postzero ou postcalibrage la plus récente peut avoir été obtenue après un ou plusieurs intervalles d'essai ultérieurs;
- e) Si l'on n'a pas enregistré une réponse x_{prespan} de l'analyseur lors d'un intervalle quelconque préessai, x_{prespan} est considéré comme égal à la concentration de référence du gaz de calibrage: $x_{\text{prespan}} = x_{\text{refspan}}$;
- f) Si l'on n'a pas enregistré une réponse x_{prezero} de l'analyseur lors d'un intervalle quelconque préessai, x_{prezero} est considéré comme égal à la concentration de référence du gaz zéro: $x_{\text{prezero}} = x_{\text{refzero}}$;
- g) Généralement, la concentration de référence du gaz zéro, x_{refzero} , est zéro: $x_{\text{refzero}} = 0 \mu\text{mol/mol}$. Toutefois, dans certains cas, il est possible que l'on sache que x_{refzero} n'a pas une concentration nulle. Par exemple, si un analyseur de CO_2 est mis à zéro au moyen d'air

ambient, la concentration par défaut en CO₂, qui est de 375 µmol/mol, peut être utilisée. Dans ce cas, $x_{\text{refzero}} = 375 \text{ µmol/mol}$. Lorsqu'un analyseur est mis à zéro au moyen d'un x_{refzero} non nul, l'analyseur doit être calibré de manière à afficher la concentration x_{refzero} réelle. Par exemple, si $x_{\text{refzero}} = 375 \text{ µmol/mol}$, l'analyseur doit être réglé pour indiquer une valeur de 375 µmol/mol lorsque le gaz de zéro passe dans l'analyseur.

Annexe 4B

Appendice A.8

Calculs des émissions sur la base de la masse

A.8.0 Conversion des symboles

A.8.0.1 Symboles généraux

<i>Appendice A.8</i>	<i>Appendice A.7</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantité</i>
b, D₀	a₀	a.d.³	Ordonnée à l'origine de la droite de régression
m	a₁	a.d.³	Pente de la droite de régression
A/F_{st}		-	Rapport air/carburant stœchiométrique
C_d	C_d	-	Coefficient de décharge
c	x	ppm, % vol	Concentration (μmol/mol = ppm)
c_d	1	ppm, % vol	Concentration en conditions sèches
c_w	1	ppm, % vol	Concentration en conditions humides
c_b	1	ppm, % vol	Concentration ambiante
D	x_{dil}	-	Facteur de dilution²
D₀		m³/tr	Ordonnée à l'origine pour l'étalonnage PDP
d	d	m	Diamètre
d_v		m	Diamètre du col du venturi
e	e	g/kWh	Base spécifique du banc
e_{gas}	e_{gas}	g/kWh	Émissions spécifiques de constituants gazeux
e_{PM}	e_{PM}	g/kWh	Émissions spécifiques de matières particulaires
E	1 – PF	%	Rendement de conversion (PF = Fraction de pénétration)
F_s		-	Facteur stœchiométrique
f_c		-	Facteur carbone
H		g/kg	Humidité absolue
K_v		$\left[\left(\sqrt{\text{K} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s}} \right) / \text{kg} \right]$	Fonction d'étalonnage du CFV
k_f		m³/kg carburant	Facteur spécifique du carburant
k_h		-	Facteur de correction de l'humidité pour NO_x, moteurs diesel
k_{Dr}	k_{Dr}	-	Facteur d'ajustement vers le bas
k_r	k_r	-	Facteur de régénération multiplicatif
k_{Ur}	k_{Ur}	-	Facteur d'ajustement vers le haut

<i>Appendice A.8</i>	<i>Appendice A.7</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantité</i>
$k_{w,a}$		-	Facteur de correction sec à humide pour l'air d'admission
$k_{w,d}$		-	Facteur de correction sec à humide pour l'air de dilution
$k_{w,e}$		-	Facteur de correction sec à humide pour les gaz d'échappement dilués
$k_{w,r}$		-	Facteur de correction sec à humide pour les gaz d'échappement bruts
μ	μ	kg/(m·s)	Viscosité dynamique
M	M	g/mol	Masse molaire ³
M_a	¹	g/mol	Masse molaire de l'air d'admission
M_e	¹	g/mol	Masse molaire des gaz d'échappement
M_{gas}	M_{gas}	g/mol	Masse molaire des constituants gazeux
m	m	kg	Masse
q_m	\dot{m}	kg/s	Débit-masse
m_d	¹	kg	Masse de l'échantillon d'air de dilution ayant traversé les filtres de collecte des particules
m_{ed}	¹	kg	Masse totale de gaz d'échappement dilués sur l'ensemble du cycle
m_{edf}	¹	kg	Masse de gaz d'échappement dilués équivalente sur l'ensemble du cycle
m_{ew}	¹	kg	Masse totale de gaz d'échappement sur l'ensemble du cycle
m_f	¹	mg	Masse des échantillons de particules collectés
$m_{f,d}$	¹	mg	Masse des particules collectées dans l'air de dilution
m_{gas}	m_{gas}	g	Masse des émissions gazeuses sur l'ensemble du cycle d'essai
m_{PM}	m_{PM}	g	Masse des émissions de particules sur l'ensemble du cycle d'essai
m_{se}	¹	kg	Masse d'échantillons d'échappement sur l'ensemble du cycle d'essai
m_{sed}	¹	kg	Masse de gaz d'échappement dilués traversant le tunnel de dilution
m_{sep}	¹	kg	Masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte des particules
m_{ssd}		kg	Masse d'air de dilution secondaire
n	f_n	min ⁻¹	Régime du moteur
n_p		tr/s	Vitesse de rotation de la pompe PDP
P	P	kW	Puissance
p	p	kPa	Pression
p_a		kPa	Pression atmosphérique en conditions sèches

<i>Appendice A.8</i>	<i>Appendice A.7</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantité</i>
P_b		kPa	Pression atmosphérique totale
P_a		kPa	Pression de vapeur de saturation de l'air de dilution
P_p	P_{abs}	kPa	Pression absolue
P_r	P_{H2O}	kPa	Pression de vapeur d'eau
P_s		kPa	Pression atmosphérique en conditions sèches
1 – E	PF	%	Fraction de pénétration
Q_{mad}	\dot{m}^1	kg/s	Débit-masse d'air d'admission en conditions sèches
Q_{maw}	1	kg/s	Débit-masse d'air d'admission en conditions humides
Q_{mCe}	1	kg/s	Débit-masse de carbone dans les gaz d'échappement bruts
Q_{mCf}	1	kg/s	Débit-masse de carbone dans le moteur
Q_{mCp}	1	kg/s	Débit-masse de carbone dans le système de dilution du flux partiel
Q_{mdew}	1	kg/s	Débit-masse de gaz d'échappement dilués en conditions humides
Q_{mdw}	1	kg/s	Débit-masse d'air d'admission dilué en conditions humides
Q_{medf}	1	kg/s	Débit-masse équivalent de gaz d'échappement dilués en conditions humides
Q_{mew}	1	kg/s	Débit-masse des gaz d'échappement en conditions humides
Q_{mex}	1	kg/s	Débit-masse d'échantillons extraits du tunnel de dilution
Q_{mf}	1	kg/s	Débit-masse de carburant
Q_{mp}	1	kg/s	Débit d'échantillon de gaz d'échappement dans le système de dilution partielle du flux
Q_v	\dot{V}	m³/s	Débit volumique
Q_{vcvs}	1	m³/s	Débit volumique du CVS
Q_{vs}	1	dm³/min	Débit du système d'analyseur des gaz d'échappement
Q_{vt}	1	cm³/min	Débit du gaz traceur
ρ	ρ	kg/m³	Masse volumique
ρ_e		kg/m³	Masse volumique des gaz d'échappement
r_d	DR	-	Taux de dilution²
RH		%	Humidité relative
r_D	β	m/m	Rapport des diamètres (systèmes CVS)
r_p		-	Rapport de pression du SSV
Re	Re[#]	-	Nombre de Reynolds
σ	σ	-	Écart type
T	T	°C	Température

<i>Appendice A.8</i>	<i>Appendice A.7</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantité</i>
T_a		K	Température absolue
t	t	s	Temps
Δt	Δt	s	Intervalle de temps
u		-	Rapport entre les densités du constituant gazeux et celles des gaz d'échappement
V	V	m^3	Volume
q_v	\dot{V}	m^3/s	Débit volumique
V_0		m^3/r	Volume de gaz pompé par tour de la pompe PDP
W	W	kWh	Travail
W_{act}	W_{act}	kWh	Travail réel sur l'ensemble du cycle d'essai
WF	WF	-	Facteur de pondération
w	w	g/g	Fraction massique
X_0	K_s	s/rev	Fonction d'étalonnage de la pompe PDP
\bar{y}	\bar{y}		Moyenne arithmétique

¹ Voir les indices; par exemple: \dot{m}_{air} pour le débit-masse de l'air sec, \dot{m}_{fuel} pour le débit-masse du carburant, etc.

² Taux de dilution r_d dans l'appendice A.8 et DR dans l'appendice A.7: symboles différents mais de même sens et mêmes formules. Facteur de dilution D dans l'appendice A.8 et x_{dil} dans l'appendice A.7: symboles différents mais même sens physique; l'équation (A.7-47) représente la relation entre x_{dil} et DR .

³ a.d. = à définir.

A.8.0.2 Indices

<i>Appendice A.8¹</i>	<i>Appendice A.7</i>	<i>Quantité</i>
act	act	Quantité réelle
i		Mesure instantanée (par exemple 1 Hz)
	i	Élément d'une série

¹ Dans l'appendice A.8 le sens de l'indice est déterminé par la quantité associée. Par exemple, l'indice «d» peut indiquer «en conditions sèches» dans c_d (c_d = concentration en conditions sèches); «air de dilution» dans p_d (p_d = pression de vapeur de saturation de l'air de dilution); «sec» dans $k_{w,d}$ ($k_{w,d}$ = facteur de correction sec à humide pour l'air de dilution); «dilution» dans r_d (r_d = taux de dilution).

A.8.0.3 Symboles et abréviations des composants chimiques (aussi utilisés comme indices)

Appendice A.8	Appendice A.7	Quantité
Ar	Ar	Argon
C1	C1	Hydrocarbures exprimés en équivalent carbone 1
CH ₄	CH ₄	Méthane
C ₂ H ₆	C ₂ H ₆	Éthane
C ₃ H ₈	C ₃ H ₈	Propane
CO	CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	CO ₂	Dioxyde de carbone
DOP	DOP	Di-octylphthalate
HC	HC	Hydrocarbures
H ₂ O	H ₂ O	Eau
HCNM	HCNM	Hydrocarbures non méthaniques
MP	MP	Particules
NO _x	NO _x	Oxydes d'azote
NO	NO	Oxyde nitrique
NO ₂	NO ₂	Dioxyde d'azote
S	S	Soufre

A.8.0.4 Symboles et abréviations relatifs à la composition du carburant

Appendice A.8 ¹	Appendice A.7 ²	Quantité
w _C ⁴	w _C ⁴	Teneur en carbone du carburant, fraction en masse [g/g] ou [pourcentage de masse]
w _H	w _H	Teneur en hydrogène du carburant, fraction en masse [g/g] ou [pourcentage de masse]
w _N	w _N	Teneur en azote du carburant, fraction en masse [g/g] ou [pourcentage de masse]
w _O	w _O	Teneur en oxygène du carburant, fraction en masse [g/g] ou [pourcentage de masse]
w _S	w _S	Teneur en soufre du carburant, fraction en masse [g/g] ou [pourcentage de masse]
α	α	Rapport hydrogène atomique/carbone (H/C)
ε	β	Rapport oxygène atomique/carbone (O/C) ³
γ	γ	Rapport soufre atomique/carbone (S/C)
δ	δ	Rapport azote atomique/carbone (N/C)

¹ Fait référence à un carburant ayant comme formule chimique CH_αO_εN_δS_γ.

² Fait référence à un carburant ayant comme formule chimique CH_αO_βS_γN_δ.

³ Il convient de prêter attention aux divers sens du symbole β dans les deux annexes relatives au calcul des émissions: dans l'appendice A.8, il désigne un carburant ayant comme formule chimique CH_αS_γN_δO_ε (c'est-à-dire la formule C_βH_αS_γN_δO_ε où β = 1, en partant de l'hypothèse d'un atome de carbone par molécule), alors que, dans l'appendice A.7, il désigne le rapport oxygène/carbone avec la formule CH_αO_βS_γN_δ. Dans ce cas, β de l'appendice A.7 correspond à ε de l'appendice A.8.

⁴ La fraction en masse w est accompagnée du symbole de l'élément chimique mentionné en indice.

A.8.1 Paramètres de base**A.8.1.1 Détermination des concentrations de HC méthaniques et non méthaniques**

Le calcul des HCNM et du CH₄ dépend de la méthode d'étalonnage utilisée. L'analyseur FID utilisé pour la mesure sans convertisseur NMC doit être étalonné au propane. Pour l'étalonnage d'un analyseur FID utilisé en série avec un convertisseur NMC, les méthodes suivantes sont autorisées:

- Gaz d'étalonnage – propane; le propane contourne le convertisseur NMC;
- Gaz d'étalonnage – méthane; le méthane passe à travers le convertisseur NMC.

La concentration de HCNM (c_{NMHC} [-]) et de CH₄ (c_{CH_4} [-]) doit être calculée de la manière suivante pour a):

$$c_{\text{NMHC}} = \frac{c_{\text{HC(w/oNMC)}} \cdot (1 - E_{\text{CH}_4}) - c_{\text{HC(w/NMC)}}}{E_{\text{C}_2\text{H}_6} - E_{\text{CH}_4}} \quad (\text{A.8-1a})$$

$$c_{\text{CH}_4} = \frac{c_{\text{HC(w/NMC)}} - c_{\text{HC(w/oNMC)}} \cdot (1 - E_{\text{C}_2\text{H}_6})}{\text{RF}_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]} \cdot (E_{\text{C}_2\text{H}_6} - E_{\text{CH}_4})} \quad (\text{A.8-2a})$$

La concentration de HCNM et de CH₄ doit être calculée de la manière suivante pour b):

$$c_{\text{NMHC}} = \frac{c_{\text{HC(w/oNMC)}} \cdot (1 - E_{\text{CH}_4}) - c_{\text{HC(w/NMC)}} \cdot \text{RF}_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]} \cdot (1 - E_{\text{CH}_4})}{E_{\text{C}_2\text{H}_6} - E_{\text{CH}_4}} \quad (\text{A.8-1b})$$

$$c_{\text{CH}_4} = \frac{c_{\text{HC(w/NMC)}} \cdot \text{RF}_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]} \cdot (1 - E_{\text{CH}_4}) - c_{\text{HC(w/oNMC)}} \cdot (1 - E_{\text{C}_2\text{H}_6})}{\text{RF}_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]} \cdot (E_{\text{C}_2\text{H}_6} - E_{\text{CH}_4})} \quad (\text{A.8-2b})$$

où:

- | | | |
|---|---|--|
| $c_{\text{HC(w/NMC)}}$ | = | concentration de HC avec échantillon de gaz traversant le convertisseur NMC [ppm] |
| $c_{\text{HC(w/oNMC)}}$ | = | concentration de HC avec échantillon de gaz contournant le convertisseur NMC [ppm] |
| $\text{RF}_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]}$ | = | facteur de réponse au méthane, tel que déterminé au paragraphe 8.1.10.1.4 [-] |
| E_{CH_4} | = | rendement pour le méthane, tel que déterminé au paragraphe 8.1.10.3 [-] |
| $E_{\text{C}_2\text{H}_6}$ | = | rendement pour l'éthane, tel que déterminé au paragraphe 8.1.10.3 [-]. |

Si $\text{RF}_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]} < 1,05$, il peut être omis dans les équations A.8-1a, A.8-1b et A.8-2b.

Les émissions de HCNM (hydrocarbures non méthaniques) peuvent être fixées par approximation à 98 % des HCT (hydrocarbures totaux).

A.8.2 Émissions de gaz bruts

A.8.2.1 Émissions de gaz

A.8.2.1.1 Essais en conditions stationnaires

Il convient de calculer le taux des émissions de gaz $q_{\text{mgas},i}$ pour chaque mode i de l'essai en conditions stationnaires. Les concentrations des émissions de gaz doivent être multipliées par leurs débits respectifs:

$$q_{\text{mgas},i} = k_h \cdot k \cdot u_{\text{gas}} \cdot q_{\text{mew},i} \cdot c_{\text{gas},i} \cdot 3\,600 \quad (\text{A.8-3})$$

$q_{\text{mgas},i}$ = taux d'émissions sur le mode i de l'essai en conditions stationnaires [g/h]

k = 1 pour $c_{\text{gasr},w,i}$ en [ppm] et $k = 10\,000$ pour $c_{\text{gasr},w,i}$ en [% volume]

k_h = facteur de correction NO_x [-], à n'appliquer que pour le calcul des émissions de NO_x (voir par. A.8.2.2)

u_{gas} = facteur spécifique du constituant ou rapport des densités du constituant gazeux et des gaz d'échappement [-]; à calculer avec les équations (A.8-12) ou (A.8-13)

$q_{\text{mew},i}$ = débit-masse de gaz d'échappement sur le mode i en conditions humides [kg/s]

$c_{\text{gas},i}$ = concentration des émissions dans les gaz d'échappement bruts sur le mode i , en conditions humides [ppm] ou [% volume].

A.8.2.1.2 Cycle transitoire et cycle à modes raccordés

Il convient de calculer la masse totale par essai d'une émission gazeuse m_{gas} [g/essai] en multipliant les concentrations instantanées au même instant et les débits de gaz d'échappement avec intégration sur le cycle d'essai, conformément à la formule suivante:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot k_h \cdot k \cdot u_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N (q_{\text{mew}} \cdot c_{\text{gas},i}) \quad (\text{A.8-4})$$

où:

f = fréquence de collecte des données [Hz]

k_h = facteur de correction pour les NO_x [-], à n'appliquer que pour le calcul des émissions de NO_x

k = 1 pour $c_{\text{gasr},w,i}$ en [ppm] et $k = 10\,000$ pour $c_{\text{gasr},w,i}$ en [% volume]

u_{gas} = facteur spécifique des constituants [-] (voir par. A.8.2.4)

N = nombre de mesures [-]

$q_{\text{mew},i}$ = débit-masse instantané de gaz d'échappement en conditions humides [kg/s]

$c_{\text{gas},i}$ = concentration instantanée d'émissions dans les gaz d'échappement bruts en conditions humides [ppm] ou [% volume]

On indique dans les chapitres qui suivent la méthode de calcul des quantités nécessaires ($c_{\text{gas},i}$, u_{gas} et $q_{\text{mew},i}$).

A.8.2.2 Conversion de la concentration de sec à humide

Si les émissions sont mesurées en conditions sèches, la concentration mesurée c_d doit être convertie en concentration c_w en conditions humides au moyen de la formule générale suivante:

$$c_w = k_w \cdot c_d \quad (\text{A.8-5})$$

où:

k_w = facteur de conversion de sec à humide [-]

c_d = concentration des émissions en conditions sèches [ppm] ou [% volume]

Pour une combustion complète, le facteur de conversion de sec à humide pour les gaz d'échappement bruts s'écrit $k_{w,a}$ [-] et doit être calculé de la manière suivante:

$$k_{w,a} = \frac{\left(1 - \frac{1,2442 \cdot H_a + 111,19 \cdot w_H \cdot \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}}}{773,4 + 1,2442 \cdot H_a + \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}} \cdot k_f \cdot 1000} \right)}{\left(1 - \frac{p_r}{p_b} \right)} \quad (\text{A.8-6})$$

où:

H_a = humidité de l'air d'admission [g H₂O/kg air sec]

$q_{mf,i}$ = débit instantané de carburant [kg/s]

$q_{mad,i}$ = débit instantané d'air d'admission sec [kg/s]

p_r = pression de l'eau après le refroidisseur [kPa]

p_b = pression barométrique totale [kPa]

w_H = teneur en hydrogène du carburant [% masse]

k_f = volume additionnel de combustion [m³/kg carburant]

avec:

$$k_f = 0,055594 \cdot w_H + 0,0080021 \cdot w_N + 0,0070046 \cdot w_O \quad (\text{A.8-7})$$

où:

w_H = teneur en hydrogène du carburant [% masse]

w_N = teneur en azote du carburant [% masse]

w_O = teneur en oxygène du carburant [% masse].

Dans la formule (A.8-6), on peut considérer que le rapport p_r/p_b est défini comme suit:

$$\frac{1}{\left(1 - \frac{p_r}{p_b}\right)} = 1,008 \quad (\text{A.8-8})$$

Pour une combustion incomplète (mélange air/carburant riche) ainsi que pour les essais d'émissions sans mesure directe du débit d'air, on préfère une autre méthode de calcul de $k_{w,a}$:

$$k_{w,a} = \frac{1}{1 + \alpha \cdot 0,005 \cdot (c_{\text{CO}_2} + c_{\text{CO}})} - k_{w1} \quad (\text{A.8-9})$$

$$1 - \frac{p_r}{p_b}$$

où:

c_{CO_2} = concentration de CO_2 dans les gaz d'échappement bruts en conditions sèches [% volume]

c_{CO} = concentration de CO dans les gaz d'échappement bruts en conditions sèches [ppm]

p_r = pression d'eau après le refroidisseur [kPa] (voir l'équation (A.8-9))

p_b = pression barométrique totale [kPa] (voir l'équation (A.8-9))

α = rapport molaire hydrogène/carbone [-]

k_{w1} = humidité de l'air d'admission [-]

$$k_{w1} = \frac{1,608 \cdot H_a}{1\,000 + 1,608 \cdot H_a} \quad (\text{A.8-10})$$

A.8.2.3 Correction des NO_x en fonction de l'humidité et de la température

Étant donné que les émissions de NO_x dépendent des conditions de l'air ambiant, les concentrations de NO_x doivent être corrigées en fonction de la température et de l'humidité de l'air ambiant avec des facteurs k_h [-] donnés dans l'équation ci-après. Ce facteur est valable pour une plage d'humidité comprise entre 0 et 25 g H_2O /kg air sec.

$$k_h = \frac{15,698 \cdot H_a}{1\,000} + 0,832 \quad (\text{A.8-11})$$

où:

H_a = humidité de l'air d'admission [g H_2O /kg air sec].

A.8.2.4 Facteur u spécifique des constituants

A.8.2.4.1 Valeurs sous forme tabulaire

Si l'on applique quelques simplifications (hypothèses concernant la valeur λ et les conditions relatives à l'air d'admission comme indiqué dans le tableau ci-dessous) aux équations du paragraphe A.8.2.4.2, on peut calculer les valeurs de u_{gas} (voir par. A.8.2.1). Les valeurs de u_{gas} sont données dans le tableau A.8.1.

Tableau A.8.1

Valeurs u des gaz d'échappement bruts et densités des constituants

(les valeurs u sont calculées pour une concentration des émissions exprimée en ppm)

Gaz		NO _x	CO	HC	CO ₂	O ₂	CH ₄
ρ_{gas} [kg/m ³]		2,053	1,250	0,621	1,9636	1,4277	0,716
Carburant	ρ_e [kg/m ³]	Coefficient u_{gas} pour $\lambda = 2$, air sec, 273 K, 101,3 kPa					
Diesel	1,2939	0,001587	0,000966	0,000479	0,001518	0,001103	0,000553

A.8.2.4.2 Valeurs calculées

Le facteur spécifique du constituant, $u_{\text{gas},i}$, peut être calculé au moyen du taux de densité du constituant et des gaz d'échappement ou par le rapport correspondant des masses molaires:

$$u_{\text{gas},i} = M_{\text{gas}} / (M_{e,i} \cdot 1\,000) \quad (\text{A.8-12})$$

ou

$$u_{\text{gas},i} = \rho_{\text{gas}} / (\rho_{e,i} \cdot 1\,000) \quad (\text{A.8-13})$$

où:

 M_{gas} = masse molaire du constituant gazeux [g/mol] $M_{e,i}$ = masse molaire instantanée des gaz d'échappement bruts en conditions humides [g/mol] ρ_{gas} = densité du constituant gazeux [kg/m³] $\rho_{e,i}$ = densité instantanée des gaz d'échappement bruts en conditions humides [kg/m³]

La masse molaire des gaz d'échappement, $M_{e,i}$ doit être calculée, pour une composition de carburant générale $\text{CH}_\alpha\text{O}_\varepsilon\text{N}_\delta\text{S}_\gamma$ selon l'hypothèse d'une combustion complète, de la manière suivante:

$$M_{e,i} = \frac{1 + \frac{q_{\text{mf},i}}{q_{\text{maw},i}}}{\frac{q_{\text{mf},i}}{q_{\text{maw},i}} \cdot \frac{\frac{\alpha}{4} + \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\delta}{2}}{12,001 + 1,00794 \cdot \alpha + 15,9994 \cdot \varepsilon + 14,0067 \cdot \delta + 32,0065 \cdot \gamma} + \frac{\frac{H_a \cdot 10^{-3}}{2 \times 1,00794 + 15,9994} + \frac{1}{M_a}}{1 + H_a \cdot 10^{-3}}} \quad (\text{A.8-14})$$

où:

 $q_{\text{mf},i}$ = débit-masse instantané de carburant en conditions humides [kg/s] $q_{\text{maw},i}$ = débit-masse instantané d'air d'admission en conditions humides [kg/s] α = rapport molaire hydrogène à carbone [-] δ = rapport molaire azote à carbone [-] ε = rapport molaire oxygène à carbone [-]

γ = rapport atomique soufre à carbone [-]

H_a = humidité de l'air d'admission [g H₂O/kg air sec]

M_a = masse moléculaire de l'air d'admission sec = 28,965 g/mol.

La densité instantanée des gaz d'échappement bruts $\rho_{e,i}$ [kg/m³] doit être calculée de la manière suivante:

$$\rho_{e,i} = \frac{1\,000 + H_a + 1\,000 \cdot (q_{mf,i} / q_{mad,i})}{773,4 + 1,2434 \cdot H_a + k_f \cdot 1\,000 \cdot (q_{mf,i} / q_{mad,i})} \quad (\text{A.8-15})$$

où:

$q_{mf,i}$ = débit-masse instantané de carburant [kg/s]

$q_{mad,i}$ = débit-masse d'air instantané d'admission sec [kg/s]

H_a = humidité de l'air d'admission [g H₂O/kg air sec]

k_f = volume additionnel de combustion [m/kg carburant]
(voir la formule A.8-7).

A.8.2.5 Débit-masse de gaz d'échappement

A.8.2.5.1 Méthode par mesure de l'air et du carburant

La méthode fait intervenir la mesure du débit d'air et du débit de carburant avec des débitmètres appropriés. Le calcul du débit instantané de gaz d'échappement $q_{mew,i}$ [kg/s] est effectué comme suit:

$$q_{maw,i} = q_{maw,i} + q_{mf,i} \quad (\text{A.8-16})$$

où:

$q_{maw,i}$ = débit-masse instantané d'air d'admission [kg/s]

$q_{mf,i}$ = débit-masse instantané de carburant [kg/s].

A.8.2.5.2 Méthode de mesure avec gaz traceur

Celle-ci fait intervenir la mesure de la concentration d'un gaz traceur dans les gaz d'échappement. Le calcul du débit instantané de gaz d'échappement $q_{mew,i}$ [kg/s] est effectué comme suit:

$$q_{maw,i} = \frac{q_{vt} \cdot \rho_e}{10^{-6} \cdot (c_{mix,i} - c_b)} \quad (\text{A.8-17})$$

où:

q_{vt} = débit du gaz traceur [m³/s]

$c_{mix,i}$ = concentration instantanée du gaz traceur après mélange [ppm]

ρ_e = densité des gaz d'échappement bruts [kg/m³]

c_b = concentration ambiante du gaz traceur dans l'air d'admission [ppm].

On peut déterminer la concentration ambiante du gaz témoin c_b en faisant la moyenne de la concentration ambiante mesurée immédiatement avant et après le cycle d'essai. Lorsque la concentration ambiante est inférieure à 1 % de la concentration du gaz traceur après le mélange $c_{mix,i}$ au débit d'échappement maximal, elle peut être négligée.

A.8.2.5.3 Méthode de mesure fondée sur le débit d'air et le rapport air/carburant

Celle-ci fait intervenir le calcul de la masse de gaz d'échappement à partir du débit d'air et du rapport air/carburant. Le calcul du débit-masse instantané de gaz d'échappement $q_{mew,i}$ [kg/s] est effectué comme suit:

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} \cdot \left(1 + \frac{1}{A/F_{st} \cdot \lambda_i} \right) \quad (\text{A.8-18})$$

avec:

$$A/F_{st} = \frac{138,0 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma \right)}{12,011 + 1,00794 \cdot \alpha + 15,9994 \cdot \varepsilon + 14,0067 \cdot \delta + 32,065 \cdot \gamma} \quad (\text{A.8-19})$$

$$\lambda_i = \frac{\left(100 - \frac{c_{COd} \cdot 10^{-4}}{2} - c_{HCw} \cdot 10^{-4} \right) + \left(\frac{\alpha}{4} \cdot \frac{1 - \frac{2 \cdot c_{COd} \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot c_{CO2d}}}{1 + \frac{c_{COd} \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot c_{CO2d}}} - \frac{\varepsilon}{2} - \frac{\delta}{2} \right) \cdot (c_{CO2d} + c_{COd} \cdot 10^{-4})}{4,764 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma \right) \cdot (c_{CO2d} + c_{COd} \cdot 10^{-4} + c_{HCw} \cdot 10^{-4})} \quad (\text{A.8-20})$$

où:

- $q_{maw,I}$ = débit-masse d'air d'admission en conditions humides [kg/s]
- A/F_{st} = rapport air-à-carburant stœchiométrique [-]
- λ_i = taux d'excès d'air instantané [-]
- c_{COd} = concentration de CO dans les gaz d'échappement bruts en conditions sèches [ppm]
- c_{CO2d} = concentration de CO₂ dans les gaz d'échappement bruts en conditions sèches [%]
- c_{HCw} = concentration de HC dans les gaz d'échappement bruts en conditions humides [ppm C1]
- α = rapport molaire hydrogène à carbone [-]
- δ = rapport molaire azote à carbone [-]
- ε = rapport molaire oxygène à carbone [-]
- γ = rapport atomique soufre à carbone [-]

A.8.2.5.4 Méthode du bilan carbone, procédure en une seule étape

On peut utiliser la formule suivante pour le calcul du débit des gaz d'échappement en conditions humides $q_{mew,i}$ [kg/s]:

$$q_{mew,i} = q_{mf,i} \cdot \left[\frac{1,4 \cdot w_C^2}{(1,0828 \cdot w_C + k_{fd} \cdot f_c) f_c} \left(1 + \frac{H_a}{1000} \right) + 1 \right] \quad (\text{A.8-21})$$

le facteur carbone f_c [-] étant calculé comme suit:

$$f_c = 0,5441 \cdot (c_{CO2d} - c_{CO2d,a}) + \frac{c_{COd}}{18\,522} + \frac{c_{HCw}}{17\,355} \quad (A.8-22)$$

où:

$q_{mf,i}$	=	débit-masse de carburant instantané [kg/s]
w_C	=	teneur en carbone du carburant [% masse]
H_a	=	humidité de l'air d'admission [g H ₂ O/kg air sec]
k_{fd}	=	volume additionnel de combustion en conditions sèches [m ³ /kg fuel]
c_{CO2d}	=	concentration de CO ₂ dans les gaz d'échappement bruts en conditions sèches [%]
$c_{CO2d,a}$	=	concentration de CO ₂ dans l'air ambiant en conditions sèches [%]
c_{COd}	=	concentration de CO dans les gaz d'échappement bruts en conditions sèches [ppm]
c_{HCw}	=	concentration de HC dans les gaz d'échappement bruts en conditions humides [ppm]

et le facteur k_{fd} [m³/kg carburant] que l'on calcule en conditions sèches en soustrayant k_f de l'eau formée par la combustion:

$$k_{fd} = k_f - 0,11118 \cdot w_H \quad (A.8-23)$$

où:

k_f	=	facteur spécifique du carburant de l'équation (A.8-7) [m ³ /kg carburant]
w_H	=	teneur en hydrogène du carburant [% masse].

A.8.3 Émissions de gaz dilués

A.8.3.1 Masse des émissions de gaz

A.8.3.1.1 Mesure avec système à dilution du flux total (CVS)

Le débit-masse des gaz d'échappement doit être mesuré avec un système de prélèvement en volume constant (CVS), utilisant une pompe volumétrique (PDP), ou un venturi-tuyère en régime critique (CFV) ou un venturi subsonique (SSV).

Pour les systèmes ayant un débit-masse constant (c'est-à-dire avec échangeur de chaleur), la masse des polluants m_{gas} [g/essai] doit être déterminée au moyen de la formule suivante:

$$m_{gas} = k_h \cdot k \cdot u_{gas} \cdot c_{gas} \cdot m_{ed} \quad (A.8-24)$$

où:

u_{gas}	=	rapport entre la densité du constituant des gaz d'échappement et la densité de l'air, comme indiqué au tableau A.8.2 ou calculé avec la formule (A.8-35) [-]
-----------	---	--

- c_{gas} = concentration moyenne corrigée des concentrations ambiantes du constituant en conditions humides, respectivement [ppm] ou [% volume]
- k_h = facteur de correction NO_x [-], à n'appliquer que pour le calcul des émissions de NO_x
- k = 1 pour $c_{\text{gasr,w,i}}$ en [ppm], $k = 10\,000$ pour $c_{\text{gasr,w,i}}$ en [% volume]
- m_{ed} = masse totale de gaz d'échappement dilués sur l'ensemble du cycle [kg/essai].

Pour les systèmes à compensation de débit (sans échangeur de chaleur), la masse des polluants m_{gas} [g/essai] doit être déterminée par calcul des émissions massiques instantanées, par intégration et par correction en fonction des concentrations ambiantes suivant la formule suivante:

$$m_{\text{gas}} = k_h \cdot k \cdot \left\{ \sum_{i=1}^N \left[(m_{\text{ed,i}} \cdot c_e \cdot u_{\text{gas}}) \right] - \left[m_{\text{ed}} \cdot c_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) \cdot U_{\text{gas}} \right] \right\} \quad (\text{A.8-25})$$

où:

- c_e = concentration des émissions dans les gaz d'échappement dilués, en conditions humides [ppm] ou [% volume]
- c_d = concentration des émissions dans l'air de dilution, en conditions humides [ppm] ou [% volume]
- $m_{\text{ed,i}}$ = masse des gaz d'échappement dilués pendant l'intervalle de temps i [kg]
- m_{ed} = masse totale des gaz d'échappement dilués sur l'ensemble du cycle [kg]
- u_{gas} = valeur tirée du tableau A.8.2 [-]
- D = facteur de dilution (voir l'équation (A.8-29) du paragraphe A.8.3.2.2) [-]
- k_h = facteur de correction des NO_x [-], à n'appliquer que pour le calcul des émissions de NO_x
- k = 1 pour c en [ppm], $k = 10\,000$ pour c en [% volume].

Les concentrations c_{gas} , c_e et c_d peuvent être soit des valeurs mesurées dans un échantillon de prélèvement par lots (c'est-à-dire dans un sac, mais cette méthode n'est pas autorisée pour les NO_x et HC), soit des valeurs moyennées par intégration à partir de mesures effectuées en continu. Par ailleurs, $m_{\text{ed,i}}$ doit être moyenné par intégration sur l'ensemble du cycle d'essai.

Les équations suivantes montrent comment les quantités nécessaires (c_e , u_{gas} et m_{ed}) doivent être calculées.

A.8.3.2 Conversion de concentration de sec à humide

Toutes les concentrations visées au paragraphe A.8.3.2 doivent être converties au moyen de l'équation (A.8-5) ($c_w = k_w \cdot c_d$).

A.8.3.2.1 Gaz d'échappement dilués

Toutes les concentrations mesurées en conditions sèches doivent être converties en concentrations en conditions humides par une des deux formules suivantes:

$$k_{w,e} = \left[\left(1 - \frac{\alpha \cdot c_{CO2w}}{200} \right) - k_{w2} \right] \cdot 1,008 \quad (\text{A.8-26})$$

ou

$$k_{w,e} = \left(\frac{1 - k_{w2}}{1 + \frac{\alpha \cdot c_{CO2d}}{200}} \right) \cdot 1,008 \quad (\text{A.8-27})$$

où:

$k_{w,e}$ = facteur de conversion de sec à humide pour les gaz d'échappement dilués [-]

α = rapport molaire hydrogène à carbone du carburant [-]

c_{CO2w} = concentration de CO₂ dans les gaz d'échappement dilués en conditions humides [% volume]

c_{CO2d} = concentration de CO₂ dans les gaz d'échappement dilués en conditions sèches [% volume]

Le facteur de correction de sec à humide k_{w2} prend en considération la teneur en eau de l'air d'admission et de l'air de dilution:

$$k_{w2} = \frac{1,608 \cdot \left[H_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \cdot \left(\frac{1}{D} \right) \right]}{1\,000 + \left\{ 1,608 \cdot \left[H_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \cdot \left(\frac{1}{D} \right) \right] \right\}} \quad (\text{A.8-28})$$

où:

H_a = humidité de l'air d'admission [g H₂O/kg air sec]

H_d = humidité de l'air de dilution [g H₂O/kg air sec]

D = facteur de dilution (voir l'équation (A.8-29) du paragraphe A.8.3.2.2) [-]

A.8.3.2.2 Facteur de dilution

Le facteur de dilution D [-] (qui est nécessaire pour la correction en fonction des concentrations ambiantes et le calcul de k_{w2}) doit être calculé de la manière suivante:

$$D = \frac{F_s}{C_{CO2,e} + (C_{HC,e} + C_{CO,e}) \cdot 10^{-4}} \quad (\text{A.8-29})$$

où:

F_s = facteur stœchiométrique [-]

$c_{CO_2,e}$ = concentration de CO_2 dans les gaz d'échappement dilués en conditions humides [% volume]

$c_{HC,e}$ = concentration de HC dans les gaz d'échappement dilués en conditions humides [ppm C1]

$c_{CO,e}$ = concentration de CO dans les gaz d'échappement dilués en conditions humides [ppm].

Le facteur stœchiométrique doit être calculé de la manière suivante:

$$F_s = 100 \cdot \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{2} + 3,76 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4}\right)} \quad (A.8-30)$$

où:

α = rapport molaire hydrogène à carbone dans le carburant [-].

On peut aussi utiliser les facteurs stœchiométriques suivants si la composition du carburant n'est pas connue: F_s (carburant pour moteurs diesel) = 13,4

Si une mesure directe est faite du débit de gaz d'échappement, on peut calculer le facteur de dilution D [-] de la manière suivante:

$$D = \frac{q_{VCVS}}{q_{Vew}} \quad (A.8-31)$$

où:

q_{VCVS} = débit volumique des gaz d'échappement dilués [m^3/s]

q_{Vew} = débit volumique des gaz d'échappement bruts [m^3/s].

A.8.3.2.3 Air de dilution

$$K_{w,d} = (1 - k_{w3}) \cdot 1,008 \quad (A.8-32)$$

avec:

$$k_{w3} = \frac{1,608 \cdot H_d}{1\,000 + 1,608 \cdot H_d} \quad (A.8-33)$$

où:

H_d = humidité de l'air de dilution [$g\ H_2O/kg$ air sec].

A.8.3.2.4 Détermination de la concentration corrigée des concentrations ambiantes

La concentration moyenne ambiante des polluants gazeux dans l'air de dilution doit être soustraite des concentrations mesurées pour obtenir les concentrations nettes des polluants. Les valeurs moyennes des concentrations ambiantes peuvent être déterminées par la méthode du sac de prélèvement ou par des mesures continues avec intégration. On utilise la formule suivante:

$$c_{gas} = c_{gas,e} - c_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D}\right) \quad (A.8-34)$$

où:

- c_{gas} = concentration nette de polluants gazeux [ppm] ou [% volume]
- $c_{\text{gas,e}}$ = concentration des émissions dans les gaz d'échappement dilués en conditions humides [ppm] ou [% volume]
- c_d = concentration des émissions dans l'air de dilution, en conditions humides [ppm] ou [% volume]
- D = facteur de dilution (voir l'équation (A.8-29) du paragraphe A.8.3.2.2) [-].

A.8.3.3 Facteur u spécifique des constituants

Le facteur u_{gas} spécifique des constituants des gaz dilués est calculé par l'équation suivante ou peut être tiré du tableau A.8.2; dans celui-ci, on part de l'hypothèse que la densité des gaz d'échappement dilués est égale à la densité de l'air.

$$u = \frac{M_{\text{gas}}}{M_{d,w} \cdot 1\,000} = \frac{M_{\text{gas}}}{\left[M_{da,w} \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) \right] + M_{r,w} \cdot \left(\frac{1}{D} \right) \cdot 1\,000} \quad (\text{A.8-35})$$

où:

- M_{gas} = masse molaire du constituant gazeux [g/mol]
- $M_{d,w}$ = masse molaire des gaz d'échappement dilués [g/mol]
- $M_{da,w}$ = masse molaire de l'air de dilution [g/mol]
- $M_{r,w}$ = masse molaire des gaz d'échappement bruts [g/mol]
- D = facteur de dilution (voir l'équation (A.8-29) du paragraphe A.8.3.2.2) [-].

Tableau A.8.2

Valeurs u des gaz d'échappement dilués et densités des constituants
(les valeurs u sont calculées pour des concentrations d'émissions exprimées en ppm)

Gas		NO _x	CO	HC	CO ₂	O ₂	CH ₄
ρ_{gas} [kg/m ³]		2,053	1,250	0,621	1,9636	1,4277	0,716
Carburant	ρ_e [kg/m ³]	Coefficient u_{gas} avec $\lambda = 2$, air sec, 273 K, 101,3 kPa					
Diesel	1,293	0,001588	0,000967	0,000480	0,001519	0,00110	0,000553

A.8.3.4 Calcul du débit-masse de gaz d'échappement

A.8.3.4.1 Système PDP-CVS

Le calcul de la masse de gaz d'échappement dilués [kg/essai] sur l'ensemble du cycle est effectué de la manière suivante, si la température des gaz d'échappement m_{ed} est maintenue dans les limites de ± 6 K sur l'ensemble du cycle par l'emploi d'un échangeur de chaleur:

$$m_{ed} = 1,293 \cdot V_0 \cdot n_p \cdot \frac{p_p}{101,325} \cdot \frac{273,15}{\bar{T}} \quad (\text{A.8-36})$$

où:

V_0 = volume de gaz pompé par tour aux conditions d'essai [m³/tr]

n_p = nombre total de tours de la pompe par essai [tr/essai]

p_p = pression absolue à l'entrée de la pompe [kPa]

\bar{T} = température moyenne des gaz d'échappement dilués à l'entrée de la pompe [K]

1,293 kg/m³ = densité de l'air à 273,15 K et 101,325 kPa.

Si l'on utilise un système à compensation de débit (c'est-à-dire sans échangeur de chaleur), on calcule la masse de gaz d'échappement dilués $m_{ed,i}$ [kg] pendant l'intervalle de temps de la manière suivante:

$$m_{ed,i} = 1,293 \cdot V_0 \cdot n_{p,i} \cdot \frac{p_p}{101,325} \cdot \frac{273,15}{\bar{T}} \quad (\text{A.8-37})$$

où:

V_0 = volume de gaz pompé par tour aux conditions d'essai [m³/rev]

p_p = pression absolue à l'entrée de la pompe [kPa]

$n_{p,i}$ = nombre total de tours de la pompe par intervalle de temps i [tr/ Δt]

\bar{T} = température moyenne des gaz d'échappement dilués à l'entrée de la pompe [K]

1,293 kg/m³ = densité de l'air à 273,15 K et 101,325 kPa.

A.8.3.4.2 Système CFV-CVS

Le calcul du débit-masse sur tout le cycle m_{ed} [g/essai] est effectué de la manière suivante si la température des gaz d'échappement dilués est maintenue dans les limites de ± 11 K pendant toute la durée du cycle par l'emploi d'un échangeur de chaleur:

$$m_{ed} = \frac{1,293 \cdot t \cdot K_v \cdot p_p}{T^{0,5}} \quad (\text{A.8-38})$$

où:

t = durée du cycle [s]

K_v = coefficient d'étalonnage du venturi-tuyère en régime critique dans des conditions normales
 $\left[\left(\sqrt{K} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s} \right) / \text{kg} \right]$

p_p = pression absolue à l'entrée du venturi [kPa]

T = température absolue à l'entrée du venturi [K]

1,293 kg/m³ = densité de l'air à 273,15 K et 101,325 kPa.

Si l'on utilise un système à compensation de débit (c'est-à-dire sans échangeur de chaleur), on calcule la masse de gaz d'échappement dilués $m_{ed,i}$ [kg] pendant l'intervalle de temps de la manière suivante:

$$m_{ed,i} = \frac{1,293 \cdot \Delta t_i \cdot K_v \cdot p_p}{T^{0,5}} \quad (\text{A.8-39})$$

où:

Δt_i = intervalle de temps de l'essai [s]

K_v = coefficient d'étalonnage du venturi-tuyère en régime critique dans des conditions normales
 $\left[(\sqrt{K} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s}) / \text{kg} \right]$

p_p = pression absolue à l'entrée du venturi [kPa]

T = température absolue à l'entrée du venturi [K]

$1,293 \text{ kg/m}^3$ = densité de l'air à 273,15 K et 101,325 kPa

A.8.3.4.3 Système SSV-CVS

Le calcul de la masse de gaz d'échappement dilués sur l'ensemble du cycle m_{ed} [kg/essai] est effectué de la manière suivante si la température des gaz d'échappement dilués est maintenue dans les limites de ± 11 K sur l'ensemble du cycle par l'emploi d'un échangeur de chaleur:

$$m_{ed} = 1,293 \cdot q_{vSSV} \cdot \Delta t \quad (\text{A.8-40})$$

où:

$1,293 \text{ kg/m}^3$ = densité de l'air à 273,15 K et 101,325 kPa

Δt = durée du cycle [s]

q_{vSSV} = débit d'air en conditions normales (101,325 kPa, 273,15 K) [m^3/s].

avec:

$$q_{vSSV} = \frac{A_0}{60} d_v^2 C_d p_p \sqrt{\left[\frac{1}{T_{in}} (r_p^{1,4286} - r_p^{1,7143}) \cdot \left(\frac{1}{1 - r_D^4 r_p^{1,4286}} \right) \right]} \quad (\text{A.8-41})$$

où:

A_0 = série de constantes et de conversions d'unités = 0,0056940

$$\left[\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot \frac{\text{K}^{\frac{1}{2}}}{\text{kPa}} \cdot \frac{1}{\text{mm}^2} \right]$$

d_v = diamètre du col du SSV [mm]

C_d = coefficient de décharge du SSV [-]

p_p = pression absolue à l'entrée du venturi [kPa]

T_{in} = température à l'entrée du venturi [K]

r_p = rapport des pressions statiques absolues au col et à l'entrée du SSV, $\left(1 - \frac{\Delta p}{P_a}\right)$ [-]

r_D = rapport du diamètre du col du SSV à celui de la tuyauterie d'entrée $\frac{d}{D}$ [-].

Si l'on utilise un système avec compensation de débit (c'est-à-dire sans échangeur de chaleur), la masse de gaz d'échappement dilués $m_{ed,i}$ [kg] pendant l'intervalle de temps est calculée de la manière suivante:

$$m_{ed,i} = 1,293 \cdot q_{vSSV} \cdot \Delta t_i \quad (\text{A.8-42})$$

où:

$1,293 \text{ kg/m}^3$ = densité de l'air à 273,15 K et 101,325 kPa

Δt_i = intervalle de temps [s]

q_{vSSV} = débit volumique du SSV [m^3/s].

A.8.3.5 Calcul des émissions de particules

A.8.3.5.1 Cycle transitoire et cycle à modes raccordés

La masse de particules doit être calculée après une correction en fonction de la flottabilité de la masse de l'échantillon de particules conformément au paragraphe 8.1.12.2.5.

A.8.3.5.1.1 Système à dilution du flux partiel

Le calcul pour le système de dilution double est présenté dans le paragraphe A.8.3.5.1.2.

A.8.3.5.1.1.1 Calcul basé sur le taux de prélèvement

Les émissions de particules sur l'ensemble du cycle m_{PM} [g] doivent être calculées avec l'équation suivante:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{r_s \cdot 1\,000} \quad (\text{A.8-43})$$

où:

m_f = masse de particules prélevée sur l'ensemble du cycle [mg]

r_s = taux de prélèvement moyen sur l'ensemble du cycle d'essai [-]

avec:

$$r_s = \frac{m_{se}}{m_{ew}} \cdot \frac{m_{sep}}{m_{sed}} \quad (\text{A.8-44})$$

où:

m_{se} = masse de l'échantillon de gaz d'échappement bruts sur l'ensemble du cycle [kg]

m_{ew} = masse totale des gaz d'échappement bruts sur l'ensemble du cycle [kg]

m_{sep} = masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte de particules [kg]

m_{sed} = masse de gaz d'échappement dilués traversant le tunnel de dilution [kg].

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

A.8.3.5.1.1.2 Calcul fondé sur le taux de dilution

Les émissions de particules sur l'ensemble du cycle m_{PM} [g] doivent être calculées avec l'équation suivante:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot \frac{m_{edf}}{1\,000} \quad (\text{A.8-45})$$

où:

m_f = masse de particules prélevée sur l'ensemble du cycle [mg]

m_{sep} = masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres à particules [kg]

m_{edf} = masse des gaz d'échappement dilués équivalente sur l'ensemble du cycle [kg].

La masse totale de gaz d'échappement dilués équivalente sur l'ensemble du cycle m_{edf} [kg] doit être déterminée de la manière suivante:

$$m_{edf} = \frac{1}{f} \cdot \sum_{i=1}^N q_{medf,i} \quad (\text{A.8-46})$$

$$q_{medf,i} = q_{mew,i} \cdot r_{d,i} \quad (\text{A.8-47})$$

$$r_{d,i} = \frac{q_{mdew,i}}{q_{mdew,i} - q_{mdw,i}} \quad (\text{A.8-48})$$

où:

$q_{medf,i}$ = débit-masse équivalent instantané de gaz d'échappement dilués [kg/s]

$q_{mew,i}$ = débit-masse instantané de gaz d'échappement en conditions humides [kg/s]

$r_{d,i}$ = taux de dilution instantané [-]

$q_{mdew,i}$ = débit-masse instantané de gaz d'échappement dilués en conditions humides [kg/s]

$q_{mdw,i}$ = débit-masse instantané d'air de dilution [kg/s]

f = fréquence de collecte des données [Hz]

N = nombre de mesures [-].

A.8.3.5.1.2 Système à dilution du flux total

La masse d'émissions doit être calculée de la manière suivante:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot \frac{m_{ed}}{1\,000} \quad (\text{A.8-49})$$

où:

m_f = masse des particules collectées sur l'ensemble du cycle [mg]

m_{sep} = masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte des particules [kg]

m_{ed} = masse de gaz d'échappement dilués sur l'ensemble du cycle [kg]

avec:

$$m_{sep} = m_{set} - m_{ssd} \quad (\text{A.8-50})$$

où:

m_{set} = masse de gaz d'échappement doublement dilués traversant les filtres à particules [kg]

m_{ssd} = masse d'air de dilution secondaire [kg].

A.8.3.5.1.3 Correction en fonction des concentrations ambiantes

La masse de particules $m_{PM,c}$ [g] peut être corrigée des concentrations ambiantes de la manière suivante:

$$m_{PM,c} = \left\{ \frac{m_f}{m_{sep}} - \left[\frac{m_b}{m_{sd}} \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) \right] \right\} \cdot \frac{m_{ed}}{1\,000} \quad (\text{A.8-51})$$

où:

m_f = masse de particules prélevée sur l'ensemble du cycle [mg]

m_{sep} = masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte de particules [kg]

m_{sd} = masse d'air de dilution prélevée par le système de prélèvement des particules ambiantes [kg]

m_b = masse de particules ambiantes collectées dans l'air de dilution [mg]

m_{ed} = masse de gaz d'échappement dilués sur l'ensemble du cycle [kg]

D = facteur de dilution (voir l'équation A.8-29 du paragraphe A.8.3.2.2) [-].

A.8.3.5.2 Calcul pour les cycles en conditions stationnaires à modes discrets**A.8.3.5.2.1 Système de dilution**

Tous les calculs sont effectués sur la base des valeurs moyennes enregistrées pour les différents modes i pendant la période de prélèvement.

- a) Pour la dilution du flux partiel, le débit-masse équivalent des gaz d'échappement doit être déterminé au moyen du système de mesure du débit montré à la figure 9.2:

$$q_{medf} = q_{mew} \cdot r_d \quad (A.8-52)$$

$$r_d = \frac{q_{mdew}}{q_{mdew} - q_{mdw}} \quad (A.8-53)$$

où:

q_{medf} = débit-masse équivalent de gaz d'échappement dilués [kg/s]

q_{mew} = débit-masse de gaz d'échappement en conditions humides [kg/s]

r_d = taux de dilution [-]

q_{mdew} = débit-masse de gaz d'échappement dilués en conditions humides [kg/s]

q_{mdw} = débit-masse d'air de dilution [kg/s]

- b) Pour les systèmes de dilution du flux total q_{mdew} est utilisé en tant que q_{medf} .

A.8.3.5.2.2 Calcul du débit-masse de particules

Le débit-masse d'émissions de particules sur l'ensemble du cycle q_{mPM} [g/h] est calculé de la manière suivante:

- a) Pour la méthode à filtre unique

$$q_{mPM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot \overline{q_{medf}} \cdot \frac{3\,600}{1\,000} \quad (A.8-54)$$

$$\overline{q_{medf}} = \sum_{i=1}^N q_{medfi} \cdot WFi \quad (A.8-55)$$

$$m_{sep} = \sum_{i=1}^N m_{sepi} \quad (A.8-56)$$

où:

q_{mPM} = débit-masse de particules [g/h]

m_f = masse de particules prélevée sur l'ensemble du cycle [mg]

$\overline{q_{medf}}$ = débit-masse moyen équivalent de gaz d'échappement dilués en conditions humides [kg/s]

q_{medfi} = débit-masse équivalent de gaz d'échappement dilués en conditions humides au mode i [kg/s]

WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-]

m_{sep} = masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte de particules [kg]

m_{sepi} = masse d'échantillon de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte de particules sur le mode i [kg]

N = nombre de mesures [-].

b) Pour la méthode à filtres multiples

$$q_{mPMi} = \frac{m_{fi}}{m_{sepi}} \cdot q_{medfi} \cdot \frac{3\,600}{1\,000} \quad (\text{A.8-57})$$

où:

q_{mPMi} = débit-masse de particules pour le mode i [g/h]

m_{fi} = masse des particules collectées sur le mode i [mg]

q_{medfi} = débit-masse équivalent de gaz d'échappement dilués en conditions humides sur le mode i [kg/s]

m_{sepi} = masse d'échantillon de gaz d'échappement dilués ayant traversé le filtre à particules sur le mode i [kg].

La masse des MP est déterminée sur l'ensemble du cycle d'essai par sommation des valeurs moyennes des modes individuels i enregistrées pendant la période de prélèvement.

Le débit-masse de particules q_{mPM} [g/h] ou q_{mPMi} [g/h] peut être corrigé des concentrations ambiantes de la manière suivante:

a) Pour la méthode à filtre unique

$$q_{mPM} = \left\{ \frac{m_f}{m_{sep}} - \left[\frac{m_{f,d}}{m_d} \cdot \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{1}{D_i} \right) \cdot WF_i \right] \right\} \cdot \frac{3\,600}{1\,000} \quad (\text{A.8-58})$$

où:

q_{mPM} = débit-masse de particules [g/h]

m_f = masse de particules collectées [mg]

m_{sep} = masse de l'échantillon de gaz d'échappement dilués ayant traversé le filtre à particules [kg]

$m_{f,d}$ = masse des particules collectées dans l'air de dilution [mg]

m_d = masse de gaz d'échappement dilués ayant traversé les filtres de collecte de particules [kg]

D_i = facteur de dilution (voir l'équation (A.8-29) du paragraphe A.8.3.2.2) sur le mode i [-]

WF_i = facteur de pondération sur le mode i [-]

q_{medf} = débit-masse équivalent de gaz d'échappement dilués en conditions humides [kg/s]

b) Pour la méthode à filtres multiples

$$q_{mPMi} = \left\{ \frac{m_{fi}}{m_{sepi}} - \left[\frac{m_{f,d}}{m_d} \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) \right] \right\} \cdot q_{medfi} \frac{3\,600}{1\,000} \quad (\text{A.8-59})$$

où:

 q_{mPM} = débit-masse de particules [g/h] m_{fi} = masse de particules collectées sur le mode i [mg] $m_{f,d}$ = masse de particules collectées dans l'air de dilution [mg] q_{medfi} = débit-masse équivalent de gaz d'échappement dilués en conditions humides sur le mode i [kg/h] m_{sepi} = masse de gaz d'échappement dilués ayant traversé le filtre de collecte de particules sur le mode i [kg] m_d = Masse de l'échantillon d'air de dilution ayant traversé les filtres de collecte des particules [kg] D = facteur de dilution (voir l'équation A.8-29 du paragraphe A.8.3.2.2) [-] $\overline{q_{medf}}$ = débit-masse moyen équivalent de gaz d'échappement dilués en conditions humides [kg/s].Si plus d'une mesure est effectuée, $m_{f,d}/m_d$ est remplacé par $\overline{m_{f,d}/m_d}$.

A.8.4 Travail au cours des cycles et émissions spécifiques

A.8.4.1 Émissions gazeuses

A.8.4.1.1 Cycle transitoire et cycle à modes raccordés

On se réfère aux paragraphes A.8.2.1 et A.8.3.1 respectivement pour les gaz d'échappement bruts et pour les gaz d'échappement dilués. Les valeurs résultantes pour la puissance P [kW] doivent être intégrées sur un intervalle d'essai. Le travail total W_{act} [kWh] est calculé de la manière suivante:

$$W_{act} = \sum_{i=1}^N P_i \cdot \Delta t_i = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{3\,600} \cdot \frac{1}{10^3} \frac{2 \cdot \pi}{60} \sum_{i=1}^N (n_i \cdot T_i) \quad (\text{A.8-60})$$

où:

 P_i = puissance instantanée du moteur [kW] n_i = régime instantané du moteur [min^{-1}] T_i = couple instantané du moteur [Nm] W_{act} = travail réel au cours du cycle [kWh] f = fréquence de collecte des données [Hz] N = nombre de mesures [-].

Les émissions spécifiques e_{gas} [g/kWh] doivent être calculées de la manière suivante selon le type du cycle d'essai:

$$e_{\text{gas}} = \frac{m_{\text{gas}}}{W_{\text{act}}} \quad (\text{A.8-61})$$

où:

m_{gas} = masse totale d'émissions [g/essai]

W_{act} = travail au cours du cycle [kWh].

Dans le cas d'un cycle transitoire, le résultat final e_{gas} [g/kWh] de l'essai doit être une moyenne pondérée de l'essai de démarrage à froid et de l'essai de démarrage à chaud obtenue avec la formule suivante:

$$e_{\text{gas}} = \frac{(0,1 \cdot m_{\text{cold}}) + (0,9 \cdot m_{\text{hot}})}{(0,1 \cdot W_{\text{act,cold}}) + (0,9 \cdot W_{\text{act,hot}})} \quad (\text{A.8-62})$$

En cas de régénération périodique (peu fréquente) (par. 6.6.2), les émissions spécifiques doivent être corrigées avec le facteur d'ajustement multiplicatif k_r (équation (6-4)) ou avec les deux paires distinctes de facteurs additifs d'ajustement k_{Ur} (facteur d'ajustement vers le haut pour l'équation (6-5)) et k_{Dr} (facteur d'ajustement vers le bas pour l'équation (6-6)).

A.8.4.1.2 Cycle en conditions stationnaires à modes discrets

Les émissions spécifiques e_{gas} [g/kWh] sont calculées de la manière suivante:

$$e_{\text{gas}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} (q_{\text{mgasi}} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} (P_i \cdot WF_i)} \quad (\text{A.8-63})$$

où:

q_{mgasi} = débit-masse moyen d'émissions pour le mode i [g/h]

P_i = puissance du moteur pour le mode i [kW] avec
 $P_i = P_{\text{max}i} + P_{\text{aux}i}$ (voir par. 7.7.1.2 et 6.3)

WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-].

A.8.4.2 Émissions de particules

A.8.4.2.1 Cycle transitoire et cycle à modes raccordés

Les émissions spécifiques particulières doivent être calculées avec la formule (A.8-61) où e_{gas} [g/kWh] et m_{gas} [g/essai] sont remplacés respectivement par e_{PM} [g/kWh] et m_{PM} [g/essai]:

$$e_{\text{PM}} = \frac{m_{\text{PM}}}{W_{\text{act}}} \quad (\text{A.8-64})$$

où:

m_{PM} = masse totale d'émissions de particules, calculée conformément au paragraphe A.8.3.5 [g/essai]

W_{act} = travail effectif au cours du cycle [kWh].

Les émissions sur le cycle transitoire composite (c'est-à-dire avec phase froide et phase chaude) doivent être calculées comme indiqué au paragraphe A.8.4.1.

A.8.4.2.2 Cycle en conditions stationnaires à modes discrets

Les émissions spécifiques de particules e_{PM} [g/kWh] doivent être calculées de la manière suivante:

a) Pour la méthode à filtre unique

$$e_{PM} = \frac{q_{mPM}}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (A.8-65)$$

où:

P_i = puissance du moteur pour le mode i [kW] avec
 $P_i = P_{maxi} + P_{auxi}$ (voir par 7.7.1.2 et 6.3)

WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-]

q_{mPM} = débit-masse de particules [g/h]

b) Pour la méthode à filtres multiples

$$e_{PM} = \frac{\sum_{i=1}^N (q_{mPMi} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (A.8-66)$$

où:

P_i = puissance du moteur pour le mode i [kW] avec
 $P_i = P_{maxi} + P_{auxi}$ (voir par. 7.7.1.2 et 6.3)

WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-]

q_{mPMi} = débit-masse de particules sur le mode i [g/h].

Pour la méthode à filtre unique, le facteur de pondération effectif, WF_{ei} , est calculé pour chaque mode de la manière suivante:

$$WF_{ei} = \frac{m_{sepi} \cdot q_{medf}}{m_{sep} \cdot q_{medfi}} \quad (A.8-67)$$

où:

m_{sepi} = masse de gaz d'échappement dilués ayant traversé les filtres de collecte des particules au mode i [kg]

$\overline{q_{medf}}$ = débit-masse moyen équivalent de gaz
d'échappement dilués [kg/s]

q_{medfi} = débit équivalent de gaz d'échappement dilués au
mode i [kg/s]

m_{sep} = masse des gaz d'échappement dilués ayant traversé
les filtres de collecte des particules [kg].

Les valeurs des facteurs de pondération effectifs ne doivent pas s'écarter de plus de 0,005 (valeur absolue) des facteurs de pondération indiqués dans l'annexe 5.

Annexe 4B

Appendice A.8.1

Étalonnage du débit des gaz d'échappement dilués (CVS)

A.8.5 Étalonnage du système CVS

Le système CVS doit être étalonné au moyen d'un débitmètre précis et d'un restricteur. Le débit traversant le système doit être mesuré à différents réglages de restriction et les paramètres de contrôle du système mesurés et mis en relation avec le débit.

On peut utiliser divers types de débitmètre, par exemple un venturi étalonné, un débitmètre laminaire étalonné ou un débitmètre étalonné à turbine.

A.8.5.1 Pompe volumétrique (PDP)

Tous les paramètres relatifs à la pompe doivent être mesurés simultanément, en même temps que les paramètres en rapport avec un venturi d'étalonnage qui est branché en série avec la pompe. Le débit calculé (en m³/s à l'entrée de la pompe, à la pression et la température absolues) doit être tracé en fonction d'une fonction de corrélation qui est la valeur d'une combinaison spécifique de paramètres de la pompe. Il faut déterminer l'équation linéaire qui met en relation le débit de la pompe et la fonction de corrélation. Si un système CVS a plusieurs plages de vitesse, l'étalonnage doit être effectué pour chaque plage utilisée.

La température doit être stable pendant toute la durée de l'étalonnage.

On doit veiller à maintenir les fuites dans les raccords et les conduites entre le venturi d'étalonnage et la pompe CVS à moins de 0,3 % du point de débit le plus bas (restriction la plus élevée et point de vitesse PDP la plus basse).

Le débit d'air (q_{CVS}) à chaque réglage de restriction (6 réglages au moins) doit être calculé en m³/s normaux à partir des données du débitmètre selon la méthode prescrite par le fabricant. Le débit d'air doit ensuite être converti en débit de la pompe (V_0) en m³/tr à la température et la pression absolues à l'entrée de la pompe, et ce de la manière suivante:

$$V_0 = \frac{q_{\text{CVS}}}{n} \cdot \frac{T}{273,15} \cdot \frac{101,325}{p_p} \quad (\text{A.8-68})$$

où:

q_{CVS} = débit d'air aux conditions normales (101,325 kPa, 273,15 K) [m³/s]

T = température à l'entrée de la pompe [K]

p_p = pression absolue à l'entrée de la pompe [kPa]

n = vitesse de rotation de la pompe [tr/s].

Pour tenir compte de l'interaction des variations de pression à la pompe et du taux de glissement de celle-ci, il convient de calculer la fonction de corrélation (X_0) [s/tr] entre la vitesse de la pompe, la différence de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe et la pression de sortie absolue de la pompe en procédant de la manière suivante:

$$X_0 = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_p}{p_p}} \quad (\text{A.8-69})$$

où:

Δp_p = différence de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe [kPa]

p_p = pression absolue à la sortie de la pompe [kPa]

n = vitesse de rotation de la pompe [tr/s]

Il convient d'effectuer un ajustement linéaire par les moindres carrés pour établir l'équation d'étalonnage, de la manière suivante:

$$V_0 = D_0 - m \cdot X_0 \quad (\text{A.8-70})$$

avec D_0 [m³/rev] et m [m³/s] respectivement comme ordonnée à l'origine et comme pente définissant la droite de régression.

Pour un système CVS à plusieurs vitesses, les courbes d'étalonnage obtenues pour les différentes plages de débit des pompes sont à peu près parallèles, et les valeurs d'ordonnée à l'origine (D_0) doivent augmenter à mesure que la plage de débit de la pompe diminue.

Les valeurs calculées à partir de l'équation doivent rester dans les limites de $\pm 0,5$ % autour de la valeur mesurée de V_0 . Les valeurs de m varieront d'une pompe à une autre. La présence de particules après un certain temps cause une diminution du taux de glissement de la pompe, comme le montre la réduction des valeurs de m . Il faut donc faire l'étalonnage au démarrage de la pompe, après un grand entretien ou si une vérification de l'ensemble du système fait apparaître un changement du taux de glissement.

A.8.5.2 Venturi-tuyère en régime critique (CFV)

L'étalonnage du CFV est fondé sur l'équation du débit pour un venturi en régime critique. Le débit de gaz est une fonction de la pression et de la température à l'entrée du venturi.

Pour déterminer la plage de régime critique, on trace la courbe de K_V en fonction de la pression à l'entrée du venturi. Pour un régime critique (bloqué), K_V a une valeur relativement constante. À mesure que la pression baisse (la dépression augmente), le venturi se débloque et K_V diminue, ce qui montre que le CFV fonctionne en dehors de la plage admissible.

Le débit d'air (q_{VCVS}) à chaque réglage de restriction (minimum 8) doit être calculé en m³/s normaux à partir des données du débitmètre selon la méthode prescrite par le fabricant. Le coefficient d'étalonnage K_V $\left[\left(\sqrt{K} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s} \right) / \text{kg} \right]$ est calculé à partir des données d'étalonnage pour chaque réglage, de la manière suivante:

$$K_v = \frac{q_{vcvs} \cdot \sqrt{T}}{p_p} \quad (\text{A.8-71})$$

où:

q_{vcvs} = débit d'air aux conditions normales (101,325 kPa, 273,15 K) [m³/s]

T = température à l'entrée du venturi [K]

p_p = pression absolue à l'entrée du venturi [kPa]

Le K_v moyen et l'écart type doivent être calculés. L'écart type ne doit pas dépasser $\pm 0,3$ % de la valeur K_v moyenne.

A.8.5.3 Venturi subsonique (SSV)

L'étalonnage du SSV repose sur l'équation du débit d'un venturi subsonique. Le débit de gaz est fonction de la pression à l'entrée et de la température et de la perte de pression entre l'entrée du SSV et le col, comme le montre l'équation (A.8-41).

Le débit d'air (q_{vssv}) à chaque réglage de restriction (minimum 16 réglages) doit être calculé en m³/s normaux à partir des données du débitmètre avec la méthode préconisée par le fabricant. Le coefficient de décharge doit être calculé à partir des données d'étalonnage pour chaque réglage, et ce de la manière suivante:

$$C_d = \frac{q_{vcvs}}{\frac{A_0}{60} \cdot d_v^2 \cdot p_p \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{T_{in,v}} \left(r_p^{1,4286} - r_p^{1,7143} \right) \left(\frac{1}{1 - r_D^4 \cdot r_p^{1,4286}} \right) \right]}} \quad (\text{A.8-72})$$

où:

A_0 = séries de constantes et de conversions d'unité = 0,0056940

$$\left[\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot \frac{\text{K}^{\frac{1}{2}}}{\text{kPa}} \cdot \frac{1}{\text{mm}^2} \right]$$

q_{vcvs} = débit d'air en conditions normales (101,325 kPa, 273,15 K) [m³/s]

$T_{in,v}$ = température à l'entrée du venturi [K]

d_v = diamètre du col du SSV [mm]

r_p = rapport des pressions statiques absolues au col et à l'entrée du SSV = $1 - \Delta p / p_p$ [-]

r_D = rapport du diamètre du col du SSV, d_v , à celui de la tuyauterie d'entrée D [-]

Pour déterminer la plage de débit subsonique, on trace C_d comme une fonction du nombre de Reynolds, Re , au col du SSV. Le Re au col du SSV est calculé au moyen de l'équation suivante:

$$Re = A_1 \cdot 60 \cdot \frac{q_{VCVS}}{d_v \cdot \mu} \quad (\text{A.8-73})$$

avec

$$\mu = \frac{b \times T^{1,5}}{S + T} \quad (\text{A.8-74})$$

où:

$$A_1 = \text{séries de constantes et de conversions d'unité} = 27,43831 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{min}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{m}} \right]$$

$$q_{VCVS} = \text{débit d'air aux conditions normales (101,325 kPa, 273,15 K) [m}^3/\text{s]}$$

$$d_v = \text{diamètre du col du SSV [mm]}$$

$$\mu = \text{viscosité absolue ou dynamique du gaz [kg/(m·s)]}$$

$$b = 1,458 \times 10^6 \text{ (constante empirique) [kg/(m·s·K}^{0,5}\text{)]}$$

$$S = 110,4 \text{ (empirical constant) [K]}$$

Étant donné que q_{VCVS} est un facteur d'entrée dans l'équation Re , on doit commencer les calculs par une approximation initiale pour la valeur q_{VCVS} ou C_d du venturi d'étalonnage, et procéder par itération jusqu'à ce que q_{VCVS} converge. La méthode de convergence doit être précise à 0,1 % de point ou mieux.

Pour un minimum de 16 points dans la région du débit subsonique, les valeurs calculées de C_d à partir de l'équation d'ajustement de la courbe d'étalonnage résultante ne doivent pas s'écarter de plus de 0,5 % de la valeur C_d mesurée pour chaque point d'étalonnage.

Annexe 4B

Appendice A.8.2

Correction en fonction de la dérive

A.8.6 Les calculs du présent appendice sont à effectuer conformément aux indications données dans l'appendice A.7.2 de l'appendice A.7 de l'annexe 4B.

$$c_{\text{idriftcor}} = c_{\text{refzero}} + (c_{\text{refspan}} - c_{\text{refzero}}) \frac{2c_i - (c_{\text{prezero}} + c_{\text{postzero}})}{(c_{\text{prespan}} + c_{\text{postspan}}) - (c_{\text{prezero}} + c_{\text{postzero}})} \quad (\text{A.8-75})$$

où:

- $c_{\text{idriftcor}}$ = concentration corrigée de la dérive [ppm]
- c_{refzero} = concentration de référence pour le gaz de mise à zéro, qui est généralement nulle sauf autre valeur connue [ppm]
- c_{refspan} = concentration de référence du gaz de calibrage [ppm]
- c_{prespan} = réponse de l'analyseur de gaz dans l'intervalle préessai à la concentration de gaz de calibrage [ppm]
- c_{postspan} = réponse de l'analyseur de gaz dans l'intervalle postessai à la concentration de gaz de calibrage [ppm]
- c_i ou \bar{c} = concentration enregistrée, c'est-à-dire mesurée, pendant l'essai, avant correction en fonction de la dérive [ppm]
- c_{prezero} = réponse de l'analyseur de gaz dans l'intervalle préessai à la concentration de gaz zéro [ppm]
- c_{postzero} = réponse de l'analyseur de gaz dans l'intervalle postessai à la concentration de gaz zéro [ppm]

Annexe 5

1. Cycles d'essai

1.1 Essai en conditions stationnaires à modes discrets

- a) Dans le cas des moteurs à régime variable, on respecte le cycle à 8 modes¹ suivant pour le fonctionnement du moteur sur le dynamomètre:

<i>Numéro de Mode</i>	<i>Régime du moteur</i>	<i>Couple [%]</i>	<i>Coefficient de pondération</i>
1	Nominal	100	0,15
2	Nominal	75	0,15
3	Nominal	50	0,15
4	Nominal	10	0,10
5	Intermédiaire	100	0,10
6	Intermédiaire	75	0,10
7	Intermédiaire	50	0,10
8	Ralenti	---	0,15

- b) Dans le cas des moteurs à régime constant, on suit le cycle à 5 modes² suivant pour le fonctionnement du moteur sur le dynamomètre:

<i>Numéro de mode</i>	<i>Régime du moteur</i>	<i>Couple [%]</i>	<i>Coefficient de pondération</i>
1	Nominal	100	0,05
2	Nominal	75	0,25
3	Nominal	50	0,30
4	Nominal	25	0,30
5	Nominal	10	0,10

Les taux de charge indiqués sont les valeurs en pourcentage du couple correspondant à la puissance pour le service de base³, définie comme étant la puissance maximale disponible au cours d'une séquence d'exploitation variable, dont la durée peut atteindre un nombre d'heures illimité par an, entre des entretiens dont la fréquence est déclarée et dans les conditions ambiantes déclarées, l'entretien étant effectué selon les prescriptions du fabricant.

¹ Identique au cycle C1 du paragraphe 8.3 de la norme ISO 8178-4:2008.

² Identique au cycle D2 du paragraphe 8.4 de la norme ISO 8178-4:2008.

³ On trouvera une meilleure définition de la puissance pour le service de base dans la figure 2 de la norme ISO 8528-1:1993(E).

1.2 Cycle d'essai en conditions stationnaires à modes raccordés

- a) Pour les moteurs à régime variable, le cycle d'essai à 9 modes suivant s'applique en cas d'essai à modes raccordés:

<i>Mode RMC</i>	<i>Temps sur ce mode [s]</i>	<i>Régime moteur^{a, c}</i>	<i>Couple (%)^{b, c}</i>
1a Conditions stationnaires	126	Ralenti à chaud	0
1b Transition	20	Transition linéaire ⁽²⁾	Transition linéaire
2a Conditions stationnaires	159	Intermédiaire	100
2b Transition	20	Intermédiaire	Transition linéaire
3a Conditions stationnaires	160	Intermédiaire	50
3b Transition	20	Intermédiaire	Transition linéaire
4a Conditions stationnaires	162	Intermédiaire	75
4b Transition	20	Transition linéaire	Transition linéaire
5a Conditions stationnaires	246	Nominal	100
5b Transition	20	Nominal	Transition linéaire
6a Conditions stationnaires	164	Nominal	10
6b Transition	20	Nominal	Transition linéaire
7a Conditions stationnaires	248	Nominal	75
7b Transition	20	Nominal	Transition linéaire
8a Conditions stationnaires	247	Nominal	50
8b Transition	20	Transition linéaire	Transition linéaire
9 Conditions stationnaires	128	Ralenti à chaud	0

^a Régime comme indiqué dans la note pour le mode d'essai discret en conditions stationnaires.

^b Le pourcentage de couple est relatif au couple maximal au régime moteur commandé.

^c Progression d'un mode au suivant dans les 20 s de la phase de transition. Pendant celle-ci, commande d'une progression linéaire du réglage de couple du mode en cours et réglage de couple du mode suivant et commande simultanée de progression linéaire similaire pour le régime moteur s'il y a un changement du réglage du régime.

- b) Pour les moteurs à régime constant, on applique le cycle d'essai à 5 modes suivant en cas d'essai à modes raccordés:

<i>Mode RMC</i>	<i>Temps sur ce mode [s]</i>	<i>Régime moteur</i>	<i>Couple (%)^{a, b}</i>
1a Conditions stationnaires	53	Réglé par le moteur	100
1b Transition	20	Réglé par le moteur	Transition linéaire
2a Conditions stationnaires	101	Réglé par le moteur	10
2b Transition	20	Réglé par le moteur	Transition linéaire
3a Conditions stationnaires	277	Réglé par le moteur	75
3b Transition	20	Réglé par le moteur	Transition linéaire

<i>Mode RMC</i>	<i>Temps sur ce mode [s]</i>	<i>Régime moteur</i>	<i>Couple (%)^{a, b}</i>
4a Conditions stationnaires	339	Réglé par le moteur	25
4b Transition	20	Réglé par le moteur	Transition linéaire
5 Conditions stationnaires	350	Réglé par le moteur	50

^a Le pourcentage de couple est relatif au couple maximal d'essai.

^b Progression d'un mode au suivant dans les 20 s de la phase de transition. Pendant celle-ci, commande d'une progression linéaire du réglage de couple du mode en cours et réglage de couple du mode suivant.

1.3 Cycle transitoire

a) Pour les moteurs à régime variable, le programme suivant entièrement transitoire (régime et charge variables) s'applique:

<i>Temps</i> s	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> s	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> s	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
1	0	0	51	102	50	101	75	24
2	0	0	52	102	46	102	73	30
3	0	0	53	102	41	103	74	24
4	0	0	54	102	31	104	77	6
5	0	0	55	89	2	105	76	12
6	0	0	56	82	0	106	74	39
7	0	0	57	47	1	107	72	30
8	0	0	58	23	1	108	75	22
9	0	0	59	1	3	109	78	64
10	0	0	60	1	8	110	102	34
11	0	0	61	1	3	111	103	28
12	0	0	62	1	5	112	103	28
13	0	0	63	1	6	113	103	19
14	0	0	64	1	4	114	103	32
15	0	0	65	1	4	115	104	25
16	0	0	66	0	6	116	103	38
17	0	0	67	1	4	117	103	39
18	0	0	68	9	21	118	103	34
19	0	0	69	25	56	119	102	44
20	0	0	70	64	26	120	103	38
21	0	0	71	60	31	121	102	43
22	0	0	72	63	20	122	103	34
23	0	0	73	62	24	123	102	41
24	1	3	74	64	8	124	103	44
25	1	3	75	58	44	125	103	37
26	1	3	76	65	10	126	103	27
27	1	3	77	65	12	127	104	13
28	1	3	78	68	23	128	104	30
29	1	3	79	69	30	129	104	19
30	1	6	80	71	30	130	103	28
31	1	6	81	74	15	131	104	40
32	2	1	82	71	23	132	104	32
33	4	13	83	73	20	133	101	63
34	7	18	84	73	21	134	102	54
35	9	21	85	73	19	135	102	52
36	17	20	86	70	33	136	102	51
37	33	42	87	70	34	137	103	40
38	57	46	88	65	47	138	104	34
39	44	33	89	66	47	139	102	36
40	31	0	90	64	53	140	104	44
41	22	27	91	65	45	141	103	44
42	33	43	92	66	38	142	104	33
43	80	49	93	67	49	143	102	27
44	105	47	94	69	39	144	103	26
45	98	70	95	69	39	145	79	53
46	104	36	96	66	42	146	51	37
47	104	65	97	71	29	147	24	23
48	96	71	98	75	29	148	13	33
49	101	62	99	72	23	149	19	55
50	102	51	100	74	22	150	45	30

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
151	34	7	200	3	8	249	54	39
152	14	4	201	3	22	250	60	42
153	8	16	202	12	20	251	48	18
154	15	6	203	14	20	252	54	51
155	39	47	204	16	17	253	88	90
156	39	4	205	20	18	254	103	84
157	35	26	206	27	34	255	103	85
158	27	38	207	32	33	256	102	84
159	43	40	208	41	31	257	58	66
160	14	23	209	43	31	258	64	97
161	10	10	210	37	33	259	56	80
162	15	33	211	26	18	260	51	67
163	35	72	212	18	29	261	52	96
164	60	39	213	14	51	262	63	62
165	55	31	214	13	11	263	71	6
166	47	30	215	12	9	264	33	16
167	16	7	216	15	33	265	47	45
168	0	6	217	20	25	266	43	56
169	0	8	218	25	17	267	42	27
170	0	8	219	31	29	268	42	64
171	0	2	220	36	66	269	75	74
172	2	17	221	66	40	270	68	96
173	10	28	222	50	13	271	86	61
174	28	31	223	16	24	272	66	0
175	33	30	224	26	50	273	37	0
176	36	0	225	64	23	274	45	37
177	19	10	226	81	20	275	68	96
178	1	18	227	83	11	276	80	97
179	0	16	228	79	23	277	92	96
180	1	3	229	76	31	278	90	97
181	1	4	230	68	24	279	82	96
182	1	5	231	59	33	280	94	81
183	1	6	232	59	3	281	90	85
184	1	5	233	25	7	282	96	65
185	1	3	234	21	10	283	70	96
186	1	4	235	20	19	284	55	95
187	1	4	236	4	10	285	70	96
188	1	6	237	5	7	286	79	96
189	8	18	238	4	5	287	81	71
190	20	51	239	4	6	288	71	60
191	49	19	240	4	6	289	92	65
192	41	13	241	4	5	290	82	63
193	31	16	242	7	5	291	61	47
194	28	21	243	16	28	292	52	37
195	21	17	244	28	25	293	24	0
196	31	21	245	52	53	294	20	7
197	21	8	246	50	8	295	39	48
198	0	14	247	26	40	296	39	54
199	0	12	248	48	29	297	63	58

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
298	53	31	347	57	79	396	60	90
299	51	24	348	76	97	397	53	66
300	48	40	349	84	97	398	70	48
301	39	0	350	86	97	399	77	93
302	35	18	351	81	98	400	79	67
303	36	16	352	83	83	401	46	65
304	29	17	353	65	96	402	69	98
305	28	21	354	93	72	403	80	97
306	31	15	355	63	60	404	74	97
307	31	10	356	72	49	405	75	98
308	43	19	357	56	27	406	56	61
309	49	63	358	29	0	407	42	0
310	78	61	359	18	13	408	36	32
311	78	46	360	25	11	409	34	43
312	66	65	361	28	24	410	68	83
313	78	97	362	34	53	411	102	48
314	84	63	363	65	83	412	62	0
315	57	26	364	80	44	413	41	39
316	36	22	365	77	46	414	71	86
317	20	34	366	76	50	415	91	52
318	19	8	367	45	52	416	89	55
319	9	10	368	61	98	417	89	56
320	5	5	369	61	69	418	88	58
321	7	11	370	63	49	419	78	69
322	15	15	371	32	0	420	98	39
323	12	9	372	10	8	421	64	61
324	13	27	373	17	7	422	90	34
325	15	28	374	16	13	423	88	38
326	16	28	375	11	6	424	97	62
327	16	31	376	9	5	425	100	53
328	15	20	377	9	12	426	81	58
329	17	0	378	12	46	427	74	51
330	20	34	379	15	30	428	76	57
331	21	25	380	26	28	429	76	72
332	20	0	381	13	9	430	85	72
333	23	25	382	16	21	431	84	60
334	30	58	383	24	4	432	83	72
335	63	96	384	36	43	433	83	72
336	83	60	385	65	85	434	86	72
337	61	0	386	78	66	435	89	72
338	26	0	387	63	39	436	86	72
339	29	44	388	32	34	437	87	72
340	68	97	389	46	55	438	88	72
341	80	97	390	47	42	439	88	71
342	88	97	391	42	39	440	87	72
343	99	88	392	27	0	441	85	71
344	102	86	393	14	5	442	88	72
345	100	82	394	14	14	443	88	72
346	74	79	395	24	54	444	84	72

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
445	83	73	495	51	61	545	24	72
446	77	73	496	68	47	546	64	70
447	74	73	497	29	42	547	77	62
448	76	72	498	24	73	548	80	68
449	46	77	499	64	71	549	83	53
450	78	62	500	90	71	550	83	50
451	79	35	501	100	61	551	83	50
452	82	38	502	94	73	552	85	43
453	81	41	503	84	73	553	86	45
454	79	37	504	79	73	554	89	35
455	78	35	505	75	72	555	82	61
456	78	38	506	78	73	556	87	50
457	78	46	507	80	73	557	85	55
458	75	49	508	81	73	558	89	49
459	73	50	509	81	73	559	87	70
460	79	58	510	83	73	560	91	39
461	79	71	511	85	73	561	72	3
462	83	44	512	84	73	562	43	25
463	53	48	513	85	73	563	30	60
464	40	48	514	86	73	564	40	45
465	51	75	515	85	73	565	37	32
466	75	72	516	85	73	566	37	32
467	89	67	517	85	72	567	43	70
468	93	60	518	85	73	568	70	54
469	89	73	519	83	73	569	77	47
470	86	73	520	79	73	570	79	66
471	81	73	521	78	73	571	85	53
472	78	73	522	81	73	572	83	57
473	78	73	523	82	72	573	86	52
474	76	73	524	94	56	574	85	51
475	79	73	525	66	48	575	70	39
476	82	73	526	35	71	576	50	5
477	86	73	527	51	44	577	38	36
478	88	72	528	60	23	578	30	71
479	92	71	529	64	10	579	75	53
480	97	54	530	63	14	580	84	40
481	73	43	531	70	37	581	85	42
482	36	64	532	76	45	582	86	49
483	63	31	533	78	18	583	86	57
484	78	1	534	76	51	584	89	68
485	69	27	535	75	33	585	99	61
486	67	28	536	81	17	586	77	29
487	72	9	537	76	45	587	81	72
488	71	9	538	76	30	588	89	69
489	78	36	539	80	14	589	49	56
490	81	56	540	71	18	590	79	70
491	75	53	541	71	14	591	104	59
492	60	45	542	71	11	592	103	54
493	50	37	543	65	2	593	102	56
494	66	41	544	31	26	594	102	56

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
595	103	61	644	79	72	693	100	69
596	102	64	645	78	70	694	102	72
597	103	60	646	80	70	695	101	69
598	93	72	647	82	71	696	100	69
599	86	73	648	84	71	697	102	71
600	76	73	649	83	71	698	102	71
601	59	49	650	83	73	699	102	69
602	46	22	651	81	70	700	102	71
603	40	65	652	80	71	701	102	68
604	72	31	653	78	71	702	100	69
605	72	27	654	76	70	703	102	70
606	67	44	655	76	70	704	102	68
607	68	37	656	76	71	705	102	70
608	67	42	657	79	71	706	102	72
609	68	50	658	78	71	707	102	68
610	77	43	659	81	70	708	102	69
611	58	4	660	83	72	709	100	68
612	22	37	661	84	71	710	102	71
613	57	69	662	86	71	711	101	64
614	68	38	663	87	71	712	102	69
615	73	2	664	92	72	713	102	69
616	40	14	665	91	72	714	101	69
617	42	38	666	90	71	715	102	64
618	64	69	667	90	71	716	102	69
619	64	74	668	91	71	717	102	68
620	67	73	669	90	70	718	102	70
621	65	73	670	90	72	719	102	69
622	68	73	671	91	71	720	102	70
623	65	49	672	90	71	721	102	70
624	81	0	673	90	71	722	102	62
625	37	25	674	92	72	723	104	38
626	24	69	675	93	69	724	104	15
627	68	71	676	90	70	725	102	24
628	70	71	677	93	72	726	102	45
629	76	70	678	91	70	727	102	47
630	71	72	679	89	71	728	104	40
631	73	69	680	91	71	729	101	52
632	76	70	681	90	71	730	103	32
633	77	72	682	90	71	731	102	50
634	77	72	683	92	71	732	103	30
635	77	72	684	91	71	733	103	44
636	77	70	685	93	71	734	102	40
637	76	71	686	93	68	735	103	43
638	76	71	687	98	68	736	103	41
639	77	71	688	98	67	737	102	46
640	77	71	689	100	69	738	103	39
641	78	70	690	99	68	739	102	41
642	77	70	691	100	71	740	103	41
643	77	71	692	99	68	741	102	38

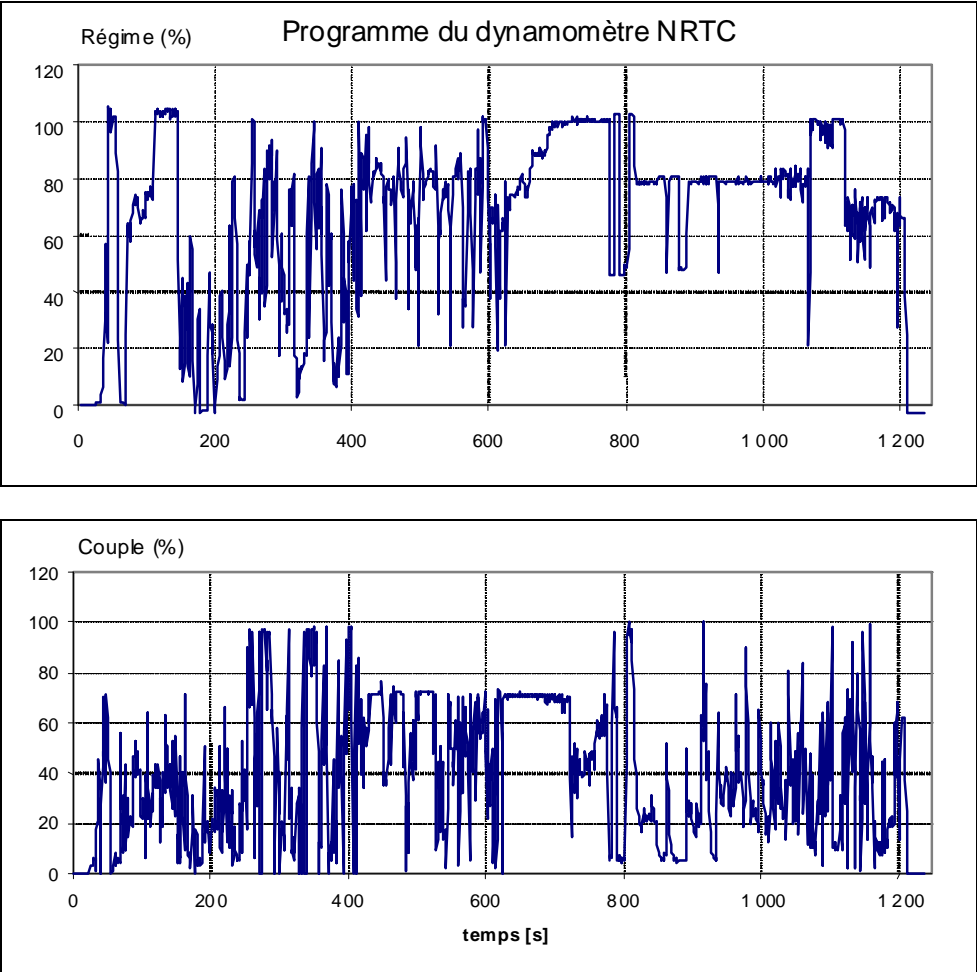
<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
742	103	39	792	52	5	842	81	27
743	102	46	793	48	5	843	80	26
744	104	46	794	48	7	844	80	26
745	103	49	795	48	5	845	81	25
746	102	45	796	48	6	846	80	21
747	103	42	797	48	4	847	81	20
748	103	46	798	52	6	848	83	21
749	103	38	799	51	5	849	83	15
750	102	48	800	51	6	850	83	12
751	103	35	801	51	6	851	83	9
752	102	48	802	52	5	852	83	8
753	103	49	803	52	5	853	83	7
754	102	48	804	57	44	854	83	6
755	102	46	805	98	90	855	83	6
756	103	47	806	105	94	856	83	6
757	102	49	807	105	100	857	83	6
758	102	42	808	105	98	858	83	6
759	102	52	809	105	95	859	76	5
760	102	57	810	105	96	860	49	8
761	102	55	811	105	92	861	51	7
762	102	61	812	104	97	862	51	20
763	102	61	813	100	85	863	78	52
764	102	58	814	94	74	864	80	38
765	103	58	815	87	62	865	81	33
766	102	59	816	81	50	866	83	29
767	102	54	817	81	46	867	83	22
768	102	63	818	80	39	868	83	16
769	102	61	819	80	32	869	83	12
770	103	55	820	81	28	870	83	9
771	102	60	821	80	26	871	83	8
772	102	72	822	80	23	872	83	7
773	103	56	823	80	23	873	83	6
774	102	55	824	80	20	874	83	6
775	102	67	825	81	19	875	83	6
776	103	56	826	80	18	876	83	6
777	84	42	827	81	17	877	83	6
778	48	7	828	80	20	878	59	4
779	48	6	829	81	24	879	50	5
780	48	6	830	81	21	880	51	5
781	48	7	831	80	26	881	51	5
782	48	6	832	80	24	882	51	5
783	48	7	833	80	23	883	50	5
784	67	21	834	80	22	884	50	5
785	105	59	835	81	21	885	50	5
786	105	96	836	81	24	886	50	5
787	105	74	837	81	24	887	50	5
788	105	66	838	81	22	888	51	5
789	105	62	839	81	22	889	51	5
790	105	66	840	81	21	890	51	5
791	89	41	841	81	31	891	63	50

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
892	81	34	941	81	31	990	81	27
893	81	25	942	81	30	991	81	23
894	81	29	943	81	35	992	81	25
895	81	23	944	81	28	993	81	26
896	80	24	945	81	27	994	81	22
897	81	24	946	80	27	995	81	20
898	81	28	947	81	31	996	81	17
899	81	27	948	81	41	997	81	23
900	81	22	949	81	41	998	83	65
901	81	19	950	81	37	999	81	54
902	81	17	951	81	43	1 000	81	50
903	81	17	952	81	34	1 001	81	41
904	81	17	953	81	31	1 002	81	35
905	81	15	954	81	26	1 003	81	37
906	80	15	955	81	23	1 004	81	29
907	80	28	956	81	27	1 005	81	28
908	81	22	957	81	38	1 006	81	24
909	81	24	958	81	40	1 007	81	19
910	81	19	959	81	39	1 008	81	16
911	81	21	960	81	27	1 009	80	16
912	81	20	961	81	33	1 010	83	23
913	83	26	962	80	28	1 011	83	17
914	80	63	963	81	34	1 012	83	13
915	80	59	964	83	72	1 013	83	27
916	83	100	965	81	49	1 014	81	58
917	81	73	966	81	51	1 015	81	60
918	83	53	967	80	55	1 016	81	46
919	80	76	968	81	48	1 017	80	41
920	81	61	969	81	36	1 018	80	36
921	80	50	970	81	39	1 019	81	26
922	81	37	971	81	38	1 020	86	18
923	82	49	972	80	41	1 021	82	35
924	83	37	973	81	30	1 022	79	53
925	83	25	974	81	23	1 023	82	30
926	83	17	975	81	19	1 024	83	29
927	83	13	976	81	25	1 025	83	32
928	83	10	977	81	29	1 026	83	28
929	83	8	978	83	47	1 027	76	60
930	83	7	979	81	90	1 028	79	51
931	83	7	980	81	75	1 029	86	26
932	83	6	981	80	60	1 030	82	34
933	83	6	982	81	48	1 031	84	25
934	83	6	983	81	41	1 032	86	23
935	71	5	984	81	30	1 033	85	22
936	49	24	985	80	24	1 034	83	26
937	69	64	986	81	20	1 035	83	25
938	81	50	987	81	21	1 036	83	37
939	81	43	988	81	29	1 037	84	14
940	81	42	989	81	29	1 038	83	39

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
1 039	76	70	1 088	100	31	1 137	78	2
1 040	78	81	1 089	100	28	1 138	76	34
1 041	75	71	1 090	98	3	1 139	67	80
1 042	86	47	1 091	102	26	1 140	70	67
1 043	83	35	1 092	95	64	1 141	53	70
1 044	81	43	1 093	102	23	1 142	72	65
1 045	81	41	1 094	102	25	1 143	60	57
1 046	79	46	1 095	98	42	1 144	74	29
1 047	80	44	1 096	93	68	1 145	69	31
1 048	84	20	1 097	101	25	1 146	76	1
1 049	79	31	1 098	95	64	1 147	74	22
1 050	87	29	1 099	101	35	1 148	72	52
1 051	82	49	1 100	94	59	1 149	62	96
1 052	84	21	1 101	97	37	1 150	54	72
1 053	82	56	1 102	97	60	1 151	72	28
1 054	81	30	1 103	93	98	1 152	72	35
1 055	85	21	1 104	98	53	1 153	64	68
1 056	86	16	1 105	103	13	1 154	74	27
1 057	79	52	1 106	103	11	1 155	76	14
1 058	78	60	1 107	103	11	1 156	69	38
1 059	74	55	1 108	103	13	1 157	66	59
1 060	78	84	1 109	103	10	1 158	64	99
1 061	80	54	1 110	103	10	1 159	51	86
1 062	80	35	1 111	103	11	1 160	70	53
1 063	82	24	1 112	103	10	1 161	72	36
1 064	83	43	1 113	103	10	1 162	71	47
1 065	79	49	1 114	102	18	1 163	70	42
1 066	83	50	1 115	102	31	1 164	67	34
1 067	86	12	1 116	101	24	1 165	74	2
1 068	64	14	1 117	102	19	1 166	75	21
1 069	24	14	1 118	103	10	1 167	74	15
1 070	49	21	1 119	102	12	1 168	75	13
1 071	77	48	1 120	99	56	1 169	76	10
1 072	103	11	1 121	96	59	1 170	75	13
1 073	98	48	1 122	74	28	1 171	75	10
1 074	101	34	1 123	66	62	1 172	75	7
1 075	99	39	1 124	74	29	1 173	75	13
1 076	103	11	1 125	64	74	1 174	76	8
1 077	103	19	1 126	69	40	1 175	76	7
1 078	103	7	1 127	76	2	1 176	67	45
1 079	103	13	1 128	72	29	1 177	75	13
1 080	103	10	1 129	66	65	1 178	75	12
1 081	102	13	1 130	54	69	1 179	73	21
1 082	101	29	1 131	69	56	1 180	68	46
1 083	102	25	1 132	69	40	1 181	74	8
1 084	102	20	1 133	73	54	1 182	76	11
1 085	96	60	1 134	63	92	1 183	76	14
1 086	99	38	1 135	61	67	1 184	74	11
1 087	102	24	1 136	72	42	1 185	74	18

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
1 186	73	22	1 236	0	0			
1 187	74	20	1 237	0	0			
1 188	74	19	1 238	0	0			
1 189	70	22						
1 190	71	23						
1 191	73	19						
1 192	73	19						
1 193	72	20						
1 194	64	60						
1 195	70	39						
1 196	66	56						
1 197	68	64						
1 198	30	68						
1 199	70	38						
1 200	66	47						
1 201	76	14						
1 202	74	18						
1 203	69	46						
1 204	68	62						
1 205	68	62						
1 206	68	62						
1 207	68	62						
1 208	68	62						
1 209	68	62						
1 210	54	50						
1 211	41	37						
1 212	27	25						
1 213	14	12						
1 214	0	0						
1 215	0	0						
1 216	0	0						
1 217	0	0						
1 218	0	0						
1 219	0	0						
1 220	0	0						
1 221	0	0						
1 222	0	0						
1 223	0	0						
1 224	0	0						
1 225	0	0						
1 226	0	0						
1 227	0	0						
1 228	0	0						
1 229	0	0						
1 230	0	0						
1 231	0	0						
1 232	0	0						
1 233	0	0						
1 234	0	0						
1 235	0	0						

On trouvera ci-dessous une représentation graphique du programme du dynamomètre NRTC



Annexe 6

Caractéristiques techniques du carburant de référence prescrites pour les essais d'homologation et le contrôle de la conformité de la production

Tableau 1
Pour les plages de puissance D à G

	Limites et unités ^{1,2}	Méthode d'essai
Indice de cétane ⁴	Min. 45 ⁷ Max. 50	ISO 5165
Densité à 15 °C	Min. 835 kg/m ³ Max. 845 kg/m ³ ¹⁰	ISO 3675, ASTM D4052
Distillation ³ à 95 % du volume	Max. 370 °C	ISO 3405
Viscosité à 40 °C	Min. 2,5 mm ² /s Max. 3,5 mm ² /s	ISO 3104
Teneur en soufre	Min. 0,1 % en masse ⁹ Max. 0,2 % en masse ⁸	ISO 8754, EN 24260
Point d'éclair	Min. 55 °C	ISO 2719
Point d'obstruction du filtre à froid	Min. - Max. +5 °C	EN 116
Corrosion du cuivre	Max. 1	ISO 2160
Carbone Conradson sur le résidu (10 % DR)	Max. 0,3 % en masse	ISO 10370
Teneur en cendres	Max. 0,01 % en masse	ASTM D482 ¹¹
Teneur en eau	Max. 0,05 % en masse	ASTM D95, D1744
Indice de neutralisation (acide fort)	Min. 0,20 mg KOH/g	
Stabilité à l'oxydation ⁵	Max. 2,5 mg/100 ml	ASTM D2274
Additifs ⁶		

¹ S'il est nécessaire de calculer le rendement thermique d'un moteur ou d'un véhicule, le pouvoir calorifique du carburant peut être obtenu par la formule suivante:

Énergie spécifique (pouvoir calorifique) (net) en MJ/kg = $(46,423 - 8,792 \times d^2 + 3,17 \times d) \times (1 - (x + y + s)) + 9,42 \times s - 2,499 \times x$
où:

d est la densité mesurée à 15 °C

x est la proportion d'eau, en masse (pourcentage divisé par 100)

y est la proportion de cendres, en masse (pourcentage divisé par 100)

s est la proportion de soufre, en masse (pourcentage divisée par 100).

² Les valeurs indiquées dans les spécifications sont des «valeurs vraies». Lors de l'établissement des valeurs limites, on a appliqué les termes de la norme ASTM D3244 «Defining a basis for petroleum produce quality disputes», et lors de la fixation d'un maximum, une différence minimale de 2R par rapport à la valeur zéro a été prise en compte; lors de la fixation d'un maximum et d'un minimum, la différence minimale entre ces valeurs est de 4R (R = reproductibilité).

Malgré cette mesure qui est nécessaire pour des raisons statistiques, le fabricant d'un carburant devrait viser la valeur zéro lorsque le maximum stipulé est de 2R, et la valeur moyenne lorsqu'il existe un minimum et un maximum. Au cas où il serait nécessaire de vérifier si un carburant satisfait aux spécifications, les dispositions de la norme ASTM D3244 devraient être appliquées.

³ Les valeurs indiquées correspondent aux quantités totales évaporées: % récupéré + % pertes.

⁴ L'intervalle indiqué pour le cétane n'est pas conforme au minimum de 4R. Cependant, en cas de différend entre le fournisseur et l'utilisateur de carburant, les dispositions de la norme ASTM D3244 peuvent être appliquées, sous réserve qu'un nombre suffisant de mesures soit fait pour obtenir la précision nécessaire, ceci étant préférable à une détermination unique.

⁵ Bien que la stabilité à l'oxydation soit contrôlée, il est probable que la durée de vie du carburant sera limitée. Il conviendrait de s'adresser au fournisseur pour obtenir des renseignements sur les conditions de stockage et la durée de vie du carburant.

⁶ Ce carburant ne devrait être fabriqué qu'à partir de distillats directs ou craqués; sa désulfuration est permise. Il ne doit pas contenir d'additifs métalliques ni d'améliorants d'indice de cétane.

⁷ Des valeurs plus faibles sont admises, auquel cas l'indice de cétane du carburant de référence utilisé doit être indiqué.

⁸ Des valeurs plus élevées sont admises, auquel cas la teneur en soufre du carburant de référence utilisé doit être indiquée.

⁹ Ces valeurs devront être réexaminées en permanence, en fonction des tendances du marché. Pour l'homologation initiale d'un moteur sur demande, une teneur nominale en soufre de 0,05 % en masse (0,03 % en masse au minimum) est admissible, auquel cas la teneur en particules doit être corrigée à la hausse jusqu'à atteindre la valeur moyenne normalement indiquée pour la teneur en soufre du carburant (0,15 % en masse), selon l'équation ci-dessous:

$$PT_{adj} = PT + [SFC \times 0,0917 \times (NSLF - FSF)]$$

où:

PT_{adj} = valeur PT corrigée (g/kWh)

PT = valeur d'émissions spécifiques pondérées mesurées pour les particules (g/kWh)

SFC = consommation spécifique pondérée de carburant (g/kWh) calculée conformément à la formule ci-dessous

NSLF = moyenne de la valeur nominale spécifiée de la fraction massique représentée par la teneur en soufre (0,15 %/100)

FSF = fraction massique de la teneur en soufre du carburant (%/100)

Équation pour le calcul de la consommation spécifique pondérée de carburant:

$$SFC = \frac{\sum_{i=1}^n G_{FUEL,i} \times WF_i}{\sum_{i=1}^n P_i \times WF_i} \quad \text{où:} \quad P_i = P_{m,i} + P_{AE,i}$$

Aux fins du contrôle de la conformité de la production selon les dispositions du paragraphe 7.4.2, il doit être satisfait aux dispositions avec un carburant de référence qui remplit les conditions de teneur minimale/maximale de 0,1/0,2 % en masse.

¹⁰ Des valeurs plus élevées sont admises jusqu'à une limite de 855 kg/m³, auquel cas la masse volumique du carburant de référence utilisé doit être notée. Aux fins du contrôle de la conformité de production selon les dispositions du paragraphe 7.4.2, il doit être satisfait aux dispositions avec un carburant de référence qui remplit les conditions de densité minimale/maximale de 835/845 kg/m³.

¹¹ Cette norme sera remplacée par la norme EN-ISO 6245, avec effet à la date d'entrée en vigueur.

¹² Toutes les propriétés du carburant et les valeurs limites devront être réexaminées en fonction des tendances du marché.

Tableau 2
Pour les plages de puissance H à K

Paramètre	Unité	Limites ¹		Méthode d'essai
		minimum	maximum	
Indice de cétane ²			54,0	EN-ISO 5165
Densité à 15 °C	kg/m ³	833	865	EN-ISO 3675
Distillation:				
à 50 % du volume	°C	245	-	EN-ISO 3405
à 95 % du volume	°C	345	350	EN-ISO 3405
- Point d'ébullition final	°C	-	370	EN-ISO 3405
Point d'éclair	°C	55	-	EN 22719
Point d'obstruction du filtre à froid	°C	-	-5	EN 116
Viscosité à 40 °C	mm ² /s	2,5	3,5	EN-ISO 3104
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	% m/m	3,0	6,0	IP 391
Teneur en soufre ³	mg/kg	-	300	ASTM D5453
Corrosion du cuivre		-	classe 1	EN-ISO 2160
Carbone Conradson sur le résidu (10 % DR)	% m/m	-	0,2	EN-ISO 10370
Teneur en cendres	% m/m	-	0,01	EN-ISO 6245
Teneur en eau	% m/m	-	0,05	EN-ISO 12937
Indice de neutralisation (acide fort)	mg KOH/g	-	0,02	ASTM D974
Stabilité à l'oxydation ⁴	mg/ml	-	0,025	EN-ISO 12205

¹ Les valeurs mentionnées dans les caractéristiques sont des «valeurs vraies». Les valeurs limites ont été déterminées conformément à la norme ISO 4259 intitulée «Produits pétroliers – Détermination et application des valeurs de fidélité relatives aux méthodes d'essai». Pour la fixation d'un minimum, une différence minimale de 2R par rapport à la valeur zéro a été prise en considération pour la fixation d'un maximum et d'un minimum, la différence minimale entre ces valeurs est de 4R (R = reproductibilité).

Malgré cette mesure qui est nécessaire pour des raisons techniques, le fabricant d'un carburant devrait viser la valeur zéro lorsque le maximum stipulé est de 2R, et la valeur moyenne lorsqu'il existe un minimum et un maximum. Au cas où il serait nécessaire de vérifier si un carburant satisfait aux spécifications, les dispositions de la norme ISO 4259 devraient être appliquées.

² L'intervalle indiqué pour l'indice de cétane n'est pas conforme au minimum de 4R. Cependant, en cas de différend entre le fournisseur et l'utilisateur de carburant, les dispositions de la norme ISO 4259 peuvent être appliquées, sous réserve qu'un nombre suffisant de mesures soit fait pour obtenir la précision nécessaire, ceci étant préférable à une détermination unique.

³ La teneur réelle en soufre du carburant utilisé pour l'essai doit être indiquée.

⁴ Bien que la stabilité à l'oxydation soit contrôlée, il est probable que la durée de vie du carburant sera limitée. Il conviendrait de s'adresser au fournisseur pour obtenir des renseignements sur les conditions de stockage et la durée de vie du carburant.

Tableau 3

Pour les plages de puissance L à P et Q et R

Paramètre	Unité	Limites ¹		Méthode d'essai
		minimum	maximum	
Indice de cétane ²		52,0	54,0	EN-ISO 5165
Densité à 15 °C	kg/m ³	833	837	EN-ISO 3675
Distillation:				
à 50 % du volume	°C	245	-	EN-ISO 3405
à 95 % du volume	°C	345	350	EN-ISO 3405
- Point d'ébullition final	°C	-	370	EN-ISO 3405
Point d'éclair	°C	55	-	EN 22719
Point d'obstruction du filtre à froid	°C	-	-5	EN 116
Viscosité à 40 °C	mm ² /s	2,3	2,3	EN-ISO 3104
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	% m/m	3,0	6,0	IP 391
Teneur en soufre ³	mg/kg	-	10	ASTM D5453
Corrosion du cuivre		-	classe 1	EN-ISO 2160
Carbone Conradson sur le résidu (10 % DR)	% m/m	-	0,2	EN-ISO 10370
Teneur en cendres	% m/m	-	0,01	EN-ISO 6245
Teneur en eau	% m/m	-	0,02	EN-ISO 12937
Indice de neutralisation (acide fort)	mg KOH/g	-	0,02	ASTM D974
Stabilité à l'oxydation ⁴	mg/ml	-	0,025	EN-ISO 12205
Pouvoir lubrifiant (méthode HFRR: diamètre de marque d'usure à 60 °C)	µm	-	400	CEC F-06-A-96
EMAG	interdits			

¹ Les valeurs mentionnées dans les caractéristiques sont des «valeurs vraies». Les valeurs limites ont été déterminées conformément à la norme ISO 4259 intitulée «Produits pétroliers – Détermination et application des valeurs de fidélité relatives aux méthodes d'essai». Pour la fixation d'un minimum, une différence minimale de 2R par rapport à la valeur zéro a été prise en considération; pour la fixation d'un maximum et d'un minimum, la différence minimale entre ces valeurs est de 4R (R = reproductibilité).

Malgré cette mesure qui est nécessaire pour des raisons techniques, le fabricant d'un carburant devrait viser la valeur zéro lorsque le maximum stipulé est de 2R, et la valeur moyenne lorsqu'il existe un minimum et un maximum. Au cas où il serait nécessaire de vérifier si un carburant satisfait aux spécifications, les dispositions de la norme ISO 4259 devraient être appliquées.

² L'intervalle indiqué pour l'indice de cétane n'est pas conforme au minimum de 4R. Cependant, en cas de différend entre le fournisseur et l'utilisateur de carburant, les termes de la norme ISO 4259 peuvent être appliqués, sous réserve qu'un nombre suffisant de mesures soit fait pour obtenir la précision nécessaire, ceci étant préférable à une détermination unique.

³ La teneur réelle en soufre du carburant utilisé pour l'essai doit être indiquée.

⁴ Bien que la stabilité à l'oxydation soit contrôlée, il est probable que la durée de vie du carburant sera limitée. Il conviendrait de s'adresser au fournisseur pour obtenir des renseignements sur les conditions de stockage et la durée de vie du carburant.

Annexe 7

Prescriptions d'installation pour les équipements et les accessoires

<i>Numéro</i>	<i>Équipement et accessoires</i>	<i>Monté pour l'essai d'émissions</i>
1	Système d'admission Collecteur d'admission Système de contrôle des émissions de carter Débitmètre d'air Filtre à air Silencieux d'admission Dispositif de réchauffage du collecteur d'admission	Oui Oui Oui Oui^a Oui^a Oui, de série. S'il est réglable, il doit être réglé dans la position la plus favorable.
2	Système d'échappement Traitement aval des gaz d'échappement Collecteur d'échappement Tubes de raccordement Silencieux Tuyau arrière Frein sur échappement Dispositif de surpression	Oui Oui Oui^b Oui^b Oui^b Non^c Oui
3	Pompe d'alimentation en carburant	Oui^d
4	Équipement d'injection de carburant Préfiltre Filtre Pompe Rampe haute pression Injecteur Commande électronique, capteurs, etc. Régulateur/système de commande Butée automatique de pleine charge pour crémaillère de commande selon les conditions atmosphériques	Oui Oui Oui Oui Oui Oui Oui Oui

<i>Numéro</i>	<i>Équipement et accessoires</i>	<i>Monté pour l'essai d'émissions</i>
5	Système de refroidissement (au moyen d'un liquide) Radiateur Ventilateur Carénage de ventilateur Pompe à eau Thermostat	 Non Non Non Oui^e Oui^f
6	Refroidissement par air Capot Ventilateur ou soufflante Dispositif de régulation de la température	 Non^g Non^g Non
7	Équipement électrique Générateur	 Oui^h
8	Équipement de surpression Compresseur entraîné directement par le moteur et/ou par les gaz d'échappement Refroidisseur d'admission Pompe de réfrigérant ou ventilateur (entraîné(e) par le moteur) Dispositif de réglage du débit du réfrigérant	 Oui Oui^{g, i} Non^g Oui
9	Ventilateur de banc d'essai auxiliaire	Oui, si nécessaire
10	Dispositif antipollution	Oui
11	Équipement de démarrage	Oui ou équipement de banc d'essai^j
12	Pompe de lubrification du moteur	Oui
13	Certains équipements auxiliaires dont la fonction est liée au fonctionnement de l'engin et qui peuvent être montés sur le moteur doivent être enlevés pour l'essai. La liste suivante, non exhaustive, est donnée à titre d'exemple: i) Compresseur d'air de freins; ii) Compresseur de direction assistée; iii) Compresseur de suspension; iv) Système de climatisation.	 Non

^a Le système d'admission complet doit être équipé pour l'application à laquelle il est destiné:

- i) Lorsqu'il y a un risque d'effet appréciable sur la puissance du moteur;
- ii) Lorsque le fabricant le demande.

Dans d'autres cas, on peut utiliser un système équivalent et faire un contrôle pour s'assurer que la pression d'admission ne diffère pas de plus de 100 Pa de la limite supérieure fixée par le fabricant pour un filtre à air propre.

^b Le système d'échappement complet doit être monté pour l'application à laquelle il est destiné:

- i) Lorsqu'il y a un risque d'effet appréciable sur la puissance du moteur;
- ii) Lorsque le fabricant le demande.

Dans d'autres cas, on peut utiliser un système équivalent et faire un contrôle pour s'assurer que la pression d'admission ne diffère pas de plus de 1 000 Pa de la limite supérieure fixée par le fabricant.

^c Si un frein sur échappement est intégré au moteur, le papillon des gaz doit être en position entièrement ouverte.

^d La pression d'alimentation du carburant peut être réglée, si nécessaire, pour reproduire la pression existant dans l'application particulière de ce moteur (surtout lorsqu'on fait appel à un système à «retour de carburant»).

^e La circulation du liquide de refroidissement doit être assurée par la pompe à eau du moteur seulement. Le refroidissement de ce liquide peut être fait dans un circuit extérieur de telle manière que la perte de pression de ce circuit et la pression à l'entrée de la pompe soient essentiellement les mêmes que celles du système de refroidissement du moteur.

^f Le thermostat peut être mis en position d'ouverture totale.

^g Lorsque le ventilateur de refroidissement ou la soufflante est installé(e) pour l'essai, la puissance absorbée est ajoutée aux résultats, sauf dans le cas des ventilateurs de refroidissement de moteurs refroidis par air directement fixés sur le vilebrequin. La puissance du ventilateur ou de la soufflante doit être déterminée aux régimes utilisés pour l'essai, soit par calcul à partir des caractéristiques standard, soit par des essais pratiques.

^h Débit minimal de la génératrice: la génératrice doit fournir le courant strictement nécessaire à l'alimentation des auxiliaires indispensables au fonctionnement du moteur. S'il est nécessaire qu'une batterie soit raccordée, on doit utiliser une batterie en bon état complètement chargée.

ⁱ Les moteurs à refroidissement d'admission doivent être essayés avec le refroidissement d'admission, qu'il soit à liquide ou à air, mais si le fabricant le préfère, un système faisant partie du banc d'essai peut remplacer le refroidisseur d'air. Dans chaque cas, la mesure de la puissance à chaque régime est effectuée avec le maximum de chute de pression et le minimum de perte de température de l'air traversant le refroidisseur de suralimentation sur le banc d'essai déclarés par le fabricant.

^j L'énergie pour le système de démarrage électrique ou autre doit être fournie par le banc d'essai.

Annexe 8

Exigences de durabilité

La présente annexe s'applique uniquement aux moteurs à allumage par compression des plages de puissance H et plus.

1. **Vérification de la durabilité des moteurs des plages de puissance H à P**
 La présente section s'applique uniquement aux moteurs à allumage par compression des plages de puissance H à P.
- 1.1 Les constructeurs définissent un facteur de détérioration (FD) pour chaque polluant réglementé. On utilise ce facteur pour les essais d'homologation de type et les essais effectués sur la chaîne de production:
 - a) Soit en ajoutant ledit facteur aux résultats des essais d'émission, si le paragraphe 1.2.1 s'applique;
 - b) Soit en multipliant le résultat des essais d'émission par ledit facteur, si le paragraphe 1.2.2 s'applique.
- 1.1.1 Les essais en vue de la détermination des FD sont effectués comme suit:
 - 1.1.1.1 Le constructeur procède à des essais de durabilité pour accumuler des heures de fonctionnement des moteurs, selon un programme d'essais qui, sur la base des pratiques techniques reconnues, est élaboré de manière à être représentatif de la détérioration des caractéristiques d'émission lors du fonctionnement du moteur dans les conditions normales d'utilisation. La période d'essai de durabilité devrait normalement représenter au moins l'équivalent d'un quart de la période de durabilité des caractéristiques d'émission (PDCE).

 On peut accumuler les heures de fonctionnement en faisant fonctionner le moteur sur un banc dynamométrique ou dans des conditions réelles de fonctionnement. On peut effectuer des essais de durabilité accélérés peuvent être effectués en exécutant les essais du programme pour l'accumulation d'heures de fonctionnement avec un facteur de charge plus élevé que dans les conditions normales d'utilisation. Le facteur d'accélération, liant le nombre d'heures d'essai de durabilité du moteur au nombre équivalent d'heures PDCE, est déterminé par le constructeur sur la base des pratiques techniques reconnues.

 Au cours de la période d'essai de durabilité, aucun élément important sur le plan des émissions ne peut être révisé ou remplacé en dehors de ce qui est prévu par le programme normal d'entretien recommandé par le constructeur.

 Sur la base des pratiques techniques reconnues, le constructeur choisit le moteur, les sous-systèmes ou les composants à utiliser pour déterminer les FD des émissions d'une famille de moteurs ou de familles de moteurs faisant appel à des techniques comparables en matière de réduction des émissions. Le moteur soumis à l'essai doit présenter les caractéristiques de détérioration des émissions des familles de moteurs auxquelles seront appliquées les valeurs FD aux fins de l'homologation de type. Les

moteurs qui diffèrent par l'alésage et la course, la configuration, la gestion de l'air ou l'alimentation peuvent être considérés comme équivalents en ce qui concerne les caractéristiques de détérioration des émissions si cette équivalence est étayée par des éléments techniques suffisants.

Les FD d'autres constructeurs peuvent être utilisés si on peut raisonnablement considérer qu'il existe une équivalence technologique en matière de détérioration des émissions et si on peut démontrer que les essais ont été effectués selon les exigences prescrites.

Les essais d'émission sont effectués conformément aux procédures décrites dans le présent Règlement, après le rodage initial du moteur, mais avant toute accumulation d'heures de fonctionnement et après la période d'essai de durabilité. Des essais d'émission peuvent aussi être effectués à intervalles pendant la période d'accumulation d'heures de fonctionnement et les données obtenues peuvent être utilisées pour déterminer la tendance en matière de détérioration des émissions.

1.1.1.2 L'autorité d'homologation ne peut pas assister aux essais d'accumulation d'heures de fonctionnement ou aux essais d'émission effectués pour déterminer la détérioration des caractéristiques d'émission.

1.1.1.3 Détermination des FD sur la base des essais de durabilité

Un FD additif est défini comme étant la valeur que l'on obtient en soustrayant la valeur d'émission déterminée au début de la PDCE de la valeur d'émission déterminée à la fin de la PDCE.

Un FD multiplicateur est défini comme étant le résultat de la division du niveau d'émission déterminé à la fin de la PDCE par la valeur d'émission enregistrée au début de la PDCE.

Des valeurs FD distinctes sont déterminées pour chacun des polluants couverts par la législation. La valeur d'un FD additif pour la norme $\text{NO}_x + \text{HC}$ est déterminée sur la base de la somme des polluants, nonobstant le fait qu'une valeur de détérioration négative pour un polluant ne peut pas compenser la détérioration pour l'autre polluant. Dans le cas d'un FD multiplicateur pour $\text{NO}_x + \text{HC}$, des FD distincts sont déterminés pour les HC et les NO_x ; on applique ces valeurs séparément lors du calcul des niveaux d'émission détériorés à partir du résultat d'un essai d'émission, avant de combiner les valeurs résultantes de détérioration des émissions de NO_x et de HC afin de déterminer si la norme est respectée.

Dans les cas où les essais ne sont pas effectués pendant toute la PDCE, les valeurs d'émission à la fin de la PDCE sont déterminées par extrapolation à toute la PDCE de la tendance de détérioration des émissions établie pendant la période d'essai.

Lorsque les résultats des essais d'émission ont été enregistrés périodiquement au cours de la période d'essai de durabilité, des techniques de traitement statistique standard basées sur les bonnes pratiques sont appliquées pour déterminer les niveaux d'émission à la fin de la PDCE; une analyse de la signification statistique peut être effectuée lors de la détermination des valeurs d'émission finales.

Si le résultat du calcul est une valeur inférieure à 1,00 pour un FD multiplicateur ou inférieure à 0,00 pour un FD additif, les FD sont respectivement de 1,0 ou 0,00.

- 1.1.1.4** Avec l'accord de l'autorité d'homologation, un constructeur peut utiliser des valeurs FD établies à partir des résultats d'essais de durabilité effectués pour obtenir des valeurs FD pour l'homologation de moteurs à combustion interne destinés aux poids lourds routiers. Ceci est autorisé s'il existe une équivalence technologique entre le moteur routier soumis à l'essai et la famille de moteurs non routiers auxquels sont appliquées les valeurs FD en vue de leur homologation. Les valeurs FD dérivées des résultats d'essais de durabilité des émissions de moteurs routiers doivent être calculées sur la base des valeurs PDCE définies au paragraphe 2.
- 1.1.1.5** Dans le cas où une famille de moteurs utilise une technologie bien établie, les essais peuvent être remplacés par une analyse fondée sur les pratiques techniques reconnues pour déterminer un facteur de détérioration pour cette famille de moteurs, moyennant l'accord de l'autorité d'homologation de type.
- 1.2** Informations relatives aux FD dans les demandes d'homologation
- 1.2.1** Les FD additifs sont spécifiés pour chaque polluant dans la demande d'homologation de type d'une famille de moteurs à allumage par compression non dotés d'un dispositif de traitement aval.
- 1.2.2** Les FD multiplicateurs sont spécifiés pour chaque polluant dans la demande d'homologation de type d'une famille de moteurs à allumage par compression dotés d'un dispositif de traitement aval.
- 1.2.3** À la demande de l'autorité d'homologation, le constructeur transmet à celle-ci les informations justifiant les valeurs FD établies. Ces informations comprennent généralement les résultats des essais d'émission, du programme pour l'accumulation d'heures de fonctionnement et des procédures d'entretien, ainsi que, le cas échéant, des informations à l'appui des appréciations techniques relatives à l'équivalence technologique.
- 2.** Vérification de la durabilité des moteurs des plages de puissance Q et R (réservé)
- 3.** Périodes de durabilité des caractéristiques d'émission
- 3.1** Les constructeurs utilisent les PDCE indiquées dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1

Catégories de PDCE pour les moteurs à allumage par compression des plages de puissance H et plus (en heures)

<i>Catégorie (plage de puissance)</i>	<i>Durée de vie utile (en heures) (PDCE)</i>
≤37 kW (moteurs à régime constant)	3 000
≤37 kW (moteurs à régime variable)	5 000
>37 kW	8 000

II. Justification

1. La présente proposition vise à modifier le Règlement n° 96 de telle sorte:
 - a) Que les dispositions du Règlement soient alignées sur celles des phases IIIB et IV de la directive européenne correspondante; et
 - b) Que le Règlement reflète l'harmonisation technique des spécifications relatives aux essais adoptées dans le cadre du RTM n° 11 (Transposition).
 2. Elle est présentée comme une version de synthèse du Règlement. Elle est fondée sur le document: E/ECE/324-E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.95/Rev.1, comprenant tout le texte valide jusqu'à:
 - a) Complément 1 à la version originale du Règlement – Date d'entrée en vigueur: 5 mars 1997;
 - b) Complément 2 à la version originale du Règlement – Date d'entrée en vigueur: 5 février 2000;
 - c) Série 01 d'amendements: Date d'entrée en vigueur: 16 septembre 2001;
 - d) Complément 1 à la série 01 d'amendements – Date d'entrée en vigueur: 31 janvier 2003;
 - e) Complément 2 à la série 01 d'amendements – Date d'entrée en vigueur: 12 août 2004;
 - f) Série 02 d'amendements: Date d'entrée en vigueur: 3 février 2008.
 3. Il y est tenu compte du rectificatif au RTM n° 11 ECE/TRANS/WP.29/GRPE/2011/2, que le GRPE a adopté à sa session de janvier 2011.
-