



**Conseil économique  
et social**

Distr.  
GÉNÉRALE

ECE/TRANS/WP.29/2009/114  
17 août 2009

FRANÇAIS  
Original: ANGLAIS

---

**COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE**

**COMITÉ DES TRANSPORTS INTÉRIEURS**

Forum mondial de l'harmonisation des Règlements  
concernant les véhicules

Cent quarante-neuvième session  
Genève, 10-13 novembre 2009  
Point 4.2.16 de l'ordre du jour provisoire

**ACCORD DE 1958**

Examen de projets d'amendements à des Règlements existants

Proposition de complément 2 à la série 05 d'amendements au Règlement n° 49  
(Émissions des moteurs à allumage par compression et des moteurs à allumage  
commandé (fonctionnant au GPL ou au GNC))

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

Le texte reproduit ci-après, adopté par le Groupe de travail de la pollution et de l'énergie (GRPE) à sa cinquante-huitième session, est fondé sur le document ECE/TRANS/WP.29/GRPE/2009/12. Il est soumis au Forum mondial de l'harmonisation des Règlements concernant les véhicules (WP.29) et au Comité exécutif (AC.3) aux fins d'examen (ECE/TRANS/WP.29/GRPE/58, par. 9).

---

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

A. PROPOSITION

Annexe 4B, lire:

«Annexe 4B

PROCÉDURE D'ESSAI S'APPLIQUANT AUX MOTEURS À ALLUMAGE  
PAR COMPRESSION ET AUX MOTEURS À ALLUMAGE COMMANDÉ  
FONCTIONNANT AU GAZ NATUREL (GN) OU AU GAZ DE PÉTROLE  
**LIQUÉFIÉ** (GPL), BASÉE SUR LA PROCÉDURE MONDIALE  
HARMONISÉE D'HOMOLOGATION DES VÉHICULES  
UTILITAIRES LOURDS (WHDC, Règlement technique  
mondial (RTM) n° 4)

1. CHAMP D'APPLICATION

La présente annexe n'est pas applicable dans l'immédiat pour l'homologation de type conformément au présent Règlement. Des mesures seront prises ultérieurement pour qu'elle le devienne.

2. Réserve 1/

3. DÉFINITIONS, SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

3.1 Définitions

Aux fins du présent Règlement, on entend,

- 3.1.1 par "régénération continue", le processus de régénération d'un système de traitement aval des gaz d'échappement qui se produit soit en permanence, soit au moins une fois par essai de démarrage à chaud du cycle transitoire WHTC. Ce processus de régénération ne nécessite pas de procédure d'essai spéciale;
- 3.1.2 par "temps de retard", la différence de temps entre une variation d'un constituant à mesurer au point de référence et une réponse du système de mesure de 10 % de la valeur de lecture finale ( $t_{10}$ ), la sonde de prélèvement étant définie comme point de référence. Pour les constituants gazeux, ce temps est égal au temps de transport du constituant mesuré depuis la sonde de prélèvement jusqu'au **détecteur**;
- 3.1.3 par "système DeNO<sub>x</sub>", un système de traitement aval des gaz d'échappement conçu pour réduire les émissions d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) (catalyseurs NO<sub>x</sub> passifs ou actifs en régime pauvre, pièges à NO<sub>x</sub> et systèmes à catalyse sélective (SCR));

---

1/ La numérotation de cette annexe est conforme à la numérotation du RTM sur la procédure WHDC. Certaines sections de ce RTM toutefois n'ont pas de raison d'être dans la présente annexe.

- 3.1.4 par “moteur diesel”, un moteur qui fonctionne selon le principe de l’allumage par compression;
- 3.1.5 par “dérive” la différence entre les réponses au zéro ou au point final d’étalonnage de l’instrument de mesure avant et après un essai de mesure des émissions;
- 3.1.6 par “famille de moteurs”, un groupe de moteurs d’un constructeur qui, de par leur conception, telle qu’elle est définie au paragraphe 5.2 du présent RTM, ont des caractéristiques communes en ce qui concerne les émissions d’échappement; tous les membres de la famille doivent satisfaire aux valeurs limites d’émissions applicables;
- 3.1.7 par “système moteur”, le moteur, le système antipollution et l’interface de communication (matériel et messages) entre le ou les modules électroniques de gestion du moteur et tout autre module de gestion de la chaîne de transmission ou du comportement du véhicule;
- 3.1.8 par “type de moteur”, une catégorie de moteurs ne présentant pas entre eux de différence en ce qui concerne les caractéristiques essentielles;
- 3.1.9 par “système de traitement aval des gaz d’échappement”, un catalyseur (d’oxydation ou trifonctionnel), un filtre à particules, un système DeNOx, un filtre à particules combiné à un système DeNOx ou tout autre dispositif de réduction des émissions installé en aval du moteur. Cette définition exclut les systèmes de recyclage des gaz d’échappement (EGR) qui sont considérés comme faisant partie intégrante du moteur;
- 3.1.10 par “méthode de la dilution du flux total”, le procédé consistant à mélanger le flux total de gaz d’échappement à l’air de dilution avant de séparer une fraction du flux de gaz d’échappement dilués pour analyse;
- 3.1.11 par “polluants gazeux”, le monoxyde de carbone, les hydrocarbures et/ou les hydrocarbures non méthaniques (sur la base d’un rapport de  $\text{CH}_{1,85}$  pour le gazole  $\text{CH}_{2,525}$  pour le GPL et  $\text{CH}_{2,93}$  pour le GN, et une molécule de référence  $\text{CH}_3\text{O}_{0,5}$  pour les moteurs diesel alimentés à l’éthanol), le méthane (sur la base d’un rapport de  $\text{CH}_4$  pour le GN) et les oxydes d’azote (exprimés en équivalent dioxyde d’azote ( $\text{NO}_2$ ));
- 3.1.12 par “régime supérieur ( $n_{hi}$ )”, le régime moteur le plus élevé où 70 % de la puissance maximale est obtenue;
- 3.1.13 par “régime inférieur ( $n_{lo}$ )”, le régime moteur le plus bas où 55 % de la puissance maximale est obtenue;
- 3.1.14 par “puissance maximale ( $P_{max}$ )”, la puissance maximale en kW spécifiée par le constructeur;
- 3.1.15 par “régime du couple maximal”, le régime moteur où le couple maximal est obtenu, tel que spécifié par le constructeur;

- 3.1.16 par “**couple normalisé**”, le couple du moteur en pourcentage normalisé par rapport au couple maximal disponible à un régime moteur donné;
- 3.1.17 par “**demande de l’opérateur**”, une intervention de l’opérateur visant à régler la puissance du moteur. L’opérateur peut être une personne (intervention manuelle) ou un régulateur (intervention automatique) qui envoie au moteur, mécaniquement ou électroniquement, un signal lui commandant de fournir une certaine puissance. Ce signal peut être une action sur une pédale d’accélérateur, un levier de commande des gaz, un levier de commande de l’alimentation en carburant, un levier de commande de la vitesse ou un point de consigne du régulateur, ou un signal de commande électronique correspondant remplaçant chacune de ces actions;
- 3.1.18 par “**moteur parent**”, un moteur sélectionné dans une famille de moteurs de telle manière que ses caractéristiques d’émissions soient représentatives pour cette famille;
- 3.1.19 par “**dispositif aval de traitement des particules**”, un système aval de traitement des gaz d’échappement destiné à réduire les émissions de matières particulaires (MP) par un procédé de séparation mécanique ou aérodynamique, par diffusion ou par inertie;
- 3.1.20 par “**méthode de dilution du flux partiel**”, le procédé consistant à séparer une partie du flux total, puis à la mélanger à une quantité appropriée d’air de dilution avant de l’envoyer au filtre de collecte des particules;
- 3.1.21 par “**matières particulaires (MP)**”, les matières recueillies sur un filtre de caractéristiques spécifiées après dilution des gaz d’échappement avec un **gaz diluant propre filtré à une température comprise entre 315 K (42 °C) et 325 K (52 °C)**; celles-ci sont constituées principalement de carbone, d’hydrocarbures condensés et de sulfates en association avec l’eau;
- 3.1.22 par “**régénération périodique**”, le processus de régénération d’un système de traitement aval des gaz d’échappement qui a lieu périodiquement, en général à intervalles de moins de 100 h, de fonctionnement normal du moteur. Lors des cycles au cours desquels il y a régénération, les limites d’émissions peuvent être dépassées;
- 3.1.23 par “**cycle d’essai en conditions stabilisées avec rampes de transition**”, on entend un cycle d’essai comportant une séquence de modes de fonctionnement du moteur en conditions stabilisées à des valeurs définies de régime et de couple, avec rampes de transition entre modes (WHSC);
- 3.1.24 par “**régime nominal**”, le régime maximal à pleine charge autorisé par le régulateur comme spécifié par le constructeur dans sa documentation de vente et de service, ou en l’absence d’un tel régulateur, le régime auquel la puissance maximale du moteur est obtenue, comme spécifié par le constructeur dans sa documentation de vente et de service;

- 3.1.25 par “temps de réponse”, la différence de temps entre la variation du constituant à mesurer au point de référence et une réponse du système de 90 % de la valeur de lecture finale ( $t_{90}$ ), la sonde de prélèvement étant définie comme point de référence; la variation du constituant mesuré doit être d’au moins 60 % de l’échelle et se faire en moins de **0,1 s**. Le temps de réponse du système est constitué du temps de retard du système et du temps de montée du système;
- 3.1.26 par “temps de montée”, la différence de temps de passage de 10 à 90 % de la valeur finale de mesure ( $t_{90} - t_{10}$ );
- 3.1.27 par “réponse au point final”, la réponse moyenne à un gaz de réglage d’échelle au cours d’une durée de 30 s;
- 3.1.28 par “émissions spécifiques”, les émissions en masse exprimées en g/kWh;
- 3.1.29 par “cycle d’essai”, une séquence de points d’essai correspondant chacun à des valeurs définies de régime et de couple, à exécuter avec le moteur en conditions stabilisées (essai **WHSC**) ou en conditions transitoires (essai **WHTC**);
- 3.1.30 par “temps de transformation”, la différence de temps entre la variation du constituant à mesurer au point de référence et une réponse du système de mesure de 50 % de la valeur finale de mesure ( $t_{50}$ ), la sonde de prélèvement étant choisie comme point de référence. Le temps de transformation est utilisé pour le recalage des signaux des différents appareils de mesure;
- 3.1.31 par “cycle d’essai en conditions transitoires”, un cycle d’essai comportant une séquence de valeurs normalisées de régime et de couple présentant des variations relativement rapides dans le temps (**WHTC**);
- 3.1.32 par “durée de service”, la distance et/ou la durée sur laquelle la conformité aux limites d’émissions gazeuses et particulaires applicables doit être garantie;
- 3.1.33 par “réponse au zéro”, la réponse moyenne à un gaz de mise à zéro au cours d’une durée de 30 s;

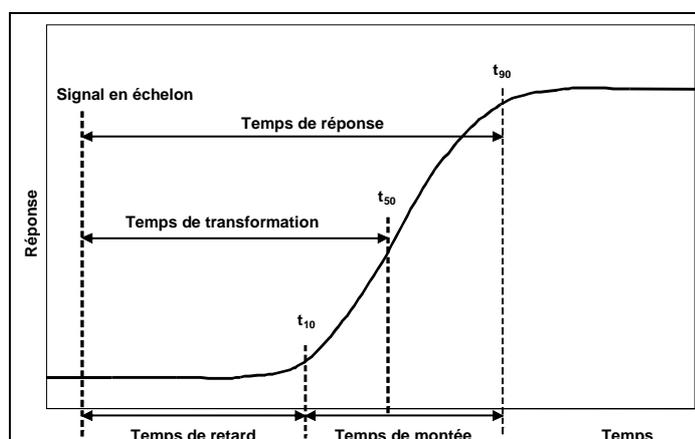


Figure 1. Définitions relatives à la réponse du système

3.2 Symboles généraux

<u>Symbole</u>	<u>Unité</u>	<u>Terme</u>
$A/F_{st}$	–	Rapport air/carburant stœchiométrique
$c$	ppm/% vol	Concentration
$c_d$	ppm/% vol	Concentration sur base sèche
$c_w$	ppm/% vol	Concentration sur base humide
$c_b$	ppm/% vol	Concentration ambiante
$C_d$	–	Coefficient de décharge du venturi subsonique (SSV)
$d$	m	Diamètre
$d_v$	m	Diamètre du col du venturi
$D_0$	$m^3/s$	Ordonnée à l'origine de la fonction d'étalonnage de la pompe volumétrique
$D$	–	Facteur de dilution
$\Delta t$	s	Intervalle de temps
$e_{gas}$	g/kWh	Émissions spécifiques de constituants gazeux
$e_{PM}$	g/kWh	Émissions spécifiques de particules
$e_p$	g/kWh	Émissions spécifiques pendant la régénération
$e_w$	g/kWh	Émissions spécifiques pondérées
$E_{co2}$	%	Facteur d'extinction par le CO <sub>2</sub> de l'analyseur de NO <sub>x</sub>
$E_E$	%	Efficacité pour l'éthane
$E_{H2O}$	%	Facteur d'extinction par l'eau de l'analyseur de NO <sub>x</sub>
$E_M$	%	Efficacité pour le méthane
$E_{NOX}$	%	Efficacité du convertisseur de NO <sub>x</sub>
$f$	Hz	Fréquence d'échantillonnage des données
$f_a$	–	Facteur atmosphérique du laboratoire
$F_s$	–	Facteur stœchiométrique
$H_a$	g/kg	Humidité absolue de l'air d'admission
$H_d$	g/kg	Humidité absolue de l'air de dilution
$i$	–	Indice s'appliquant à une mesure instantanée
$k_c$	–	<b>Facteur spécifique du carbone</b>
$k_{f,d}$	<b><math>m^3/kg</math> de carburant</b>	<b>Volume supplémentaire de gaz d'échappement secs résultant de la combustion</b>

<u>Symbole</u>	<u>Unité</u>	<u>Terme</u>
$k_{f,w}$	<b>m<sup>3</sup>/kg de carburant</b>	<b>Volume supplémentaire de gaz d'échappement humides résultant de la combustion</b>
$K_{h,D}$	–	Facteur de correction d'humidité des NO <sub>x</sub> pour les moteurs à allumage par compression
$K_{h,G}$	–	Facteur de correction d'humidité des NO <sub>x</sub> pour les moteurs à allumage commandé
$k_r$	–	Facteur de régénération
$K_{w,a}$	–	Facteur de correction base sèche/base humide pour l'air d'admission
$K_{w,d}$	–	Facteur de correction base sèche/base humide pour l'air de dilution
$K_{w,e}$	–	Facteur de correction base sèche/base humide pour les gaz d'échappement dilués
$K_{w,r}$	–	Facteur de correction base sèche/base humide pour les gaz d'échappement bruts
$K_V$	–	Fonction d'étalonnage du CFV
$\lambda$	–	Facteur d'excédent d'air
$m_d$	kg	Masse de l'échantillon d'air de dilution étant passé à travers les filtres de collecte des particules
$m_{ed}$	kg	Masse totale des gaz d'échappement dilués sur tout le cycle
$m_{edf}$	kg	Masse des gaz d'échappement dilués équivalents sur tout le cycle
$m_{ew}$	kg	Masse totale de gaz d'échappement sur tout le cycle
$m_f$	mg	Masse des particules collectées
$m_{f,d}$	mg	Masse des particules collectées dans l'air de dilution
$m_{gas}$	g	Masse des émissions gazeuses sur tout le cycle
$m_{PM}$	g	Masse des émissions de particules sur tout le cycle
$m_{se}$	kg	Masse des gaz d'échappement prélevés sur tout le cycle
$m_{sed}$	kg	Masse des gaz d'échappement dilués passant par le tunnel de dilution
$m_{sep}$	kg	Masse des gaz d'échappement dilués passant par les filtres de collecte des particules
$m_{ssd}$	kg	Masse de l'air de dilution secondaire
<b><math>M</math></b>	<b>Nm</b>	<b>Couple</b>

<u>Symbole</u>	<u>Unité</u>	<u>Terme</u>
$M_a$	g/mol	Masse molaire de l'air d'admission
$M_e$	g/mol	Masse molaire des gaz d'échappement
$M_{\text{gas}}$	g/mol	Masse molaire des constituants gazeux
$n$	–	Nombre de mesures
$n_r$	–	Nombre de mesures pendant la régénération
$n$	min <sup>-1</sup>	Régime de rotation du moteur
$n_{\text{hi}}$	min <sup>-1</sup>	Régime haut
$n_{\text{lo}}$	min <sup>-1</sup>	Régime bas
$n_{\text{pref}}$	min <sup>-1</sup>	Régime recommandé
$n_p$	tr/s	Régime de la pompe volumétrique
$p_a$	kPa	Pression de vapeur saturante de l'air d'admission
$p_b$	kPa	Pression atmosphérique totale
$p_d$	kPa	Pression de vapeur saturante de l'air de dilution
$p_p$	kPa	Pression absolue
$p_r$	kPa	Pression de vapeur d'eau après le bain de refroidissement
$p_s$	kPa	Pression atmosphérique en conditions sèches
<b><math>P</math></b>	<b>kW</b>	<b>Puissance</b>
$q_{\text{mad}}$	kg/s	Débit-masse d'air d'admission sur base sèche
$q_{\text{maw}}$	kg/s	Débit-masse d'air d'admission sur base humide
$q_{\text{mCe}}$	kg/s	Débit-masse de carbone dans les gaz d'échappement bruts
$q_{\text{mCf}}$	kg/s	Débit-masse de carbone dans le moteur
$q_{\text{mCp}}$	kg/s	Débit-masse de carbone dans le système de dilution du flux partiel
$q_{\text{mdew}}$	kg/s	Débit-masse des gaz d'échappement dilués en conditions humides
$q_{\text{mdw}}$	kg/s	Débit-masse d'air de dilution en conditions humides
$q_{\text{medf}}$	kg/s	Débit-masse équivalent de gaz d'échappement dilués sur base sèche
$q_{\text{mew}}$	kg/s	Débit-masse de gaz d'échappement sur base sèche
$q_{\text{mex}}$	kg/s	Débit-masse de prélèvement extrait du tunnel de dilution
$q_{\text{mf}}$	kg/s	Débit-masse du carburant

<u>Symbole</u>	<u>Unité</u>	<u>Terme</u>
$q_{mp}$	kg/s	Débit-masse de gaz d'échappement entrant dans le système de dilution du flux partiel
$q_{vCVS}$	m <sup>3</sup> /s	Débit-volume du prélèvement à volume constant
$q_{vs}$	dm <sup>3</sup> /min	Débit du système d'analyseur des gaz d'échappement
$q_{vt}$	cm <sup>3</sup> /min	Débit du gaz témoin
$r_d$	–	Taux de dilution
$r_D$	–	Rapport de diamètre du venturi subsonique
$r_h$	–	Facteur de réponse du FID aux hydrocarbures
$r_m$	–	Facteur de réponse du FID au méthanol
$r_p$	–	Rapport de pression du venturi subsonique
$r_s$	–	Taux de prélèvement moyen
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Masse volumique
$\rho_e$	kg/m <sup>3</sup>	Masse volumique des gaz d'échappement
$\sigma$	–	Écart type
$T$	K	Température absolue
$T_a$	K	Température absolue de l'air d'admission
$t$	s	Temps
$t_{10}$	s	Temps écoulé entre l'application du signal en échelon et l'affichage de 10 % de la valeur finale
$t_{50}$	s	Temps écoulé entre l'application du signal en échelon et l'affichage de 50 % de la valeur finale
$t_{90}$	s	Temps écoulé entre l'application du signal en échelon et l'affichage de 90 % de la valeur finale
$u$	–	Rapport entre les masses volumiques du constituant gazeux et des gaz d'échappement
$V_0$	m <sup>3</sup> /tr	Volume de gaz pompé par tour de la pompe volumétrique
$V_s$	dm <sup>3</sup>	Volume net du banc d'analyse des gaz d'échappement
$W_{act}$	kWh	Travail du cycle d'essai effectif
$W_{ref}$	kWh	Travail du cycle d'essai de référence
$X_0$	m <sup>3</sup> /r	Fonction d'étalonnage de la pompe volumétrique

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

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

sur la base d'un carburant  $CH_aO_\varepsilon N_\delta S_\gamma$

### 3.4 Symboles et abréviations pour les constituants chimiques

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

### 3.5 Abréviations

CFV	Venturi-tuyère en régime critique
DCL	Détecteur par chimiluminescence
CVS	Prélèvement à volume constant
DeNO <sub>x</sub>	Système de traitement aval des NO <sub>x</sub>
EGR	Recyclage des gaz d'échappement
FID	Détecteur à ionisation de flamme
CG	Chromatographie en phase gazeuse
HCLD	Détecteur à chimiluminescence chauffé
HFID	Détecteur à ionisation de flamme chauffé
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
NDIR	Analyseur de gaz infrarouge non dispersif
GN	Gaz naturel
NMC	Convertisseur de HCNM
PDP	Pompe volumétrique
% FS	Pourcentage de l'échelle
PFS	Système à flux partiel
SSV	Venturi subsonique
VGT	Turbine à géométrie variable

## 4. PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES

Le système moteur doit être conçu, construit et installé de manière à permettre au moteur, en utilisation normale, de satisfaire aux prescriptions **de la présente annexe pendant sa durée de service, telle qu'elle est définie dans le présent Règlement, y compris lorsqu'il est installé sur le véhicule.**

## 5. PRESCRIPTIONS FONCTIONNELLES

### 5.1 Émission de polluants gazeux et particulaires

Les émissions de polluants gazeux et particulaires du moteur doivent être déterminées conformément aux cycles d'essai WHTC et WHSC, tels qu'ils sont définis au paragraphe 7. Les systèmes de mesure doivent satisfaire aux conditions de linéarité énoncées au paragraphe 9.2 et aux caractéristiques énoncées au paragraphe 9.3 (mesure des émissions gazeuses), au paragraphe 9.4 (mesure des particules) et à l'appendice 3.

D'autres systèmes ou analyseurs peuvent être approuvés par l'autorité d'homologation de type, s'il est démontré qu'ils donnent des résultats équivalents au sens du paragraphe 5.1.1.

### 5.1.1 Équivalence d'un système

La détermination de l'équivalence d'un système doit s'appuyer sur une étude de corrélation portant sur sept paires d'échantillons (ou plus) entre le système envisagé et l'un des systèmes de la présente annexe.

Par "résultats", on entend la valeur spécifique des émissions pondérées par cycle. Les essais de corrélation doivent être effectués par le même laboratoire, dans la même chambre d'essai et sur le même moteur et de préférence conjointement. L'équivalence des moyennes de paires d'échantillons doit être déterminée sur la base de statistiques de test- $F$  et de test- $t$  comme décrit **au paragraphe A.4.3 de l'appendice 4**, 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 Famille de moteurs

### 5.2.1 Dispositions générales

Une famille de moteurs est caractérisée par ses paramètres de conception. Ceux-ci doivent être communs à tous les moteurs d'une famille. Le constructeur de moteurs peut décider quels moteurs appartiennent à une famille, pour autant que les critères d'appartenance énumérés au paragraphe 5.2.3 soient respectés. La famille de moteurs doit être 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.

### 5.2.2 Cas spéciaux

Dans certains cas, il peut y avoir interactions entre paramètres. 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 pris alors en considération comme critères pour l'établissement d'une nouvelle famille de moteurs.

Dans le cas de dispositifs ou de caractéristiques qui ne sont pas répertoriés au paragraphe 5.2.3, mais qui ont une forte incidence sur le niveau d'émissions, ces équipements doivent être identifiés par le constructeur conformément aux principes techniques reconnus et doivent être notifiés à l'autorité d'homologation de type. Ils doivent ensuite être pris en compte comme critère pour l'établissement d'une nouvelle famille de moteurs.

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

5.2.3 Paramètres définissant une famille de moteurs

5.2.3.1 Cycle de fonctionnement

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

5.2.3.2 Configuration des cylindres

5.2.3.2.1 Disposition des cylindres dans le bloc

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

5.2.3.2.2 Entraxe entre cylindres

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

5.2.3.3 Mode principal de refroidissement

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

5.2.3.4 Cylindrée unitaire

5.2.3.4.1 Moteurs ayant une cylindrée unitaire  $\geq 0,75 \text{ dm}^3$

Pour que des moteurs ayant une cylindrée unitaire  $\geq 0,75 \text{ dm}^3$  soient considérés comme appartenant à la même famille, la plage de variation de leurs cylindrées unitaires ne doit pas dépasser 15 % de la plus forte cylindrée unitaire dans la famille.

5.2.3.4.2 Moteurs ayant une cylindrée unitaire  $<0,75 \text{ dm}^3$

Pour que des moteurs ayant une cylindrée unitaire  $<0,75 \text{ dm}^3$  soient considérés comme appartenant à la même famille, la plage de variation de leurs cylindrées unitaires ne doit pas dépasser 30 % de la plus forte cylindrée unitaire dans la famille.

5.2.3.4.3 Moteurs ne répondant pas à ces limites de variation

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

5.2.3.5 Modes d'aspiration

- a) Aspiration naturelle
- b) Suralimentation
- c) Suralimentation avec refroidisseur intermédiaire

5.2.3.6 Types de carburant

- a) Gazole
- b) Gaz naturel (GN)
- c) Gaz de pétrole liquéfié (GPL)
- d) Éthanol

5.2.3.7 Types de chambre de combustion

- a) Chambre ouverte
- b) Chambre fractionnée
- c) Autres types

5.2.3.8 Modes d'allumage

- a) Allumage commandé
- b) Allumage par compression

5.2.3.9 Soupapes et conduits

- a) Configuration
- b) Nombre de soupapes par cylindre

5.2.3.10 Modes d'alimentation en carburant

- a) Alimentation en carburant liquide
  - i) Pompe, tuyauterie (haute pression) et injecteur
  - ii) Pompe en ligne ou à distributeur
  - iii) Pompe unitaire ou injecteur unitaire
  - iv) Rampe haute pression
  - v) Carburateur(s)
  - vi) Autres
- b) Alimentation en carburant gazeux
  - i) Gaz
  - ii) Liquide
  - iii) Mélangeurs
  - iv) Autres
- c) Autres types

5.2.3.11 Dispositifs divers

- a) Système de recyclage des gaz d'échappement (EGR)
- b) Injection d'eau
- c) Injection d'air
- d) Autres

5.2.3.12 Stratégie de gestion électronique

La présence ou l'absence d'un module 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.

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

Des exemples de paramètres commandés par la gestion électronique sont:

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

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

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

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

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

#### 5.2.4 Choix du moteur parent

##### 5.2.4.1 Moteurs à allumage par compression

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

##### 5.2.4.2 Moteurs à allumage commandé

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

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

##### 5.2.4.3 Remarques concernant le choix du moteur parent

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

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

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

## 6. CONDITIONS D'ESSAI

### 6.1 Conditions moteur

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

#### a) Moteurs à allumage par compression:

Moteurs à aspiration naturelle et moteurs à suralimentation mécanique:

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

Moteurs à turbocompresseur avec ou sans refroidisseur intermédiaire:

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

#### b) Moteurs à allumage commandé:

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

### 6.2 Moteurs à refroidisseur intermédiaire

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

S'il est utilisé un système appartenant au laboratoire d'essai ou un ventilateur extérieur, **le débit du fluide de refroidissement doit être réglé de telle sorte que la température de l'air d'admission se situe** à  $\pm 5$  K de la température maximale de l'air d'admission spécifiée par le constructeur au régime nominal et à pleine charge.

La température du fluide de refroidissement et le débit de fluide de refroidissement du refroidisseur intermédiaire au point de consigne ci-dessus ne doivent pas être modifiés pendant tout le cycle d'essai, à moins que ces conditions ne causent un refroidissement excessif et de l'air d'admission par rapport aux conditions réelles. Le volume du refroidisseur intermédiaire doit être déterminé sur la base des règles techniques reconnues et doit être représentatif de l'installation du moteur en service. **L'équipement de laboratoire doit être conçu de façon à réduire le plus possible l'accumulation de condensat. Tout condensat accumulé doit être drainé et tous les drains doivent être hermétiquement fermés avant les essais de mesure des émissions.**

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

### 6.3 Puissance du moteur

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

#### 6.3.1 Généralités concernant l'installation du moteur

**Le moteur doit être essayé avec les auxiliaires et les équipements énumérés à l'appendice 7.**

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

#### 6.3.2 Auxiliaires et équipements qui doivent être montés pour l'essai de mesure des émissions

**S'il n'est pas possible d'installer sur le banc d'essai les auxiliaires et les équipements prévus conformément à l'appendice 7, la puissance qu'ils absorbent doit être déterminée et soustraite de la puissance mesurée du moteur (de référence et réelle) sur la totalité de la plage de régime moteur du WHTC et sur les vitesses d'essai du WHSC.**

#### 6.3.3 Auxiliaires et équipements qui doivent être démontés pour l'essai

**Lorsque des auxiliaires et équipements ne figurant pas parmi ceux qui doivent être montés conformément à l'appendice 7 ne peuvent pas être démontés, la puissance qu'ils absorbent peut être déterminée, et ajoutée à la puissance mesurée du moteur (de référence et réelle) sur la totalité de la plage de régime moteur du WHTC et sur les vitesses d'essai du WHSC. Si cette valeur est supérieure à 3 % de la puissance maximale au régime d'essai, la preuve doit en être fournie à l'autorité d'homologation de type.**

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

La détermination de la puissance absorbée par les auxiliaires et les équipements n'est nécessaire que dans les cas suivants:

- a) les auxiliaires et équipements qui doivent être montés conformément à l'appendice 7 ne sont pas montés sur le moteur;

et/ou

- b) les auxiliaires et équipements qui ne figurent pas parmi ceux qui doivent être montés conformément à l'appendice 7 sont montés sur le moteur.

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

### 6.3.5 Travail du cycle du moteur

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

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

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

où:

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

$P_{a,i}$  est la puissance absorbée par les auxiliaires et les équipements qui doivent être montés sur le moteur, en kW;

$P_{b,i}$  est la puissance absorbée par les auxiliaires et les équipements qui doivent être démontés, en kW.

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

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

#### 6.5 Système d'échappement du moteur

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

#### 6.6 Moteur 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, **ou le diamètre spécifié par le constructeur, sur une longueur égale à au moins quatre diamètres** de tuyau en amont de l'entrée de la section divergente contenant le dispositif de traitement aval. La distance entre la bride du collecteur d'échappement ou la bride de sortie du turbocompresseur et le **dispositif** de traitement aval doit être la même que sur le véhicule ou être conforme aux spécifications du constructeur concernant cette distance. La 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. **Pour les dispositifs de traitement aval à contre-pression variable, la contre-pression maximale des gaz d'échappement doit être déterminée dans les conditions du système de traitement aval (niveau de rodage/vieillessement et de régénération/encrassement) spécifiées par le constructeur. Si la contre-pression maximale est égale ou inférieure à 5 kPa, la valeur de réglage ne doit pas être située à moins de 1,0 kPa du maximum.** Le système de traitement aval peut être enlevé lors des essais à blanc et pendant l'établissement de la cartographie 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.

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

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.

### 6.6.1 Régénération continue

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

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

**Si les conditions déclarées par le constructeur sont observées durant les essais et si les résultats des trois (ou plus) essais WHTC de démarrage à chaud n'offrent pas une dispersion supérieure à  $\pm 25$  % ou 0,005 g/kWh, la plus grande de ces valeurs étant retenue, le système de traitement aval est considéré comme étant du type à régénération continue et les prescriptions générales d'essai des paragraphes 7.6 (WHTC) et 7.7 (WHSC) s'appliquent.**

Si le système de traitement aval comporte un mode par défaut qui consiste en un passage à un mode de régénération périodique, il 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

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

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

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

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

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

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

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

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

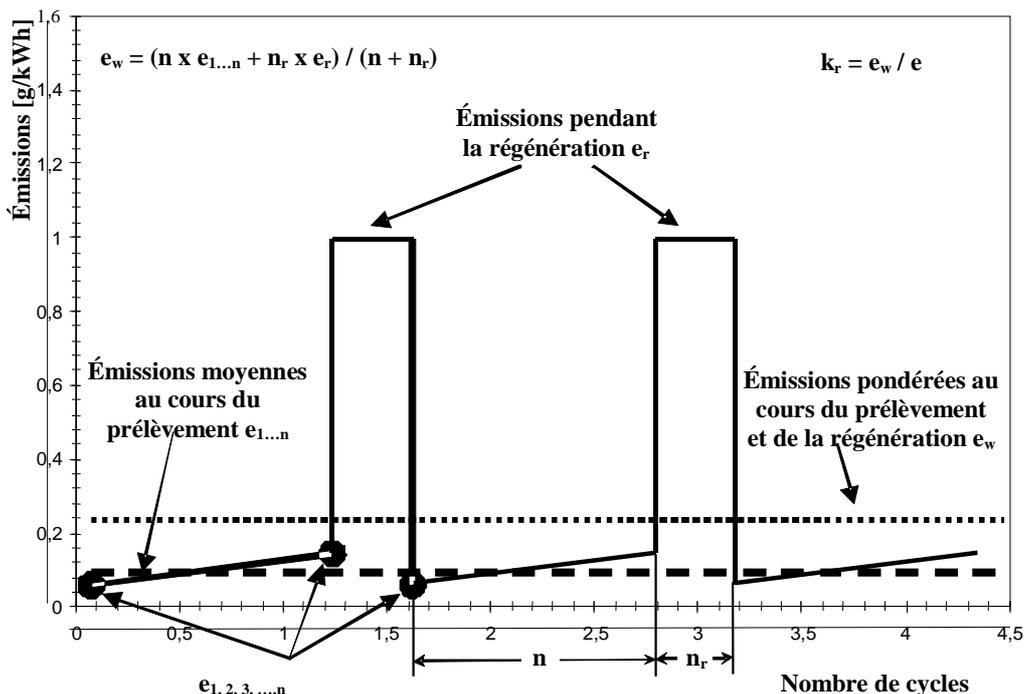


Figure 2. Prise en compte de la régénération périodique dans les résultats

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

$$e_w = \frac{n \times \bar{e} + n_r \times \bar{e}_r}{n + n_r} \tag{5}$$

où:

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

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

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

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

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

- a) si la régénération prend plus d'un cycle WHTC avec démarrage à chaud, on doit effectuer des essais complets successifs WHTC avec démarrage à chaud et continuer à mesurer les émissions sans effectuer d'arrêt à chaud

**ni arrêter le moteur jusqu'à l'achèvement de la régénération, et calculer la moyenne des résultats des essais de démarrage à chaud WHTC;**

- b) si la régénération complète a été effectuée pendant l'un quelconque des cycles WHTC avec démarrage à chaud, l'essai doit être mené sur toute la durée du cycle.**

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

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

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

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

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

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

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

**Eu égard au calcul des émissions spécifiques visé au paragraphe 8.6.3, les facteurs de régénération appropriés doivent être appliqués comme suit:**

- e) pour un essai sans régénération,  $k_{r,u}$  doit être, respectivement, multiplié par la valeur  $e$  des émissions spécifiques des équations 69 ou 70 ou additionné avec cette valeur;**
- f) pour un essai avec régénération,  $k_{r,d}$  doit être, respectivement, multiplié par la valeur  $e$  des émissions spécifiques des équations 69 ou 70 ou déduit de cette valeur;**

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

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

6.7 Système de refroidissement

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

6.8 Lubrifiant moteur

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

6.9 Caractéristiques techniques du carburant de référence

**Le carburant de référence est spécifié à l'appendice 2 de la présente annexe pour les moteurs à allumage par compression et aux annexes 6 et 7 pour les moteurs fonctionnant au GNC et au GPL.**

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

6.10 Émissions de gaz de carter

**Les émissions de gaz de carter ne doivent pas être rejetées directement dans l'atmosphère ambiante, sauf dans le cas suivant: les moteurs équipés de turbocompresseurs, de pompes, de soufflantes ou de compresseurs de suralimentation pour l'admission d'air peuvent le faire à condition que ces émissions soient ajoutées aux émissions d'échappement (soit physiquement soit mathématiquement) lors de tous les essais de mesure des émissions. Les constructeurs qui font usage de cette exception doivent installer les moteurs de telle sorte que toutes les émissions de gaz de carter puissent être réacheminées vers le dispositif de prélèvement des émissions.**

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

**Le système de renvoi des émissions de gaz de carter dans le système d'échappement en vue de la mesure des émissions doit remplir les conditions suivantes:**

- a) **Les tuyaux doivent avoir une paroi lisse, être électriquement conducteurs et ne pas être réactifs au contact des gaz de carter. Ils doivent être aussi courts que possible;**
- b) **Les tuyaux utilisés dans le laboratoire pour recueillir les émissions de gaz de carter doivent présenter le moins de coudes possible et lorsqu'un coude est inévitable, son rayon de courbure doit être aussi grand que possible;**

- c) **Les tuyaux utilisés dans le laboratoire pour recueillir les émissions de gaz de carter doivent être chauffés, être à paroi mince ou être isolés et doivent satisfaire aux spécifications du constructeur du moteur relatives à la contre-pression dans le carter;**
- d) **Les tuyaux utilisés pour recueillir les émissions de gaz de carter doivent être raccordés au dispositif d'évacuation des gaz d'échappement bruts en aval de tout système de traitement aval, en aval de tout dispositif engendrant une contre-pression, et suffisamment en amont des sondes de prélèvement pour garantir un mélange intime avec les gaz d'échappement du moteur avant le prélèvement. Le tuyau qui achemine les émissions de gaz de carter doit pénétrer jusque dans la veine libre de gaz d'échappement afin d'éviter les effets de couche limite et faciliter le brassage. L'orifice de sortie du tuyau acheminant les émissions de gaz de carter peut être orienté dans toute direction par rapport au flux des gaz d'échappement.**

## 7. MODES OPÉRATOIRES

### 7.1 Principes de la mesure des émissions

**Pour la mesure des émissions spécifiques, le moteur doit effectuer les cycles d'essai définis aux paragraphes 7.2.1 et 7.2.2. La mesure consiste à déterminer la masse des constituants présents dans les émissions d'échappement et le travail du cycle du moteur correspondant. Les constituants sont prélevés par les méthodes décrites aux paragraphes 7.1.1 et 7.1.2.**

#### 7.1.1 Prélèvement continu

**Dans le cadre d'un prélèvement continu, la concentration des constituants est mesurée en continu à partir des émissions d'échappement brutes ou diluées. Cette concentration est multipliée par le débit continu des émissions d'échappement (brutes ou diluées) à l'endroit où les émissions sont prélevées, afin de déterminer le débit-masse. Les émissions de constituants sont continuellement cumulées sur l'ensemble du cycle. Cette somme correspond à la masse totale des constituants émis.**

#### 7.1.2 Prélèvement par lot

**Dans le cadre d'un prélèvement par lot, un échantillon de gaz d'échappement bruts ou dilués est prélevé en continu et stocké avant d'être mesuré. L'échantillon prélevé doit être proportionnel au débit des gaz d'échappement bruts ou dilués. Des exemples de méthode de prélèvement par lot sont la collecte des constituants gazeux dilués dans un sac et des matières particulaires (MP) sur un filtre. Les concentrations recueillies par prélèvement par lot sont multipliées par la masse totale ou le débit-masse des gaz d'échappement (brutes ou diluées) d'où elles ont été extraites pendant le cycle d'essai. Ce produit est la masse totale ou le débit-masse des constituants émis. Pour calculer la concentration de matières particulaires, la quantité de matières particulaires déposées sur un filtre**

**à partir des gaz d'échappement extraits proportionnellement doit être divisée par la quantité de gaz d'échappement filtrés.**

### 7.1.3 Méthodes de mesure

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

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

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

## 7.2 Cycles d'essai

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

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

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

Pour la validation du cycle, le travail réel au cours du cycle **doit être situé dans les limites du travail au cours du cycle de référence.**

**Pour les polluants gazeux, on peut utiliser le prélèvement continu (gaz d'échappement bruts ou dilués) ou le prélèvement par lot (gaz d'échappement dilués). L'échantillon contenant les particules doit être dilué avec un gaz diluant conditionné (tel que l'air ambiant), et les particules doivent être collectées sur un filtre unique approprié. Le cycle WHTC est représenté graphiquement à la figure 3.**

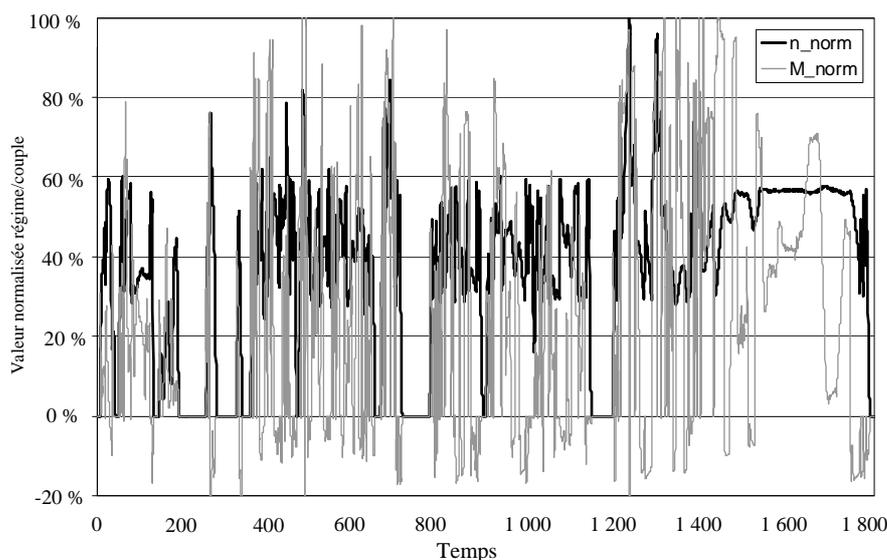


Figure 3. Cycle d'essai WHTC

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

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

**La concentration de chaque polluant gazeux, le débit de gaz d'échappement et la puissance doivent être déterminés pendant tout le cycle d'essai.** Les émissions de polluants gazeux peuvent être enregistrées en continu ou prélevées dans un sac de collecte. L'échantillon contenant les particules doit être dilué **avec un gaz diluant conditionné (tel que l'air ambiant)**. Un échantillon doit être prélevé pour toute la procédure d'essai, et les particules doivent être collectées sur un filtre unique approprié.

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

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

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

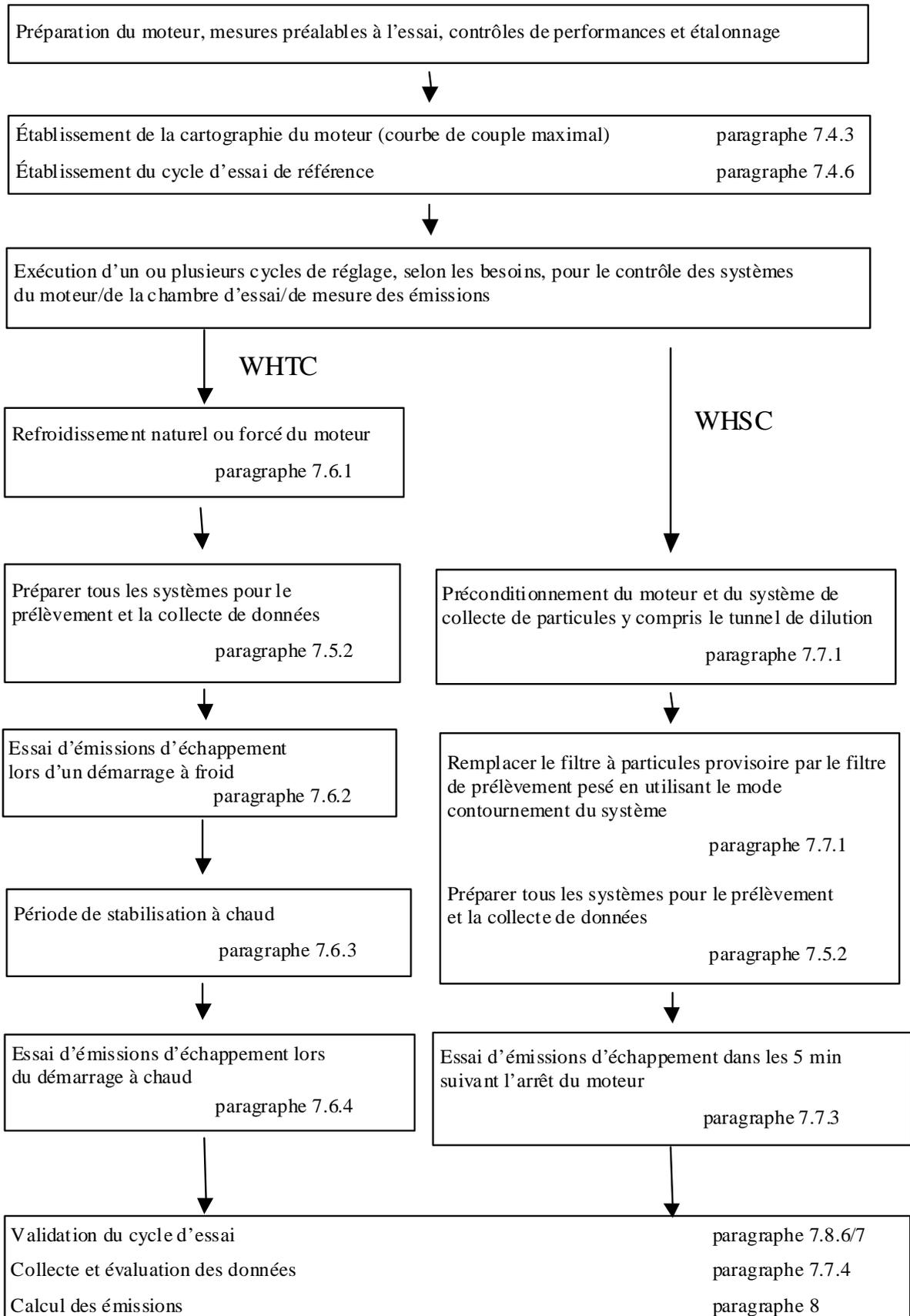
Tableau 1. Cycle d'essai WHSC

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

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

Pour l'essai WHTC, la procédure d'essai se compose d'un essai de démarrage à froid suivant soit un refroidissement naturel, soit un refroidissement forcé du moteur, une **phase de stabilisation à chaud** et un essai de démarrage à chaud.

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



#### 7.4 Établissement de la cartographie du moteur et du cycle de référence

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

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

##### 7.4.1 Mise en température du moteur

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

##### 7.4.2 Détermination de la plage de régime de la cartographie

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

Régime minimal = régime de ralenti;

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

##### 7.4.3 Traçage des courbes moteur

**Lorsque les conditions moteur sont stabilisées conformément au paragraphe 7.4.1, la cartographie est exécutée comme suit:**

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

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

#### 7.4.4 Autres techniques de cartographie

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

#### 7.4.5 Répétition des essais

Il n'est pas nécessaire d'établir une cartographie du moteur avant chaque cycle d'essai. Cette opération doit toutefois être exécutée avant un cycle d'essai,

- a) si sur la base de considérations techniques, il est jugé qu'un délai excessif s'est écoulé depuis la dernière cartographie, ou
- b) si le moteur a subi des modifications physiques ou des changements de réglage, qui sont susceptibles d'affecter les performances de celui-ci.

#### 7.4.6 Dénormalisation du régime moteur

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

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

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

**Les régimes du moteur indiqués dans les figures 4 et 5 sont définis comme suit:**

$n_{\text{lo}}$  est le régime inférieur où la puissance est de 55 % de la puissance maximale;

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

$n_{\text{hi}}$  est le régime supérieur où la puissance est de 70 % de la puissance maximale;

$n_{idle}$  est le régime de ralenti;

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

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

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

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

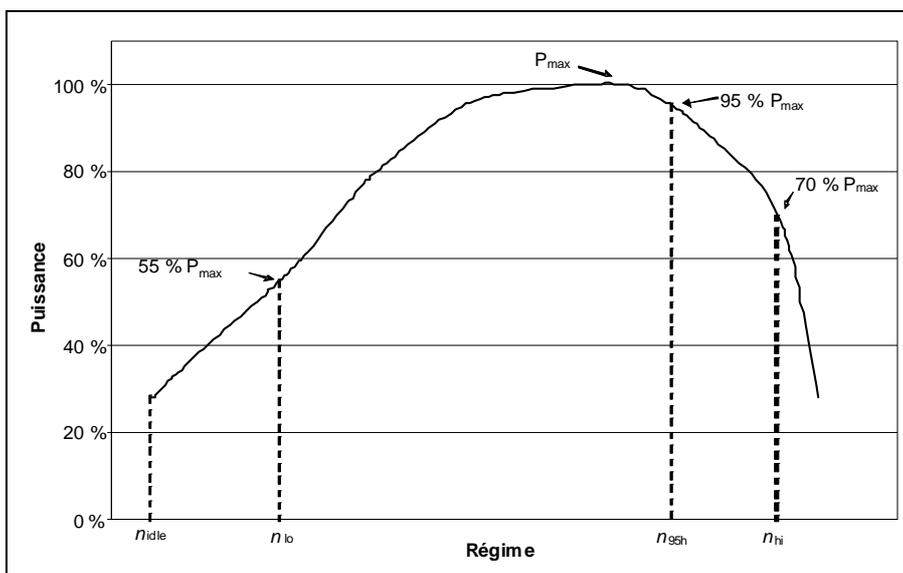


Figure 4. Définition des régimes d'essai

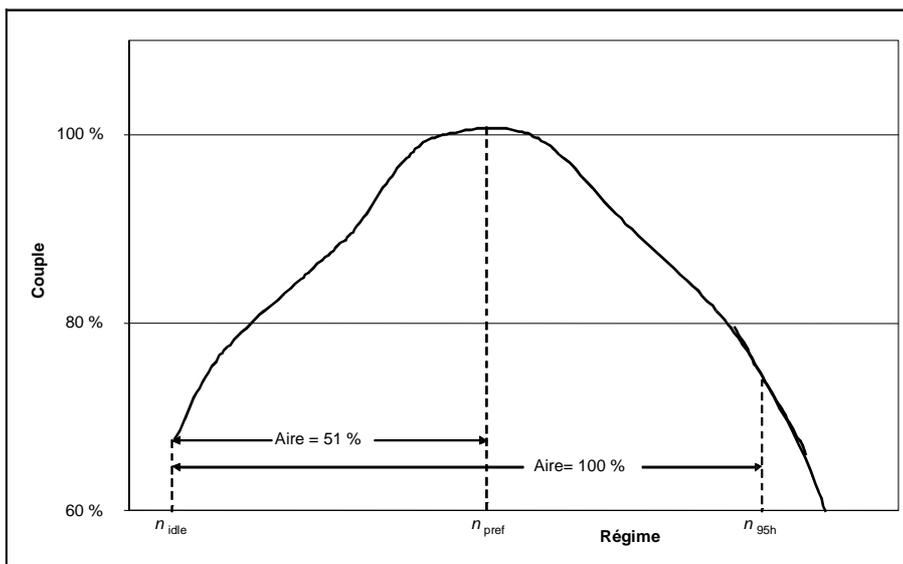


Figure 5. Définition de  $n_{pref}$

#### 7.4.7 Dénormalisation des valeurs de couple

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

$$M_{\text{ref},i} = \frac{M_{\text{norm},i}}{100} \times M_{\text{max},i} + M_{\text{a},i} - M_{\text{b},i} \quad (10)$$

où:

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

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

$M_{\text{a},i}$  est le couple absorbé par les auxiliaires et équipements qui doivent être montés, en Nm;

$M_{\text{b},i}$  est le couple absorbé par les auxiliaires et équipements qui doivent être démontés, en Nm.

Si les auxiliaires et équipements sont montés conformément au paragraphe 6.3.1 et à l'appendice 7,  $M_{\text{a}}$  et  $M_{\text{b}}$  sont égaux à zéro.

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

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

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

On détermine le travail du cycle d'essai de référence sur la durée du cycle en calculant, d'une manière synchrone, les valeurs instantanées pour la puissance du moteur obtenues à partir du régime de référence et du couple de référence, comme défini aux paragraphes 7.4.6 et 7.4.7. Les valeurs instantanées de la puissance du moteur doivent être intégrées sur la durée du cycle pour calculer le cycle de référence  $W_{\text{ref}}$  (kWh). Si les auxiliaires ne sont pas montés

**conformément au paragraphe 6.3.1, les valeurs instantanées de la puissance doivent être corrigées au moyen de l'équation (4) du paragraphe 6.3.5.**

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

## **7.5 Opérations préalables à l'essai**

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

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

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

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

- a) **Des contrôles d'étanchéité doivent être effectués dans les 8 h précédant le prélèvement des émissions conformément au paragraphe 9.3.4;**
- b) **Pour le prélèvement par lot, des moyens de stockage propres doivent être raccordés au système de prélèvement, tels que des sacs vidés d'air;**
- c) **Chaque instrument de mesure doit être mis en marche conformément aux instructions du constructeur et aux règles de l'art;**
- d) **Les systèmes de dilution, les pompes de prélèvement, les ventilateurs et les systèmes de collecte des données doivent être mis en marche;**
- e) **Le débit d'écoulement des échantillons doit être réglé pour atteindre le niveau souhaité en utilisant, s'il y a lieu, un écoulement dérivé;**
- f) **Les échangeurs de chaleur présents dans le système de prélèvement doivent être préchauffés ou prérefroidis de sorte que leur température se situe à l'intérieur de la plage de températures de fonctionnement prévue pour l'essai;**
- g) **Les éléments chauffés ou refroidis tels que les conduites de prélèvement, les filtres, les refroidisseurs et les pompes doivent pouvoir être stabilisés à leur température de fonctionnement;**

- h) Le flux du système de dilution des émissions d'échappement doit être mis en marche au moins 10 min avant une séquence d'essai;**
- i) Tous les dispositifs électroniques d'intégration doivent être mis à zéro ou remis à zéro avant le début de toute période d'essai.**

#### **7.5.3 Vérification des analyseurs de gaz**

**Les plages de mesure des analyseurs de gaz doivent être sélectionnées. Les analyseurs d'émissions dotés d'une fonction sélection automatique ou sélection manuelle de la plage de mesure sont autorisés. Pendant le cycle d'essai, la plage de mesure des analyseurs d'émission ne doit pas être changée. De même, la valeur de gain de l'amplificateur opérationnel analogique de l'analyseur ne doit pas être modifiée pendant le cycle d'essai.**

**La réponse au zéro et la réponse au point final doivent être déterminées pour tous les analyseurs par emploi de gaz internationalement traçables qui satisfont aux spécifications du paragraphe 9.3.3. Les analyseurs FID doivent être étalonnés sur une base carbone 1 (C1).**

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

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

#### **7.5.5 Réglage du système de dilution**

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

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

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

## 7.6 Exécution du cycle WHTC

### 7.6.1 Refroidissement du moteur

**Il peut être utilisé une méthode de refroidissement naturel ou de refroidissement forcé. Pour un refroidissement forcé, on utilisera un système conforme aux règles techniques reconnues, telle que soufflage d'air froid sur le moteur, circulation d'huile froide dans le circuit de graissage du moteur, refroidissement du liquide de refroidissement dans le circuit du moteur et extraction de la chaleur d'un système de traitement aval. Dans le cas d'un refroidissement forcé du système de traitement aval, l'air de refroidissement ne doit pas être appliqué avant que ce système ne soit tombé au-dessous de sa température d'activation catalytique. L'emploi d'une méthode de refroidissement donnant des résultats d'émissions non représentatifs n'est pas admis.**

### 7.6.2 Démarrage à froid

L'essai de démarrage à froid s'effectue lorsque les températures du lubrifiant moteur, du liquide de refroidissement et des systèmes de traitement aval sont toutes comprises entre 293 et 303 K (20 et 30 °C). Le moteur doit être démarré conformément à l'une des deux méthodes suivantes:

- a) on démarre le moteur comme recommandé par le constructeur dans le manuel d'utilisation au moyen du démarreur de série et d'une batterie chargée ou d'un système d'alimentation extérieur;
- b) on démarre le moteur au moyen du dynamomètre. Le moteur est entraîné par le banc à sa vitesse normale de démarrage en service  $\pm 25$  %. L'entraînement doit être coupé dans un délai d'une seconde **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 décrivent comme normale une durée de démarrage plus longue.

### 7.6.3 Période de stabilisation à chaud

Immédiatement après l'exécution de l'essai de démarrage à froid, le moteur doit subir une phase de stabilisation à chaud d'une durée de  $5 \pm 1$  min.

### 7.6.4 Essai de démarrage à chaud

On démarre le moteur à la fin de la période de stabilisation à chaud comme défini au **paragraphe 7.6.3 en appliquant les méthodes de démarrage décrites au paragraphe 7.6.2.**

### 7.6.5 Séquence d'essai

**La séquence d'essai de l'essai de démarrage à froid et de l'essai de démarrage à chaud commence lors du démarrage du moteur. Le moteur une fois démarré,**

**L'exécution du cycle doit être lancée de telle sorte que le fonctionnement du moteur corresponde au premier point de consigne du cycle.**

L'essai WHTC est exécuté conformément au cycle de référence tel qu'il est décrit au **paragraphe 7.4**. Les valeurs de consigne de régime et de couple sont émises à une fréquence égale ou supérieure à 5 Hz (valeur recommandée 10 Hz). Les valeurs de consigne sont déterminées par interpolation linéaire entre les valeurs de consigne à 1 Hz du cycle de référence. Les valeurs réelles de régime et de couple doivent être enregistrées au moins une fois par seconde (fréquence 1 Hz) pendant le cycle d'essai; les signaux peuvent être filtrés par voie électronique.

#### **7.6.6 Collecte des données d'émissions pertinentes**

Au début de la séquence d'essai, l'équipement de mesure doit être mis en marche pour effectuer simultanément les opérations suivantes:

- a) collecte ou analyse de l'air de dilution, si un système de dilution à flux total est utilisé;
- b) collecte ou analyse des gaz d'échappement bruts ou dilués, selon la méthode utilisée;
- c) mesure de la quantité de gaz d'échappement dilués ainsi que des températures et pressions requises;
- d) enregistrement du débit-masse de gaz d'échappement, si l'analyse des gaz d'échappement bruts est utilisée;
- e) enregistrement des données réelles de régime et de couple du dynamomètre.

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

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

**diluant doivent être déterminées en amont du point où les gaz d'échappement entrent dans le tunnel de dilution, par intégration ou par collecte dans le sac de prélèvement pour les concentrations ambiantes.** Tous les autres paramètres à mesurer doivent être enregistrés avec une fréquence minimale d'une mesure par seconde (1 Hz).

#### 7.6.7 Collecte des particules

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

Si un système de dilution du flux partiel est utilisé, la ou les pompes de prélèvement doivent être réglées de telle manière que le débit dans la sonde de prélèvement ou dans le tube de transfert soit proportionnel au débit-masse de gaz d'échappement tel que déterminé comme il est indiqué au **paragraphe 9.4.6.1**.

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

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

Si le moteur cale à un stade quelconque de **l'essai de démarrage à froid, l'essai est annulé. Le moteur doit subir un préconditionnement et être démarré à nouveau conformément aux méthodes de démarrage du paragraphe 7.6.2, et l'essai doit être répété.**

**Si le moteur cale à un stade quelconque de l'essai de démarrage à chaud, l'essai de démarrage à chaud est annulé. Après une période de stabilisation à chaud conformément au paragraphe 7.6.3, l'essai de démarrage à chaud doit être répété.** Dans ce cas l'essai de démarrage à froid n'a pas à être répété.

S'il survient un défaut de fonctionnement de l'un quelconque des équipements d'essai prescrits au cours du cycle, l'essai doit être annulé et répété **conformément aux dispositions ci-dessus.**

## **7.7 Exécution du cycle WHSC**

### **7.7.1 Préconditionnement du système de dilution et du moteur**

**Le système de dilution et le moteur sont mis en marche et portés à la température requise conformément au paragraphe 7.4.1. Après mise en température, le moteur et le système de prélèvement sont preconditionnés par un fonctionnement du moteur sur le mode 9 (voir par. 7.2.2, tableau 1) pendant une durée minimale de 10 min, avec fonctionnement simultané du système de dilution. Des échantillons provisoires de particules peuvent être collectés. À cette fin, les filtres n'ont pas à être stabilisés ou pesés, et ils peuvent être mis au rebut après usage. Les débits doivent être réglés approximativement aux valeurs de débit prévues pour l'essai. Le moteur doit être arrêté après le preconditionnement.**

### **7.7.2 Démarrage du moteur**

**5 ± 1 min après la fin du preconditionnement sur le mode 9 comme décrit dans le paragraphe 7.7.1, on démarre le moteur conformément à la méthode de démarrage recommandée par le constructeur dans le manuel d'utilisation, soit au moyen du démarreur de série, soit par entraînement par le banc conformément au paragraphe 7.6.2.**

### **7.7.3 Séquence d'essai**

**La séquence d'essai commence après le démarrage du moteur et dans un délai d'une minute à compter du moment où il est vérifié que le fonctionnement du moteur correspond au premier mode du cycle (ralenti).**

**L'essai WHSC doit être effectué conformément à l'ordre des modes d'essai indiqué au tableau 1 du paragraphe 7.2.2.**

### **7.7.4 Collecte des données d'émissions pertinentes**

Au début de la séquence d'essai, l'équipement de mesure doit être mis en marche pour effectuer simultanément les opérations suivantes:

- a) collecte ou analyse de l'air de dilution, si un système de dilution à flux total est utilisé;
- b) collecte ou analyse des gaz d'échappement bruts ou dilués, selon la méthode utilisée;
- c) mesure de la quantité de gaz d'échappement dilués ainsi que des températures et pressions requises;
- d) enregistrement du débit-masse de gaz d'échappement, si l'analyse des gaz d'échappement bruts est utilisée;

- e) enregistrement des données réelles de régime et de couple du dynamomètre.

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

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

#### 7.7.5 Collecte des particules

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

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

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

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

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

### 7.8 Procédures effectuées après l'essai

#### 7.8.1 Opérations exécutées après l'essai

À la fin de l'essai, la mesure du débit-masse de gaz d'échappement et du volume de gaz d'échappement dilués, du débit de gaz prélevé dans les sacs de collecte et dans la pompe de prélèvement des particules est arrêtée. Dans le cas d'un système d'analyseur intégrateur la procédure de prélèvement doit être poursuivie jusqu'à ce que les temps de réponse du système se soient écoulés.

#### 7.8.2 Vérification de l'échantillon proportionnel

**Pour tout prélèvement partiel proportionnel, tel que le prélèvement d'un sac de collecte ou un prélèvement de matières particulaires, il doit être vérifié que l'échantillon proportionnel a été maintenu conformément aux paragraphes 7.6.7 et 7.7.5. Tout échantillon qui ne satisfait pas aux prescriptions doit être écarté.**

#### 7.8.3 Conditionnement et pesée des matières particulaires

**Les filtres à particules doivent être placés dans des récipients fermés par un couvercle ou scellés ou les porte-filtres doivent être eux-mêmes fermés, afin de protéger les filtres contre toute contamination ambiante. Ainsi protégés, les filtres doivent être ramenés dans la chambre de pesée et conditionnés pendant au moins une heure, puis pesés conformément au paragraphe 9.4.5. Le poids brut du filtre doit être enregistré.**

#### 7.8.4 Vérification de la dérive

**Dès que possible mais au plus tard 30 min après l'achèvement du cycle d'essai ou pendant la phase de stabilisation à chaud, la réponse au zéro et la réponse au point final des plages de l'analyseur de gaz utilisées doivent être déterminées. Aux fins du présent paragraphe, le cycle d'essai est défini comme suit:**

- a) pour le WHTC: la séquence complète démarrage à froid – phase de stabilisation à chaud – démarrage à chaud;
- b) pour l'essai de démarrage à chaud du cycle transitoire WHTC (par. 6.6): la séquence phase de stabilisation à chaud – démarrage à chaud;

- c) pour l'essai de démarrage à chaud du cycle transitoire WHTC avec régénération multiple (par. 6.6): le nombre total d'essais de démarrage à chaud;
- d) pour le WHSC: le cycle d'essai.

Pour la dérive de l'analyseur, les dispositions suivantes s'appliquent:

- a) les réponses au zéro et au point final avant l'essai et après l'essai peuvent être directement appliquées aux dispositions du paragraphe 8.6.1 relatives au calcul de la dérive sans déterminer la dérive;
- b) si la différence entre les résultats avant essai et après essai est de moins de 1 % de l'échelle, la concentration mesurée peut être utilisée non corrigée ou peut être corrigée des effets de la dérive conformément au paragraphe 8.6.1;
- c) si la différence entre les résultats avant essai et après essai est égale ou supérieure à 1 % de l'échelle, l'essai est annulé ou les concentrations mesurées sont corrigées des effets de la dérive conformément au paragraphe 8.6.1.

#### 7.8.5 Analyse des échantillons de gaz recueillis dans les sacs

Dès que possible, les opérations suivantes doivent être effectuées:

- a) les échantillons de gaz recueillis dans les sacs doivent être analysés au plus tard 30 min après l'achèvement de l'essai de démarrage à chaud ou pendant la phase d'arrêt à chaud pour l'essai de démarrage à froid;
- b) les concentrations résiduelles doivent être analysées au plus tard 60 min après l'achèvement de l'essai de démarrage à chaud.

#### 7.8.6 Validation du travail du cycle

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

La même méthodologie que celle qui est décrite au paragraphe 7.4.8 doit être appliquée pour l'intégration de la puissance réelle.

**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 banc (voir par. 8.6.3).**

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

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

**On doit exécuter pour le régime, le couple et la puissance des régressions linéaires des valeurs réelles par rapport aux valeurs de référence aussi bien pour le cycle d'essai WHTC que pour le cycle WHSC.**

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

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

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

**où:**

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

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

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

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

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

**Il est recommandé que cette analyse soit effectuée à 1 Hz. Pour qu'un essai soit jugé valide, il doit être satisfait aux critères du tableau 2 (WHTC) ou du tableau 3 (WHSC).**

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

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

	Régime	Couple	Puissance
Erreur type d'estimation (SEE) de y sur x	au maximum 1 % du régime d'essai maximal	au maximum 2 % du couple maximal du moteur	au maximum 2 % de la puissance maximale du moteur
Pente de la droite de régression, $a_1$	0,99 à 1,01	0,98 - 1,02	0,98 - 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, $a_0$	au maximum 1 % du régime d'essai maximal	$\pm 20$ Nm ou $\pm 2$ % du couple maximal, la valeur supérieure étant retenue	$\pm 4$ kW ou $\pm 2$ % de la puissance maximale, la valeur supérieure étant retenue

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

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

Événement	Conditions	Omissions de points autorisées
<b>Demande minimale de l'opérateur (point de ralenti)</b>	$n_{ref} = 0 \%$ et $M_{ref} = 0 \%$ et $M_{act} > (M_{ref} - 0,02 M_{max. mapped torque})$ et $M_{act} < (M_{ref} + 0,02 M_{max. mapped torque})$	<b>régime et puissance</b>
<b>Demande minimale de l'opérateur (point d'entraînement par le banc)</b>	$M_{ref} < 0 \%$	<b>puissance et couple</b>
<b>Demande minimale de l'opérateur</b>	$n_{act} \leq 1,02 n_{ref}$ et $M_{act} > M_{ref}$ ou $n_{act} > n_{ref}$ et $M_{act} \leq M_{ref}$ ou $n_{act} > 1,02 n_{ref}$ et $M_{ref} < M_{act} \leq (M_{ref} + 0,02 M_{max. mapped torque})$	<b>puissance et, soit couple, soit régime</b>
<b>Demande maximale de l'opérateur</b>	$n_{act} < n_{ref}$ et $M_{act} \geq M_{ref}$ ou $n_{act} \geq 0,98 n_{ref}$ et $M_{act} < M_{ref}$ ou $n_{act} < 0,98 n_{ref}$ et $M_{ref} > M_{act} \geq (M_{ref} - 0,02 M_{max. mapped torque})$	<b>puissance et, soit couple, soit régime</b>

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

## 8. MESURE DES ÉMISSIONS

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

**Des exemples d'opérations de calcul sont donnés à l'appendice 6.**

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

8.1 Correction base sèche/base humide

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

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

où:

$c_d$  est la concentration en conditions sèches, en ppm ou en % vol.;

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

## 8.1.1 Gaz d'échappement bruts

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

ou

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

ou

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

avec

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

et

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

où:

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

- $w_{ALF}$  est la teneur en hydrogène du carburant, en % masse;
- $q_{mf,i}$  est le débit-masse instantané de carburant, en kg/s;
- $q_{mad,i}$  est le débit-masse instantané d'air d'admission sec, en kg/s;
- $p_r$  est la pression de vapeur après le bain de refroidissement, en kPa;
- $p_b$  est la pression atmosphérique totale, en kPa;
- $w_{DEL}$  est la teneur en azote du carburant, en % masse;
- $w_{EPS}$  est la teneur en oxygène du carburant, en % masse;
- $\alpha$  est le rapport molaire pour l'hydrogène du carburant;
- $c_{CO_2}$  est la concentration de CO<sub>2</sub> en conditions sèches, en %;
- $c_{CO}$  est la concentration de CO en conditions sèches, en %.

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

### 8.1.2 Gaz d'échappement dilués

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

ou

$$k_{w,e} = \left[ \frac{(1 - k_{w2})}{1 + \frac{\alpha \times c_{CO_2d}}{200}} \right] \times 1,008 \quad (19)$$

avec

$$k_{w2} = \frac{1,608 \times \left[ H_d \times \left( 1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \times \left( \frac{1}{D} \right) \right]}{1\,000 + \left\{ 1,608 \times \left[ H_d \times \left( 1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \times \left( \frac{1}{D} \right) \right] \right\}} \quad (20)$$

où:

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

$c_{CO_2w}$  est la concentration de  $CO_2$  en conditions humides, en %;

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

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

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

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

### 8.1.3 Air de dilution

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

avec

$$k_{w3} = \frac{1,608 \times H_d}{1\,000 + (1,608 \times H_d)} \quad (22)$$

où:

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

## 8.2 Correction des valeurs de NOx pour l'humidité

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

### 8.2.1 Moteurs à allumage par compression

$$k_{h,D} = \frac{15,698 \times H_a}{1\,000} + 0,832 \quad (23)$$

où:

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

### 8.2.2 Moteurs à allumage commandé

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

où:

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

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

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

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

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

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

L'équation suivante doit être appliquée:

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

avec

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

où:

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

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

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

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

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

$T_a$  est la température de l'air ambiant à proximité de la balance, en K;

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

**8,3144** est la constante molaire des gaz.

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

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

où:

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

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

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

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

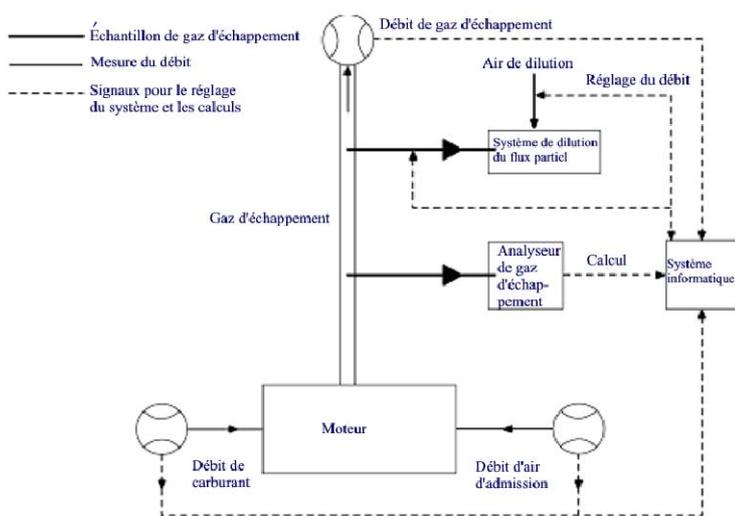


Figure 6. Schéma de principe du système de mesure du débit brut/débit partiel

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

### **8.4.1.1** Introduction

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

### **8.4.1.2** Temps de réponse

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

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

### **8.4.1.3** Méthode de la mesure directe

La mesure directe du débit instantané de gaz d'échappement doit être effectuée au moyen de systèmes tels que:

- a) dispositifs de mesure des pressions différentielles, tels que débitmètre à Venturi (pour plus de précisions, voir la norme ISO 5167);
- b) débitmètre ultrasonique;
- c) débitmètre vortex.

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

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

**8.4.1.4** Méthodes de mesure du débit d'air et de carburant

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

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

où:

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

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

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

Les débitmètres doivent satisfaire aux conditions de linéarité énoncées au paragraphe 9.2, mais ils doivent être suffisamment précis pour satisfaire aussi aux conditions de linéarité pour la mesure du débit de gaz d'échappement.

**8.4.1.5** Méthode de mesure avec un gaz témoin

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

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

La concentration de gaz témoin est ensuite mesurée dans l'échantillon de gaz d'échappement.

Pour garantir un mélange intime du gaz témoin, la sonde de prélèvement des gaz d'échappement doit être située à au moins 1 m, ou 30 fois le diamètre du tuyau d'échappement, la valeur la plus élevée étant retenue, en aval du point d'injection du gaz. La sonde peut être située plus en amont si la condition du mélange intime est vérifiée par comparaison de la concentration du gaz témoin avec la concentration de référence obtenue lorsque le gaz est injecté plus en amont.

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

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

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

où:

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

$q_{vt}$  est le débit de gaz témoin, en  $\text{cm}^3/\text{min}$ ;

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

$\rho_e$  est la masse volumique des gaz d'échappement, en  $\text{kg}/\text{m}^3$  (voir tableau 4);

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

La concentration ambiante du gaz témoin ( $c_b$ ) peut être déterminée en prenant la moyenne de la concentration ambiante mesurée immédiatement avant l'essai et après l'essai.

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

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

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

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

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

avec

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

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

où:

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

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

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

$c_{CO2d}$  est la concentration de CO<sub>2</sub> en conditions sèches, en %;

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

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

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

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

#### 8.4.1.7 Méthode du bilan carbone

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

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

avec

$$k_c = (c_{CO2d} - c_{CO2d,a}) \times 0,5441 + \frac{c_{COd}}{18,522} + \frac{c_{HCw}}{17,355} \quad (34)$$

et

$$k_{fd} = -0,055594 \times w_{ALF} + 0,0080021 \times w_{DEL} + 0,0070046 \times w_{EPS} \quad (35)$$

où:

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

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

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

- $w_{\text{ALF}}$  est la teneur en hydrogène du carburant, en % masse;
- $w_{\text{DEL}}$  est la teneur en azote du carburant, en % masse;
- $w_{\text{EPS}}$  est la teneur en oxygène du carburant, en % masse;
- $c_{\text{CO2d}}$  est la concentration de  $\text{CO}_2$  en conditions sèches, en %;
- $c_{\text{CO2d,a}}$  est la concentration de  $\text{CO}_2$  de l'air d'admission, en %;
- $c_{\text{CO}}$  est la concentration de  $\text{CO}$  en conditions sèches, en ppm;
- $c_{\text{HCw}}$  est la concentration d'hydrocarbures en conditions humides, en ppm.

## 8.4.2 Mesure des constituants gazeux

### 8.4.2.1 Introduction

Les constituants gazeux présents dans les gaz d'échappement bruts émis par le moteur à l'essai doivent être mesurés avec les systèmes de mesure et de prélèvement décrits au paragraphe 9.3 et à l'appendice 3. L'évaluation des données doit se faire conformément au paragraphe 8.4.2.2.

Deux méthodes de calcul sont décrites aux paragraphes 8.4.2.3 et 8.4.2.4; elles sont équivalentes pour le carburant de référence de l'appendice 2. La méthode du paragraphe 8.4.2.3 est d'une application plus simple car elle utilise des valeurs mises en tableau pour le rapport entre le constituant et la masse volumique des gaz d'échappement. La méthode du paragraphe 8.4.2.4 est plus précise pour les qualités de carburant s'écartant des caractéristiques de l'appendice 2, mais elle nécessite une analyse élémentaire de la composition du carburant.

### 8.4.2.2 Évaluation des données

**Les données pertinentes des émissions doivent être enregistrées et mémorisées conformément au paragraphe 7.6.6.**

Pour le calcul des émissions massiques des constituants gazeux, les traces des concentrations enregistrées et la trace du débit-masse de gaz d'échappement peuvent être recalées du temps de transformation tel qu'il est défini au paragraphe 3.1.30. Le temps de réponse de chaque analyseur d'émissions gazeuses et du système de mesure du débit-masse de gaz d'échappement doit être déterminé conformément aux paragraphes 8.4.1.2 et 9.3.5 respectivement et enregistré.

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

La masse des polluants (en g/essai) doit être déterminée par calcul des émissions massiques instantanées à partir des concentrations brutes des polluants et du débit-masse de gaz d'échappement, recalées pour tenir compte du temps de transformation comme déterminé conformément au paragraphe 8.4.2.2, en intégrant

les valeurs instantanées sur tout le cycle et en multipliant les valeurs intégrées par les valeurs de  $u$  tirées du **tableau 5**. Si la mesure s'effectue sur base sèche, l'opération de correction base sèche/base humide conformément au paragraphe 8.1 doit être appliquée aux valeurs de concentration instantanées avant tout autre calcul.

Pour le calcul des valeurs de  $\text{NO}_x$ , les émissions massiques doivent être multipliées, **s'il y a lieu**, par le facteur de correction d'humidité  $k_{h,D}$  ou  $k_{h,G}$  déterminé conformément au paragraphe 8.2.

L'équation suivante doit être appliquée:

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

où:

$u_{\text{gas}}$  est le rapport entre la masse volumique du constituant mesuré et celle des gaz d'échappement;

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

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

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

$n$  est le nombre de mesures.

Carburant	$\rho_e$	Gaz					
		NO <sub>x</sub>	CO	HC	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
		$\rho_{\text{gas}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]					
		2,053	1,250	<sup>a</sup>	1,9636	1,4277	0,716
$u_{\text{gas}}^b$							
Gazole	1,2943	0,001586	0,000966	0,000479	0,001517	0,001103	0,000553
Éthanol	1,2757	0,001609	0,000980	0,000805	0,001539	0,001119	0,000561
GNC <sup>c</sup>	1,2661	0,001621	0,000987	<b>0,000528<sup>d</sup></b>	0,001551	0,001128	0,000565
Propane	1,2805	0,001603	0,000976	0,000512	0,001533	0,001115	0,000559
Butane	1,2832	0,001600	0,000974	0,000505	0,001530	0,001113	0,000558
GPL <sup>e</sup>	1,2811	0,001602	0,000976	0,000510	0,001533	0,001115	0,000559
<sup>a</sup> selon le carburant.							
<sup>b</sup> À $\lambda = 2$ , air sec, 273 K, 101,3 kPa.							
<sup>c</sup> $u$ juste à 0,2 % près pour la composition (en masse) suivante: C = 66-76 %; H = 22-25 %; N = 0-12 %.							
<sup>d</sup> HCNM sur la base de CH <sub>2,93</sub> (pour les HC totaux, le coefficient $u_{\text{gas}}$ de CH <sub>4</sub> doit être utilisé).							
<sup>e</sup> $u$ juste à 0,2 % près pour la composition (en masse) suivante: C3 = 70-90 %; C4 = 10-30 %.							

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

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

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

Pour le calcul des  $\text{NO}_x$ , les émissions massiques doivent être multipliées par le facteur de correction d'humidité  $k_{h,D}$ , ou  $k_{h,G}$ , déterminé conformément au paragraphe 8.2.

Pour les calculs, on applique l'équation suivante:

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

où:

$u_{\text{gas},i}$  est le rapport instantané de masse volumique entre le constituant des gaz d'échappement et les gaz d'échappement;

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

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

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

$n$  est le nombre de mesures.

Les valeurs  $u$  instantanées sont calculées comme suit:

$$u_{\text{gas},i} = M_{\text{gas}} / (M_{e,i} \times 1000) \quad (38)$$

ou

$$u_{\text{gas},i} = \rho_{\text{gas}} / (\rho_{e,i} \times 1000) \quad (39)$$

avec

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

où:

$M_{\text{gas}}$  est la masse molaire du constituant gazeux, en g/mol (voir annexe 6);

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

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

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

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

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

où:

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

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

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

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

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

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

où:

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

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

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

$k_{fw}$  est le facteur spécifique **des gaz d'échappement en conditions humides (équation 16)** du paragraphe 8.1.1.

### 8.4.3 Mesure des émissions en particules

#### 8.4.3.1 Évaluation des données

**La masse de particules doit être calculée conformément à l'équation 27 du paragraphe 8.3.** Pour l'évaluation de la concentration des particules, la masse totale

du prélèvement ( $m_{sep}$ ) ayant traversé le filtre pendant le cycle d'essai doit être enregistrée.

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

#### 8.4.3.2 Calcul des émissions massiques

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

##### 8.4.3.2.1 Calcul sur la base du taux de prélèvement

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

où:

$m_p$  est la masse de particules collectées au cours du cycle, en mg;

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

avec

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

où:

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

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

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

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

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

**8.4.3.2.2** Calcul sur la base du taux de dilution

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

où:

$m_p$  est la masse de particules collectées au cours du cycle, en mg;

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

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

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

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

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

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

où:

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

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

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

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

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

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

$n$  est le nombre de mesures.

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

On utilise les signaux de mesure des concentrations des constituants gazeux, obtenus soit par intégration sur tout le cycle, soit par collecte dans des sacs de prélèvement, pour le calcul des émissions massiques par multiplication par le débit-masse de gaz

d'échappement dilués. Le débit-masse de gaz d'échappement doit être mesuré avec un système de prélèvement à volume constant (CVS), qui peut être basé sur une pompe volumétrique, un venturi-tuyère en régime critique (CFV), ou un venturi subsonique (SSV) avec ou sans compensation du débit.

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

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

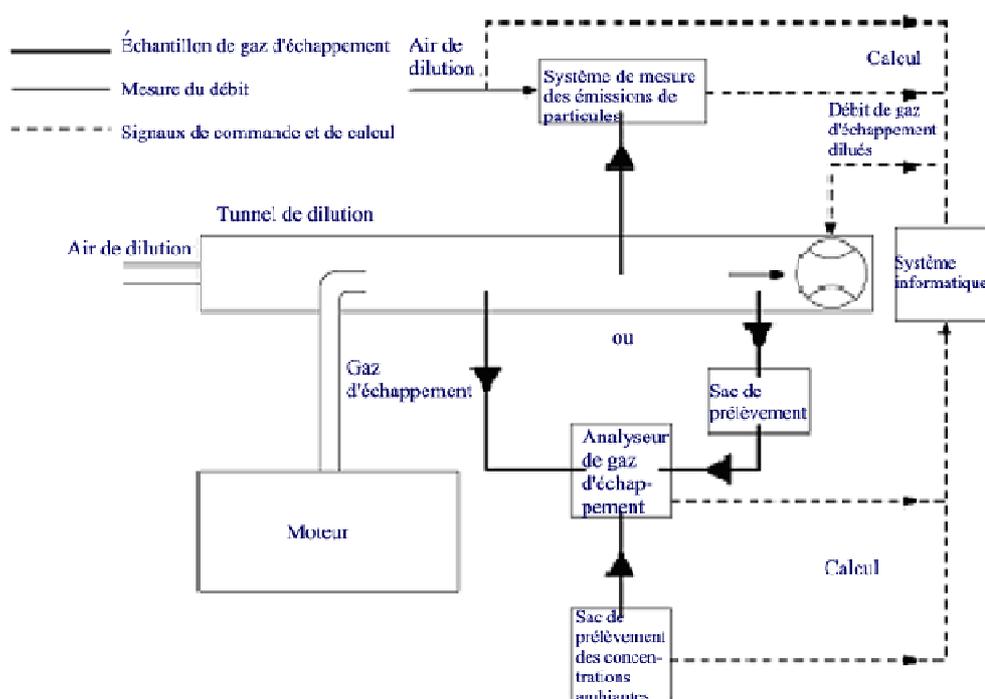


Figure 7. Schéma de principe du système de mesure sur le flux total

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

#### 8.5.1.1 Introduction

Pour le calcul des émissions présentes dans les gaz d'échappement dilués, il est nécessaire de connaître le débit-masse de gaz d'échappement dilués. Le débit-masse total de gaz d'échappement dilués au cours du cycle (en kg/essai) doit être calculé à partir des valeurs de mesure obtenues durant le cycle et des données d'étalonnage correspondantes du dispositif de mesure du débit ( $V_0$  pour PDP,  $K_v$  pour CFV,  $C_d$

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

### 8.5.1.2 Système PDP-CVS

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

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

où:

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

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

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

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

S'il est utilisé un système à compensation de débit (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 doit être calculée comme suit:

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

où:

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

### 8.5.1.3 Système CFV-CVS

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

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

où:

$t$  est la durée du cycle, en s;

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

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

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

S'il est utilisé un système à compensation de débit (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 doit être calculée comme suit:

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

où:

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

#### 8.5.1.4 Système SSV-CVS

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

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

avec

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

où:

$A_0$  est égal à 0,006111 dans les unités SI suivantes  $\left( \frac{m^3}{\text{min}} \right) \left( \frac{K^{\frac{1}{2}}}{kPa} \right) \left( \frac{1}{mm^2} \right)$ ;

$d_v$  est le diamètre du col du SSV, en m;

$C_d$  est le coefficient de décharge du SSV;

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

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

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

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

S'il est utilisé un système à compensation de débit (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 doit être calculée comme suit:

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

où:

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

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

Au cours de tous les essais de mesure des émissions, le nombre de Reynolds au col du SSV doit être situé dans la plage des nombres de Reynolds utilisés pour établir la courbe d'étalonnage déterminée conformément au paragraphe 9.5.4.

## 8.5.2 Mesure des constituants gazeux

### 8.5.2.1 Introduction

Les constituants gazeux présents dans les gaz d'échappement dilués émis par le moteur à l'essai doivent être mesurés par les méthodes décrites à l'appendice 3. Les gaz d'échappement doivent être dilués avec de l'air ambiant filtré, de l'air synthétique ou de l'azote. Le débit maximal du système à flux total doit être suffisant pour permettre d'éviter toute condensation de l'eau dans les systèmes de dilution et de prélèvement. L'évaluation des données et les opérations de calcul sont décrites aux paragraphes 8.5.2.2 et 8.5.2.3.

### 8.5.2.2 Évaluation des données

**Les données d'émission pertinentes doivent être enregistrées et mémorisées conformément au paragraphe 7.6.6.**

### 8.5.2.3 Calcul des émissions massiques

#### 8.5.2.3.1 Systèmes à débit-masse constant

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

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

où:

$u_{\text{gas}}$  est le rapport entre la masse volumique des constituants des gaz d'échappement et celle de l'air;

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

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

Si la mesure s'effectue sur une base sèche, la correction base sèche/base humide conformément au paragraphe 8.1 doit être appliquée.

Pour le calcul des valeurs de  $\text{NO}_x$ , les émissions massiques doivent être multipliées, **s'il y a lieu**, par le facteur de correction d'humidité  $k_{\text{h,D}}$  ou  $k_{\text{h,G}}$  déterminé conformément au paragraphe 8.2.

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

Carburant	$\rho_{\text{de}}$	Gaz					
		NO <sub>x</sub>	CO	HC	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
		$\rho_{\text{gas}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]					
		2,053	1,250	<sup>a</sup>	1,9636	1,4277	0,716
		$u_{\text{gas}}$ <sup>b</sup>					
Gazole	1,293	0,001588	0,000967	0,000480	0,001519	0,001104	0,000553
Éthanol	1,293	0,001588	0,000967	0,000795	0,001519	0,001104	0,000553
GNC <sup>c</sup>	1,293	0,001588	0,000967	<b>0,000517<sup>d</sup></b>	0,001519	0,001104	0,000553
Propane	1,293	0,001588	0,000967	0,000507	0,001519	0,001104	0,000553
Butane	1,293	0,001588	0,000967	0,000501	0,001519	0,001104	0,000553
GPL <sup>e</sup>	1,293	0,001588	0,000967	0,000505	0,001519	0,001104	0,000553
<sup>a</sup> selon le carburant.							
<sup>b</sup> À $\lambda = 2$ , air sec, 273 K, 101,3 kPa.							
<sup>c</sup> $u$ juste à 0,2 % pour la composition (en masse) suivante: C = 66-76 %; H = 22-25 %; N = 0-12 %.							
<sup>d</sup> HCNM sur la base de CH <sub>2,93</sub> (pour les HC totaux, le coefficient $u_{\text{gas}}$ de CH <sub>4</sub> doit être utilisé).							
<sup>e</sup> $u$ juste à 0,2 % pour la composition (en masse) suivante: C3 = 70-90 %; C4 = 10-30 %.							

**Tableau 6.** Valeurs de  $u$  pour les gaz d'échappement dilués et masses volumiques des constituants

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

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

où:

$M_{\text{gas}}$  est la masse molaire du constituant gazeux, en g/mol (voir annexe 6);

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

$M_{\text{d}}$  est la masse molaire de l'air de dilution = 28,965 g/mol;

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

### 8.5.2.3.2 Détermination des concentrations ambiantes corrigées

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

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

où:

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

$c_{\text{d}}$  est la concentration du constituant mesurée dans l'air de dilution, en ppm;

$D$  est le facteur de dilution.

Le facteur de dilution est calculé comme suit:

a) Pour les moteurs diesel et les moteurs à allumage commandé alimentés au GPL

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

b) Pour les moteurs à allumage commandé alimentés au GN

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

où:

$c_{CO_2,e}$  est la concentration de  $CO_2$  dans les gaz d'échappement dilués en conditions humides, en % vol.;

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

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

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

$F_S$  est le facteur stœchiométrique.

Le facteur stœchiométrique est calculé comme suit:

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

où:

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

À titre de variante, si la composition du carburant n'est pas connue, les facteurs stœchiométriques suivants peuvent être appliqués:

$$F_S (\text{gazole}) = 13,4;$$

$$F_S (\text{GPL}) = 11,6;$$

$$F_S (\text{GN}) = 9,5.$$

### 8.5.2.3.3 Systèmes à compensation de débit

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

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

où:

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

$c_d$  est la concentration du constituant mesurée dans l'air de dilution, en ppm;

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

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

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

$D$  est le facteur de dilution.

### 8.5.3 Mesure des émissions de particules

#### 8.5.3.1 Calcul des émissions massiques

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

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

où:

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

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

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

avec

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

où:

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

$m_{\text{ssd}}$  est la masse de l'air de dilution secondaire, en kg.

Si la concentration ambiante de particules dans l'air de dilution est déterminée conformément au paragraphe **7.5.6**, la masse de particules peut être corrigée en

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

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

où:

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

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

$m_{sd}$  est la masse d'air de dilution prélevé pour la mesure des concentrations ambiantes en particules, en kg;

$m_b$  est la masse des particules d'origine ambiante collectées dans l'air de dilution, en mg;

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

## 8.6 Calculs généraux

### 8.6.1 Correction de la dérive

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

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

où:

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

$c_{ref,s}$  est la concentration de référence du gaz de réglage d'échelle, en ppm;

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

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

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

$c_{\text{post},s}$  est la concentration du gaz de réglage d'échelle mesurée par l'analyseur après l'essai, en ppm;

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

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

Les résultats des émissions non corrigées sont calculés au moyen des équations 36, 37, 56, 57 ou 62, respectivement, en fonction du système de mesure et de la méthode de calcul utilisés. Pour le calcul des émissions corrigées,  $c_{\text{gas}}$ , dans les équations 36, 37, 56, 57 ou 62, respectivement, doit être remplacé par  $c_{\text{cor}}$  de l'équation 66. Si les valeurs de concentration instantanées  $c_{\text{gas},i}$  sont utilisées dans l'équation respective, la valeur corrigée doit aussi être appliquée en tant que valeur instantanée  $c_{\text{cor},i}$ . Dans l'équation 57, la correction doit être appliquée à la fois à la concentration mesurée et à la concentration ambiante.

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

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

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

Le calcul des HCNM et du CH<sub>4</sub> est fonction de la méthode d'étalonnage utilisée. L'analyseur FID pour la mesure sans convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques (circuit inférieur de la figure 11 de l'appendice 3) doit être étalonné avec du propane. Pour l'étalonnage de l'analyseur FID en série avec convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques (circuit supérieur de la figure 11 de l'appendice 3), les méthodes suivantes sont autorisées:

- a) gaz d'étalonnage – propane; le propane contourne le convertisseur;
- b) gaz d'étalonnage – méthane; le méthane traverse le convertisseur.

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

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

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

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

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

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

où:

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

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

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

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

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

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

### 8.6.3 Calcul des émissions spécifiques

Les émissions spécifiques  $e_{\text{gas}}$  ou  $e_{\text{PM}}$  (en g/kWh) doivent être calculées pour chaque constituant individuel de la manière suivante selon le **cycle d'essai applicable**.

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

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

où:

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

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

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

$$e = \frac{(0,1 \times m_{\text{cold}}) + (0,9 \times m_{\text{hot}})}{(0,1 \times W_{\text{act,cold}}) + (0,9 \times W_{\text{act,hot}})} \quad (70)$$

## 9. SPÉCIFICATIONS CONCERNANT LES ÉQUIPEMENTS ET VÉRIFICATION DES ÉQUIPEMENTS

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

### 9.1 Caractéristiques du banc dynamométrique

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

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

### 9.2 Conditions concernant la linéarité

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

Système de mesure	$ x_{\min} \cdot (a_1 - 1) + a_0 $	Pente $a_1$	Erreur type SEE	Coefficient de détermination $r^2$
Régime moteur	$\leq 0,05$ % max.	0,98 – 1,02	$\leq 2$ % max.	$\geq 0,990$
Couple moteur	$\leq 1$ % max.	0,98 – 1,02	$\leq 2$ % max.	$\geq 0,990$
Débit de carburant	$\leq 1$ % max.	0,98 – 1,02	$\leq 2$ % max.	$\geq 0,990$
Débit d'air	$\leq 1$ % max.	0,98 – 1,02	$\leq 2$ % max.	$\geq 0,990$
Débit de gaz	$\leq 1$ % max.	0,98 – 1,02	$\leq 2$ % max.	$\geq 0,990$

Système de mesure	$ x_{\min} \cdot (a_1 - 1) + a_0$	Pente $a_1$	Erreur type SEE	Coefficient de détermination $r^2$
d'échappement				
Débit d'air de dilution	$\leq 1$ % max.	0,98 – 1,02	$\leq 2$ % max.	$\geq 0,990$
Débit de gaz d'échappement dilués	$\leq 1$ % max.	0,98 – 1,02	$\leq 2$ % max.	$\geq 0,990$
Débit de prélèvement	$\leq 1$ % max.	0,98 – 1,02	$\leq 2$ % max.	$\geq 0,990$
Analyseurs de gaz	$\leq 0,5$ % max.	0,99 – 1,01	$\leq 1$ % max.	$\geq 0,998$
Mélangeurs-doseurs de gaz	$\leq 0,5$ % max.	0,98 – 1,02	$\leq 2$ % max.	$\geq 0,990$
Températures	$\leq 1$ % max.	0,99 – 1,01	$\leq 1$ % max.	$\geq 0,998$
Pressions	$\leq 1$ % max.	0,99 – 1,01	$\leq 1$ % max.	$\geq 0,998$
Balance de pesage des particules	$\leq 1$ % max.	0,99 – 1,01	$\leq 1$ % max.	$\geq 0,998$

**Tableau 7.** Conditions de linéarité s'appliquant aux instruments et systèmes de mesure

## 9.2.1 Vérification de la linéarité

### 9.2.1.1 Introduction

Une vérification de la linéarité doit être exécutée pour chaque système de mesure énuméré au **tableau 7**. Il doit être appliqué au moins 10 valeurs de référence, **ou toute autre valeur spécifiée**, au système de mesure contrôlé, et les valeurs mesurées doivent être comparées aux valeurs de référence par régression linéaire par les moindres carrés **conformément à l'équation 11**. Les limites maximales du tableau 6 sont les limites maximales à prévoir lors des essais.

### 9.2.1.2 Conditions générales

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

### 9.2.1.3 Procédure

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

- a) L'appareil doit être mis à zéro par application d'un signal de zéro. Pour les analyseurs de gaz, de l'air synthétique purifié ou de l'azote est introduit directement par le raccord d'entrée de l'analyseur;

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

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

#### 9.3.1 Caractéristiques des analyseurs

##### 9.3.1.1 Caractéristiques générales

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

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

##### 9.3.1.2 Justesse

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

#### 9.3.1.3 Précision

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

#### 9.3.1.4 Bruit

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

#### 9.3.1.5 Dérive du zéro

**La dérive de la réponse au zéro doit être spécifiée par le fabricant de l'appareillage.**

#### 9.3.1.6 Dérive du point final

**La dérive de la réponse au point final doit être spécifiée par le fabricant de l'appareillage.**

#### 9.3.1.7 Temps de montée

Le temps de montée de l'analyseur lorsqu'il est installé dans le système de mesure ne doit pas dépasser 2,5 s.

#### 9.3.1.8 Séchage des gaz

Les émissions d'échappement peuvent être mesurées en conditions humides ou en conditions sèches. Si un dispositif de séchage est utilisé, il doit avoir un effet minimal sur la composition des gaz mesurés. Les procédés chimiques de déshumidification de l'échantillon ne sont pas acceptables.

### 9.3.2 Types d'analyseurs de gaz

#### 9.3.2.1 Introduction

Les paragraphes 9.3.2.2 à 9.3.2.7 décrivent les principes de mesure à appliquer. Une description détaillée des systèmes de mesure est donnée à l'appendice 3. Les gaz à mesurer doivent être analysés avec les appareils énumérés ci-après. Pour les analyseurs à caractéristique non linéaire, l'utilisation de circuits de linéarisation est autorisée.

9.3.2.2 Analyse du monoxyde de carbone (CO)

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

9.3.2.3 Analyse du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)

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

9.3.2.4 Analyse des hydrocarbures (HC)

L'analyseur d'hydrocarbures doit être du type détecteur à ionisation de flamme chauffé (HFID), dans lequel le détecteur, les vannes et les tuyauteries, etc., sont chauffés de manière à maintenir une température des gaz de  $463 \pm 10$  K ( $190 \pm 10$  °C). À titre de variante, pour les moteurs alimentés au GN et à allumage commandé, l'analyseur d'hydrocarbures peut être du type détecteur à ionisation de flamme (FID) non chauffé si la méthode appliquée le permet (voir l'**appendice 3, par. A.3.1.3**).

**9.3.2.5 Analyse du méthane (CH<sub>4</sub>) et des hydrocarbures non méthaniques (HCNM)**

**La mesure de la fraction de méthane et d'hydrocarbures non méthaniques doit être exécutée avec un convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques chauffé et deux analyseurs FID, conformément aux paragraphes A.3.1.4 et A.3.1.5 de l'appendice 3. Les concentrations des constituants doivent être déterminées conformément au paragraphe 8.6.2.**

9.3.2.6 Analyse des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)

**Deux instruments de mesure sont spécifiés pour la mesure des NO<sub>x</sub>; il est possible d'utiliser l'un ou l'autre de ces instruments pourvu qu'il réponde aux critères énoncés au paragraphe 9.3.2.6.1 ou au paragraphe 9.3.2.6.2, respectivement. Pour la détermination de l'équivalence d'une autre méthode de mesure conformément au paragraphe 5.1.1, seul le détecteur CLD est autorisé.**

**9.3.2.6.1 Détecteur par chimiluminescence (CLD)**

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

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

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

#### 9.3.2.7 Mesure du rapport air/carburant

L'appareillage de mesure du rapport air/carburant utilisé pour déterminer le débit de gaz d'échappement comme prescrit au paragraphe 8.3.1.6 doit utiliser un capteur de rapport air/carburant ou un capteur lambda du type à oxyde de zirconium à large plage de mesure. Le capteur doit être monté directement sur le tuyau d'échappement en un point où la température des gaz d'échappement est suffisamment élevée pour éviter toute condensation de l'eau.

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

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

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

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

Pour satisfaire aux caractéristiques de justesse énoncées ci-dessus, le capteur doit être étalonné conformément aux spécifications du fabricant d'appareillage.

#### 9.3.3 Gaz

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

##### 9.3.3.1 Gaz purs

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

##### a) Pour les gaz d'échappement bruts

Azote purifié

(Contamination  $\leq 1$  ppm C1,  $\leq 1$  ppm CO,  $\leq 400$  ppm CO<sub>2</sub>,  $\leq 0,1$  ppm NO)

Oxygène purifié

(Pureté  $> 99,5$  % vol. O<sub>2</sub>)

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

(Hydrogène  $40 \pm 1$  %, reste hélium)

(Contamination  $\leq 1$  ppm C1,  $\leq 400$  ppm CO<sub>2</sub>)

Air synthétique purifié

(Contamination  $\leq 1$  ppm C1,  $\leq 1$  ppm CO,  $\leq 400$  ppm CO<sub>2</sub>,  $\leq 0,1$  ppm NO)

(Teneur en oxygène 18-21 % vol.).

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

**Azote purifié**

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

**Oxygène purifié**

(Pureté  $> 99,5$  % vol. O<sub>2</sub>)

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

(Hydrogène  $40 \pm 1$  %, reste hélium)

(Contamination  $\leq 0,05$  ppm C1,  $\leq 10$  ppm CO<sub>2</sub>)

**Air synthétique purifié**

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

(Teneur en oxygène 20,5 - 21,5 % vol.).

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

#### 9.3.3.2 Gaz d'étalonnage et d'échelle

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

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

CO et azote purifié;

**NO et azote purifié;**

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

CO<sub>2</sub> et azote purifié;

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

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

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

#### 9.3.3.3 Mélangeurs-doseurs de gaz

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

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

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

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

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

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

**Tableau 8.** Gaz de contrôle de l'interaction avec l'oxygène

#### 9.3.4 Essai d'étanchéité

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

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

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

$$\Delta p = p / V_s \times 0,005 \times q_{vs} \quad (71)$$

où:

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

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

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

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

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

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

de la valeur finale affichée ( $t_{10}$ ). Le temps de montée est défini comme étant le temps écoulé entre l'instant où la réponse est de 10 % et celui où elle est de 90 % de la valeur finale affichée ( $t_{90} - t_{10}$ ).

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

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

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

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

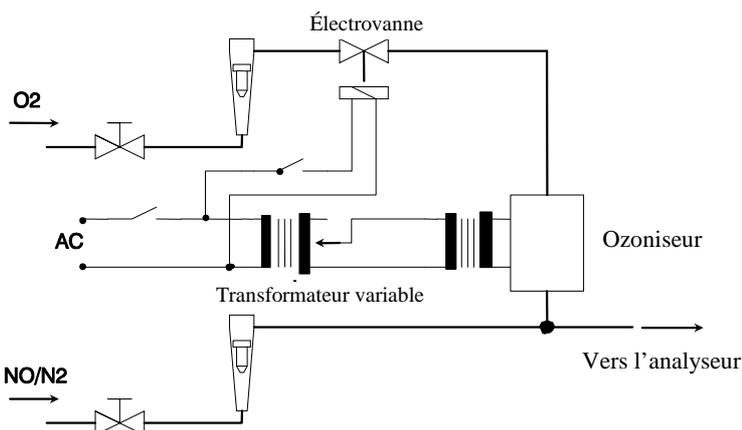


Figure 8. Schéma du système de contrôle de l'efficacité du convertisseur de NO<sub>2</sub>

#### 9.3.6.1 Montage d'essai

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

#### 9.3.6.2 Étalonnage

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

## 9.3.6.3 Calcul

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

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

où:

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

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

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

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

## 9.3.6.4 Addition d'oxygène

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

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

## 9.3.6.5 Mise en fonction de l'ozoniseur

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

9.3.6.6 Mode NO<sub>x</sub>

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

## 9.3.6.7 Mise hors fonction de l'ozoniseur

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

9.3.6.8 Mode NO

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

9.3.6.9 Périodicité d'essai

L'efficacité du convertisseur doit être vérifiée au moins une fois par mois.

9.3.6.10 Efficacité minimale prescrite

L'efficacité du convertisseur  $E_{NO_x}$  ne doit pas être inférieure à 95 %.

Si, lorsque l'analyseur est réglé sur la gamme la plus courante, l'ozoniseur ne permet pas d'obtenir une réduction de 80 à 20 % de la concentration comme prescrit au paragraphe 9.3.6.5, on doit utiliser la gamme la plus élevée qui permette d'obtenir cette réduction.

9.3.7 Réglage de l'analyseur FID

9.3.7.1 Optimisation de la réponse du détecteur

L'analyseur FID doit être réglé conformément aux spécifications du fabricant de l'instrument. Un gaz de réglage d'échelle constitué par un mélange air/propane doit être utilisé pour optimiser la réponse sur la gamme d'utilisation la plus courante.

Les débits de carburant et d'air étant réglés selon les recommandations du fabricant, on introduit un gaz d'échelle de  $350 \pm 75$  ppm C dans l'analyseur. La réponse à un débit de carburant donné doit être déterminée d'après la différence entre la réponse au gaz d'échelle et la réponse au gaz de zéro. Le débit de carburant doit être augmenté ou réduit par paliers par rapport à la valeur prescrite par le fabricant. La réponse d'échelle et de zéro de l'appareil à ces débits de carburant doit être enregistrée. La courbe de l'écart entre la réponse à ces deux valeurs doit être tracée et le débit de carburant doit être réglé côté riche de la courbe. Ce réglage correspond au réglage initial de débit qui pourra devoir être optimisé encore en fonction des résultats des facteurs de réponse aux hydrocarbures et des contrôles de l'interaction avec l'oxygène conformément aux paragraphes 9.3.7.2 et 9.3.7.3. Si les effets d'interaction avec l'oxygène ou les facteurs de réponse aux hydrocarbures ne remplissent pas les conditions énoncées ci-après, le débit d'air doit être augmenté ou réduit par paliers par rapport à la valeur prescrite par le fabricant, et les opérations des paragraphes 9.3.7.2 et 9.3.7.3 doivent être répétées pour chaque valeur du débit.

À titre de variante, l'opération d'optimisation peut être effectuée selon les procédures décrites dans le document SAE n° 770141.

### 9.3.7.2 Facteurs de réponse aux hydrocarbures

On effectue une vérification de la linéarité de l'analyseur avec un mélange propane/air et de l'air synthétique purifié conformément au paragraphe 9.2.1.3.

Les facteurs de réponse doivent être déterminés lors de la mise en service d'un analyseur et lors des principales opérations d'entretien. Le facteur de réponse  $r_h$  pour un type particulier d'hydrocarbure est le rapport de la valeur C1 indiquée par l'analyseur FID à la concentration de gaz étalon dans la bouteille exprimée en ppm C1.

La concentration du gaz d'essai doit être suffisamment élevée pour donner une réponse correspondant à environ 80 % de l'échelle. Cette concentration doit être connue avec une justesse de  $\pm 2$  % par rapport à un étalon gravimétrique exprimé en volume. En outre, la bouteille de gaz doit être preconditionnée pendant 24 heures à une température de  $298 \pm 5$  K ( $25 \pm 5$  °C).

Les gaz d'essai à utiliser et les plages de facteurs de réponse correspondantes sont les suivants:

- a) Méthane et air synthétique purifié  $1,00 \leq r_h \leq 1,15$ ;
- b) Propylène et air synthétique purifié  $0,90 \leq r_h \leq 1,1$ ;
- c) Toluène et air synthétique purifié  $0,90 \leq r_h \leq 1,1$ .

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

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

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

Il doit être choisi une gamme de mesure sur laquelle les valeurs des gaz de contrôle de l'interaction avec l'oxygène se situent dans la moitié supérieure. L'essai doit être exécuté avec la température de l'enceinte chauffée réglée comme prescrit.

Les caractéristiques des gaz de contrôle de l'interaction avec l'oxygène sont définies au paragraphe 9.3.3.4.

- a) L'analyseur doit être mis à zéro.
- b) L'analyseur doit être étalonné à la valeur d'échelle avec le mélange à 0 % d'oxygène pour les moteurs à allumage commandé, et avec le mélange à 21 % d'oxygène pour les moteurs à allumage par compression.

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

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

avec  $c$ , réponse de l'analyseur:

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

où:

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

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

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

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

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

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

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

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

Le convertisseur est utilisé pour éliminer les hydrocarbures non méthaniques du gaz prélevé en oxydant tous les hydrocarbures sauf le méthane. Dans l'idéal, l'efficacité de la conversion est de 0 % pour le méthane et de 100 % pour les autres hydrocarbures, représentés par l'éthane. Pour la mesure précise des HCNM, les deux efficacités doivent être déterminées et servir de base au calcul du débit-masse d'émissions de HCNM (voir par. 8.5.2).

#### 9.3.8.1 Efficacité pour le méthane

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

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

où:

$c_{\text{HC(w/NMC)}}$  est la concentration de HC lorsque le  $\text{CH}_4$  passe par le convertisseur, en ppm C;

$c_{\text{HC(w/o NMC)}}$  est la concentration de HC lorsque le  $\text{CH}_4$  contourne le convertisseur, en ppm C.

#### 9.3.8.2 Efficacité pour l'éthane

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

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

où:

$c_{\text{HC(w/NMC)}}$  est la concentration de HC lorsque  $\text{C}_2\text{H}_6$  passe par le convertisseur, en ppm C;

$c_{\text{HC(w/o NMC)}}$  est la concentration de HC lorsque  $\text{C}_2\text{H}_6$  contourne le convertisseur, en ppm C.

### 9.3.9 Effets d'interaction

Des gaz autres que le gaz analysé présents dans les gaz d'échappement peuvent interférer de plusieurs manières avec les valeurs indiquées. Il y a interaction positive dans les analyseurs NDIR lorsque le gaz parasite cause le même effet que le gaz

mesuré mais à un degré moindre. Il y a interaction négative dans les analyseurs NDIR lorsque le gaz parasite élargit la bande d'absorption du gaz mesuré, et dans les analyseurs CLD lorsque ce gaz cause l'extinction de la réaction. Les contrôles d'interaction prescrits aux paragraphes 9.3.9.1 et **9.3.9.3** doivent être exécutés avant la mise en service d'un analyseur et après les principales opérations d'entretien.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

où:

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

D'autres méthodes de dilution et de quantification des valeurs des gaz de réglage d'échelle CO<sub>2</sub> et NO, par exemple mélange/dosage dynamique, peuvent être utilisées avec l'accord de l'autorité compétente.

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

Ce contrôle s'applique seulement aux mesures de la concentration des gaz en conditions humides. Le calcul de l'effet d'extinction par l'eau doit tenir compte de la dilution du gaz de réglage d'échelle NO par la vapeur d'eau et de l'adaptation de la concentration de vapeur d'eau du mélange à la valeur prévue lors de l'essai.

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

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

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

La concentration escomptée du gaz de réglage d'échelle NO dilué (dans la vapeur d'eau) ( $D_e$ ) doit être calculée comme suit:

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

Pour les gaz d'échappement des moteurs diesel, la concentration maximale de vapeur d'eau dans les gaz d'échappement ( $H_m$ , en %) escomptée lors de l'essai doit être évaluée, sur la base d'un rapport atomique H/C du carburant de 1,8/1, à partir de la concentration maximale de CO<sub>2</sub> dans les gaz d'échappement  $A$ , comme suit:

$$H_m = 0,9 \times A \quad (80)$$

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

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

où:

$D_e$  est la concentration escomptée de gaz NO dilué, en ppm;

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

$H_m$  est la concentration maximale de vapeur d'eau, en %;

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

#### 9.3.9.2.3 Coefficient d'extinction maximal admis

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

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

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

### 9.3.9.3.1 Procédure

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

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

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

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

où:

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

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

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

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

### 9.3.9.3.2 Coefficient d'extinction maximal admis

L'effet d'extinction combiné par les HC et par l'eau ne doit pas dépasser 2 % de la concentration de NO<sub>x</sub> escomptée pendant l'essai.

### 9.3.9.4 Sécheur d'échantillon

Un sécheur doit éliminer de l'échantillon l'eau qui risquerait de fausser la mesure des NO<sub>x</sub>.

#### 9.3.9.4.1 Efficacité du sécheur d'échantillon

Pour les analyseurs CLD par voie sèche, il doit être démontré que, pour la plus forte concentration de vapeur d'eau  $H_m$  prévisible (voir par. 9.3.9.2.2), **le sécheur d'échantillon** maintient l'humidité du CLD à  $\leq 5$  g eau/kg air sec (ou environ 0,008 %  $H_2O$ ), ce qui correspond à 100 % d'humidité relative à 3,9 °C et 101,3 kPa, et équivaut également à 25 % environ d'humidité relative à 25 °C et 101,3 kPa. Ce contrôle peut être effectué par mesure de la température à la sortie d'un déshumidificateur thermique, ou par mesure de l'humidité en un point situé juste en amont du CLD. On peut aussi mesurer le taux d'humidité à la sortie du CLD à condition que le seul flux traversant celui-ci soit celui sortant du déshumidificateur.

#### 9.3.9.4.2 Pénétration de $NO_2$ dans le sécheur d'échantillon

**L'eau qui reste dans le cas d'un sécheur d'échantillon mal conçu peut éliminer le  $NO_2$  de l'échantillon. Si un sécheur d'échantillon est utilisé en combinaison avec un analyseur NDUV sans qu'un convertisseur  $NO_2/NO$  ne soit placé en amont, il pourrait éliminer le  $NO_2$  de l'échantillon avant la mesure des  $NO_x$ .**

**Le sécheur d'échantillon doit permettre de mesurer au moins 95 % du  $NO_2$  total à sa concentration maximale escomptée.**

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

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

**Dans le cas d'un moteur multicylindres à collecteur d'échappement à plusieurs branches, l'entrée de la sonde doit être placée suffisamment loin en aval de la jonction pour garantir le prélèvement d'un échantillon représentatif des émissions d'échappement moyennes de tous les cylindres. Pour les moteurs multicylindres à plusieurs collecteurs séparés, tels que les moteurs en V, il est recommandé de réunir les flux des collecteurs en amont de la sonde de prélèvement. Si cette solution n'est pas possible pour des raisons pratiques, il est admis de prélever un échantillon sur le groupe ayant les plus fortes émissions de  $CO_2$ . Pour le calcul des émissions d'échappement, le débit-masse total de gaz d'échappement du collecteur doit être pris en compte.**

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

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

**Le tuyau d'échappement raccordant le moteur au système de dilution du flux total doit être conforme aux conditions énoncées à l'appendice 3. La ou les sondes de prélèvement des émissions gazeuses doivent être installées dans le tunnel de dilution en un point où l'air de dilution et les gaz d'échappement sont intimement mélangés, et à proximité immédiate de la sonde de prélèvement des émissions particulaires.**

**Le prélèvement peut se faire de deux manières principales:**

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

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

## 9.4 Système de collecte et de mesure des particules

### 9.4.1 Caractéristiques générales

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

### 9.4.2 Prescriptions générales concernant le système de dilution

**Pour la mesure des émissions de particules, il est nécessaire de diluer l'échantillon avec de l'air ambiant filtré ou de l'air synthétique ou de l'azote (le diluant). Le système de dilution doit satisfaire aux conditions suivantes:**

- a) **éliminer complètement toute condensation d'eau dans les systèmes de dilution et de prélèvement;**
- b) **maintenir la température des gaz d'échappement dilués à une valeur comprise entre 315 et 325 K (42 et 52 °C) dans les 20 cm situés en amont ou en aval du ou des porte-filtres;**
- c) **maintenir la température du gaz diluant entre 293 et 325 K (20 et 42 °C) à proximité immédiate de l'entrée dans le tunnel de dilution;**

- d) le taux de dilution minimal doit se situer entre 5:1 et 7:1 et ne pas être inférieur à 2:1 pour la phase de dilution primaire sur la base du débit maximal des émissions d'échappement du moteur;
- e) pour un système à dilution du flux partiel, le temps de séjour dans le système du point d'introduction du gaz diluant jusqu'au(x) porte-filtre(s) doit être compris entre 0,5 et 5 s;
- f) pour un système à dilution du flux total, le temps de séjour total dans le système du point d'introduction du gaz diluant jusqu'au(x) porte-filtre(s) doit être compris entre 1 et 5 s, et le temps de séjour dans le système de dilution secondaire, si un tel système est utilisé, du point d'introduction du gaz diluant secondaire jusqu'au(x) porte-filtre(s) doit être d'au moins 0,5 s.

Une déshumidification du gaz diluant avant que celui-ci entre dans le système de dilution est admise; elle est particulièrement utile si l'humidité du gaz diluant est élevée.

### 9.4.3 Prélèvement de l'échantillon de particules

#### 9.4.3.1 Système de dilution du flux partiel

En général, la sonde de prélèvement de l'échantillon de particules doit être installée à proximité de la sonde de prélèvement des émissions gazeuses, mais à une distance suffisante pour ne pas causer d'interférence. Les dispositions concernant l'installation énoncées au paragraphe 9.3.10 s'appliquent donc également au prélèvement des particules. La tuyauterie de prélèvement doit être conforme aux conditions énoncées à l'appendice 3.

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

#### 9.4.3.2 Système de dilution du flux total

La sonde de prélèvement de l'échantillon de particules doit être installée à proximité de la sonde de prélèvement des échantillons d'émissions gazeuses, mais à une distance suffisante de celle-ci pour qu'il n'y ait pas d'interférence, dans le tunnel de dilution. Les dispositions concernant l'installation énoncées au paragraphe 9.3.11 s'appliquent donc également au prélèvement des particules.

**La tuyauterie de prélèvement doit être conforme aux conditions énoncées à l'appendice 3.**

#### 9.4.4 Filtre de collecte des particules

Les gaz d'échappement dilués doivent être filtrés dans un filtre répondant aux conditions énoncées dans les paragraphes **9.4.4.1 à 9.4.4.3 ci-dessous** au cours de la séquence d'essai.

##### 9.4.4.1 Spécifications des filtres

Quel que soit le type, le filtre doit avoir un coefficient de rétention des particules de DOP (di-octylphthalate) de  $0,3 \mu\text{m}$  d'au moins 99 %. Le matériau filtrant doit être:

- a) **fibre de verre revêtue de PTFE;**
- b) **membrane de PTFE.**

##### 9.4.4.2 Dimension des filtres

**Le filtre doit être circulaire; son diamètre nominal doit être de 47 mm (tolérance  $46,50 \pm 0,6$  mm) et son diamètre exposé (diamètre efficace) de 38 mm au minimum.**

##### 9.4.4.3 Vitesse d'entrée dans le filtre

**La vitesse d'entrée dans le filtre doit être comprise entre 0,90 et 1,00 m/s, la proportion des valeurs de débit situées à l'extérieur de cette plage devant être inférieure à 5 %. Si la masse totale des matières particulaires présentes sur le filtre est supérieure à 400  $\mu\text{g}$ , la vitesse d'entrée dans le filtre peut être abaissée à 0,50 m/s. La vitesse d'entrée est calculée en divisant le débit volumique du prélèvement à la pression amont du filtre et à la température de surface du filtre par la superficie exposée du filtre.**

#### 9.4.5 Caractéristiques de la chambre de pesée et de la balance

**L'atmosphère de la chambre doit être exempte de tout contaminant ambiant (tel que poussière, aérosol, ou matériau semi-volatile) susceptible de contaminer les filtres à particules. La chambre de pesée doit satisfaire aux conditions prescrites au minimum pendant les 60 min précédant la pesée des filtres.**

##### 9.4.5.1 Conditions dans la chambre de pesée

La température de la chambre où les filtres à particules sont conditionnés et pesés doit être maintenue constante à  $295 \pm 1 \text{ K}$  ( $22 \pm 1 \text{ °C}$ ) pendant toutes les opérations de conditionnement et de pesée. L'humidité doit être maintenue au point de rosée à  $282,5 \pm 1 \text{ K}$  ( $9,5 \pm 1 \text{ °C}$ ).

**Si l'environnement de stabilisation et l'environnement de pesée sont séparés, la température de l'environnement de stabilisation doit être maintenue à  $295 \pm 3$  K ( $22 \pm 3$  °C), mais la prescription relative au point de rosée reste à  $282,5 \pm 1$  K ( $9,5 \pm 1$  °C).**

**L'humidité et la température ambiante doivent être enregistrées.**

#### **9.4.5.2 Pesée des filtres de référence**

Deux filtres de référence non utilisés au moins devraient être pesés, de préférence en même temps que les filtres de collecte, mais en tout cas dans un délai maximum de 12 h. Ils doivent être **du même matériau que les filtres de collecte. Les résultats des pesées doivent être corrigés des effets de la flottabilité.**

Si le **poids de l'un quelconque** des filtres de référence change de plus de 10 µg entre les pesées des filtres de collecte, tous les filtres de collecte doivent être rejetés et l'essai de mesure des émissions répété.

**Les filtres de référence doivent être remplacés périodiquement conformément aux règles d'usage mais au moins une fois par an.**

#### **9.4.5.3 Balance de laboratoire**

La balance utilisée pour déterminer le poids de tous les filtres doit satisfaire aux critères de vérification de la linéarité formulés au **tableau 7** du paragraphe 9.2. Cela implique une précision (écart type) d'au moins 2 µg et une résolution d'au moins 1 µg (1 chiffre = 1 µg).

**Pour garantir la justesse de la pesée des filtres, il est recommandé de prendre les mesures suivantes:**

- a) **installer la balance sur un socle isolé à l'égard des bruits extérieurs et vibrations;**
- b) **protéger la balance contre les courants d'air convectifs au moyen d'un pare-vent antistatique mis à la terre.**

#### **9.4.5.4 Élimination des effets de l'électricité statique**

Le filtre doit être neutralisé électrostatiquement avant la pesée, par exemple avec un éliminateur au polonium ou par un autre procédé **également efficace. Si un filtre muni d'une membrane de PTFE est utilisé, le potentiel statique doit être mesuré; il est recommandé qu'il soit neutre à  $\pm 2,0$  V près.**

**À proximité de la balance, les charges d'électricité statique doivent être réduites au minimum, notamment par les mesures suivantes:**

- a) **la balance doit être mise à la terre électriquement;**

- b) des pincettes en acier inoxydable doivent être utilisées lorsque les prélèvements de matières particulaires sont manipulés à la main;
- c) les pincettes doivent être mises à la terre au moyen d'une sangle, ou l'opérateur doit porter un bracelet de mise à la terre commune avec la balance. Les bracelets de mise à la terre doivent être munis d'une résistance appropriée pour protéger les opérateurs contre les chocs électriques accidentels.

#### 9.4.5.5 Autres conditions prescrites

Tous les éléments du système de dilution et du système de prélèvement compris entre le tuyau d'échappement et le porte-filtre qui entrent en contact avec les gaz d'échappement bruts et dilués doivent être conçus pour minimiser les dépôts ou l'altération des matières particulaires. Ils doivent être réalisés en matériaux électriquement conducteurs qui ne réagissent pas avec les constituants des gaz d'échappement, et ils doivent être mis à la terre électriquement pour prévenir les effets électrostatiques.

#### 9.4.5.6 Étalonnage de l'appareillage de mesure du débit

Chaque débitmètre utilisé dans le cadre d'un prélèvement de particules et dans un système de dilution du flux partiel doit faire l'objet d'une vérification de la linéarité, telle que décrite au paragraphe 9.2.1, aussi fréquemment qu'il est nécessaire pour satisfaire aux prescriptions de justesse énoncées dans le présent Règlement. Pour les valeurs de référence du débit, on doit utiliser un débitmètre précis certifié conforme aux normes internationales et/ou nationales. Pour l'étalonnage de l'appareil de mesure de la différence de débit, voir le paragraphe 9.4.6.2.

#### 9.4.6 Conditions spéciales relatives au système de dilution du flux partiel

Le système de dilution du flux partiel doit être conçu pour prélever un échantillon proportionnel de gaz d'échappement bruts dans le flux des gaz d'échappement du moteur, ce prélèvement devant donc suivre les variations du débit des gaz d'échappement. À cette fin, il est indispensable que le taux de dilution ou le taux de prélèvement  $r_d$  ou  $r_s$  soit déterminé de telle manière que les conditions de justesse du paragraphe 9.4.6.2 soient remplies.

##### 9.4.6.1 Temps de réponse du système

Pour le réglage d'un système de dilution du flux partiel, une réponse rapide du système est nécessaire. Le temps de transformation du système doit être déterminé conformément à la procédure du paragraphe 9.4.6.6. Si le temps de transformation combiné de la mesure du débit de gaz d'échappement (voir par. 8.3.1.2) et du système de dilution du flux partiel est  $\leq 0,3$  s, un réglage en ligne doit être appliqué. Si le temps de transformation est supérieur à 0,3 s, une commande par réglage prédictif basé sur un essai préenregistré doit être

utilisée. Dans ce cas, le temps de montée combiné doit être  $\leq 1$  s et le temps de retard combiné  $\leq 10$  s.

La réponse totale du système doit être conçue pour garantir l'obtention d'un échantillon représentatif des particules,  $q_{mp,i}$ , proportionnel au débit-masse des gaz d'échappement. Pour déterminer la proportionnalité, une analyse de régression de  $q_{mp,i}$  par rapport à  $q_{mew,i}$  doit être effectuée avec une fréquence d'acquisition des données d'au moins 5 Hz, et les critères suivants doivent être remplis:

- a) le coefficient de détermination  $r^2$  de la régression linéaire entre  $q_{mp,i}$  et  $q_{mew,i}$  ne doit pas être inférieur à 0,95;
- b) l'erreur type d'estimation de  $q_{mp,i}$  par rapport à  $q_{mew,i}$  ne doit pas dépasser 5 % de  $q_{mp}$  au maximum;
- c) l'ordonnée à l'origine  $q_{mp}$  de la droite de régression ne doit pas être inférieure à  $\pm 2$  % de  $q_{mp}$  maximum.

Une commande par réglage prédictif est nécessaire si les temps de transformation combinés du système de mesure des particules,  $t_{50,P}$  et du signal de débit-masse de gaz d'échappement,  $t_{50,F}$  sont  $> 0,3$  s. Dans ce cas, un essai préalable doit être effectué et le signal de débit-masse de gaz d'échappement obtenu lors de l'essai préalable doit être utilisé pour régler le débit de prélèvement dans le système de mesure des particules. On considère qu'un réglage correct du système de dilution partielle a été obtenu si la trace temporelle de  $q_{mew,pre}$  de l'essai préalable, qui contrôle  $q_{mp}$ , est corrigée d'un décalage prédictif de  $t_{50,P} + t_{50,F}$ .

Pour contrôler la corrélation entre  $q_{mp,i}$  et  $q_{mew,i}$ , on utilise les données collectées au cours de l'essai réel, en alignant dans le temps  $q_{mew,i}$  de  $t_{50,F}$  par rapport à  $q_{mp,i}$  (le recalage dans le temps ne fait pas intervenir  $t_{50,P}$ ). C'est-à-dire que le décalage temporaire entre  $q_{mew}$  et  $q_{mp}$  correspond à la différence des temps de transformation déterminés conformément au paragraphe 9.4.6.6.

#### 9.4.6.2 Conditions relatives à la mesure de la différence de débit

Pour les systèmes de dilution du flux partiel, la justesse de la mesure du débit de prélèvement  $q_{mp}$  doit faire l'objet d'une attention particulière, si cette mesure n'est pas effectuée directement, mais par calcul de la différence de débit selon la formule:

$$q_{mp} = q_{mdew} - q_{mdw} \quad (83)$$

Dans ce cas, l'erreur maximale sur le calcul de la différence doit être telle que la justesse de la valeur de  $q_{mp}$  reste dans les limites de  $\pm 5$  % lorsque le taux de dilution est inférieur à 15. Cette erreur peut être calculée sur la base de la valeur moyenne quadratique de l'erreur de chaque instrument.

Une valeur acceptable de la justesse de  $q_{mp}$  peut être obtenue si l'une des conditions suivantes est remplie:

- a) si les justesses absolues de  $q_{mdew}$  et  $q_{mdw}$  sont de  $\pm 0,2$  %, ce qui garantit une justesse de  $q_{mp} \leq 5$  % à un taux de dilution de 15. Les erreurs, toutefois, seront supérieures à des taux de dilution plus élevés;
- b) si l'étalonnage de  $q_{mdw}$  par rapport à  $q_{mdew}$  est effectué de telle manière que les mêmes valeurs de justesse pour  $q_{mp}$  soient obtenues que dans le cas a) ci-dessus. Pour plus de précisions, voir le paragraphe 9.4.6.2;
- c) si la justesse de  $q_{mp}$  est déterminée indirectement d'après la justesse du taux de dilution, tel qu'il est déterminé au moyen d'un gaz témoin comme le  $CO_2$ . Des valeurs de justesse équivalant au cas a) ci-dessus pour  $q_{mp}$  sont requises;
- d) si la justesse absolue de  $q_{mdew}$  et  $q_{mdw}$  reste dans les limites de  $\pm 2$  % de l'échelle, si l'erreur maximale sur la différence entre  $q_{mdew}$  et  $q_{mdw}$  ne dépasse pas 0,2 %, et si l'erreur de linéarité ne dépasse pas  $\pm 0,2$  % de la valeur la plus élevée de  $q_{mdew}$  observée au cours de l'essai.

#### 9.4.6.3 Étalonnage du système de mesure de la différence de débit

Le débitmètre ou l'appareillage de mesure du débit doit être étalonnés selon une des méthodes suivantes, de telle manière que le débit de prélèvement  $q_{mp}$  entrant dans le tunnel satisfasse aux conditions de justesse énoncées au paragraphe 9.4.6.2:

- a) Le débitmètre de mesure de  $q_{mdw}$  doit être raccordé en série au débitmètre de mesure de  $q_{mdew}$ , la différence entre les valeurs des deux débitmètres devant être étalonnée sur au moins cinq points de réglage correspondant à des valeurs de débit également espacées entre la plus basse valeur  $q_{mdw}$  utilisée lors de l'essai et la valeur de  $q_{mdew}$  utilisée lors de l'essai. Pour la mesure, le tunnel de dilution peut être contourné;
- b) Un débitmètre étalonné doit être raccordé en série au débitmètre de mesure de  $q_{mdew}$ , et la justesse de la mesure doit être contrôlée pour la valeur utilisée lors de l'essai. Le débitmètre étalonné doit être raccordé en série au débitmètre de mesure de  $q_{mdw}$ , et la justesse doit être contrôlée sur au moins cinq points de réglage correspondant à un taux de dilution variant entre 3 et 50, par rapport à la valeur de  $q_{mdew}$  utilisée lors de l'essai;
- c) Le tube de transfert TT doit être déconnecté de l'échappement et un dispositif étalonné de mesure du débit ayant une plage de mesure appropriée pour la mesure de  $q_{mp}$  doit être raccordé au tube de transfert. La valeur de  $q_{mdew}$  doit être réglée à la valeur utilisée lors de l'essai et celle de  $q_{mdw}$  doit être successivement réglée sur au moins cinq valeurs correspondant à des taux de dilution variant entre 3 et 50. Autre variante possible, il peut être installé un circuit spécial d'étalonnage, contournant le tunnel, mais où le débit total et le

débit d'air de dilution passent par les débitmètres correspondants, comme lors de l'essai réel;

- d) Un gaz témoin doit être introduit dans le tube de transfert TT. Ce gaz témoin peut être un constituant du gaz d'échappement tel que CO<sub>2</sub> ou NO<sub>x</sub>. Après dilution dans le tunnel, la concentration du gaz témoin doit être mesurée. Cette mesure doit s'effectuer pour cinq taux de dilution variant entre 3 et 50. La justesse du débit de prélèvement doit être déterminée d'après le taux de dilution  $r_d$ :

$$q_{mp} = q_{mdew}/r_d \quad (84)$$

Il est nécessaire de prendre en compte les valeurs de justesse respectives des analyseurs de gaz pour pouvoir garantir la justesse de  $q_{mp}$ .

#### 9.4.6.4 Contrôle du flux de carbone

Il est vivement recommandé d'effectuer un contrôle du flux de carbone sur les gaz d'échappement réels pour détecter les éventuels problèmes de mesure et de réglage du système et contrôler le bon fonctionnement du système de dilution du flux partiel. Le contrôle du flux de carbone devrait être effectué au moins à chaque installation d'un nouveau moteur ou à chaque modification notable apportée à la configuration de la chambre d'essai.

Le moteur doit fonctionner à pleine charge au régime de couple maximal ou sur tout autre mode stabilisé produisant un taux de CO<sub>2</sub> de 5 % ou plus. Le système de prélèvement du flux partiel doit fonctionner avec un rapport de dilution d'environ 15 à 1.

Si un contrôle du flux de carbone est effectué, la procédure décrite à l'appendice 5 doit être appliquée. Les débits de carbone doivent être calculés conformément aux équations 80 à 82 de l'appendice 5. Toutes les valeurs de débit de carbone devraient concorder à 3 % près.

#### 9.4.6.5 Contrôle préliminaire à l'essai

Un contrôle préliminaire doit être effectué deux heures au maximum avant l'essai dans les conditions suivantes.

La justesse des débitmètres doit être contrôlée par la même méthode que celle appliquée pour l'étalonnage (voir par. 9.4.6.2) pour au moins deux points, y compris les valeurs de débit de  $q_{mdw}$  qui correspondent à des taux de dilution compris entre 5 et 15 pour la valeur de  $q_{mdew}$  utilisée lors de l'essai.

Le contrôle préliminaire peut être omis s'il est possible de démontrer sur la base des enregistrements concernant les opérations d'étalonnage effectuées conformément au paragraphe 9.4.6.2 que l'étalonnage des débitmètres est stable pendant une longue durée.

#### 9.4.6.6 Détermination du temps de transformation

Les réglages du système pour l'évaluation du temps de transformation doivent être exactement les mêmes que ceux s'appliquant à la mesure lors de l'essai réel. Le temps de transformation doit être déterminé conformément à la méthode suivante.

Un débitmètre de référence indépendant ayant une plage de mesure appropriée pour le débit de la sonde doit être raccordé en série à la sonde à proximité immédiate de celle-ci. Ce débitmètre doit avoir un temps de transformation inférieur à 100 ms pour la dimension de l'échelon d'accroissement du débit utilisé pour la mesure du temps de réponse, et doit présenter une restriction au débit suffisamment faible pour ne pas affecter le comportement dynamique du système de dilution du flux partiel; il doit être installé conformément aux règles de l'art.

Une variation en échelon du débit doit être appliquée à l'entrée des gaz d'échappement (ou à l'entrée d'air si le débit de gaz d'échappement est déterminé par calcul) du système de dilution du flux partiel, depuis une valeur de débit faible jusqu'à 90 % au moins du **débit maximal de gaz d'échappement**. Le signal de déclenchement de l'échelon doit être le même que celui utilisé pour déclencher le réglage prédictif lors de l'essai réel. Le signal d'accroissement du débit de gaz d'échappement et la réponse du débitmètre doivent être enregistrés à une fréquence d'échantillonnage d'au moins 10 Hz.

À partir de ces données, on détermine le temps de transformation pour le système de dilution du flux partiel, qui est le temps écoulé depuis l'amorçage de l'échelon jusqu'au point 50 % de la réponse du débitmètre. On détermine de la même manière les temps de transformation du signal  $q_{mp}$  du débitmètre du système de dilution du flux partiel et du signal  $q_{mew,i}$  du débitmètre de gaz d'échappement. Les signaux sont utilisés pour les opérations de contrôle par régression effectuées après chaque essai (voir par. **9.4.6.1**).

Les calculs doivent être répétés pour au moins cinq signaux de montée et de descente, et la moyenne des résultats doit être calculée. Le temps de transformation interne (<100 ms) du débitmètre de référence est déduit de cette valeur, ce qui donne la valeur "prédictive" du système de dilution du flux partiel, qui doit être appliquée conformément au paragraphe **9.4.6.1**.

### 9.5 Étalonnage du système CVS

#### 9.5.1 Dispositions générales

Le système CVS doit être étalonné au moyen d'un débitmètre juste et d'un dispositif réducteur de débit. Le débit traversant le système doit être mesuré pour différents réglages du réducteur et les paramètres de réglage du système doivent être mesurés et rapportés au débit.

Il peut être utilisé divers types de débitmètre: tube de venturi étalonné, débitmètre laminaire étalonné, débitmètre à turbine étalonné.

## 9.5.2 Étalonnage de la pompe volumétrique (PDP)

Tous les paramètres relatifs à la pompe doivent être mesurés simultanément avec les paramètres relatifs à un tube de venturi étalonné qui est raccordé en série avec la pompe. La courbe du débit calculé (en m<sup>3</sup>/s à l'entrée de la pompe aux valeurs mesurées de pression absolue et de température) est rapportée à une fonction de corrélation qui représente une combinaison donnée de paramètres de la pompe. L'équation linéaire entre le débit de la pompe et la fonction de corrélation doit alors être déterminée. Si le système CVS a plusieurs vitesses d'entraînement, l'étalonnage doit être exécuté pour chaque vitesse utilisée.

Une température constante doit être maintenue au cours de l'étalonnage.

Les fuites totales dans les raccords et tuyauteries raccordant le tube de venturi étalonné et la pompe CVS doivent être maintenues à moins de 0,3 % de la valeur de débit la plus basse (réduction maximale du débit et vitesse de rotation minimale de la pompe PDP).

### 9.5.2.1 Analyse des données

Le débit d'air ( $q_{v, CVS}$ ) à chaque réglage du réducteur de débit (six réglages minimum) doit être calculé en m<sup>3</sup>/s normaux à partir des données du débitmètre conformément à la méthode prescrite par le fabricant. Le débit d'air doit ensuite être converti en débit de la pompe ( $V_0$ ) en m<sup>3</sup>/tr aux valeurs mesurées de pression absolue et de température à l'entrée de la pompe, comme suit:

$$V_0 = \frac{q_{v, CVS}}{n} \times \frac{T}{273} \times \frac{101,3}{p_p} \quad (85)$$

où:

$q_{v, CVS}$  est le débit d'air aux conditions normales (101,3 kPa, 273 K), en m<sup>3</sup>/s;

$T$  est la température à l'entrée de la pompe, en K;

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

$n$  est la vitesse de rotation de la pompe, en tr/s.

Pour tenir compte de l'interaction des variations de pression à la pompe et du taux de glissement de celle-ci, on détermine la fonction de corrélation  $X_0$  entre la vitesse de rotation de la pompe, la différence de pression entre entrée et sortie et la pression absolue de sortie de la pompe, comme suit:

$$X_0 = \frac{1}{n} \times \sqrt{\frac{\Delta p_p}{p_p}} \quad (86)$$

où:

$\Delta p_p$  est la différence de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe, en kPa;

$p_p$  est la pression absolue de sortie de la pompe, en kPa.

On exécute ensuite un ajustement linéaire par les moindres carrés en vue d'établir l'équation d'étalonnage, comme suit:

$$V_0 = D_0 - m \times X_0 \quad (87)$$

$D_0$  et  $m$  sont l'ordonnée à l'origine et la pente, respectivement, décrivant les droites de régression.

Pour un système CVS à plusieurs vitesses d'entraînement, les courbes d'étalonnage établies pour les différentes plages de débit de la pompe doivent être sensiblement parallèles, et la valeur de l'ordonnée à l'origine ( $D_0$ ) doit augmenter lorsque la gamme de débit de la pompe diminue.

Les valeurs calculées au moyen de l'équation ne doivent pas s'écarter de plus de  $\pm 0,5$  % de la valeur mesurée de  $V_0$ . Les valeurs de  $m$  varient d'une pompe à l'autre. Avec le temps, l'encrassement par les particules cause une diminution du glissement, ce qui est reflété par des valeurs plus basses de  $m$ . Il doit donc être effectué un étalonnage à la mise en service de la pompe, et après tout entretien majeur, ainsi que si la vérification du système complet indique un changement du taux de glissement.

### 9.5.3 Étalonnage du venturi-tuyère en régime critique (CFV)

L'étalonnage du venturi-tuyère est basé sur l'équation de débit en régime critique de celui-ci. Le débit de gaz est fonction de la pression et de la température d'entrée.

Pour déterminer la plage de régime critique, on doit tracer la courbe de  $K_v$  en fonction de la pression à l'entrée du venturi. En régime critique,  $K_v$  a une valeur relativement constante. Lorsque la pression diminue (accroissement de la dépression), le venturi se débloque et  $K_v$  diminue, ce qui indique que le venturi fonctionne en dehors de la plage admissible.

#### 9.5.3.1 Analyse des données

Le débit d'air ( $q_{v, CVS}$ ) à chaque réglage du réducteur de débit (8 réglages minimum) doit être calculé en  $m^3/s$  normaux à partir des données du débitmètre conformément à la méthode prescrite par le fabricant. Le coefficient d'étalonnage est calculé à partir des données d'étalonnage pour chaque réglage comme suit:

$$K_v = \frac{q_{v, CVS} \times \sqrt{T}}{p_p} \quad (88)$$

où:

$q_{vCVS}$  est le débit d'air aux conditions normales (101,3 kPa, 273 K), en m<sup>3</sup>/s;

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

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

La valeur moyenne de  $K_v$  et l'écart type doivent être calculés. L'écart type ne doit pas dépasser  $\pm 0,3$  % de la valeur moyenne de  $K_v$ .

#### 9.5.4 Étalonnage du venturi subsonique (SSV)

L'étalonnage du SSV est basé sur l'équation de débit d'un venturi subsonique.

Le débit de gaz est fonction de la pression et de la température d'entrée, de la chute de pression entre l'entrée et le col du SSV, selon l'équation 43 (voir par. **8.5.1.4**).

##### 9.5.4.1 Analyse des données

Le débit d'air ( $Q_{SSV}$ ) à chaque réglage du réducteur du débit (16 réglages minimum) doit être calculé en m<sup>3</sup>/s normaux à partir des données du débitmètre conformément à la méthode prescrite par le fabricant. Le coefficient de décharge doit être calculé à partir des données d'étalonnage pour chaque réglage, comme suit:

$$C_d = \frac{Q_{SSV}}{d_v^2 \times p_p \times \sqrt{\left[ \frac{1}{T} \times (r_p^{1,4286} - r_p^{1,7143}) \times \left( \frac{1}{1 - r_D^4 \times r_p^{1,4286}} \right) \right]}} \quad (89)$$

avec:

$Q_{SSV}$  est le débit d'air aux conditions normales (101,3 kPa, 273 K), en m<sup>3</sup>/s;

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

$d_v$  est le diamètre du col du SSV, en m;

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

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

Pour déterminer la plage d'écoulement subsonique, on trace la courbe de  $C_d$  en fonction du nombre de Reynolds  $Re$ , au col du SSV. La valeur de  $Re$  au col du SSV doit être calculée au moyen de l'équation suivante:

$$Re = A_1 \times \frac{Q_{SSV}}{d_v \times \mu} \quad (90)$$

avec

$$\mu = \frac{b \times T^{1.5}}{S + T} \quad (91)$$

où:

$A_1$  est 25,55152 en unités SI de  $\left(\frac{1}{m^3}\right) \left(\frac{\text{min}}{s}\right) \left(\frac{\text{mm}}{m}\right)$ ;

$Q_{SSV}$  est le débit d'air aux conditions normales (101,3 kPa, 273 K), en  $m^3/s$ ;

$d_v$  est le diamètre du col de SSV, en m;

$\mu$  est la viscosité absolue ou dynamique du gaz, en kg/ms;

$b$  est  $1,458 \times 10^6$  (constante empirique), en kg/ms  $K^{0,5}$ ;

$S$  est 110,4 (constante empirique), en K.

Étant donné que la valeur  $Q_{SSV}$  est une valeur d'entrée de l'équation  $Re$ , les calculs doivent initialement se fonder sur une estimation de  $Q_{SSV}$  ou du facteur  $C_d$  du venturi étalonné, à partir de laquelle on procède par itération jusqu'à ce qu'il y ait convergence de la valeur  $Q_{SSV}$ . La méthode de convergence doit être juste à 0,1 % de point ou mieux.

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

#### 9.5.5 Vérification du système complet

Pour déterminer la justesse totale du système de prélèvement CVS et du système d'analyse, on introduit une masse connue d'un gaz polluant dans le système, celui-ci fonctionnant de manière normale. Le polluant est analysé, et sa masse déterminée conformément au paragraphe 8.5.2.4, sauf dans le cas du propane, pour lequel on applique un facteur  $u$  de 0,000472 au lieu de 0,000480 pour les HC. L'une ou l'autre des deux méthodes suivantes doit être appliquée.

##### 9.5.5.1 Dosage avec un ajutage en régime critique

On introduit dans le système CVS par l'intermédiaire d'un ajutage critique étalonné une quantité connue d'un gaz pur (monoxyde de carbone ou propane). Si la pression d'entrée est suffisamment élevée, le débit, qui est réglé par l'ajutage en régime critique, est indépendant de la pression à la sortie de l'ajutage (régime critique). Le système CVS doit fonctionner pendant 5 à 10 min comme pour un essai normal

de mesure des émissions d'échappement. Un échantillon de gaz doit être analysé à l'aide de l'équipement habituel (sac de collecte ou mesure par intégration), et la masse de gaz doit être calculée.

La valeur ainsi obtenue ne doit pas s'écarter de plus de  $\pm 3$  % de la masse connue de gaz injecté.

#### 9.5.5.2 Dosage par méthode gravimétrique

On mesure avec une précision de  $\pm 0,01$  g la masse d'une petite bouteille à gaz remplie de monoxyde de carbone ou de propane. Pendant 5 à 10 min, on fait fonctionner le système CVS comme pour un essai normal de mesure des émissions d'échappement, tout en injectant dans le système du monoxyde de carbone ou du propane. La quantité de gaz pur introduite dans le système est déterminée par pesée différentielle. L'échantillon de gaz est analysé par les moyens habituels (sac de collecte ou mesure par intégration), et la masse de gaz doit être calculée.

La valeur ainsi obtenue ne doit pas s'écarter de plus de  $\pm 3$  % de la masse connue de gaz injecté.

Annexe 4B – Appendice 1

## FICHE DE PROGRAMMATION DU DYNAMOMÈTRE POUR L'ESSAI WHTC

Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé
s	%	%	s	%	%	s	%	%
1	0,0	0,0	47	0,0	0,0	93	32,8	32,7
2	0,0	0,0	48	0,0	0,0	94	33,7	32,5
3	0,0	0,0	49	0,0	0,0	95	34,4	29,5
4	0,0	0,0	50	0,0	13,1	96	34,3	26,5
5	0,0	0,0	51	13,1	30,1	97	34,4	24,7
6	0,0	0,0	52	26,3	25,5	98	35,0	24,9
7	1,5	8,9	53	35,0	32,2	99	35,6	25,2
8	15,8	30,9	54	41,7	14,3	100	36,1	24,8
9	27,4	1,3	55	42,2	0,0	101	36,3	24,0
10	32,6	0,7	56	42,8	11,6	102	36,2	23,6
11	34,8	1,2	57	51,0	20,9	103	36,2	23,5
12	36,2	7,4	58	60,0	9,6	104	36,8	22,7
13	37,1	6,2	59	49,4	0,0	105	37,2	20,9
14	37,9	10,2	60	38,9	16,6	106	37,0	19,2
15	39,6	12,3	61	43,4	30,8	107	36,3	18,4
16	42,3	12,5	62	49,4	14,2	108	35,4	17,6
17	45,3	12,6	63	40,5	0,0	109	35,2	14,9
18	48,6	6,0	64	31,5	43,5	110	35,4	9,9
19	40,8	0,0	65	36,6	78,2	111	35,5	4,3
20	33,0	16,3	66	40,8	67,6	112	35,2	6,6
21	42,5	27,4	67	44,7	59,1	113	34,9	10,0
22	49,3	26,7	68	48,3	52,0	114	34,7	25,1
23	54,0	18,0	69	51,9	63,8	115	34,4	29,3
24	57,1	12,9	70	54,7	27,9	116	34,5	20,7
25	58,9	8,6	71	55,3	18,3	117	35,2	16,6
26	59,3	6,0	72	55,1	16,3	118	35,8	16,2
27	59,0	4,9	73	54,8	11,1	119	35,6	20,3
28	57,9	m	74	54,7	11,5	120	35,3	22,5
29	55,7	m	75	54,8	17,5	121	35,3	23,4
30	52,1	m	76	55,6	18,0	122	34,7	11,9
31	46,4	m	77	57,0	14,1	123	45,5	0,0
32	38,6	m	78	58,1	7,0	124	56,3	m
33	29,0	m	79	43,3	0,0	125	46,2	m
34	20,8	m	80	28,5	25,0	126	50,1	0,0
35	16,9	m	81	30,4	47,8	127	54,0	m
36	16,9	42,5	82	32,1	39,2	128	40,5	m
37	18,8	38,4	83	32,7	39,3	129	27,0	m
38	20,7	32,9	84	32,4	17,3	130	13,5	m
39	21,0	0,0	85	31,6	11,4	131	0,0	0,0
40	19,1	0,0	86	31,1	10,2	132	0,0	0,0
41	13,7	0,0	87	31,1	19,5	133	0,0	0,0
42	2,2	0,0	88	31,4	22,5	134	0,0	0,0
43	0,0	0,0	89	31,6	22,9	135	0,0	0,0
44	0,0	0,0	90	31,6	24,3	136	0,0	0,0
45	0,0	0,0	91	31,9	26,9	137	0,0	0,0
46	0,0	0,0	92	32,4	30,6	138	0,0	0,0

Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé
s	%	%	s	%	%	s	%	%
139	0,0	0,0	189	0,0	5,9	239	0,0	0,0
140	0,0	0,0	190	0,0	0,0	240	0,0	0,0
141	0,0	0,0	191	0,0	0,0	241	0,0	0,0
142	0,0	4,9	192	0,0	0,0	242	0,0	0,0
143	0,0	7,3	193	0,0	0,0	243	0,0	0,0
144	4,4	28,7	194	0,0	0,0	244	0,0	0,0
145	11,1	26,4	195	0,0	0,0	245	0,0	0,0
146	15,0	9,4	196	0,0	0,0	246	0,0	0,0
147	15,9	0,0	197	0,0	0,0	247	0,0	0,0
148	15,3	0,0	198	0,0	0,0	248	0,0	0,0
149	14,2	0,0	199	0,0	0,0	249	0,0	0,0
150	13,2	0,0	200	0,0	0,0	250	0,0	0,0
151	11,6	0,0	201	0,0	0,0	251	0,0	0,0
152	8,4	0,0	202	0,0	0,0	252	0,0	0,0
153	5,4	0,0	203	0,0	0,0	253	0,0	31,6
154	4,3	5,6	204	0,0	0,0	254	9,4	13,6
155	5,8	24,4	205	0,0	0,0	255	22,2	16,9
156	9,7	20,7	206	0,0	0,0	256	33,0	53,5
157	13,6	21,1	207	0,0	0,0	257	43,7	22,1
158	15,6	21,5	208	0,0	0,0	258	39,8	0,0
159	16,5	21,9	209	0,0	0,0	259	36,0	45,7
160	18,0	22,3	210	0,0	0,0	260	47,6	75,9
161	21,1	46,9	211	0,0	0,0	261	61,2	70,4
162	25,2	33,6	212	0,0	0,0	262	72,3	70,4
163	28,1	16,6	213	0,0	0,0	263	76,0	m
164	28,8	7,0	214	0,0	0,0	264	74,3	m
165	27,5	5,0	215	0,0	0,0	265	68,5	m
166	23,1	3,0	216	0,0	0,0	266	61,0	m
167	16,9	1,9	217	0,0	0,0	267	56,0	m
168	12,2	2,6	218	0,0	0,0	268	54,0	m
169	9,9	3,2	219	0,0	0,0	269	53,0	m
170	9,1	4,0	220	0,0	0,0	270	50,8	m
171	8,8	3,8	221	0,0	0,0	271	46,8	m
172	8,5	12,2	222	0,0	0,0	272	41,7	m
173	8,2	29,4	223	0,0	0,0	273	35,9	m
174	9,6	20,1	224	0,0	0,0	274	29,2	m
175	14,7	16,3	225	0,0	0,0	275	20,7	m
176	24,5	8,7	226	0,0	0,0	276	10,1	m
177	39,4	3,3	227	0,0	0,0	277	0,0	m
178	39,0	2,9	228	0,0	0,0	278	0,0	0,0
179	38,5	5,9	229	0,0	0,0	279	0,0	0,0
180	42,4	8,0	230	0,0	0,0	280	0,0	0,0
181	38,2	6,0	231	0,0	0,0	281	0,0	0,0
182	41,4	3,8	232	0,0	0,0	282	0,0	0,0
183	44,6	5,4	233	0,0	0,0	283	0,0	0,0
184	38,8	8,2	234	0,0	0,0	284	0,0	0,0
185	37,5	8,9	235	0,0	0,0	285	0,0	0,0
186	35,4	7,3	236	0,0	0,0	286	0,0	0,0
187	28,4	7,0	237	0,0	0,0	287	0,0	0,0
188	14,8	7,0	238	0,0	0,0	288	0,0	0,0

Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé
s	%	%	s	%	%	s	%	%
289	0,0	0,0	339	0,0	0,0	389	25,2	14,7
290	0,0	0,0	340	0,0	0,0	390	28,6	28,4
291	0,0	0,0	341	0,0	0,0	391	35,5	65,0
292	0,0	0,0	342	0,0	0,0	392	43,8	75,3
293	0,0	0,0	343	0,0	0,0	393	51,2	34,2
294	0,0	0,0	344	0,0	0,0	394	40,7	0,0
295	0,0	0,0	345	0,0	0,0	395	30,3	45,4
296	0,0	0,0	346	0,0	0,0	396	34,2	83,1
297	0,0	0,0	347	0,0	0,0	397	37,6	85,3
298	0,0	0,0	348	0,0	0,0	398	40,8	87,5
299	0,0	0,0	349	0,0	0,0	399	44,8	89,7
300	0,0	0,0	350	0,0	0,0	400	50,6	91,9
301	0,0	0,0	351	0,0	0,0	401	57,6	94,1
302	0,0	0,0	352	0,0	0,0	402	64,6	44,6
303	0,0	0,0	353	0,0	0,0	403	51,6	0,0
304	0,0	0,0	354	0,0	0,5	404	38,7	37,4
305	0,0	0,0	355	0,0	4,9	405	42,4	70,3
306	0,0	0,0	356	9,2	61,3	406	46,5	89,1
307	0,0	0,0	357	22,4	40,4	407	50,6	93,9
308	0,0	0,0	358	36,5	50,1	408	53,8	33,0
309	0,0	0,0	359	47,7	21,0	409	55,5	20,3
310	0,0	0,0	360	38,8	0,0	410	55,8	5,2
311	0,0	0,0	361	30,0	37,0	411	55,4	m
312	0,0	0,0	362	37,0	63,6	412	54,4	m
313	0,0	0,0	363	45,5	90,8	413	53,1	m
314	0,0	0,0	364	54,5	40,9	414	51,8	m
315	0,0	0,0	365	45,9	0,0	415	50,3	m
316	0,0	0,0	366	37,2	47,5	416	48,4	m
317	0,0	0,0	367	44,5	84,4	417	45,9	m
318	0,0	0,0	368	51,7	32,4	418	43,1	m
319	0,0	0,0	369	58,1	15,2	419	40,1	m
320	0,0	0,0	370	45,9	0,0	420	37,4	m
321	0,0	0,0	371	33,6	35,8	421	35,1	m
322	0,0	0,0	372	36,9	67,0	422	32,8	m
323	0,0	0,0	373	40,2	84,7	423	45,3	0,0
324	4,5	41,0	374	43,4	84,3	424	57,8	m
325	17,2	38,9	375	45,7	84,3	425	50,6	m
326	30,1	36,8	376	46,5	m	426	41,6	m
327	41,0	34,7	377	46,1	m	427	47,9	0,0
328	50,0	32,6	378	43,9	m	428	54,2	m
329	51,4	0,1	379	39,3	m	429	48,1	m
330	47,8	m	380	47,0	m	430	47,0	31,3
331	40,2	m	381	54,6	m	431	49,0	38,3
332	32,0	m	382	62,0	m	432	52,0	40,1
333	24,4	m	383	52,0	m	433	53,3	14,5
334	16,8	m	384	43,0	m	434	52,6	0,8
335	8,1	m	385	33,9	m	435	49,8	m
336	0,0	m	386	28,4	m	436	51,0	18,6
337	0,0	0,0	387	25,5	m	437	56,9	38,9
338	0,0	0,0	388	24,6	11,0	438	67,2	45,0

Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé
s	%	%	s	%	%	s	%	%
439	78,6	21,5	489	45,5	m	539	56,7	m
440	65,5	0,0	490	40,4	m	540	46,9	m
441	52,4	31,3	491	49,7	0,0	541	37,5	m
442	56,4	60,1	492	59,0	m	542	30,3	m
443	59,7	29,2	493	48,9	m	543	27,3	32,3
444	45,1	0,0	494	40,0	m	544	30,8	60,3
445	30,6	4,2	495	33,5	m	545	41,2	62,3
446	30,9	8,4	496	30,0	m	546	36,0	0,0
447	30,5	4,3	497	29,1	12,0	547	30,8	32,3
448	44,6	0,0	498	29,3	40,4	548	33,9	60,3
449	58,8	m	499	30,4	29,3	549	34,6	38,4
450	55,1	m	500	32,2	15,4	550	37,0	16,6
451	50,6	m	501	33,9	15,8	551	42,7	62,3
452	45,3	m	502	35,3	14,9	552	50,4	28,1
453	39,3	m	503	36,4	15,1	553	40,1	0,0
454	49,1	0,0	504	38,0	15,3	554	29,9	8,0
455	58,8	m	505	40,3	50,9	555	32,5	15,0
456	50,7	m	506	43,0	39,7	556	34,6	63,1
457	42,4	m	507	45,5	20,6	557	36,7	58,0
458	44,1	0,0	508	47,3	20,6	558	39,4	52,9
459	45,7	m	509	48,8	22,1	559	42,8	47,8
460	32,5	m	510	50,1	22,1	560	46,8	42,7
461	20,7	m	511	51,4	42,4	561	50,7	27,5
462	10,0	m	512	52,5	31,9	562	53,4	20,7
463	0,0	0,0	513	53,7	21,6	563	54,2	13,1
464	0,0	1,5	514	55,1	11,6	564	54,2	0,4
465	0,9	41,1	515	56,8	5,7	565	53,4	0,0
466	7,0	46,3	516	42,4	0,0	566	51,4	m
467	12,8	48,5	517	27,9	8,2	567	48,7	m
468	17,0	50,7	518	29,0	15,9	568	45,6	m
469	20,9	52,9	519	30,4	25,1	569	42,4	m
470	26,7	55,0	520	32,6	60,5	570	40,4	m
471	35,5	57,2	521	35,4	72,7	571	39,8	5,8
472	46,9	23,8	522	38,4	88,2	572	40,7	39,7
473	44,5	0,0	523	41,0	65,1	573	43,8	37,1
474	42,1	45,7	524	42,9	25,6	574	48,1	39,1
475	55,6	77,4	525	44,2	15,8	575	52,0	22,0
476	68,8	100,0	526	44,9	2,9	576	54,7	13,2
477	81,7	47,9	527	45,1	m	577	56,4	13,2
478	71,2	0,0	528	44,8	m	578	57,5	6,6
479	60,7	38,3	529	43,9	m	579	42,6	0,0
480	68,8	72,7	530	42,4	m	580	27,7	10,9
481	75,0	m	531	40,2	m	581	28,5	21,3
482	61,3	m	532	37,1	m	582	29,2	23,9
483	53,5	m	533	47,0	0,0	583	29,5	15,2
484	45,9	58,0	534	57,0	m	584	29,7	8,8
485	48,1	80,0	535	45,1	m	585	30,4	20,8
486	49,4	97,9	536	32,6	m	586	31,9	22,9
487	49,7	m	537	46,8	0,0	587	34,3	61,4
488	48,7	m	538	61,5	m	588	37,2	76,6

Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé
s	%	%	s	%	%	s	%	%
589	40,1	27,5	639	39,8	m	689	46,6	0,0
590	42,3	25,4	640	36,0	m	690	32,3	34,6
591	43,5	32,0	641	29,7	m	691	32,7	68,6
592	43,8	6,0	642	21,5	m	692	32,6	67,0
593	43,5	m	643	14,1	m	693	31,3	m
594	42,8	m	644	0,0	0,0	694	28,1	m
595	41,7	m	645	0,0	0,0	695	43,0	0,0
596	40,4	m	646	0,0	0,0	696	58,0	m
597	39,3	m	647	0,0	0,0	697	58,9	m
598	38,9	12,9	648	0,0	0,0	698	49,4	m
599	39,0	18,4	649	0,0	0,0	699	41,5	m
600	39,7	39,2	650	0,0	0,0	700	48,4	0,0
601	41,4	60,0	651	0,0	0,0	701	55,3	m
602	43,7	54,5	652	0,0	0,0	702	41,8	m
603	46,2	64,2	653	0,0	0,0	703	31,6	m
604	48,8	73,3	654	0,0	0,0	704	24,6	m
605	51,0	82,3	655	0,0	0,0	705	15,2	m
606	52,1	0,0	656	0,0	3,4	706	7,0	m
607	52,0	m	657	1,4	22,0	707	0,0	0,0
608	50,9	m	658	10,1	45,3	708	0,0	0,0
609	49,4	m	659	21,5	10,0	709	0,0	0,0
610	47,8	m	660	32,2	0,0	710	0,0	0,0
611	46,6	m	661	42,3	46,0	711	0,0	0,0
612	47,3	35,3	662	57,1	74,1	712	0,0	0,0
613	49,2	74,1	663	72,1	34,2	713	0,0	0,0
614	51,1	95,2	664	66,9	0,0	714	0,0	0,0
615	51,7	m	665	60,4	41,8	715	0,0	0,0
616	50,8	m	666	69,1	79,0	716	0,0	0,0
617	47,3	m	667	77,1	38,3	717	0,0	0,0
618	41,8	m	668	63,1	0,0	718	0,0	0,0
619	36,4	m	669	49,1	47,9	719	0,0	0,0
620	30,9	m	670	53,4	91,3	720	0,0	0,0
621	25,5	37,1	671	57,5	85,7	721	0,0	0,0
622	33,8	38,4	672	61,5	89,2	722	0,0	0,0
623	42,1	m	673	65,5	85,9	723	0,0	0,0
624	34,1	m	674	69,5	89,5	724	0,0	0,0
625	33,0	37,1	675	73,1	75,5	725	0,0	0,0
626	36,4	38,4	676	76,2	73,6	726	0,0	0,0
627	43,3	17,1	677	79,1	75,6	727	0,0	0,0
628	35,7	0,0	678	81,8	78,2	728	0,0	0,0
629	28,1	11,6	679	84,1	39,0	729	0,0	0,0
630	36,5	19,2	680	69,6	0,0	730	0,0	0,0
631	45,2	8,3	681	55,0	25,2	731	0,0	0,0
632	36,5	0,0	682	55,8	49,9	732	0,0	0,0
633	27,9	32,6	683	56,7	46,4	733	0,0	0,0
634	31,5	59,6	684	57,6	76,3	734	0,0	0,0
635	34,4	65,2	685	58,4	92,7	735	0,0	0,0
636	37,0	59,6	686	59,3	99,9	736	0,0	0,0
637	39,0	49,0	687	60,1	95,0	737	0,0	0,0
638	40,2	m	688	61,0	46,7	738	0,0	0,0

Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé
s	%	%	s	%	%	s	%	%
739	0,0	0,0	789	17,2	m	839	38,1	m
740	0,0	0,0	790	14,0	37,6	840	37,2	42,7
741	0,0	0,0	791	18,4	25,0	841	37,5	70,8
742	0,0	0,0	792	27,6	17,7	842	39,1	48,6
743	0,0	0,0	793	39,8	6,8	843	41,3	0,1
744	0,0	0,0	794	34,3	0,0	844	42,3	m
745	0,0	0,0	795	28,7	26,5	845	42,0	m
746	0,0	0,0	796	41,5	40,9	846	40,8	m
747	0,0	0,0	797	53,7	17,5	847	38,6	m
748	0,0	0,0	798	42,4	0,0	848	35,5	m
749	0,0	0,0	799	31,2	27,3	849	32,1	m
750	0,0	0,0	800	32,3	53,2	850	29,6	m
751	0,0	0,0	801	34,5	60,6	851	28,8	39,9
752	0,0	0,0	802	37,6	68,0	852	29,2	52,9
753	0,0	0,0	803	41,2	75,4	853	30,9	76,1
754	0,0	0,0	804	45,8	82,8	854	34,3	76,5
755	0,0	0,0	805	52,3	38,2	855	38,3	75,5
756	0,0	0,0	806	42,5	0,0	856	42,5	74,8
757	0,0	0,0	807	32,6	30,5	857	46,6	74,2
758	0,0	0,0	808	35,0	57,9	858	50,7	76,2
759	0,0	0,0	809	36,0	77,3	859	54,8	75,1
760	0,0	0,0	810	37,1	96,8	860	58,7	36,3
761	0,0	0,0	811	39,6	80,8	861	45,2	0,0
762	0,0	0,0	812	43,4	78,3	862	31,8	37,2
763	0,0	0,0	813	47,2	73,4	863	33,8	71,2
764	0,0	0,0	814	49,6	66,9	864	35,5	46,4
765	0,0	0,0	815	50,2	62,0	865	36,6	33,6
766	0,0	0,0	816	50,2	57,7	866	37,2	20,0
767	0,0	0,0	817	50,6	62,1	867	37,2	m
768	0,0	0,0	818	52,3	62,9	868	37,0	m
769	0,0	0,0	819	54,8	37,5	869	36,6	m
770	0,0	0,0	820	57,0	18,3	870	36,0	m
771	0,0	22,0	821	42,3	0,0	871	35,4	m
772	4,5	25,8	822	27,6	29,1	872	34,7	m
773	15,5	42,8	823	28,4	57,0	873	34,1	m
774	30,5	46,8	824	29,1	51,8	874	33,6	m
775	45,5	29,3	825	29,6	35,3	875	33,3	m
776	49,2	13,6	826	29,7	33,3	876	33,1	m
777	39,5	0,0	827	29,8	17,7	877	32,7	m
778	29,7	15,1	828	29,5	m	878	31,4	m
779	34,8	26,9	829	28,9	m	879	45,0	0,0
780	40,0	13,6	830	43,0	0,0	880	58,5	m
781	42,2	m	831	57,1	m	881	53,7	m
782	42,1	m	832	57,7	m	882	47,5	m
783	40,8	m	833	56,0	m	883	40,6	m
784	37,7	37,6	834	53,8	m	884	34,1	m
785	47,0	35,0	835	51,2	m	885	45,3	0,0
786	48,8	33,4	836	48,1	m	886	56,4	m
787	41,7	m	837	44,5	m	887	51,0	m
788	27,7	m	838	40,9	m	888	44,5	m

Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé
s	%	%	s	%	%	s	%	%
889	36,4	m	939	32,7	56,5	989	32,6	m
890	26,6	m	940	33,4	62,8	990	30,9	m
891	20,0	m	941	34,6	68,2	991	29,9	m
892	13,3	m	942	35,8	68,6	992	29,2	m
893	6,7	m	943	38,6	65,0	993	44,1	0,0
894	0,0	0,0	944	42,3	61,9	994	59,1	m
895	0,0	0,0	945	44,1	65,3	995	56,8	m
896	0,0	0,0	946	45,3	63,2	996	53,5	m
897	0,0	0,0	947	46,5	30,6	997	47,8	m
898	0,0	0,0	948	46,7	11,1	998	41,9	m
899	0,0	0,0	949	45,9	16,1	999	35,9	m
900	0,0	0,0	950	45,6	21,8	1 000	44,3	0,0
901	0,0	5,8	951	45,9	24,2	1 001	52,6	m
902	2,5	27,9	952	46,5	24,7	1 002	43,4	m
903	12,4	29,0	953	46,7	24,7	1 003	50,6	0,0
904	19,4	30,1	954	46,8	28,2	1 004	57,8	m
905	29,3	31,2	955	47,2	31,2	1 005	51,6	m
906	37,1	10,4	956	47,6	29,6	1 006	44,8	m
907	40,6	4,9	957	48,2	31,2	1 007	48,6	0,0
908	35,8	0,0	958	48,6	33,5	1 008	52,4	m
909	30,9	7,6	959	48,8	m	1 009	45,4	m
910	35,4	13,8	960	47,6	m	1 010	37,2	m
911	36,5	11,1	961	46,3	m	1 011	26,3	m
912	40,8	48,5	962	45,2	m	1 012	17,9	m
913	49,8	3,7	963	43,5	m	1 013	16,2	1,9
914	41,2	0,0	964	41,4	m	1 014	17,8	7,5
915	32,7	29,7	965	40,3	m	1 015	25,2	18,0
916	39,4	52,1	966	39,4	m	1 016	39,7	6,5
917	48,8	22,7	967	38,0	m	1 017	38,6	0,0
918	41,6	0,0	968	36,3	m	1 018	37,4	5,4
919	34,5	46,6	969	35,3	5,8	1 019	43,4	9,7
920	39,7	84,4	970	35,4	30,2	1 020	46,9	15,7
921	44,7	83,2	971	36,6	55,6	1 021	52,5	13,1
922	49,5	78,9	972	38,6	48,5	1 022	56,2	6,3
923	52,3	83,8	973	39,9	41,8	1 023	44,0	0,0
924	53,4	77,7	974	40,3	38,2	1 024	31,8	20,9
925	52,1	69,6	975	40,8	35,0	1 025	38,7	36,3
926	47,9	63,6	976	41,9	32,4	1 026	47,7	47,5
927	46,4	55,2	977	43,2	26,4	1 027	54,5	22,0
928	46,5	53,6	978	43,5	m	1 028	41,3	0,0
929	46,4	62,3	979	42,9	m	1 029	28,1	26,8
930	46,1	58,2	980	41,5	m	1 030	31,6	49,2
931	46,2	61,8	981	40,9	m	1 031	34,5	39,5
932	47,3	62,3	982	40,5	m	1 032	36,4	24,0
933	49,3	57,1	983	39,5	m	1 033	36,7	m
934	52,6	58,1	984	38,3	m	1 034	35,5	m
935	56,3	56,0	985	36,9	m	1 035	33,8	m
936	59,9	27,2	986	35,4	m	1 036	33,7	19,8
937	45,8	0,0	987	34,5	m	1 037	35,3	35,1
938	31,8	28,8	988	33,9	m	1 038	38,0	33,9

Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé
s	%	%	s	%	%	s	%	%
1 039	40,1	34,5	1 089	46,3	24,0	1 139	51,7	0,0
1 040	42,2	40,4	1 090	47,8	20,6	1 140	59,2	m
1 041	45,2	44,0	1 091	47,2	3,8	1 141	47,2	m
1 042	48,3	35,9	1 092	45,6	4,4	1 142	35,1	0,0
1 043	50,1	29,6	1 093	44,6	4,1	1 143	23,1	m
1 044	52,3	38,5	1 094	44,1	m	1 144	13,1	m
1 045	55,3	57,7	1 095	42,9	m	1 145	5,0	m
1 046	57,0	50,7	1 096	40,9	m	1 146	0,0	0,0
1 047	57,7	25,2	1 097	39,2	m	1 147	0,0	0,0
1 048	42,9	0,0	1 098	37,0	m	1 148	0,0	0,0
1 049	28,2	15,7	1 099	35,1	2,0	1 149	0,0	0,0
1 050	29,2	30,5	1 100	35,6	43,3	1 150	0,0	0,0
1 051	31,1	52,6	1 101	38,7	47,6	1 151	0,0	0,0
1 052	33,4	60,7	1 102	41,3	40,4	1 152	0,0	0,0
1 053	35,0	61,4	1 103	42,6	45,7	1 153	0,0	0,0
1 054	35,3	18,2	1 104	43,9	43,3	1 154	0,0	0,0
1 055	35,2	14,9	1 105	46,9	41,2	1 155	0,0	0,0
1 056	34,9	11,7	1 106	52,4	40,1	1 156	0,0	0,0
1 057	34,5	12,9	1 107	56,3	39,3	1 157	0,0	0,0
1 058	34,1	15,5	1 108	57,4	25,5	1 158	0,0	0,0
1 059	33,5	m	1 109	57,2	25,4	1 159	0,0	0,0
1 060	31,8	m	1 110	57,0	25,4	1 160	0,0	0,0
1 061	30,1	m	1 111	56,8	25,3	1 161	0,0	0,0
1 062	29,6	10,3	1 112	56,3	25,3	1 162	0,0	0,0
1 063	30,0	26,5	1 113	55,6	25,2	1 163	0,0	0,0
1 064	31,0	18,8	1 114	56,2	25,2	1 164	0,0	0,0
1 065	31,5	26,5	1 115	58,0	12,4	1 165	0,0	0,0
1 066	31,7	m	1 116	43,4	0,0	1 166	0,0	0,0
1 067	31,5	m	1 117	28,8	26,2	1 167	0,0	0,0
1 068	30,6	m	1 118	30,9	49,9	1 168	0,0	0,0
1 069	30,0	m	1 119	32,3	40,5	1 169	0,0	0,0
1 070	30,0	m	1 120	32,5	12,4	1 170	0,0	0,0
1 071	29,4	m	1 121	32,4	12,2	1 171	0,0	0,0
1 072	44,3	0,0	1 122	32,1	6,4	1 172	0,0	0,0
1 073	59,2	m	1 123	31,0	12,4	1 173	0,0	0,0
1 074	58,3	m	1 124	30,1	18,5	1 174	0,0	0,0
1 075	57,1	m	1 125	30,4	35,6	1 175	0,0	0,0
1 076	55,4	m	1 126	31,2	30,1	1 176	0,0	0,0
1 077	53,5	m	1 127	31,5	30,8	1 177	0,0	0,0
1 078	51,5	m	1 128	31,5	26,9	1 178	0,0	0,0
1 079	49,7	m	1 129	31,7	33,9	1 179	0,0	0,0
1 080	47,9	m	1 130	32,0	29,9	1 180	0,0	0,0
1 081	46,4	m	1 131	32,1	m	1 181	0,0	0,0
1 082	45,5	m	1 132	31,4	m	1 182	0,0	0,0
1 083	45,2	m	1 133	30,3	m	1 183	0,0	0,0
1 084	44,3	m	1 134	29,8	m	1 184	0,0	0,0
1 085	43,6	m	1 135	44,3	0,0	1 185	0,0	0,0
1 086	43,1	m	1 136	58,9	m	1 186	0,0	0,0
1 087	42,5	25,6	1 137	52,1	m	1 187	0,0	0,0
1 088	43,3	25,7	1 138	44,1	m	1 188	0,0	0,0

Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé
s	%	%	s	%	%	s	%	%
1 189	0,0	0,0	1 239	58,5	85,4	1 289	61,9	76,1
1 190	0,0	0,0	1 240	59,5	85,6	1 290	65,6	73,7
1 191	0,0	0,0	1 241	61,0	86,6	1 291	69,9	79,3
1 192	0,0	0,0	1 242	62,6	86,8	1 292	74,1	81,3
1 193	0,0	0,0	1 243	64,1	87,6	1 293	78,3	83,2
1 194	0,0	0,0	1 244	65,4	87,5	1 294	82,6	86,0
1 195	0,0	0,0	1 245	66,7	87,8	1 295	87,0	89,5
1 196	0,0	20,4	1 246	68,1	43,5	1 296	91,2	90,8
1 197	12,6	41,2	1 247	55,2	0,0	1 297	95,3	45,9
1 198	27,3	20,4	1 248	42,3	37,2	1 298	81,0	0,0
1 199	40,4	7,6	1 249	43,0	73,6	1 299	66,6	38,2
1 200	46,1	m	1 250	43,5	65,1	1 300	67,9	75,5
1 201	44,6	m	1 251	43,8	53,1	1 301	68,4	80,5
1 202	42,7	14,7	1 252	43,9	54,6	1 302	69,0	85,5
1 203	42,9	7,3	1 253	43,9	41,2	1 303	70,0	85,2
1 204	36,1	0,0	1 254	43,8	34,8	1 304	71,6	85,9
1 205	29,3	15,0	1 255	43,6	30,3	1 305	73,3	86,2
1 206	43,8	22,6	1 256	43,3	21,9	1 306	74,8	86,5
1 207	54,9	9,9	1 257	42,8	19,9	1 307	76,3	42,9
1 208	44,9	0,0	1 258	42,3	m	1 308	63,3	0,0
1 209	34,9	47,4	1 259	41,4	m	1 309	50,4	21,2
1 210	42,7	82,7	1 260	40,2	m	1 310	50,6	42,3
1 211	52,0	81,2	1 261	38,7	m	1 311	50,6	53,7
1 212	61,8	82,7	1 262	37,1	m	1 312	50,4	90,1
1 213	71,3	39,1	1 263	35,6	m	1 313	50,5	97,1
1 214	58,1	0,0	1 264	34,2	m	1 314	51,0	100,0
1 215	44,9	42,5	1 265	32,9	m	1 315	51,9	100,0
1 216	46,3	83,3	1 266	31,8	m	1 316	52,6	100,0
1 217	46,8	74,1	1 267	30,7	m	1 317	52,8	32,4
1 218	48,1	75,7	1 268	29,6	m	1 318	47,7	0,0
1 219	50,5	75,8	1 269	40,4	0,0	1 319	42,6	27,4
1 220	53,6	76,7	1 270	51,2	m	1 320	42,1	53,5
1 221	56,9	77,1	1 271	49,6	m	1 321	41,8	44,5
1 222	60,2	78,7	1 272	48,0	m	1 322	41,4	41,1
1 223	63,7	78,0	1 273	46,4	m	1 323	41,0	21,0
1 224	67,2	79,6	1 274	45,0	m	1 324	40,3	0,0
1 225	70,7	80,9	1 275	43,6	m	1 325	39,3	1,0
1 226	74,1	81,1	1 276	42,3	m	1 326	38,3	15,2
1 227	77,5	83,6	1 277	41,0	m	1 327	37,6	57,8
1 228	80,8	85,6	1 278	39,6	m	1 328	37,3	73,2
1 229	84,1	81,6	1 279	38,3	m	1 329	37,3	59,8
1 230	87,4	88,3	1 280	37,1	m	1 330	37,4	52,2
1 231	90,5	91,9	1 281	35,9	m	1 331	37,4	16,9
1 232	93,5	94,1	1 282	34,6	m	1 332	37,1	34,3
1 233	96,8	96,6	1 283	33,0	m	1 333	36,7	51,9
1 234	100,0	m	1 284	31,1	m	1 334	36,2	25,3
1 235	96,0	m	1 285	29,2	m	1 335	35,6	m
1 236	81,9	m	1 286	43,3	0,0	1 336	34,6	m
1 237	68,1	m	1 287	57,4	32,8	1 337	33,2	m
1 238	58,1	84,7	1 288	59,9	65,4	1 338	31,6	m

Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé
s	%	%	s	%	%	s	%	%
1 339	30,1	m	1 389	50,4	50,2	1 439	36,3	98,8
1 340	28,8	m	1 390	53,0	26,1	1 440	37,7	100,0
1 341	28,0	29,5	1 391	59,5	0,0	1 441	39,2	100,0
1 342	28,6	100,0	1 392	66,2	38,4	1 442	40,9	100,0
1 343	28,8	97,3	1 393	66,4	76,7	1 443	42,4	99,5
1 344	28,8	73,4	1 394	67,6	100,0	1 444	43,8	98,7
1 345	29,6	56,9	1 395	68,4	76,6	1 445	45,4	97,3
1 346	30,3	91,7	1 396	68,2	47,2	1 446	47,0	96,6
1 347	31,0	90,5	1 397	69,0	81,4	1 447	47,8	96,2
1 348	31,8	81,7	1 398	69,7	40,6	1 448	48,8	96,3
1 349	32,6	79,5	1 399	54,7	0,0	1 449	50,5	95,1
1 350	33,5	86,9	1 400	39,8	19,9	1 450	51,0	95,9
1 351	34,6	100,0	1 401	36,3	40,0	1 451	52,0	94,3
1 352	35,6	78,7	1 402	36,7	59,4	1 452	52,6	94,6
1 353	36,4	50,5	1 403	36,6	77,5	1 453	53,0	65,5
1 354	37,0	57,0	1 404	36,8	94,3	1 454	53,2	0,0
1 355	37,3	69,1	1 405	36,8	100,0	1 455	53,2	m
1 356	37,6	49,5	1 406	36,4	100,0	1 456	52,6	m
1 357	37,8	44,4	1 407	36,3	79,7	1 457	52,1	m
1 358	37,8	43,4	1 408	36,7	49,5	1 458	51,8	m
1 359	37,8	34,8	1 409	36,6	39,3	1 459	51,3	m
1 360	37,6	24,0	1 410	37,3	62,8	1 460	50,7	m
1 361	37,2	m	1 411	38,1	73,4	1 461	50,7	m
1 362	36,3	m	1 412	39,0	72,9	1 462	49,8	m
1 363	35,1	m	1 413	40,2	72,0	1 463	49,4	m
1 364	33,7	m	1 414	41,5	71,2	1 464	49,3	m
1 365	32,4	m	1 415	42,9	77,3	1 465	49,1	m
1 366	31,1	m	1 416	44,4	76,6	1 466	49,1	m
1 367	29,9	m	1 417	45,4	43,1	1 467	49,1	8,3
1 368	28,7	m	1 418	45,3	53,9	1 468	48,9	16,8
1 369	29,0	58,6	1 419	45,1	64,8	1 469	48,8	21,3
1 370	29,7	88,5	1 420	46,5	74,2	1 470	49,1	22,1
1 371	31,0	86,3	1 421	47,7	75,2	1 471	49,4	26,3
1 372	31,8	43,4	1 422	48,1	75,5	1 472	49,8	39,2
1 373	31,7	m	1 423	48,6	75,8	1 473	50,4	83,4
1 374	29,9	m	1 424	48,9	76,3	1 474	51,4	90,6
1 375	40,2	0,0	1 425	49,9	75,5	1 475	52,3	93,8
1 376	50,4	m	1 426	50,4	75,2	1 476	53,3	94,0
1 377	47,9	m	1 427	51,1	74,6	1 477	54,2	94,1
1 378	45,0	m	1 428	51,9	75,0	1 478	54,9	94,3
1 379	43,0	m	1 429	52,7	37,2	1 479	55,7	94,6
1 380	40,6	m	1 430	41,6	0,0	1 480	56,1	94,9
1 381	55,5	0,0	1 431	30,4	36,6	1 481	56,3	86,2
1 382	70,4	41,7	1 432	30,5	73,2	1 482	56,2	64,1
1 383	73,4	83,2	1 433	30,3	81,6	1 483	56,0	46,1
1 384	74,0	83,7	1 434	30,4	89,3	1 484	56,2	33,4
1 385	74,9	41,7	1 435	31,5	90,4	1 485	56,5	23,6
1 386	60,0	0,0	1 436	32,7	88,5	1 486	56,3	18,6
1 387	45,1	41,6	1 437	33,7	97,2	1 487	55,7	16,2
1 388	47,7	84,2	1 438	35,2	99,7	1 488	56,0	15,9

Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé
s	%	%	s	%	%	s	%	%
1 489	55,9	21,8	1 539	57,0	59,5	1 589	56,8	42,9
1 490	55,8	20,9	1 540	56,7	57,0	1 590	56,5	42,8
1 491	55,4	18,4	1 541	56,7	69,8	1 591	56,7	43,2
1 492	55,7	25,1	1 542	56,8	58,5	1 592	56,5	42,8
1 493	56,0	27,7	1 543	56,8	47,2	1 593	56,9	42,2
1 494	55,8	22,4	1 544	57,0	38,5	1 594	56,5	43,1
1 495	56,1	20,0	1 545	57,0	32,8	1 595	56,5	42,9
1 496	55,7	17,4	1 546	56,8	30,2	1 596	56,7	42,7
1 497	55,9	20,9	1 547	57,0	27,0	1 597	56,6	41,5
1 498	56,0	22,9	1 548	56,9	26,2	1 598	56,9	41,8
1 499	56,0	21,1	1 549	56,7	26,2	1 599	56,6	41,9
1 500	55,1	19,2	1 550	57,0	26,6	1 600	56,7	42,6
1 501	55,6	24,2	1 551	56,7	27,8	1 601	56,7	42,6
1 502	55,4	25,6	1 552	56,7	29,7	1 602	56,7	41,5
1 503	55,7	24,7	1 553	56,8	32,1	1 603	56,7	42,2
1 504	55,9	24,0	1 554	56,5	34,9	1 604	56,5	42,2
1 505	55,4	23,5	1 555	56,6	34,9	1 605	56,8	41,9
1 506	55,7	30,9	1 556	56,3	35,8	1 606	56,5	42,0
1 507	55,4	42,5	1 557	56,6	36,6	1 607	56,7	42,1
1 508	55,3	25,8	1 558	56,2	37,6	1 608	56,4	41,9
1 509	55,4	1,3	1 559	56,6	38,2	1 609	56,7	42,9
1 510	55,0	m	1 560	56,2	37,9	1 610	56,7	41,8
1 511	54,4	m	1 561	56,6	37,5	1 611	56,7	41,9
1 512	54,2	m	1 562	56,4	36,7	1 612	56,8	42,0
1 513	53,5	m	1 563	56,5	34,8	1 613	56,7	41,5
1 514	52,4	m	1 564	56,5	35,8	1 614	56,6	41,9
1 515	51,8	m	1 565	56,5	36,2	1 615	56,8	41,6
1 516	50,7	m	1 566	56,5	36,7	1 616	56,6	41,6
1 517	49,9	m	1 567	56,7	37,8	1 617	56,9	42,0
1 518	49,1	m	1 568	56,7	37,8	1 618	56,7	40,7
1 519	47,7	m	1 569	56,6	36,6	1 619	56,7	39,3
1 520	47,3	m	1 570	56,8	36,1	1 620	56,5	41,4
1 521	46,9	m	1 571	56,5	36,8	1 621	56,4	44,9
1 522	46,9	m	1 572	56,9	35,9	1 622	56,8	45,2
1 523	47,2	m	1 573	56,7	35,0	1 623	56,6	43,6
1 524	47,8	m	1 574	56,5	36,0	1 624	56,8	42,2
1 525	48,2	0,0	1 575	56,4	36,5	1 625	56,5	42,3
1 526	48,8	23,0	1 576	56,5	38,0	1 626	56,5	44,4
1 527	49,1	67,9	1 577	56,5	39,9	1 627	56,9	45,1
1 528	49,4	73,7	1 578	56,4	42,1	1 628	56,4	45,0
1 529	49,8	75,0	1 579	56,5	47,0	1 629	56,7	46,3
1 530	50,4	75,8	1 580	56,4	48,0	1 630	56,7	45,5
1 531	51,4	73,9	1 581	56,1	49,1	1 631	56,8	45,0
1 532	52,3	72,2	1 582	56,4	48,9	1 632	56,7	44,9
1 533	53,3	71,2	1 583	56,4	48,2	1 633	56,6	45,2
1 534	54,6	71,2	1 584	56,5	48,3	1 634	56,8	46,0
1 535	55,4	68,7	1 585	56,5	47,9	1 635	56,5	46,6
1 536	56,7	67,0	1 586	56,6	46,8	1 636	56,6	48,3
1 537	57,2	64,6	1 587	56,6	46,2	1 637	56,4	48,6
1 538	57,3	61,9	1 588	56,5	44,4	1 638	56,6	50,3

Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé
s	%	%	s	%	%	s	%	%
1 639	56,3	51,9	1 689	57,6	8,9	1 739	56,1	46,8
1 640	56,5	54,1	1 690	57,5	8,0	1 740	56,1	45,8
1 641	56,3	54,9	1 691	57,5	5,8	1 741	56,2	46,0
1 642	56,4	55,0	1 692	57,3	5,8	1 742	56,3	45,9
1 643	56,4	56,2	1 693	57,6	5,5	1 743	56,3	45,9
1 644	56,2	58,6	1 694	57,3	4,5	1 744	56,2	44,6
1 645	56,2	59,1	1 695	57,2	3,2	1 745	56,2	46,0
1 646	56,2	62,5	1 696	57,2	3,1	1 746	56,4	46,2
1 647	56,4	62,8	1 697	57,3	4,9	1 747	55,8	m
1 648	56,0	64,7	1 698	57,3	4,2	1 748	55,5	m
1 649	56,4	65,6	1 699	56,9	5,5	1 749	55,0	m
1 650	56,2	67,7	1 700	57,1	5,1	1 750	54,1	m
1 651	55,9	68,9	1 701	57,0	5,2	1 751	54,0	m
1 652	56,1	68,9	1 702	56,9	5,5	1 752	53,3	m
1 653	55,8	69,5	1 703	56,6	5,4	1 753	52,6	m
1 654	56,0	69,8	1 704	57,1	6,1	1 754	51,8	m
1 655	56,2	69,3	1 705	56,7	5,7	1 755	50,7	m
1 656	56,2	69,8	1 706	56,8	5,8	1 756	49,9	m
1 657	56,4	69,2	1 707	57,0	6,1	1 757	49,1	m
1 658	56,3	68,7	1 708	56,7	5,9	1 758	47,7	m
1 659	56,2	69,4	1 709	57,0	6,6	1 759	46,8	m
1 660	56,2	69,5	1 710	56,9	6,4	1 760	45,7	m
1 661	56,2	70,0	1 711	56,7	6,7	1 761	44,8	m
1 662	56,4	69,7	1 712	56,9	6,9	1 762	43,9	m
1 663	56,2	70,2	1 713	56,8	5,6	1 763	42,9	m
1 664	56,4	70,5	1 714	56,6	5,1	1 764	41,5	m
1 665	56,1	70,5	1 715	56,6	6,5	1 765	39,5	m
1 666	56,5	69,7	1 716	56,5	10,0	1 766	36,7	m
1 667	56,2	69,3	1 717	56,6	12,4	1 767	33,8	m
1 668	56,5	70,9	1 718	56,5	14,5	1 768	31,0	m
1 669	56,4	70,8	1 719	56,6	16,3	1 769	40,0	0,0
1 670	56,3	71,1	1 720	56,3	18,1	1 770	49,1	m
1 671	56,4	71,0	1 721	56,6	20,7	1 771	46,2	m
1 672	56,7	68,6	1 722	56,1	22,6	1 772	43,1	m
1 673	56,8	68,6	1 723	56,3	25,8	1 773	39,9	m
1 674	56,6	68,0	1 724	56,4	27,7	1 774	36,6	m
1 675	56,8	65,1	1 725	56,0	29,7	1 775	33,6	m
1 676	56,9	60,9	1 726	56,1	32,6	1 776	30,5	m
1 677	57,1	57,4	1 727	55,9	34,9	1 777	42,8	0,0
1 678	57,1	54,3	1 728	55,9	36,4	1 778	55,2	m
1 679	57,0	48,6	1 729	56,0	39,2	1 779	49,9	m
1 680	57,4	44,1	1 730	55,9	41,4	1 780	44,0	m
1 681	57,4	40,2	1 731	55,5	44,2	1 781	37,6	m
1 682	57,6	36,9	1 732	55,9	46,4	1 782	47,2	0,0
1 683	57,5	34,2	1 733	55,8	48,3	1 783	56,8	m
1 684	57,4	31,1	1 734	55,6	49,1	1 784	47,5	m
1 685	57,5	25,9	1 735	55,8	49,3	1 785	42,9	m
1 686	57,5	20,7	1 736	55,9	47,7	1 786	31,6	m
1 687	57,6	16,4	1 737	55,9	47,4	1 787	25,8	m
1 688	57,6	12,4	1 738	55,8	46,9	1 788	19,9	m

Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé	Temps	Régime normalisé	Couple normalisé
s	%	%	s	%	%	s	%	%
1 789	14,0	m						
1 790	8,1	m						
1 791	2,2	m						
1 792	0,0	0,0						
1 793	0,0	0,0						
1 794	0,0	0,0						
1 795	0,0	0,0						
1 796	0,0	0,0						
1 797	0,0	0,0						
1 798	0,0	0,0						
1 799	0,0	0,0						
1 800	0,0	0,0						

m = entraînement par le banc.

Annexe4B – Appendice 2

CARBURANT DE RÉFÉRENCE GAZOLE

Caractéristique	Unité	Limites <u>1/</u>		Méthode d'essai <u>5/</u>	
		Min.	Max.		
Indice de cétane		52	54	ISO 5165	
Masse volumique à 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	833	837	ISO 3675	
Distillation:					
– point 50 % vol.	°C	245		ISO 3405	
– point 95 % vol.	°C	345	350		
– point d'ébullition final	°C		370		
Point d'éclair	°C	55		ISO 2719	
Température limite de filtrabilité	°C		-5	EN 116	
Viscosité cinématique à 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	2,3	3,3	ISO 3104	
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	% (m/m)	2,0	6,0	EN 12916	
Résidu de carbone Conradson (10 % DR)	% (m/m)		0,2	ISO 10370	
Teneur en cendres	% (m/m)		0,01	EN-ISO 6245	
Teneur en eau	% (m/m)		0,02	EN-ISO 12937	
Teneur en soufre	mg/kg		10	EN-ISO 14596	
Corrosion du cuivre à 50 °C			1	EN-ISO 2160	
Lubrifiante (essai HFRR à 60 °C)	µm		400	CEC F-06-A-96	
Indice de neutralisation	mg KOH/g		0,02		
<b>Stabilité à l'oxydation à 110 °C <u>2</u> <u>3/</u></b>	<b>h</b>	<b>20</b>		<b>EN 14112</b>	
<b>FAME (biodiesel) <u>4/</u></b>	<b>% v/v</b>	<b>4,5</b>	<b>5,5</b>	<b>EN 14078</b>	

1/ Les valeurs indiquées dans les caractéristiques sont les valeurs vraies. Lors de l'établissement des valeurs limites, les termes de la norme ISO 4259 "Produits pétroliers – détermination et application des données de précision relatives aux méthodes d'essai" ont été appliqués, et pour la fixation d'une valeur minimale la différence maximale de 2R par rapport à zéro a été prise en compte; pour la fixation d'une valeur maximale et d'une valeur minimale, la différence minimale a été prise comme égale à 4R (R = reproductibilité).

Nonobstant cette mesure, nécessaire pour des raisons statistiques, le fabricant d'un carburant devrait tendre vers une valeur zéro lorsque la valeur maximale stipulée est de 2R et une valeur moyenne lorsque des limites maximale et minimale sont spécifiées. S'il était nécessaire de vérifier le respect des caractéristiques prescrites, les termes de la norme ISO 4259 devraient être appliqués.

**2/ Malgré les mesures prises pour assurer la stabilité à l'oxydation, il est vraisemblable que la durée de conservation des produits sera limitée. Des conseils devraient être demandés au fournisseur quant aux conditions de stockage et à la durée de conservation.**

**3/ La stabilité à l'oxydation peut être démontrée conformément à la norme EN-ISO 12205 ou EN 14112. Cette prescription sera révisée sur la base d'évaluations du CEN/TC19 sur les performances de stabilité à l'oxydation et les limites d'essai.**

**4/ Qualité FAME conformément à la norme EN 14214 (ASTM D 6751).**

**5/ La version la plus récente de la méthode d'essai s'applique.**

Annexe 4B – Appendice 3  
APPAREILLAGE DE MESURE

**A.3.1** Cette annexe contient les prescriptions de base et une description générale concernant les systèmes de prélèvement et d'analyse utilisés pour mesurer les émissions gazeuses et les émissions de particules. Des configurations différentes peuvent permettre d'obtenir des résultats équivalents, et la stricte conformité aux figures de la présente annexe n'est donc pas exigée. Des éléments additionnels tels qu'appareils de mesure, robinets, électrovannes, pompes, régulateurs de débit et interrupteurs peuvent être utilisés pour la collecte d'informations supplémentaires et pour coordonner les fonctions du système. D'autres éléments qui, dans certains systèmes, ne sont pas nécessaires pour garantir la justesse des mesures peuvent être omis si cela est compatible avec les principes techniques reconnus.

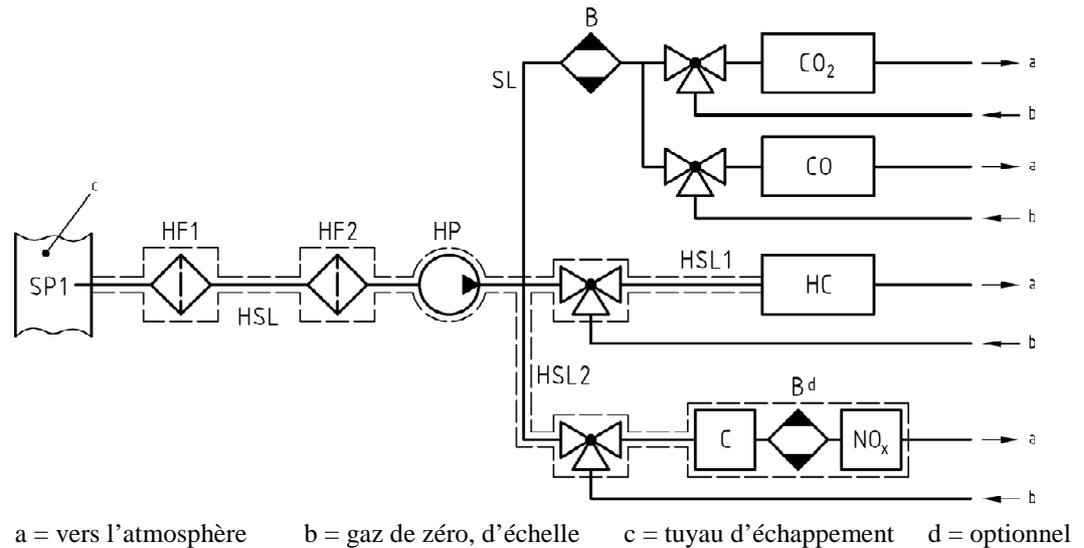
**A.3.1.1** Système d'analyse

**A.3.1.2** Description du système d'analyse

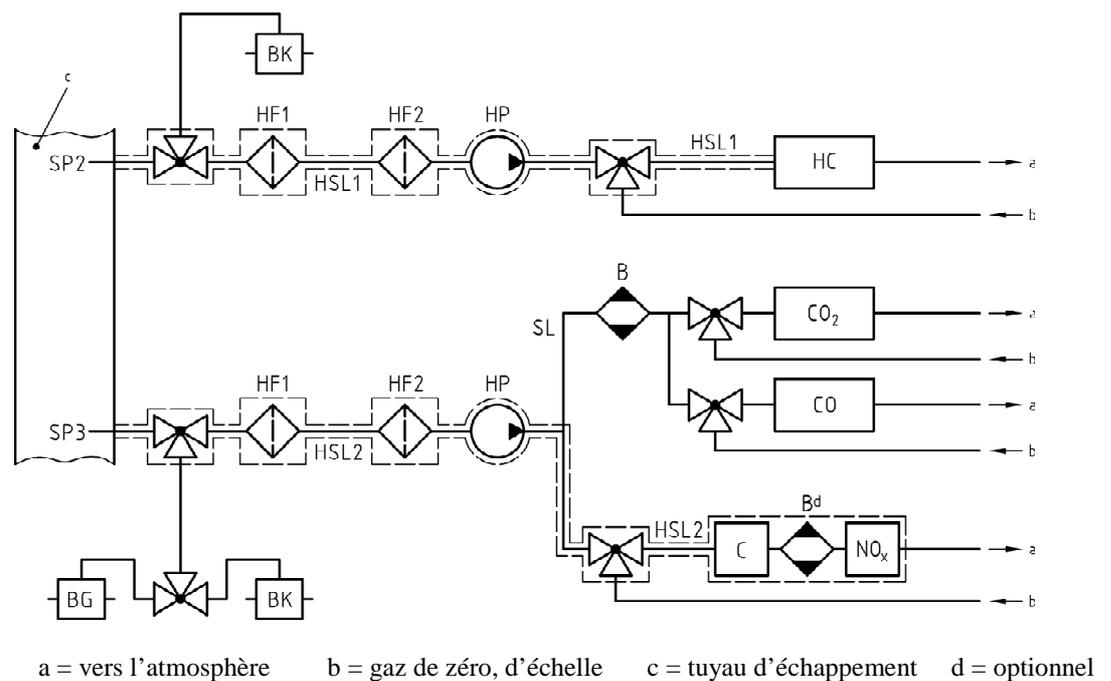
Le système d'analyse pour la mesure des émissions gazeuses dans les gaz d'échappement bruts (fig. 9) ou dans les gaz d'échappement dilués (fig. 10) décrit ici utilise:

- a) un analyseur HFID ou FID pour la mesure des hydrocarbures;
- b) des analyseurs NDIR pour la mesure du monoxyde de carbone et du dioxyde de carbone;
- c) un analyseur HCLD ou CLD pour la mesure des oxydes d'azote.

L'échantillon pour tous les constituants doit être prélevé avec une seule sonde et subdivisé plus en aval entre les différents analyseurs. À titre de variante, deux sondes de prélèvement placées très près l'une de l'autre peuvent être utilisées. Des précautions doivent être prises pour éviter toute condensation des constituants des gaz d'échappement (y compris l'eau et l'acide sulfurique) en un point quelconque du système d'analyse.



**Figure 9.** Schéma de principe du système d'analyse des gaz d'échappement bruts pour la mesure du CO, du CO<sub>2</sub>, des NO<sub>x</sub> et des HC



**Figure 10.** Schéma de principe du système d'analyse des gaz d'échappement dilués pour la mesure du CO, du CO<sub>2</sub>, des NO<sub>x</sub> et des HC

## A.3.1.3 Éléments des figures 9 et 10

EP Tuyau d'échappement

SP1 Sonde de prélèvement des gaz d'échappement bruts (fig. 9 seulement)

L'utilisation d'une sonde droite à bout fermé et à trous multiples en acier inoxydable est recommandée. Son diamètre intérieur ne doit pas être supérieur au diamètre intérieur de la tuyauterie de prélèvement. L'épaisseur de paroi de la sonde ne doit pas dépasser 1 mm. Elle doit comporter un minimum de trois trous situés dans trois plans radiaux différents, et de dimension telle qu'ils prélèvent sensiblement le même débit. La sonde doit couvrir au moins 80 % du diamètre du tuyau d'échappement. Il peut y avoir une ou deux sondes de prélèvement.

SP2 Sonde de prélèvement des gaz d'échappement dilués pour la mesure des HC (fig. 10 seulement)

La sonde:

- a) doit former la première section, longue de 254 mm à 762 mm, de la ligne de prélèvement chauffée HSL1;
- b) doit avoir un diamètre intérieur minimal de 5 mm;
- c) doit être installée dans le tunnel de dilution DT (voir fig. 15) en un point où l'air de dilution et les gaz d'échappement sont intimement mélangés (c'est-à-dire approximativement à une distance de 10 diamètres du tunnel en aval du point où les gaz d'échappement entrent dans celui-ci);
- d) doit être suffisamment éloignée (radialement) des autres sondes et de la paroi du tunnel pour ne pas subir d'effet de sillage ou de turbulence;
- e) doit être chauffée de manière à ce que la température du courant de gaz soit portée à  $463 \pm 10$  K ( $190 \pm 10$  °C) à la sortie de la sonde, ou à  $385 \pm 10$  K ( $112 \pm 10$  °C) pour les moteurs à allumage commandé;
- f) ne doit pas être chauffée dans le cas de la mesure avec un analyseur FID (à froid).

SP3 Sonde de prélèvement des gaz d'échappement dilués pour la mesure du CO, du CO<sub>2</sub> et des NO<sub>x</sub> (fig. 10 seulement)

La sonde:

- a) doit être située dans le même plan que SP2;
- b) doit être suffisamment éloignée (radialement) des autres sondes et de la paroi du tunnel pour ne pas subir d'effet de sillage ou de turbulence;

- c) doit être chauffée et isolée sur toute sa longueur pour être maintenue à une température minimale de 328 K (55 °C) de manière à éviter toute condensation d'eau.

HF1 Préfiltre chauffé (optionnel)

Il doit être à la même température que HSL1.

HF2 Filtre chauffé

Il extrait les particules solides éventuellement présentes dans l'échantillon de gaz avant l'entrée dans l'analyseur. Il doit être maintenu à la même température que HSL1. Il doit être changé dès que nécessaire.

HSL1 Tuyauterie de prélèvement chauffée

La tuyauterie de prélèvement transmet un échantillon de gaz d'une sonde individuelle au ou aux points de répartition et à l'analyseur de HC.

La tuyauterie de prélèvement:

- a) doit avoir un diamètre intérieur de 4 mm au minimum et de 13,5 mm au maximum;
- b) doit être en acier inoxydable ou en PTFE;
- c) doit être maintenue à une température de paroi de  $463 \pm 10$  K ( $190 \pm 10$  °C), mesurée au droit de chaque section à chauffage réglé séparément, si la température des gaz d'échappement à la sonde de prélèvement est égale ou inférieure à 463 K (190 °C);
- d) doit être maintenue à une température de paroi supérieure à 453 K (180 °C) si la température des gaz d'échappement à la sonde de prélèvement est supérieure à 463 K (190 °C);
- e) doit maintenir une température des gaz de  $463 \pm 10$  K ( $190 \pm 10$  °C) immédiatement en amont du filtre chauffé HF2 et de l'analyseur HFID.

HSL2 Tuyauterie de prélèvement chauffée pour les NO<sub>x</sub>

La tuyauterie de prélèvement:

- a) doit être maintenue à une température de paroi de 328 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;
- b) doit être en acier inoxydable ou en PTFE.

HP Pompe de prélèvement chauffée

La pompe doit être maintenue à la même température que HSL.

SL Tuyauterie de prélèvement pour le CO et le CO<sub>2</sub>

La tuyauterie doit être en PTFE ou en acier inoxydable. Elle peut être chauffée ou non.

HC Analyseur HFID

Détecteur à ionisation de flamme chauffé (HFID) ou non chauffé (FID) pour la mesure des hydrocarbures. L'analyseur HFID doit être maintenu à une température de 453 à 473 K (180 à 200 °C).

CO, CO<sub>2</sub> Analyseurs NDIR

Analyseurs NDIR pour la mesure du monoxyde de carbone et du dioxyde de carbone (optionnel pour la détermination du taux de dilution pour la mesure des particules).

NO<sub>x</sub> Analyseur CLD **ou** analyseur NDUV

**Analyseur CLD, HCLD ou NDUV** pour la mesure des oxydes d'azote. Si un analyseur HCLD est utilisé, il doit être maintenu à une température de 328 à 473 K (55 à 200 °C).

B **Sécheur d'échantillon** (facultatif pour la mesure de NO)

Celui-ci refroidit et condense l'eau pour l'extraire de l'échantillon de gaz d'échappement. Il est optionnel si l'analyseur ne présente pas d'interaction avec la vapeur d'eau comme défini au paragraphe 9.3.9.2.2. Si l'eau est extraite par condensation, la température ou le point de rosée de l'échantillon de gaz doivent être contrôlés soit dans le séparateur même, soit en aval. La température ou le point de rosée des gaz ne doit pas dépasser 280 K (7 °C). Les dessiccateurs chimiques ne sont pas autorisés pour l'extraction de l'eau de l'échantillon.

BK Sac de collecte pour la mesure des concentrations ambiantes (optionnel; fig. 10 seulement)

Servant au prélèvement pour la mesure des concentrations ambiantes.

BG Sac de collecte (optionnel; fig. 10 seulement)

Servant au prélèvement de l'échantillon proprement dit.

#### A.3.1.4 Méthode du convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques (NMC)

Le convertisseur oxyde tous les hydrocarbures sauf le CH<sub>4</sub> en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O, de telle manière qu'après passage de l'échantillon dans le convertisseur, seul le CH<sub>4</sub> soit

délectable par l'analyseur HFID. Outre le système normal de prélèvement des HC (voir fig. 9 et 10), il doit être installé un deuxième système de prélèvement des HC comportant un convertisseur, comme illustré à la figure 11. On peut ainsi mesurer simultanément les HC totaux, le  $\text{CH}_4$  et les HCNM.

Le convertisseur doit être étalonné à une température égale ou supérieure à 600 K (327 °C) avant les essais réels en ce qui concerne son effet catalytique sur le  $\text{CH}_4$  et le  $\text{C}_2\text{H}_6$  à des valeurs de  $\text{H}_2\text{O}$  représentatives du courant de gaz d'échappement. Le point de rosée et la teneur en  $\text{O}_2$  des gaz d'échappement prélevés doivent être connus. La réponse relative de l'analyseur FID pour  $\text{CH}_4$  et pour  $\text{C}_2\text{H}_6$  doit être déterminée conformément au paragraphe 9.3.8.

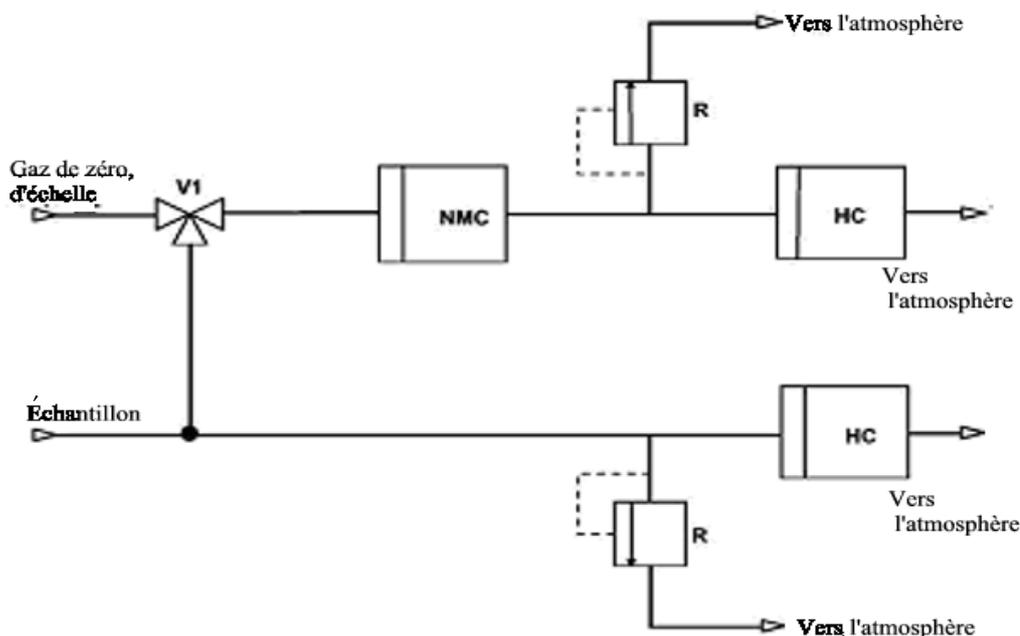


Figure 11. Schéma de principe du système de mesure du méthane avec convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques (NMC)

#### A.3.1.5 Éléments de la figure 11

NMC Convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques

Servant à oxyder tous les hydrocarbures à l'exception du méthane.

HC Analyseur (H)FID

Détecteur à ionisation de flamme chauffé (HFID) ou non chauffé (FID) servant à mesurer les concentrations de HC et de  $\text{CH}_4$ . Sa température doit être maintenue à 453-473 K (180-200 °C).

V1 Robinet de sélection

Servant à sélectionner l'échantillon, le gaz de zéro et le gaz d'échelle.

## R Régulateur de pression

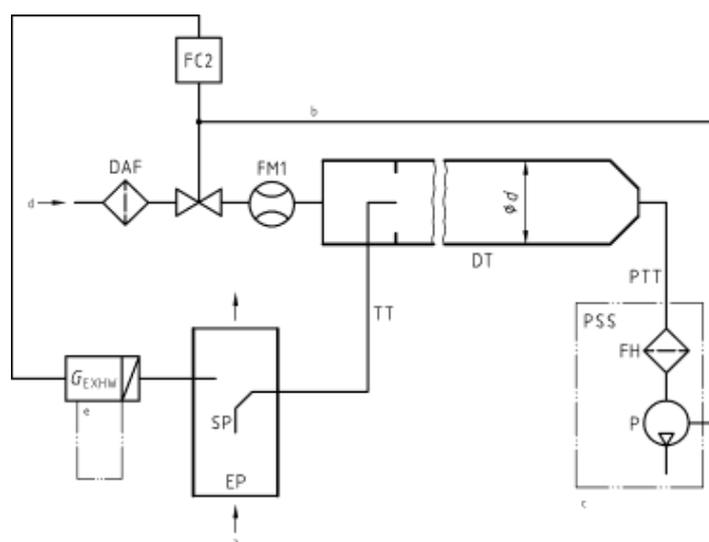
Servant à régler la pression dans la tuyauterie de prélèvement et le débit vers l'analyseur HFID.

### A.3.2 Système de dilution et de collecte des particules

#### A.3.2.1 Système de dilution du flux partiel

Les figures décrivent un système de dilution fonctionnant par dilution d'une partie du flux de gaz d'échappement. La division de ce courant et la dilution ultérieure peuvent être effectuées au moyen de différents systèmes. Pour l'opération ultérieure de collecte des particules, on peut faire passer dans le système de prélèvement le flux total ou une fraction seulement du flux de gaz d'échappement dilués. La première méthode est appelée "prélèvement total", la deuxième "prélèvement partiel". Le calcul du taux de dilution dépend du type de système utilisé.

Dans le système à prélèvement total décrit à la figure 12, les gaz d'échappement non dilués sont prélevés dans le tuyau d'échappement (EP) par la sonde (SP) et acheminés jusqu'au tunnel de dilution (DT) par le tube de transfert (TT). Le débit total traversant le tunnel est réglé au moyen du régulateur de débit FC2 et de la pompe de prélèvement (P) du système de collecte des particules (voir fig. 16). Le débit d'air de dilution est réglé par le régulateur de débit FC1, qui peut être commandé par les signaux de mesure  $q_{mew}$ ,  $q_{maw}$ , ou  $q_{mf}$  de manière à obtenir le rapport de division voulu des gaz d'échappement. Le débit de l'échantillon en DT est égal à la différence entre le débit total et le débit d'air de dilution. Le débit d'air de dilution est mesuré avec le débitmètre FM1, le débit total de gaz avec le débitmètre FM3 du système de collecte des particules (voir fig. 16). Le taux de dilution est calculé à partir de ces deux débits.



a = gaz d'échappement    b = optionnel    c = installation détaillée, voir fig. 16

**Figure 12.** Système à dilution du flux partiel (prélèvement total)

Dans le système à prélèvement partiel décrit à la figure 13, les gaz d'échappement non dilués sont prélevés dans le tuyau d'échappement (EP) par la sonde (SP) et acheminés jusqu'au tunnel de dilution (DT) par le tube de transfert (TT). Le débit total traversant le tunnel est réglé par le régulateur de débit FC1 commandant soit le débit d'air de dilution, soit le ventilateur aspirant agissant sur le débit total dans le tunnel. Le régulateur de débit FC1 peut être commandé par les signaux de mesure  $q_{mew}$ ,  $q_{maw}$ , ou  $q_{mf}$  de manière à obtenir le rapport de division voulu des gaz d'échappement. Le débit de l'échantillon en DT est égal à la différence entre le débit total et le débit d'air de dilution. Le débit d'air de dilution est mesuré avec le débitmètre FM1, le débit total de gaz avec le débitmètre FM2. Le taux de dilution est calculé à partir de ces deux débits. À partir de DT, un échantillon de particules est prélevé par le système de collecte des particules (voir fig. 16).

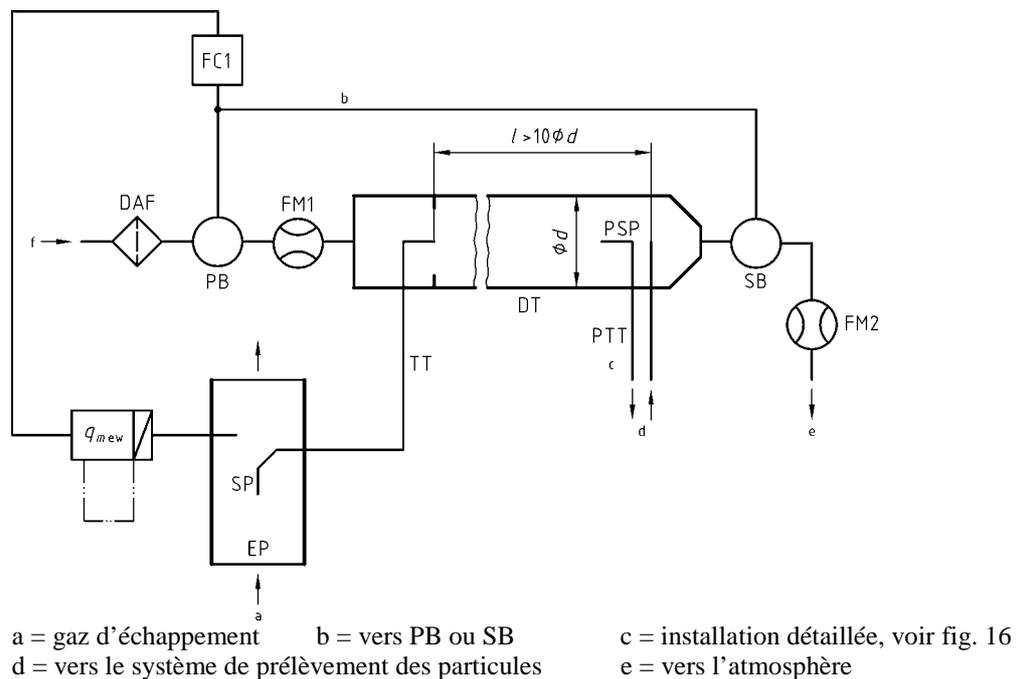


Figure 13. Schéma du système à dilution du flux partiel (prélèvement partiel)

### A.3.2.2 Éléments des figures 12 et 13

EP      Tuyau d'échappement

Le tuyau d'échappement peut être isolé. Pour réduire l'inertie thermique du tuyau d'échappement, un rapport épaisseur de paroi/diamètre ne dépassant pas 0,015 est recommandé. L'utilisation de sections flexibles doit être limitée à un rapport longueur/diamètre de 12. Les courbures doivent être aussi réduites que possible pour réduire les effets de dépôt par inertie. Si le système inclut un silencieux faisant partie du banc d'essai, le silencieux peut aussi être isolé. Il est recommandé d'utiliser un tuyau d'échappement droit sur une longueur de 6 diamètres du tuyau vers l'amont et 3 diamètres vers l'aval par rapport à l'extrémité de la sonde.

SP Sonde de prélèvement

La sonde doit être de l'un des types suivants:

- a) à tube ouvert à l'extrémité, orienté vers l'amont, placé sur l'axe médian du tuyau d'échappement;
- b) à tube ouvert orienté vers l'aval, placé sur l'axe médian du tuyau d'échappement;
- c) à trous multiples comme décrit sous le point SP au paragraphe A.3.1.3;
- d) à chapeau conique orienté vers l'amont, placé sur l'axe médian du tuyau d'échappement, comme représenté à la figure 14.

Le diamètre intérieur minimal de l'extrémité de la sonde doit être de 4 mm.  
Le rapport entre le diamètre de la sonde et celui du tuyau d'échappement doit être au minimum de 4.

Si l'on utilise une sonde de type a), un séparateur primaire à inertie ou centrifuge (type pot à poussière ou cyclone) ayant un point de coupure à 50 % compris entre 2,5 et 10  $\mu\text{m}$  doit être installé immédiatement en amont du porte-filtre.

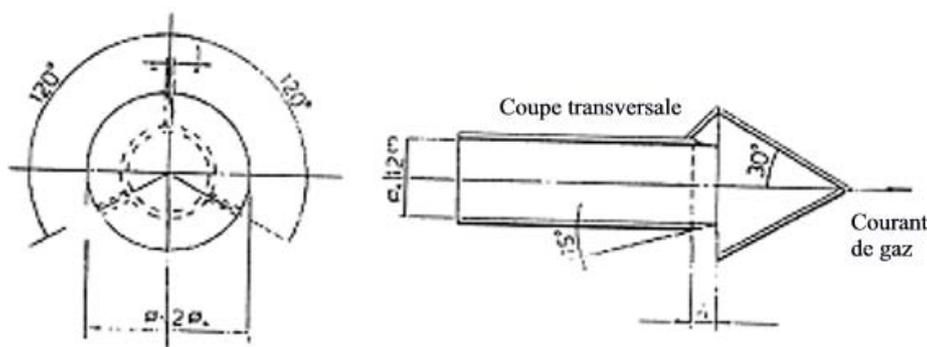


Figure 14. Schéma d'une sonde à chapeau conique

TT Tube de transfert des gaz d'échappement

**Le tube de transfert doit être aussi court que possible, mais:**

- a) **sa longueur ne doit pas dépasser 0,26 m, s'il est isolé sur 80 % de sa longueur totale, mesurée entre l'extrémité de la sonde et l'étage de dilution;**

**ou**

- b) sa longueur ne doit pas dépasser 1 m, s'il est chauffé à plus de 150 °C sur 90 % de sa longueur totale, mesurée entre l'extrémité de la sonde et l'étage de dilution.**

**Il doit avoir un diamètre intérieur égal ou supérieur au diamètre de la sonde, mais qui ne doit pas dépasser 25 mm, et avoir sa sortie située sur l'axe médian du tunnel de dilution et orientée vers l'aval.**

**Dans le cas a), l'isolation doit être d'un matériau ayant une conductivité thermique maximale de 0,05 W/mK, l'épaisseur radiale d'isolant devant être égale au diamètre de la sonde.**

**FC1 Régulateur de débit**

Un régulateur de débit doit être utilisé pour régler le débit du ventilateur soufflant PB et/ou du ventilateur aspirant SB. Il peut être asservi aux signaux de débit de gaz d'échappement mentionnés au paragraphe 8.4.1. Il peut être installé en amont ou en aval du ventilateur respectif réglé. Dans le cas de l'utilisation d'une alimentation en air sous pression, FC1 agit directement sur le débit d'air.

**FM1 Débitmètre**

Compteur à gaz ou autre appareil de mesure du débit d'air de dilution. Le débitmètre FM1 est facultatif si le ventilateur soufflant PB est étalonné pour la mesure du débit.

**DAF Filtre à gaz diluant**

**Le gaz diluant (air ambiant, air synthétique, ou azote) doit être filtré avec un filtre à particules à haut rendement ayant un taux de collecte initial minimum de 99,97 % conformément à la norme EN 1822-1 (filtre de la classe H<sub>14</sub> ou supérieur), ASTM F 1471-93 ou une norme équivalente.**

**FM2 Débitmètre (prélèvement partiel, fig. 13 seulement)**

Compteur à gaz ou autre appareil de mesure du débit de gaz d'échappement dilués. Le débitmètre FM2 est facultatif si le ventilateur aspirant SB est étalonné pour la mesure du débit.

**PB Ventilateur soufflant (prélèvement partiel, fig. 13 seulement)**

Pour le réglage du débit d'air de dilution, on peut utiliser un ventilateur soufflant PB raccordé au régulateur de débit FC1 ou FC2. Le ventilateur PB n'est pas nécessaire si l'on utilise une vanne papillon. PB peut servir à mesurer le débit d'air de dilution s'il est étalonné.

SB Ventilateur aspirant (prélèvement partiel, fig. 13 seulement)

Le ventilateur SB peut être utilisé pour mesurer le débit de gaz d'échappement dilués s'il est étalonné.

DT Tunnel de dilution (**flux partiel**)

Le tunnel de dilution:

- a) doit avoir une longueur suffisante pour réaliser le brassage parfait des gaz d'échappement et de l'air de dilution dans des conditions d'écoulement turbulent (**nombre de Reynolds  $Re$  supérieur à 4 000, où  $Re$  est fondé sur le diamètre intérieur du tunnel de dilution**) dans le cas d'un système à prélèvement partiel (le brassage parfait n'est pas nécessaire pour un système à prélèvement total);
- b) doit être en acier inoxydable;
- c) peut être chauffé à une température de paroi ne dépassant pas 325 K (52 °C);
- d) peut être isolé.

PSP Sonde de prélèvement des particules (prélèvement partiel, fig. 13 seulement)

La sonde, qui forme la section d'entrée du tube de transfert des particules PTT (voir par. **A.3.2.6**):

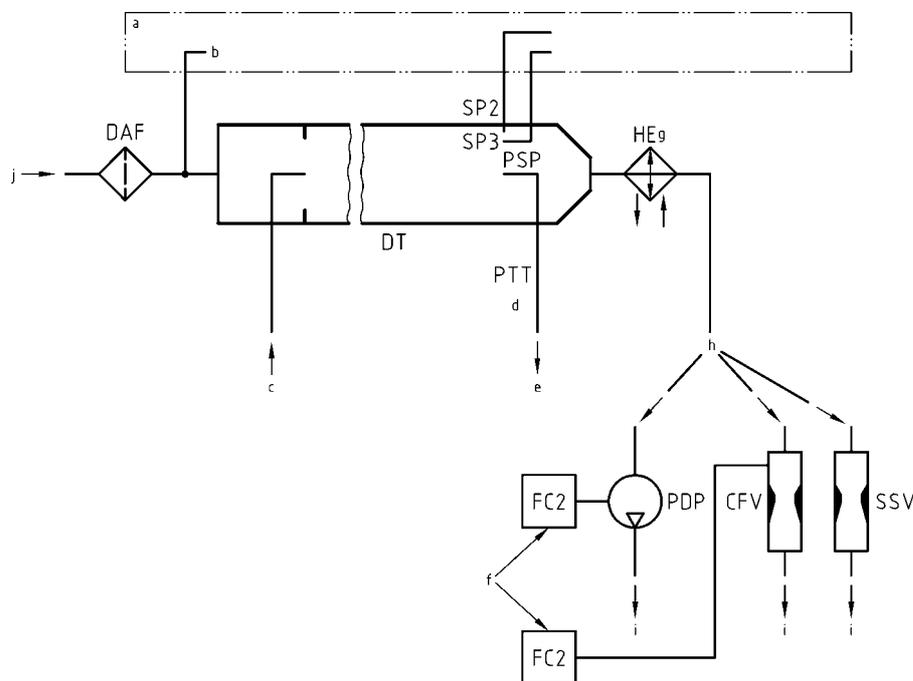
- a) doit être installée ouverture vers l'amont en un point où l'air de dilution et les gaz d'échappement sont intimement mélangés, c'est-à-dire sur l'axe médian du tunnel de dilution DT, approximativement à 10 diamètres de tunnel en aval du point où les gaz d'échappement entrent dans le tunnel de dilution;
- b) doit avoir un diamètre intérieur minimal de **8 mm**;
- c) peut être chauffée à une température de paroi ne dépassant pas 325 K (52 °C), soit par chauffage direct, soit par préchauffage de l'air de dilution, étant entendu que la température de l'air ne doit pas dépasser 325 K (52 °C) avant l'introduction des gaz d'échappement dans le tunnel de dilution;
- d) peut être isolée.

### **A.3.2.3** Description du système de dilution du flux total

La figure 15 décrit un système de dilution du flux total de gaz d'échappement dans le tunnel de dilution DT conformément au principe du prélèvement à volume constant (CVS).

Le débit de gaz d'échappement dilués doit être mesuré avec une pompe volumétrique (PDP), un venturi-tuyère en régime critique (CFV) ou un venturi subsonique (SSV). Un échangeur de chaleur (HE) ou un compensateur électronique de débit (EFC) peuvent être utilisés pour assurer un prélèvement proportionnel des particules et pour la détermination du débit. Étant donné que la détermination de la masse de particules se fait à partir du débit total de gaz d'échappement dilués, il n'est pas nécessaire de calculer le taux de dilution.

Pour la mesure ultérieure des particules, un échantillon des gaz d'échappement dilués est acheminé vers le système de prélèvement des particules à double dilution (voir fig. 17). Bien qu'il s'agisse en partie d'un système de dilution, le système à double dilution est traité comme modification d'un système de prélèvement des particules car la plupart de ses éléments sont communs à un système normal de prélèvement des particules.



a = analyseur    b = air ambiant    c = gaz d'échappement    d = installation détaillée, voir fig. 17  
e = vers le système à double dilution    f = si un compensateur électronique de débit est utilisé  
g = optionnel    h = variantes

**Figure 15.** Schéma du système de dilution du flux total (CVS)

#### A.3.2.4 Éléments de la figure 15

EP            Tuyau d'échappement

La longueur du tuyau d'échappement depuis la sortie du collecteur d'échappement du moteur, du turbocompresseur ou du dispositif de traitement aval, jusqu'au tunnel de dilution ne doit pas dépasser 10 m. Si le tuyau d'échappement en aval du collecteur d'échappement du moteur, de la sortie du turbocompresseur ou du

dispositif de traitement aval a une longueur supérieure à 4 m, toute la tuyauterie située au-delà de cette longueur doit être isolée, sauf dans le cas d'un opacimètre monté dans la ligne d'échappement, si celui-ci est utilisé. La couche d'isolation doit avoir une épaisseur radiale d'au moins 25 mm. La conductivité thermique du matériau isolant doit avoir une valeur n'excédant pas 0,1 W/mK, mesurée à 673 K. Afin de réduire l'inertie thermique du tuyau d'échappement, il est recommandé que le rapport épaisseur de paroi/diamètre soit égal ou inférieur à 0,015. L'utilisation de sections flexibles doit être limitée à des rapports longueur/diamètre ne dépassant pas 12.

#### PDP Pompe volumétrique

La pompe volumétrique PDP sert à mesurer le débit total de gaz d'échappement dilués à partir du nombre de tours de la pompe et de son déplacement. La contre-pression d'échappement du moteur ne doit pas être artificiellement abaissée par la PDP ou par le système d'admission d'air de dilution. La contre-pression statique d'échappement lorsque le système de pompe volumétrique fonctionne ne doit pas s'écarter de plus de  $\pm 1,5$  kPa de la pression statique mesurée lorsque le système n'est pas raccordé à la pompe volumétrique pour un même régime et une même charge moteur. La température du mélange de gaz immédiatement en amont de la pompe PDP doit être égale à  $\pm 6$  K près à la température moyenne de fonctionnement observée au cours de l'essai lorsqu'il n'est pas utilisé de compensation du débit. La compensation du débit est seulement admise si la température à l'entrée de la pompe PDP ne dépasse pas 323 K (50 °C).

#### CFV Venturi-tuyère en régime critique

Le venturi CFV mesure le débit total de gaz d'échappement dilués en maintenant le débit en régime critique. La contre-pression statique d'échappement mesurée lorsque le système CFV fonctionne ne doit pas s'écarter de plus de  $\pm 1,5$  kPa de la pression statique mesurée lorsque le système CFV n'est pas raccordé pour un même régime et une même charge moteur. La température du mélange de gaz immédiatement en amont du venturi CFV doit être égale à  $\pm 11$  K près à la température moyenne de fonctionnement observée pendant l'essai lorsqu'il n'est pas utilisé de compensation du débit.

#### SSV Venturi subsonique

Le venturi subsonique SSV mesure le débit total de gaz d'échappement dilués à partir de la fonction de débit de gaz d'un venturi subsonique selon la pression et la température d'entrée et la chute de pression entre l'entrée et le col du venturi. La contre-pression statique d'échappement mesurée lorsque le système SSV fonctionne ne doit pas s'écarter de plus de  $\pm 1,5$  kPa de la pression statique mesurée lorsque le système SSV n'est pas raccordé pour un même régime et une même charge moteur. La température du mélange de gaz immédiatement en amont du venturi SSV doit être égale à  $\pm 11$  K près à la température moyenne de fonctionnement observée pendant l'essai lorsqu'il n'est pas utilisé de compensation du débit.

HE Échangeur de chaleur (optionnel)

L'échangeur de chaleur doit avoir une capacité suffisante pour maintenir la température dans les limites fixées ci-dessus. Il n'est pas nécessaire si EFC est utilisé.

EFC Système électronique de compensation du débit (optionnel)

S'il n'est pas possible de maintenir la température à l'entrée de la pompe volumétrique PDP, du venturi en régime critique CFV ou du venturi subsonique SSV dans les limites indiquées ci-dessus, il doit être utilisé un système électronique de compensation du débit permettant la mesure continue du débit et le maintien du prélèvement d'un échantillon proportionnel dans le système double dilution. À cette fin, les signaux de débit mesurés en continu sont appliqués pour maintenir la proportionnalité du débit de gaz prélevé passant par les filtres à particules du système de double dilution (voir fig. 17) dans une fourchette de  $\pm 2,5$  %.

DT Tunnel de dilution (**flux total**)

Le tunnel de dilution:

- a) doit avoir un diamètre intérieur suffisamment petit pour produire un écoulement turbulent (**nombre de Reynolds  $Re$  supérieur à 4 000, où  $Re$  est fondé sur le diamètre intérieur du tunnel de dilution**) et une longueur suffisante pour permettre le brassage parfait des gaz d'échappement et de l'air de dilution;
- b) **peut être isolé;**
- c) **peut être chauffé jusqu'à une température de paroi suffisante pour éliminer la condensation d'eau.**

Le courant de gaz d'échappement doit être dirigé vers l'aval au point où il est introduit dans le tunnel de dilution et les gaz doivent être intimement mélangés avec l'air de dilution. Il peut être utilisé un ajutage mélangeur.

Pour le système à double dilution, un échantillon prélevé dans le tunnel de dilution est envoyé dans le tunnel de dilution secondaire où il est dilué à nouveau, puis acheminé jusqu'aux filtres de collecte (**fig. 17**). **Le système de dilution secondaire** doit fournir une quantité suffisante d'air de dilution pour permettre de maintenir les gaz d'échappement doublement dilués à une température comprise entre 315 et 325 K (42 et 52 °C) immédiatement avant le filtre à particules.

DAF Filtre à gaz diluant

**Le gaz diluant (air ambiant, air synthétique, ou azote) doit être filtré avec un filtre à particules à haut rendement ayant un taux de collecte initial minimum de 99,97 % conformément à la norme EN 1822-1 (filtre de la classe H14 ou supérieur), ASTM F 1471-93 ou norme équivalente.**

**PSP**      Sonde de prélèvement des particules

La sonde, qui forme la section d'entrée du tube de transfert des particules PTT:

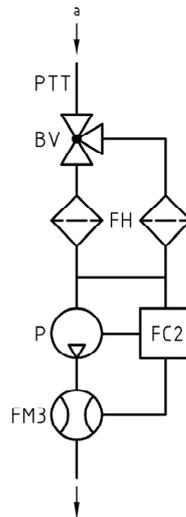
- a) doit être installée ouverture vers l'amont en un point où l'air de dilution et les gaz d'échappement sont intimement mélangés, c'est-à-dire sur l'axe médian du tunnel de dilution DT, approximativement à 10 diamètres de tunnel en aval du point où les gaz d'échappement entrent dans le tunnel de dilution;
- b) doit avoir un diamètre intérieur minimal de **8 mm**;
- c) peut être chauffée à une température de paroi ne dépassant pas 325 K (52 °C), soit par chauffage direct, soit par préchauffage de l'air de dilution, étant entendu que la température de ce dernier ne doit pas dépasser 325 K (52 °C) avant l'introduction des gaz d'échappement dans le tunnel de dilution;
- d) peut être isolée.

**A.3.2.5**      Système de prélèvement des particules

Le système de prélèvement des particules décrit dans les figures 16 et 17 comprend les éléments nécessaires pour la collecte des particules sur les filtres à particules. Dans le cas d'un système à dilution du flux partiel à prélèvement total, dans lequel tout l'échantillon de gaz dilués traverse les filtres, le système de dilution et le système de prélèvement forment en général une seule unité (voir fig. 12). Dans le cas des systèmes à dilution du flux partiel à prélèvement partiel ou à dilution du flux total, dans lesquels on fait passer à travers les filtres une partie seulement des gaz d'échappement dilués, le système de dilution et le système de prélèvement forment en général des entités séparées.

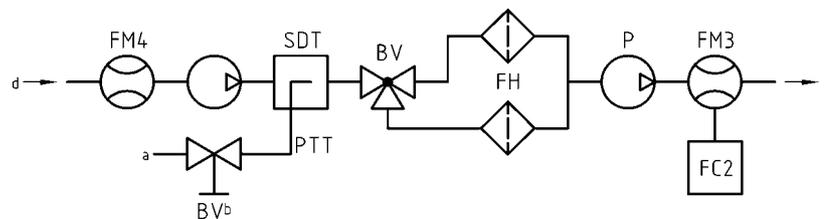
Dans le cas d'un système à dilution du flux partiel, un échantillon de gaz d'échappement dilués est prélevé dans le tunnel de dilution DT par l'intermédiaire de la sonde PSP et du tube de transfert des particules PTT au moyen de la pompe de prélèvement P, comme représenté à la figure 16. L'échantillon traverse le ou les porte-filtres FH qui contiennent les filtres à particules. Le débit de gaz prélevés est réglé par le régulateur de débit FC3.

Dans le cas d'un système à dilution du flux total, il est utilisé un système de prélèvement des particules à double dilution comme décrit à la figure 17. Un échantillon de gaz d'échappement dilués est prélevé dans le tunnel de dilution DT par l'intermédiaire de la sonde de prélèvement PSP et du tube de transfert des particules PTT et envoyé dans le tunnel de dilution secondaire SDT, où il est dilué une seconde fois. L'échantillon passe ensuite par le ou les porte-filtres FH qui contiennent les filtres de collecte des particules. En général, le débit d'air de dilution est constant alors que le débit des gaz prélevés est réglé par le régulateur de débit FC3. S'il existe un système électronique de compensation du débit EFC (voir fig. 15), le débit total de gaz d'échappement dilués est utilisé comme signal de commande de FC3.



a = depuis le tunnel de dilution

Figure 16. Schéma du système de prélèvement des particules



a = gaz d'échappement dilués depuis DT      b = optionnel  
c = vers l'atmosphère                              d = air de dilution secondaire

Figure 17. Schéma du système de prélèvement des particules à double dilution

**A.3.2.6** Éléments des figures 16 (système à flux partiel seulement) et 17 (système à flux total seulement)

PTT      Tube de transfert pour les particules

**Le tube de transfert:**

- a) doit être inerte au contact de matières particulaires;
- b) peut être chauffé à une température de paroi ne dépassant pas 325 K (52 °C);
- c) peut être isolé.

SDT      Tunnel de dilution secondaire (fig. 17 seulement)

**Le tunnel de dilution secondaire:**

- a) doit avoir une longueur et un diamètre suffisants pour satisfaire aux prescriptions du paragraphe 9.4.2 f) relatives au temps de séjour;

- b) **peut être chauffé à une température de paroi ne dépassant pas 325 K (52 °C);**
- c) **peut être isolé.**

**FH            Porte-filtre**

**Le porte-filtre:**

- a) **doit former un cône divergent de 12,5° (à partir du centre) dans la section de raccordement entre le diamètre de la conduite de transfert et le diamètre exposé de la face avant du filtre;**
- b) **peut être chauffé à une température de paroi ne dépassant pas 325 K (52 °C);**
- c) **peut être isolé.**

**Les changeurs à filtres multiples (changeurs automatiques) sont admis à condition qu'il n'y ait pas d'interaction entre les filtres de collecte.**

**Les filtres à membrane PTFE doivent être placés dans une cassette spécifique à l'intérieur du porte-filtre.**

Un séparateur primaire à inertie ayant un point de coupure à 50 % compris entre 2,5 µm et 10 µm doit être installé immédiatement en amont du porte-filtre, si une sonde de prélèvement à tube ouvert orienté vers l'amont est utilisée.

P            Pompe de prélèvement

FC2        Régulateur de débit

Un régulateur de débit doit être utilisé pour régler le débit de prélèvement des particules.

FM3       Débitmètre

Il s'agit d'un compteur à gaz ou d'un appareil de mesure du débit de prélèvement des particules passant par le filtre à particules. Il peut être installé en amont ou en aval de la pompe de prélèvement P.

FM4       Débitmètre

Compteur à gaz ou appareil de mesure du débit d'air de dilution secondaire passant à travers le filtre à particules.

BV        Robinet à boisseau sphérique (optionnel)

Le robinet à boisseau sphérique doit avoir un diamètre intérieur au moins égal à celui du tube de transfert des particules PTT, et un temps de manœuvre inférieur à 0,5 s.

Annexe 4B – Appendice 4

**STATISTIQUES**

**A.4.1 Valeur moyenne et écart type**

**La valeur moyenne arithmétique est calculée comme suit:**

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (92)$$

**L'écart type est calculé comme suit:**

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (93)$$

**A.4.2 Analyse de régression**

**La pente de la droite de régression est calculée comme suit:**

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) \times (x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (94)$$

**L'ordonnée à l'origine de la droite de régression est calculée comme suit:**

$$a_0 = \bar{y} - (a_1 \times \bar{x}) \quad (95)$$

**L'erreur type d'estimation (SEE) est calculée comme suit:**

$$SEE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n [y_i - a_0 - (a_1 \times x_i)]^2}}{n-2} \quad (96)$$

**Le coefficient de détermination est calculé comme suit:**

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [y_i - a_0 - (a_1 \times x_i)]^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (97)$$

### A.4.3 Détermination de l'équivalence d'un système

La détermination de l'équivalence d'un système conformément aux prescriptions du paragraphe 5.1.1 doit se fonder sur une étude de corrélation portant sur sept paires (ou plus) d'échantillons entre le système à l'examen et l'un des systèmes de référence acceptés du présent RTM, par le moyen de cycles d'essai appropriés. Pour déterminer l'équivalence, le critère à appliquer doit être le test  $F$  et le test  $t$  à deux échantillons.

Cette méthode statistique évalue l'hypothèse selon laquelle l'écart type et la valeur moyenne de l'échantillon pour un type d'émissions particulier mesurées avec le système à l'examen ne s'écartent pas de l'écart type et de la valeur moyenne de l'échantillon pour ces émissions, mesurées avec le système de référence. L'hypothèse est évaluée sur la base d'un niveau de signification de 10 % des valeurs  $F$  et  $t$ . Les valeurs critiques de  $F$  et  $t$  pour 7 à 10 paires d'échantillons sont indiquées au **tableau 9**. Si les valeurs  $F$  et  $t$  calculées conformément à l'équation ci-dessous sont supérieures aux valeurs critiques de  $F$  et  $t$ , le système à l'examen est jugé non équivalent.

La méthode suivante doit être appliquée. Les indices R et C désignent la référence et le système à l'examen, respectivement:

- Effectuer au moins sept essais dans lesquels le système à l'examen et le système de référence sont utilisés en parallèle. Le nombre d'essais est désigné par  $n_R$  et  $n_C$ , respectivement.
- Calculer les valeurs moyennes  $\overline{x_R}$  et  $\overline{x_C}$  et les écarts types  $s_R$  et  $s_C$ .
- Calculer la valeur  $F$  comme suit:

$$F = \frac{s_{\text{major}}^2}{s_{\text{minor}}^2} \quad (98)$$

(la plus grande des deux valeurs d'écart type  $s_R$  ou  $s_C$  doit figurer en numérateur).

- Calculer la valeur  $t$  comme suit:

$$t = \frac{|\overline{x_C} - \overline{x_R}|}{\sqrt{s_C^2/n_C + s_R^2/n_R}} \quad (99)$$

- Comparer les valeurs  $F$  et  $t$  avec les valeurs critiques  $F$  et  $t$  correspondant aux nombres respectifs d'essais indiquées au **tableau 9**. Si des échantillons de taille plus importante sont utilisés, on doit se reporter à des tables statistiques pour le niveau de signification 10 % (niveau de confiance: 90 %).

f) Déterminer les degrés de liberté ( $df$ ), comme suit:

pour le test  $F$ :  $df1 = n_R - 1, df2 = n_C - 1$  (100)

pour le test  $t$ :  $df = (n_C + n_R - 2)/2$  (101)

g) Déterminer l'équivalence comme suit:

i) si  $F < F_{crit}$  et  $t < t_{crit}$ , le système à l'examen est équivalent au système de référence de la présente annexe;

ii) si  $F \geq F_{crit}$  ou  $t \geq t_{crit}$ , le système à l'examen n'est pas équivalent au système de référence de la présente annexe.

Taille de l'échantillon	test $F$		test $t$	
	$df$	$F_{crit}$	$df$	$t_{crit}$
7	<b>6/6</b>	3,055	<b>6</b>	<b>1,943</b>
8	<b>7/7</b>	2,785	<b>7</b>	<b>1,895</b>
9	<b>8/8</b>	2,589	<b>8</b>	<b>1,860</b>
10	<b>9/9</b>	2,440	<b>9</b>	<b>1,833</b>

**Tableau 9.** Valeurs de  $t$  et  $F$  pour diverses tailles de l'échantillon

Annexe 4B – Appendice 5

CONTRÔLE DU FLUX DE CARBONE

A.5.1 Introduction

Tout le contenu de carbone des gaz d'échappement, à très peu près, provient du carburant; tout ce carbone, à très peu près, est présent dans les gaz d'échappement sous la forme de CO<sub>2</sub>. C'est sur cette base que repose un système de contrôle par mesure du CO<sub>2</sub>.

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 différents points de prélèvement dans les systèmes de mesure des émissions et des particules est déterminé à partir des concentrations de CO<sub>2</sub> et des débits de gaz à ces points.

À cet égard, le moteur constitue une source connue de flux de carbone, et le suivi de ce flux de carbone dans le tuyau d'échappement et à la sortie du système de prélèvement des particules à flux partiel permet de vérifier l'étanchéité aux fuites et la justesse de la mesure du débit. L'avantage de cette méthode de contrôle est que les composants fonctionnent dans les conditions normales de fonctionnement du moteur en ce qui concerne la température et le débit.

La figure 18 indique les points de prélèvement où les flux de carbone doivent être contrôlés. Les équations spécifiques pour les flux de carbone en chacun des points de prélèvement sont données ci-après.

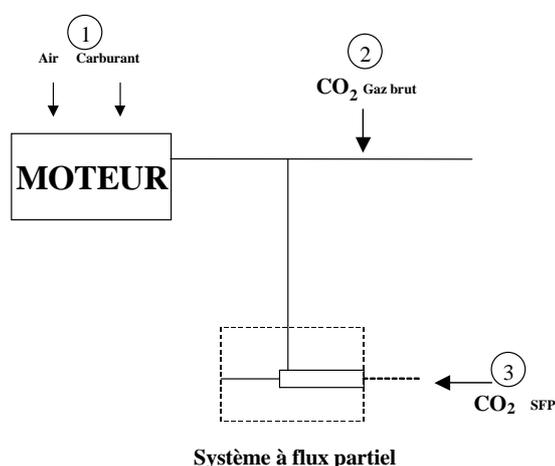


Figure 18. Points de prélèvement pour le contrôle du flux de carbone

#### A.5.2 Débit de carbone entrant dans le moteur (point de prélèvement 1)

Le débit-masse de carbone entrant dans le moteur pour un carburant  $\text{CH}_\alpha\text{O}_\epsilon$  est donné par la formule.

$$q_{mCf} = \frac{12\beta}{12\beta + \alpha + 16\epsilon} \times q_{mf} \quad (102)$$

où:

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

#### A.5.3 Débit de carbone dans les gaz d'échappement bruts (point de prélèvement 2)

Le débit-masse de carbone dans le tuyau d'échappement du moteur doit être déterminé à partir de la concentration de  $\text{CO}_2$  dans les gaz d'échappement bruts et du débit-masse de gaz d'échappement:

$$q_{mCe} = \left( \frac{c_{\text{CO}_2,r} - c_{\text{CO}_2,a}}{100} \right) \times q_{mew} \times \frac{12,011}{M_{re}} \quad (103)$$

où:

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

$c_{\text{CO}_2,a}$  est la concentration de  $\text{CO}_2$  en conditions humides dans l'air ambiant, en %;

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

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

Si le  $\text{CO}_2$  est mesuré sur base sèche, les chiffres doivent être convertis en valeurs sur base humide conformément au paragraphe 8.1.

#### A.5.4 Débit de carbone dans le système de dilution (point de prélèvement 3)

Pour le système à dilution du flux partiel, le rapport de division doit aussi être pris en considération. Le débit de carbone doit être déterminé à partir de la concentration de  $\text{CO}_2$  dans les gaz d'échappement dilués, du débit-masse de gaz d'échappement et du débit de prélèvement des gaz d'échappement:

$$q_{mCp} = \left( \frac{c_{\text{CO}_2,d} - c_{\text{CO}_2,a}}{100} \right) \times q_{mdew} \times \frac{12,011}{M_e} \times \frac{q_{mew}}{q_{mp}} \quad (104)$$

où:

$c_{CO_2,d}$  est la concentration de  $CO_2$  en conditions humides dans les gaz d'échappement dilués à la sortie du tunnel de dilution, en %;

$c_{CO_2,a}$  est la concentration de  $CO_2$  en conditions humides dans l'air ambiant, en %;

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

$q_{mp}$  est le débit de prélèvement de gaz d'échappement dans le système à dilution du flux partiel, en kg/s;

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

Si le  $CO_2$  est mesuré sur base sèche, les chiffres doivent être convertis en valeurs sur base humide conformément au paragraphe 8.1.

#### A.5.5 Calcul de la masse molaire des gaz d'échappement

La masse molaire des gaz d'échappement doit être calculée conformément à l'équation 41 (voir par. 8.4.2.4).

Par défaut, les masses molaires suivantes peuvent être utilisées pour les gaz d'échappement:

$$M_e (\text{gazole}) = 28,9 \text{ g/mol};$$

$$M_e (\text{GPL}) = 28,6 \text{ g/mol};$$

$$M_e (\text{GN}) = 28,3 \text{ g/mol}.$$

Annexe 4B – Appendice 6

EXEMPLE DE PROCÉDURE DE CALCUL

A.6.1 **Opération de dénormalisation du régime et du couple**

**Il s'agit par exemple de dénormaliser les points d'essai suivants:**

$$\begin{aligned}\% \text{ régime} &= 43 \% \\ \% \text{ couple} &= 82 \%\end{aligned}$$

**Sur la base des valeurs suivantes:**

$$\begin{aligned}n_{lo} &= 1\,015 \text{ min}^{-1} \\ n_{hi} &= 2\,200 \text{ min}^{-1} \\ n_{pref} &= 1\,300 \text{ min}^{-1} \\ n_{idle} &= 600 \text{ min}^{-1}\end{aligned}$$

**Ce qui donne:**

$$\begin{aligned}\text{régime réel} &= \frac{43 \times (0,45 \times 1\,015 + 0,45 \times 1\,300 + 0,1 \times 2\,200 - 600) \times 2,0327}{100} + 600 \\ &= 1\,178 \text{ min}^{-1}\end{aligned}$$

**Compte tenu du couple maximal de 700 Nm déterminé d'après la courbe cartographique à 1 178 min<sup>-1</sup>, on a**

$$\text{Couple réel} = \frac{82 \times 700}{100} = 574 \text{ Nm}$$

A.6.2 Données de base pour les calculs stœchiométriques

Masse atomique de l'hydrogène	1,00794 g/atome
Masse atomique du carbone	12,011 g/atome
Masse atomique du soufre	32,065 g/atome
Masse atomique de l'azote	14,0067 g/atome
Masse atomique de l'oxygène	15,9994 g/atome
Masse atomique de l'argon	39,9 g/atome
Masse molaire de l'eau	18,01534 g/mol
Masse molaire du dioxyde de carbone	44,01 g/mol

Masse molaire du monoxyde de carbone	28,011 g/mol
Masse molaire de l'oxygène	31,9988 g/mol
Masse molaire de l'azote	28,011 g/mol
Masse molaire de l'oxyde nitrique	30,008 g/mol
Masse molaire du dioxyde d'azote	46,01 g/mol
Masse molaire du dioxyde de soufre	64,066 g/mol
Masse molaire de l'air sec	28,965 g/mol

Étant exclus les effets de compressibilité, tous les gaz à prendre en compte dans le processus admission/combustion/échappement du moteur peuvent être considérés comme idéaux et tous les calculs volumétriques peuvent donc se baser sur un volume molaire de 22,414 l/mol selon l'hypothèse d'Avogadro.

### A.6.3 Émissions gazeuses (gazole)

Les résultats de mesures en un point donné du cycle d'essai (fréquence d'échantillonnage des données 1 Hz) pour le calcul des émissions massiques instantanées sont indiqués ci-dessous. Dans cet exemple, le CO et les NO<sub>x</sub> sont mesurés sur base sèche, et les HC sur base humide. La concentration de HC est donnée en équivalent propane (C3) et doit être multipliée par trois pour obtenir l'équivalent C1. La procédure de calcul est identique pour les autres points du cycle.

Dans l'exemple ci-après, on présente les résultats intermédiaires des différentes étapes sous forme arrondie pour plus de clarté. Il doit être noté cependant que, pour les calculs réels, il n'est pas permis d'arrondir les résultats intermédiaires (voir par. 8).

$T_{a,i}$ (K)	$H_{a,i}$ (g/kg)	$W_{act}$ (kWh)	$q_{mew,i}$ (kg/s)	$q_{maw,i}$ (kg/s)	$q_{mf,i}$ (kg/s)	$c_{HC,i}$ (ppm)	$c_{CO,i}$ (ppm)	$c_{NOx,i}$ (ppm)
295	8,0	40	0,155	0,150	0,005	10	40	500

La composition du carburant est censée être la suivante:

Constituant	Rapport molaire	% masse
H	$\alpha = 1,8529$	$w_{ALF} = 13,45$
C	$\beta = 1,0000$	$w_{BET} = 86,50$
S	$\gamma = 0,0002$	$w_{GAM} = 0,050$
N	$\delta = 0,0000$	$w_{DEL} = 0,000$
O	$\varepsilon = 0,0000$	$w_{EPS} = 0,000$

Étape 1: Correction base sèche/base humide (par. 8.1):

$$\text{Équation (16): } k_f = 0,055584 \times 13,45 - 0,0001083 \times 86,5 - 0,0001562 \times 0,05 = 0,7382$$

$$\text{Équation (13): } k_{w,a} = \left( 1 - \frac{1,2434 \times 8 + 111,12 \times 13,45 \times \frac{0,005}{0,148}}{773,4 + 1,2434 \times 8 + \frac{0,005}{0,148} \times 0,7382 \times 1\ 000} \right) \times 1,008 = 0,9331$$

$$\text{Équation (12): } c_{CO,i} \text{ (wet)} = 40 \times 0,9331 = 37,3 \text{ ppm}$$

$$c_{NOx,i} \text{ (wet)} = 500 \times 0,9331 = 466,6 \text{ ppm}$$

Étape 2: Correction des valeurs de NO<sub>x</sub> pour la température et l'humidité (par. 8.2.1):

$$\text{Équation (23): } k_{h,D} = \frac{15,698 \times 8,00}{1\ 000} + 0,832 = 0,9576$$

Étape 3: Calcul des émissions instantanées à chaque point donné du cycle (par. 8.4.2.4):

$$\text{Équation (36): } m_{HC,i} = 10 \times 3 \times 0,155 = 4,650$$

$$m_{CO,i} = 37,3 \times 0,155 = 5,782$$

$$m_{NOx,i} = 466,6 \times 0,9576 \times 0,155 = 69,26$$

Étape 4: Calcul des émissions massiques sur tout le cycle par intégration des valeurs d'émissions instantanées et des valeurs de  $u$  tirées du **tableau 5 (par. 8.4.2.4)**:

Le calcul s'effectue comme suit pour le cycle WHTC (1 800 s) et les mêmes émissions à chaque point du cycle.

$$\begin{aligned} \text{Équation (36): } m_{\text{HC}} &= 0,000479 \times \sum_{i=1}^{1800} 4,650 = 4,01 \text{ g/essai} \\ m_{\text{CO}} &= 0,000966 \times \sum_{i=1}^{1800} 5,782 = 10,05 \text{ g/essai} \\ m_{\text{NOx}} &= 0,001586 \times \sum_{i=1}^{1800} 69,26 = 197,72 \text{ g/essai} \end{aligned}$$

Étape 5: Calcul des émissions spécifiques (**par. 8.6.3**):

$$\begin{aligned} \text{Équation (69): } e_{\text{HC}} &= 4,01/40 = 0,10 \text{ g/kWh} \\ e_{\text{CO}} &= 10,05/40 = 0,25 \text{ g/kWh} \\ e_{\text{NOx}} &= 197,72/40 = 4,94 \text{ g/kWh} \end{aligned}$$

#### A.6.4 Émission de particules (gazole)

$p_{b,b}$ (kPa)	$p_{b,a}$ (kPa)	$W_{\text{act}}$ (kWh)	$q_{mew,i}$ (kg/s)	$q_{mf,i}$ (kg/s)	$q_{mdw,i}$ (kg/s)	$q_{mdew,i}$ (kg/s)	$m_{\text{uncor},b}$ (mg)	$m_{\text{uncor},a}$ (mg)	$m_{\text{sep}}$ (kg)
99	100	40	0,155	0,005	0,0015	0,0020	90,0000	91,7000	1,515

Étape 1: Calcul de  $m_{\text{edf}}$  (**par. 8.4.3.2.2**):

$$\text{Équation (48): } r_{d,i} = \frac{0,002}{(0,002 - 0,0015)} = 4$$

$$\text{Équation (47): } q_{\text{medf},i} = 0,155 \times 4 = 0,620 \text{ kg/s}$$

$$\text{Équation (46): } m_{\text{edf}} = \sum_{i=1}^{1800} 0,620 = 1,116 \text{ kg/essai}$$

Étape 2: Correction de flottabilité de la masse de particules (**par. 8.3**):

**Avant l'essai:**

$$\text{Équation (26): } \rho_{a,b} = \frac{99 \times 28,836}{8,3144 \times 295} = 1,164 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Équation (25): } m_{f,T} = 90,0000 \times \frac{(1 - 1,164/8\,000)}{(1 - 1,164/2\,300)} = 90,0325 \text{ mg}$$

**Après l'essai:**

$$\text{Équation (26): } \rho_{a,a} = \frac{100 \times 28,836}{8,3144 \times 295} = \mathbf{1,176 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Équation (25): } m_{t,G} = 91,7000 \times \frac{(1 - 1,176/8\,000)}{(1 - 1,176/2\,300)} = \mathbf{91,7334 \text{ mg}}$$

$$\text{Équation (27): } m_p = \mathbf{91,7334 \text{ mg} - 90,0325 \text{ mg} = 1,7009 \text{ mg}}$$

Étape 3: Calcul des émissions massiques de particules (**par. 8.4.3.2.2**):

$$\text{Équation (45): } m_{PM} = \frac{1,7006}{1,515} \times \frac{1\,116}{1\,000} = 1,253 \text{ g/essai}$$

Étape 4: Calcul des émissions spécifiques (**par. 8.6.3**):

$$\text{Équation (69): } e_{PM} = 1,253/40 = 0,031 \text{ g/kWh}$$

**Annexe 4B – Appendice 7**

**INSTALLATION DES AUXILIAIRES ET DES ÉQUIPEMENTS  
POUR L'ESSAI DE MESURE DES ÉMISSIONS**

Numéro	Équipements et auxiliaires	Installés pour l'essai de mesure des émissions
1	<p>Système d'admission Collecteur d'admission Circuit de recyclage des gaz de carter Dispositifs de commande pour double tubulure d'admission Débitmètre d'air Conduite d'entrée d'air</p> <p>Filtre à air</p> <p>Silencieux d'admission</p> <p>Limiteur de vitesse</p>	<p>Oui Oui Oui Oui Oui, ou équipement de la chambre d'essai Oui, ou équipement de la chambre d'essai Oui, ou équipement de la chambre d'essai Oui</p>
2	Dispositif de réchauffage du collecteur d'admission	Oui, s'il est réglable, il doit être réglé dans la position la plus favorable.
3	<p>Système d'échappement Collecteur d'échappement Tuyauteries de liaison Silencieux Tuyau de sortie Ralentisseur d'échappement</p> <p>Dispositif de suralimentation</p>	<p>Oui Oui Oui Oui Non, ou complètement ouvert Oui</p>
4	Pompe d'alimentation en carburant	Oui
5	<p>Équipement pour les moteurs à gaz Module de commande électronique, débitmètre d'air, etc. Détendeur Évaporateur Mélangeur</p>	<p>Oui Oui Oui Oui</p>
6	<p>Équipement d'injection du carburant Préfiltre Filtre Pompe Tuyauterie haute pression Injecteur Volet d'admission d'air Module de commande électronique, capteurs, etc.</p>	<p>Oui Oui Oui Oui Oui Oui Oui</p>

Numéro	Équipements et auxiliaires	Installés pour l'essai de mesure des émissions
	<b>Régulateur/limiteur</b> <b>Butée automatique de pleine charge de la crémaillère en fonction des conditions atmosphériques</b>	<b>Oui</b> <b>Oui</b>
7	<b>Refroidissement par liquide</b> <b>Radiateur</b> <b>Ventilateur</b> <b>Carénage du ventilateur</b> <b>Pompe à eau</b> <b>Thermostat</b>	<b>Non</b> <b>Non</b> <b>Non</b> <b>Oui</b> <b>Oui, peut être bloqué en position ouverte</b>
8	<b>Refroidissement par air</b> <b>Carénage</b> <b>Ventilateur ou soufflante</b> <b>Dispositif régulateur de température</b>	<b>Non</b> <b>Non</b> <b>Non</b>
9	<b>Équipement électrique</b> <b>Générateur</b> <b>Bobine ou bobines</b> <b>Câblage</b> <b>Module de commande électronique</b>	<b>Non</b> <b>Oui</b> <b>Oui</b> <b>Oui</b>
10	<b>Équipement de suralimentation</b> <b>Compresseur entraîné directement par le moteur et/ou par les gaz d'échappement</b> <b>Refroidisseur intermédiaire</b>  <b>Pompe du liquide de refroidissement ou ventilateur (entraîné par le moteur)</b> <b>Dispositif de réglage du débit du fluide de refroidissement</b>	<b>Oui</b> <b>Oui, ou équipement de la chambre d'essai</b>  <b>Non</b> <b>Oui</b>
11	<b>Dispositif antipollution (système de traitement aval des gaz d'échappement)</b>	<b>Oui</b>
12	<b>Équipement de démarrage</b>	<b>Oui, ou équipement de la chambre d'essai</b>
13	<b>Pompe à huile moteur</b>	<b>Oui</b>

.».

-----