ECE/TRANS/180/Add.4/Amend.1
5 mars 2010

Registre mondial

Élaboré le 18 novembre 2004 conformément à l'article 6 de l'Accord concernant l'établissement de règlements techniques mondiaux applicables aux véhicules à roues, ainsi qu'aux équipements et pièces qui peuvent être montés et/ou utilisés sur les véhicules à roues (ECE/TRANS/132 et Corr.1)

En date, à Genève, du 25 juin 1998

Additif

Règlement technique mondial n° 4

Procédure d'essai applicable aux moteurs à allumage par compression et aux moteurs à allumage commandé alimentés au gaz naturel (GN) ou au gaz de pétrole liquéfié (GPL) en ce qui concerne les émissions de polluants

Amendement 1

(Inscrit au Registre mondial le 12 novembre 2009)

Nations Unies

GE.10-21063 (F) 120810 270810

Merci de recycler

Texte complet du Règlement technique mondial, lire:

«Table des matières

		Page
I.	Exposé de l'argumentation technique sur laquelle se fonde le projet	3
	A. Viabilité technique et économique	4
	B. Bénéfices escomptés	5
	C. Analyse coûts-avantages	6
II.	Texte du Règlement	6
	1. Objet	6
	2. Domaine d'application	6
	3. Définitions, symboles et abréviations	7
	4. Prescriptions générales	15
	5. Prescriptions fonctionnelles	15
	6. Conditions d'essai	21
	7. Modes opératoires	29
	8. Mesure des émissions	48
	9. Spécifications concernant les équipements et vérification des équipements	72
Annexes		
1.	Fiche de programmation du dynamomètre pour l'essai WHTC	102
2.	Carburants de référence	115
3.	Appareillage de mesure	117
4.	Statistiques	134
5.	Contrôle du flux de carbone	137
6.	Exemple de procédure de calcul	140
7.	Installation des accessoires et des équipements pour l'essai de mesure des émissions	144

I. Exposé de l'argumentation technique sur laquelle se fonde le projet

A. Viabilité technique et économique

1. L'objet de la présente proposition est d'établir un règlement technique mondial harmonisé (RTM) traitant de la procédure d'homologation de type pour les moteurs de véhicules utilitaires lourds quant aux émissions de polluants. La base du règlement est la procédure d'essai élaborée par le groupe informel GRPE/WHDC (voir le document informel n° 4 distribué au cours de la quarante-sixième session du GRPE).

2. Il existe depuis de nombreuses années des règlements traitant des émissions d'échappement des moteurs de véhicules utilitaires, mais les cycles d'essai et méthodes de mesure des émissions varient dans une mesure importante d'un règlement à l'autre. Pour permettre une évaluation correcte de l'impact environnemental d'un véhicule utilitaire en ce qui concerne ses émissions d'échappement polluantes, il est nécessaire de mettre en place une procédure d'essai en laboratoire qui soit suffisamment représentative de l'utilisation des véhicules en conditions réelles pour servir de base au RTM.

3. Le règlement proposé se fonde sur des recherches récentes sur les pratiques mondiales d'utilisation des véhicules utilitaires en conditions réelles. Sur la base des données recueillies, il a été mis au point deux cycles d'essai représentatifs, un cycle d'essai en conditions transitoires (WHTC) incluant des prescriptions pour le démarrage à froid et le démarrage à chaud, et un cycle d'essai en conditions stationnaires (WHSC) avec démarrage à chaud, qui visaient à reproduire les conditions de conduite typiques dans l'Union européenne (UE), aux États-Unis d'Amérique, au Japon et en Australie. De nouvelles procédures de mesure des émissions ont été élaborées par un comité d'experts de l'ISO et ont été publiées dans la norme ISO 16183. Cette norme tient compte des techniques avancées de mesure des émissions d'échappement, suffisamment précises pour la mesure des émissions de polluants des moteurs à faibles émissions qui apparaîtront à l'avenir. Ces travaux ont été pris comme base pour l'élaboration des futures dispositions législatives japonaises et de l'UE en matière d'émissions. En outre, des travaux importants ont été effectués, sur une base différente, au cours des dernières années aux États-Unis d'Amérique en vue d'apporter des améliorations majeures aux procédures de mesure des émissions, aux protocoles d'essai et à la structure réglementaire pour les véhicules utilitaires lourds routiers et non routiers. Ces travaux sont pris en référence dans la procédure législative en cours aux États-Unis d'Amérique et ont été publiés le 13 juillet 2005. Dans le cadre de l'amendement 1, la plupart de ces protocoles d'essai nouveaux sont désormais pris en compte dans le présent RTM.

4. À la demande des Parties contractantes à l'Accord de 1998, l'amendement 1 a été élaboré afin de résoudre la question des variantes du RTM n° 4 et de parvenir au plus grand degré possible d'uniformité entre le présent RTM et celui relatif aux moteurs diesel de véhicules non routiers. Lorsque le RTM sera amendé en vue d'y incorporer des valeurs limites, il faudra résoudre les divergences qui pourraient subsister entre le RTM sur la procédure d'homologation mondiale des véhicules utilitaires lourds (WHDC) et le RTM sur les engins mobiles non routiers (NRMM).

5. Les procédures d'essai WHTC et WHSC reflètent aussi étroitement que possible les conditions d'utilisation des moteurs de véhicules utilitaires routiers à l'échelle mondiale et constituent un progrès important du point de vue de la représentativité de la procédure d'essai pour la mesure des émissions des moteurs de véhicules utilitaires lourds existants et futurs. En bref, la procédure d'essai a été élaborée pour répondre aux critères suivants:

a) Être représentative des conditions d'utilisation des véhicules en circulation routière à l'échelle mondiale;

b) Offrir le plus haut niveau possible d'efficacité dans la réduction des émissions routières;

c) Se fonder sur les dernières méthodes en matière de techniques d'essai, de prélèvement et de mesure;

d) Être applicable en pratique aux techniques actuelles et futures prévisibles de réduction des émissions d'échappement; et

e) Permettre d'établir un classement qualitatif fiable des niveaux d'émissions d'échappement correspondant à différents types de moteurs.

6. Au stade actuel, le RTM est présenté sans valeurs limites. La démarche prévue consiste à donner à la procédure d'essai un statut juridique sur la base duquel il est demandé aux Parties contractantes de lancer le processus de mise en œuvre dans leur législation nationale. Les valeurs limites seront fixées par les Parties contractantes conformément à leurs propres procédures.

7. Tandis qu'il a pu être tranché entre les variantes, s'agissant de la puissance du moteur et de la mesure des émissions particulaires, le RTM comprend encore des variantes, que les Parties contractantes sont libres d'adopter ou non. Celles-ci ont trait au carburant de référence, à la phase de stabilisation à chaud comprise entre l'essai de démarrage à froid et l'essai de démarrage à chaud du cycle WHTC, et au facteur de pondération de l'essai de démarrage à froid et de l'essai de démarrage à chaud du cycle WHTC. Ces aspects devront toutefois être complètement harmonisés lorsqu'on en viendra à la fixation de valeurs limites communes.

8. Pour la mise en œuvre de la procédure d'essai définie dans le présent RTM dans le cadre de leur législation ou réglementation nationale, les Parties contractantes sont invitées à appliquer des valeurs limites au minimum équivalentes au degré de rigueur des dispositions de leur réglementation actuelle, en attendant l'élaboration de valeurs limites harmonisées par le Comité exécutif (AC.3) de l'Accord de 1998 administré par le Forum mondial de l'harmonisation des règlements concernant les véhicules (WP.29). Les niveaux de performances (résultats des essais d'émissions) à fixer dans le RTM seront, en conséquence, discutés sur la base des dispositions législatives les plus récentes appliquées dans les Parties contractantes, comme prévu par l'Accord de 1998.

B. Bénéfices escomptés

9. Les véhicules utilitaires lourds et leurs moteurs sont de plus en plus généralement conçus en fonction d'un marché mondial. Il est contraire aux principes de l'efficacité économique que les constructeurs soient obligés de mettre au point des modèles sensiblement différents en vue de satisfaire à des règlements et des méthodes de mesure non harmonisés en matière d'émissions, alors que ceux-ci visent en principe le même objectif. Pour permettre aux constructeurs de réduire au minimum les coûts et les délais d'élaboration des nouveaux modèles, l'harmonisation des prescriptions dans le cadre d'un RTM est hautement souhaitable. Les économies ainsi réalisées profiteront certes en premier lieu aux constructeurs, mais ce qui est plus important, elles profiteront en fin de compte aux consommateurs.

10. Toutefois, l'élaboration d'une procédure d'essai harmonisée qui satisferait seulement à des objectifs d'efficacité économique, resterait en deçà du mandat sur lequel se fondent les travaux entrepris pour élaborer le RTM. La nouvelle procédure d'essai devra aussi renforcer les conditions d'essai s'appliquant aux moteurs des véhicules lourds, et être

plus représentative des conditions actuelles d'utilisation de ces moteurs. En comparaison avec les méthodes de mesure définies dans la législation en vigueur dans les Parties contractantes à l'Accord de 1998, les méthodes d'essai prescrites dans le présent RTM reproduisent de façon beaucoup plus fidèle les pratiques d'utilisation réelle des véhicules utilitaires dans le monde. Il est à noter également que les prescriptions du règlement devraient être complétées par des prescriptions relatives aux émissions hors cycle (EHC) et aux systèmes d'autodiagnostic.

11. En conséquence, on peut escompter que l'application du RTM dans le cadre de la législation relative aux émissions dans les Parties contractantes à l'Accord de 1998 aboutira à une réduction appréciable des émissions en service grâce à une meilleure corrélation entre les méthodes d'essai et les pratiques de conduite réelles.

C. Analyse coûts-avantages

12. Il n'a pas été effectué d'analyse spécifique coûts-avantages pour le RTM, principalement du fait de la décision du Comité exécutif de l'Accord mondial de 1998 de présenter le règlement sans valeurs limites. Cette décision a été prise d'un commun accord, sachant que des valeurs précises sur le rapport coûts-avantages ne sont pas disponibles dans l'immédiat. Il est certain cependant que cette information sera recueillie à l'avenir, de manière générale comme suite à l'adoption de ce règlement dans la législation nationale et aussi dans le cadre de la fixation de valeurs limites harmonisées, ce qui constitue l'étape suivante de l'élaboration de ce RTM. Ainsi, par exemple, chaque Partie contractante incorporant le règlement à sa réglementation nationale devra déterminer le niveau de rigueur des valeurs appliquées dans le cadre des nouvelles méthodes d'essai, étant entendu que les valeurs nouvelles devront être au minimum aussi rigoureuses que celles déjà en vigueur. Il est certain que l'on pourra également à l'avenir tirer parti de l'expérience de l'industrie des motocycles quant aux coûts et économies résultant de l'application de cette procédure. Les résultats en termes de coûts et d'émissions pourront alors être analysés dans le cadre de l'étape suivante de l'élaboration du RTM pour déterminer le rapport coûts-avantages des méthodes d'essai adoptées aujourd'hui en même temps que pour fixer les futures valeurs limites harmonisées. Bien que l'on ne dispose pas au stade présent de valeurs exprimées en coût par tonne, le groupe d'experts est convaincu que le règlement apportera des avantages nets à cet égard.

II. Texte du Règlement

1. Objet

Le présent Règlement a pour objet de définir une méthode mondialement harmonisée pour la détermination des niveaux d'émission de polluants par les des véhicules utilitaires lourds, en tenant compte de l'utilisation réelle des véhicules dans le monde. Les résultats des essais peuvent servir de base à la réglementation des émissions de polluants dans le cadre des procédures régionales d'homologation de type et de certification.

2. Domaine d'application

Le présent Règlement traite de la mesure des émissions de polluants gazeux et particulaires par les moteurs à allumage par compression et des moteurs à allumage commandé alimentés au gaz naturel (GN) ou au gaz de pétrole liquéfié (GPL), utilisés pour la propulsion des véhicules automobiles des catégories 1-2 et 2 ayant une vitesse par construction supérieure à 25 km/h et une masse maximale supérieure à 3,5 t.

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;

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 mesure 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 DeNOx*», un système de traitement aval des gaz d'échappement conçu pour réduire les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) (catalyseurs NO_x passifs ou actifs en régime pauvre, pièges à NO_x et systèmes à catalyse sélective (SCR));

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 à la mise à zéro ou au calibrage 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 $CH_{1,85}$ pour le gazole $CH_{2,525}$ pour le GPL et $CH_{2,93}$ pour le GN, et une molécule de référence $CH_3O_{0,5}$ pour les moteurs diesel alimentés à l'éthanol), le méthane (sur la base d'un rapport de CH_4 pour le GN) et les oxydes d'azote (exprimés en équivalent dioxyde d'azote (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 spécifié par le constructeur est obtenu;

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

3.1.17 Par «*demande de l'opérateur*», une action 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 demandant une certaine puissance. Cette intervention peut prendre la forme d'une action ou d'un signal au moyen d'une pédale d'accélérateur, d'un levier de commande des gaz, d'un levier de commande de l'alimentation en carburant, d'un levier de commande de la vitesse ou d'un point de consigne ou d'un signal provenant du régulateur;

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 de traitement aval des particules*», un système de traitement aval 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 agent de dilution 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 des 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 stationnaires avec rampes de transition*», on entend un cycle d'essai comportant une séquence de modes de fonctionnement du moteur en conditions stationnaires à des valeurs définies de régime et de couple, avec rampes de transition entre modes (WHSC);

3.1.24 Par «*régime nominal*», le régime maximal à pleine charge autorisé par le régulateur, tel qu'il est 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, tel qu'il est 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 mesure 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'amplitude totale et se faire en moins de 0,1 s. Le temps de réponse du système se compose du temps de retard du système et du temps de montée du système;

3.1.26 Par «*temps de montée*», la différence de temps pour passer de 10 à 90 % de la valeur finale de mesure ($t_{90} - t_{10}$);

3.1.27 Par «*réponse au calibrage*», la réponse moyenne à un gaz de calibrage sur 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 stationnaires (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 l'alignement 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 variant relativement rapidement dans le temps (WHTC);

3.1.32 Par «*durée de service*», la distance et/ou la durée sur laquelle la conformité aux limites applicables d'émissions gazeuses et particulaires doit être garantie;

3.1.33 Par «*réponse à la mise à zéro*», la réponse moyenne à un gaz de mise à zéro sur une durée de 30 s;

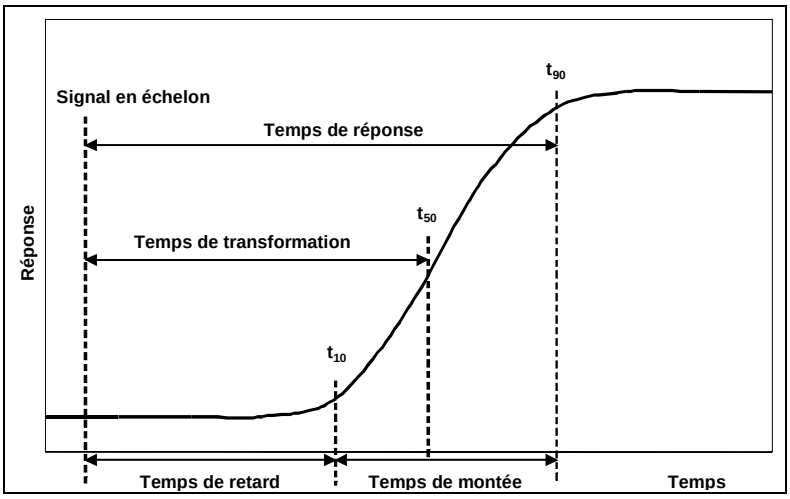


Figure 1
Définitions relatives à la réponse du système

3.2 *Symboles généraux*

Symbole	*Unité*	*Terme*
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
Δt	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_2 de l'analyseur de NO_x
E_E	%	Efficacité pour l'éthane
E_{H20}	%	Facteur d'extinction par l'eau de l'analyseur de NO_x

Symbole	*Unité*	*Terme*
E_M	%	Efficacité pour le méthane
E_{NOX}	%	Efficacité du convertisseur de NO_x
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	–	Facteur spécifique du carbone
$k_{f,d}$	m^3/kg de carburant	Volume supplémentaire de gaz d'échappement secs résultant de la combustion
$k_{f,w}$	m^3/kg de carburant	Volume supplémentaire de gaz d'échappement humides résultant de la combustion
$K_{h,D}$	–	Facteur de correction d'humidité des NO_x pour les moteurs à allumage par compression
$K_{h,G}$	–	Facteur de correction d'humidité des NO_x 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
λ	–	Facteur d'excédent d'air
m_d	kg	Masse de l'échantillon d'air de dilution ayant traversé 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

Symbole	*Unité*	*Terme*
$m_{f,d}$	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
M	Nm	Couple
M_a	g/mol	Masse molaire de l'air d'admission
M_e	g/mol	Masse molaire des gaz d'échappement
M_{gas}	g/mol	Masse molaire des constituants gazeux
n	–	Nombre de mesures
n_r	–	Nombre de mesures pendant la régénération
n	min^{-1}	Régime de rotation du moteur
n_{hi}	min^{-1}	Régime haut
n_{lo}	min^{-1}	Régime bas
n_{pref}	min^{-1}	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
P	kW	Puissance
q_{mad}	kg/s	Débit massique d'air d'admission sur base sèche
q_{maw}	kg/s	Débit massique d'air d'admission sur base humide
q_{mCe}	kg/s	Débit massique de carbone dans les gaz d'échappement bruts
q_{mCf}	kg/s	Débit massique de carbone dans le moteur

Symbole	*Unité*	*Terme*
$q_{m\mathrm{Cp}}$	kg/s	Débit massique de carbone dans le système de dilution du flux partiel
$q_{m\mathrm{dew}}$	kg/s	Débit massique des gaz d'échappement dilués en conditions humides
$q_{m\mathrm{dw}}$	kg/s	Débit massique d'air de dilution en conditions humides
$q_{m\mathrm{edf}}$	kg/s	Débit massique équivalent de gaz d'échappement dilués sur base sèche
$q_{m\mathrm{ew}}$	kg/s	Débit massique de gaz d'échappement sur base sèche
$q_{m\mathrm{ex}}$	kg/s	Débit massique de prélèvement extrait du tunnel de dilution
$q_{m\mathrm{f}}$	kg/s	Débit massique du carburant
$q_{m\mathrm{p}}$	kg/s	Débit massique de gaz d'échappement entrant dans le système de dilution du flux partiel
$q_{v\mathrm{CVS}}$	m^3/s	Débit volumique du prélèvement à volume constant
$q_{v\mathrm{s}}$	dm^3/min	Débit du système d'analyseur des gaz d'échappement
$q_{v\mathrm{t}}$	cm^3/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
ρ	kg/m^3	Masse volumique
ρ_e	kg/m^3	Masse volumique des gaz d'échappement
σ	–	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 mesure finale
t_{90}	s	Temps écoulé entre l'application du signal en échelon et l'affichage de 90 % de la mesure finale

Symbole	*Unité*	*Terme*
u	–	Rapport entre les masses volumiques du constituant gazeux et des gaz d'échappement
V_0	m^3/tr	Volume de gaz pompé par tour de la pompe volumétrique
V_s	dm^3	Volume net du banc d'analyse des gaz d'échappement
W_{act}	kWh	Travail au cours du cycle d'essai effectif
W_{ref}	kWh	Travail au cours du cycle d'essai de référence
X_0	m^3/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 % de la masse
W_{BET}	Teneur en carbone du carburant, en % de la masse
W_{GAM}	Teneur en soufre du carburant, en % de la masse
W_{DEL}	Teneur en azote du carburant, en % de la masse
W_{EPS}	Teneur en oxygène du carburant, en % de la masse
α	Rapport molaire pour l'hydrogène (H/C)
γ	Rapport molaire pour le soufre (S/C)
δ	Rapport molaire pour l'azote (N/C)
ε	Rapport molaire pour l'oxygène (O/C)

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

3.4 *Symboles et abréviations pour les constituants chimiques*

C1	Hydrocarbures équivalents en carbone 1
CH_4	Méthane
C_2H_6	Éthane
C_3H_8	Propane
CO	Monoxyde de carbone
CO_2	Dioxyde de carbone
DOP	Di-octylphtalate
HC	Hydrocarbures
H_2O	Eau
HCNM	Hydrocarbures non méthaniques
NO_x	Oxydes d'azote
NO	Oxyde nitrique
NO_2	Dioxyde d'azote
MP	Matières particulaires

3.5 *Abréviations*

CFV	Venturi-tuyère en régime critique
DCL	Détecteur par chimiluminescence
CVS	Prélèvement à volume constant
DeNOx	Système de traitement aval des NO_x
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'amplitude totale
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 du présent RTM pendant sa durée de service, telle qu'elle est définie par la Partie contractante, y compris lorsqu'il est installé sur le véhicule.

5. Prescriptions fonctionnelles

Lorsqu'elles mettront en œuvre la procédure d'essai définie dans le présent RTM dans le cadre de leur législation nationale, les Parties contractantes sont invitées à appliquer des valeurs limites au moins aussi rigoureuses que celles de leur réglementation actuelle, en attendant l'adoption de valeurs limites harmonisées par le Comité exécutif (AC.3) de l'Accord de 1998 en vue de leur inclusion ultérieure dans le RTM.

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'annexe 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 du présent RTM.

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'annexe 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 des moteurs qui 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 interaction 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 inclus 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 de bonne pratique 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 dm^3

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

5.2.3.4.2 Moteurs ayant une cylindrée unitaire <0,75 dm^3

Pour que des moteurs ayant une cylindrée unitaire <0,75 dm^3 soient considérés comme appartenant à la même famille, l'amplitude de variation de leurs cylindrées unitaires ne doit pas dépasser 30 % de la plus forte variation de 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 variation 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'émission.

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 DeNOx avec réduction sélective des NO_x (adjonction d'un agent réducteur);

d) Autre système DeNOx;

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 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 $0{,}93 \leq f_a \leq 1{,}07$. Les Parties contractantes peuvent imposer une valeur de f_a.

a) Moteurs à allumage par compression:

Moteurs à aspiration naturelle et moteurs à suralimentation mécanique:

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

Moteurs à turbocompresseur avec ou sans refroidisseur intermédiaire:

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

b) Moteurs à allumage commandé:

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

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 ±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 ±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 de l'air d'admission par rapport aux conditions réelles. Le volume du refroidisseur intermédiaire doit être déterminé sur la base des règles de l'art 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 la perte de pression de l'air à travers le refroidisseur, il doit être fait en sorte que la perte de pression aux conditions moteur spécifiées par le constructeur se situe bien à l'intérieur de ces limites. La chute de pression doit être mesurée aux endroits spécifiés par le fabricant.

6.3 *Puissance du moteur*

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

6.3.1 Généralités concernant l'installation du moteur

Le moteur doit être essayé avec les accessoires et les équipements énumérés à l'annexe 7.

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

6.3.2 Accessoires 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 accessoires et les équipements prévus conformément à l'annexe 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 Accessoires et équipements qui doivent être démontés pour l'essai

Lorsque les accessoires et les équipements ne figurant pas parmi ceux qui doivent être montés conformément à l'annexe 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, il doit en être donné la preuve à l'autorité d'homologation de type.

6.3.4 Détermination de la puissance absorbée par les accessoires

La puissance absorbée par les accessoires et les équipements ne doit être déterminée que dans les cas suivants:

a) Les accessoires et équipements qui doivent être montés conformément à l'annexe 7 ne sont pas montés sur le moteur; et/ou

b) Des accessoires et équipements qui ne figurent pas parmi ceux qui doivent être montés conformément à l'annexe 7 sont montés sur le moteur.

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

6.3.5 Travail au cours du cycle du moteur

Le calcul du travail au cours du cycle de référence et du travail au cours 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 nuls, et P est égal à P_m.

Si des accessoires et des équipements sont installés conformément aux paragraphes 6.3.2 et/ou 6.3.3, la valeur de 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 accessoires et équipements qui doivent être montés sur le moteur en kW;

$P_{b,i}$ est la puissance absorbée par les accessoires et 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 ±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 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 aux conditions du système de traitement aval (niveau de rodage/vieillissement 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 de systèmes de traitement aval à régénération continue ne nécessitent aucune procédure d'essai spéciale, mais la régénération doit être démontrée conformément au paragraphe 6.6.1.

Pour les moteurs équipés d'un système de traitement aval d'échappement 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 du comportement des émissions. 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 un arrêt 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 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 au cours de l'essai et si les résultats d'au moins trois essais WHTC de démarrage à chaud n'offrent pas une dispersion supérieure à ±25 % ou 0,005 g/kWh, la plus grande de ces deux valeurs étant retenue, le système de traitement aval est considéré comme étant du type à régénération continue et les dispositions d'essai du paragraphe 7.6 (WHTC) et du paragraphe 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 pendant au moins trois essais WHTC de démarrage à chaud, un avec phase de régénération et deux sans phase 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 empêchant 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 phases de régénération, à savoir le nombre d'essais pendant lesquels il y a régénération par rapport au nombre d'essais sans régénération. La manière exacte de déterminer cette fréquence doit être fondée sur les données concernant les moteurs en service et les principes techniques reconnus et doit être approuvée par l'autorité d'homologation de type.

Le constructeur doit fournir un système de traitement aval qui a subi un traitement préliminaire d'encrassage 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. Par contre, la régénération ne doit pas avoir lieu au cours de cette phase de mise en température.

Les émissions spécifiques moyennes au banc de freinage 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 variante autorisée est que le constructeur communique des données démontrant que les émissions demeurent constantes (±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_x, température en amont et en aval du système de traitement, contre-pression d'échappement, etc.).

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

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

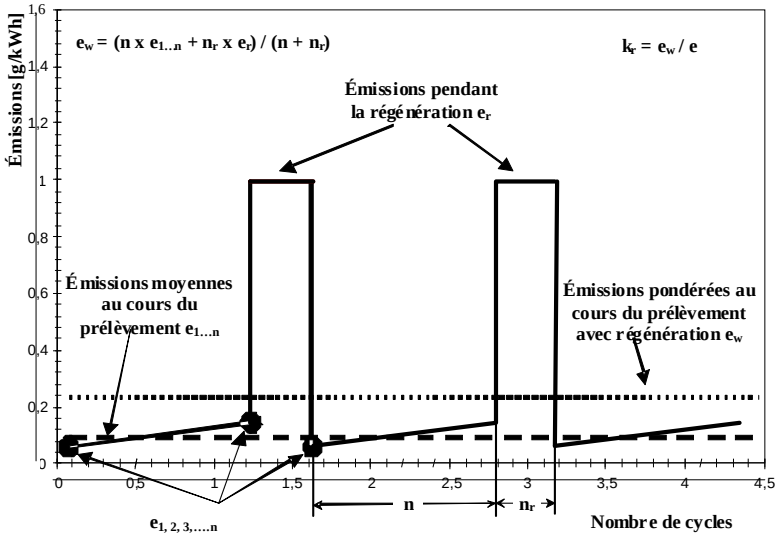


Figure 2
Prise en compte de la régénération périodique dans les résultats

Les émissions au démarrage à chaud WHTC doivent être pondérées comme suit:

$$e_w = \frac{n \times \bar{e} + n_r \times \overline{e_r}}{n + n_r} \qquad (5)$$

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;

$\overline{e_r}$ est la valeur moyenne des émissions spécifiques avec régénération, en g/kWh.

Pour la détermination de $\overline{e_r}$, les dispositions suivantes s'appliquent:

a) Si la régénération prend plus d'un cycle WHTC avec démarrage à chaud, il faut effectuer des essais complets successifs WHTC avec démarrage à chaud et continuer à mesurer les émissions sans exécuter de phase de stabilisation 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 s'effectue et se termine 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 peut être appliqué un facteur de correction de régénération multiplicatif c) ou additif d) sur la base des principes techniques reconnus.

c) Le facteur de correction multiplicatif est calculé comme suit:

$$k_{\mathrm{r,u}} = \frac{e_{\mathrm{w}}}{e} \quad \text{(vers le haut)} \qquad (6)$$

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

d) Le facteur de correction additif est calculé comme suit:

$$k_{\mathrm{r,u}} = e_{\mathrm{w}} - e \quad \text{(vers le haut)} \qquad (7)$$

$$k_{\mathrm{r,d}} = e_{\mathrm{w}} - e_{\mathrm{r}} \quad \text{(vers le bas)} \qquad (8)$$

S'agissant du calcul des émissions spécifiques au paragraphe 8.6.3, les facteurs de correction de régénération s'appliquent comme suit:

e) Pour un essai sans régénération, $k_{\mathrm{r,u}}$ doit être multiplié avec l'émission spécifique e ou lui être ajouté dans les équations 69, 70a ou 70b, respectivement;

f) Pour un essai avec régénération, $k_{\mathrm{r,d}}$ doit être multiplié avec l'émission spécifique e ou lui être soustrait dans les équations 69, 70a ou 70b, respectivement.

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

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, 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*

L'utilisation d'un carburant de référence unique est considérée depuis toujours comme une condition impérative pour garantir la reproductibilité des essais réglementaires de contrôle des émissions, et il est recommandé aux Parties contractantes d'utiliser un tel carburant pour leurs essais de contrôle de la conformité. Toutefois en attendant que des prescriptions fonctionnelles (valeurs limites) soient introduites dans le RTM, les Parties contractantes à l'Accord de 1998 sont autorisées à définir leur propre carburant de référence aux fins de l'application de leur législation nationale, pour tenir compte des carburants réellement commercialisés pour les véhicules en service.

Les carburants de référence diesel de l'Union européenne, des États-Unis d'Amérique et du Japon dont les caractéristiques sont données à l'annexe 2 sont recommandés pour les essais. Étant donné que les caractéristiques du carburant influent sur les émissions d'échappement du moteur, les caractéristiques du carburant utilisé pour les essais doivent être déterminées, consignées et communiquées avec les résultats de l'essai.

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 au cours 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 massique. 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 massique 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 massique 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 défini dans l'annexe 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 conversion du moteur. Cette conversion est appelée dénormalisation, et le cycle d'essai ainsi établi est appelé cycle de référence du moteur à essayer. Avec ces valeurs de référence de régime et de couple, le cycle est exécuté dans la chambre d'essai, et les valeurs réelles de régime, de couple et de puissance sont enregistrées. Pour 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 de freinage, 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 prescrites du travail au cours du cycle de référence.

Pour les polluants gazeux, on peut utiliser le prélèvement continu (des gaz d'échappement bruts ou dilués) ou le prélèvement par lot (des gaz d'échappement dilués). L'échantillon contenant les particules doit être dilué avec un agent 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.

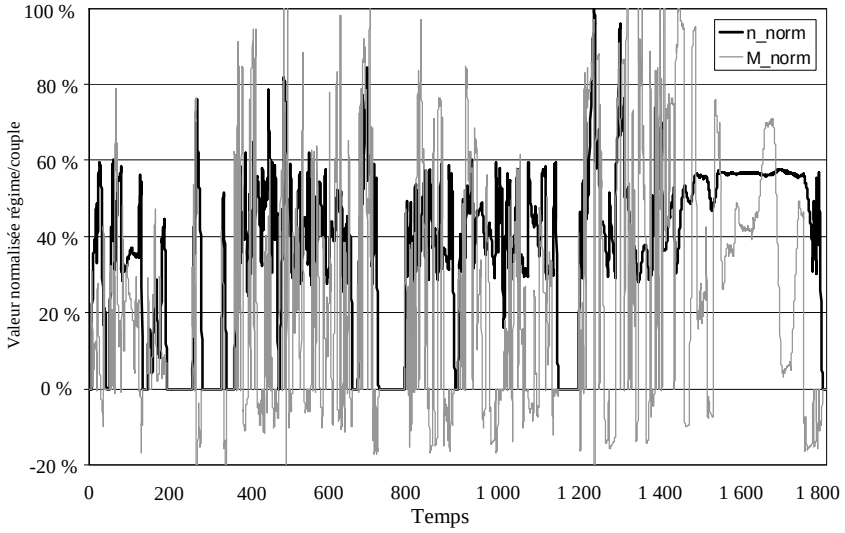


Figure 3
Cycle d'essai WHTC

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

Le cycle d'essai en conditions stationnaires 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 référence pour le moteur en cause sur la base de la courbe de conversion du moteur. Le moteur doit fonctionner pendant la durée prescrite dans chaque mode, les changements de régime moteur et de charge devant se faire linéairement sur une durée de 20 ± 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 sur l'ensemble du 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 agent diluant conditionné (tel que l'air ambiant). Un échantillon doit être prélevé pour l'ensemble de l'essai, et les particules doivent être collectées sur un filtre unique approprié.

Pour le calcul des émissions spécifiques au banc de freinage, 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, le début de chaque mode est défini comme le début de la transition 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
Total			1 895

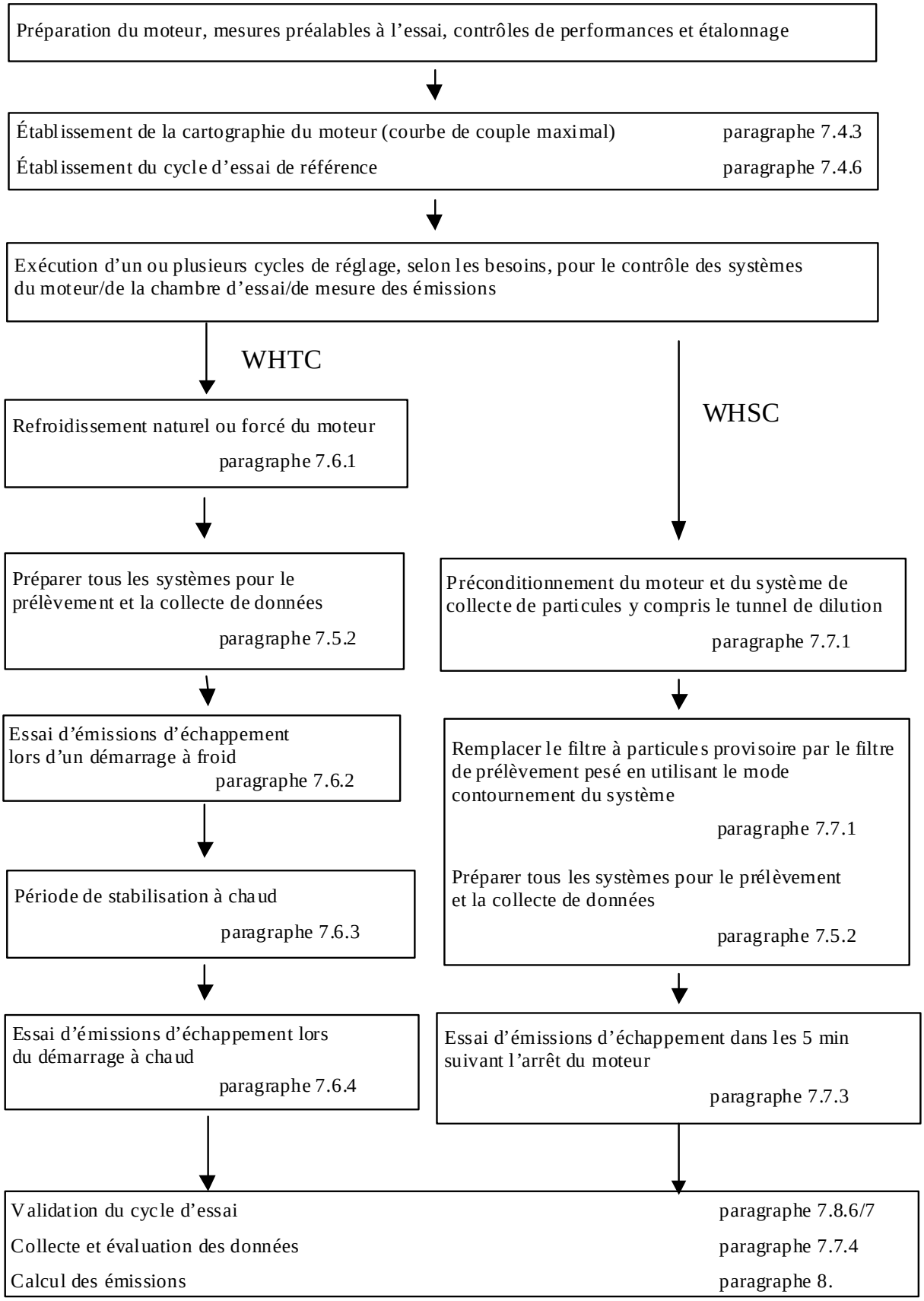
Tableau 1
Cycle d'essai WHSC

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 période de stabilisation à chaud et un essai de démarrage à chaud. La durée de stabilisation à chaud et les facteurs de pondération entre essai de démarrage à chaud et essai de démarrage à froid seront fixés par les Parties contractantes.

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.


Préparation du moteur, mesures préalables à l'essai, contrôles de performances et étalonnage
Établissement de la cartographie du moteur (courbe de couple maximal) paragraphe 7.4.3
Établissement du cycle d'essai de référence paragraphe 7.4.6
Exécution d'un ou plusieurs cycles de réglage, selon les besoins, pour le contrôle des systèmes du moteur/de la chambre d'essai/de mesure des émissions
WHTC
WHSC
Refroidissement naturel ou forcé du moteur paragraphe 7.6.1
Préparer tous les systèmes pour le prélèvement et la collecte de données paragraphe 7.5.2
Préconditionnement du moteur et du système de collecte de particules y compris le tunnel de dilution paragraphe 7.7.1
Essai d'émissions d'échappement lors d'un démarrage à froid paragraphe 7.6.2
Remplacer le filtre à particules provisoire par le filtre de prélèvement pesé en utilisant le mode contournement du système paragraphe 7.7.1
Préparer tous les systèmes pour le prélèvement et la collecte de données paragraphe 7.5.2
Période de stabilisation à chaud paragraphe 7.6.3
Essai d'émissions d'échappement lors du démarrage à chaud paragraphe 7.6.4
Essai d'émissions d'échappement dans les 5 min suivant l'arrêt du moteur paragraphe 7.7.3
Validation du cycle d'essai paragraphe 7.8.6/7
Collecte et évaluation des données paragraphe 7.7.4
Calcul des émissions paragraphe 8.

7.4 *Établissement de la cartographie du moteur et 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 du moteur conformément au diagramme logique d'ensemble du paragraphe 7.3.

En tant que base pour la génération 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 conversion doit être utilisée pour dénormaliser le régime du moteur (par. 7.4.6) et le couple du moteur (par. 7.4.7).

7.4.1 Mise en température du moteur

Le moteur doit être mis en température par fonctionnement entre 75 % et 100 % de sa puissance maximale conformément aux recommandations du constructeur et aux pratiques reconnues. Vers la fin de la mise en température, le moteur doit fonctionner de manière à ce que les températures du liquide de refroidissement et de l'huile de lubrification se situent à ±2 % près de 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} x 1,02, ou régime où le couple à pleine charge s'annule, la valeur la plus basse étant retenue.

7.4.3 Traçage des courbes moteur

Lorsque les conditions moteur sont stationnaires 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 ± 1 min^{-1}/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 maximal au régime minimal 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 conversion 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'annexe 1 (WHTC) et du tableau 1 (WHSC) doivent être dénormalisées au moyen de l'équation suivante:

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

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

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

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

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

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

n_{idle} est le régime de ralenti;

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

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

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

n_{95h} est remplacé par n_{Pmax} x 1,02.

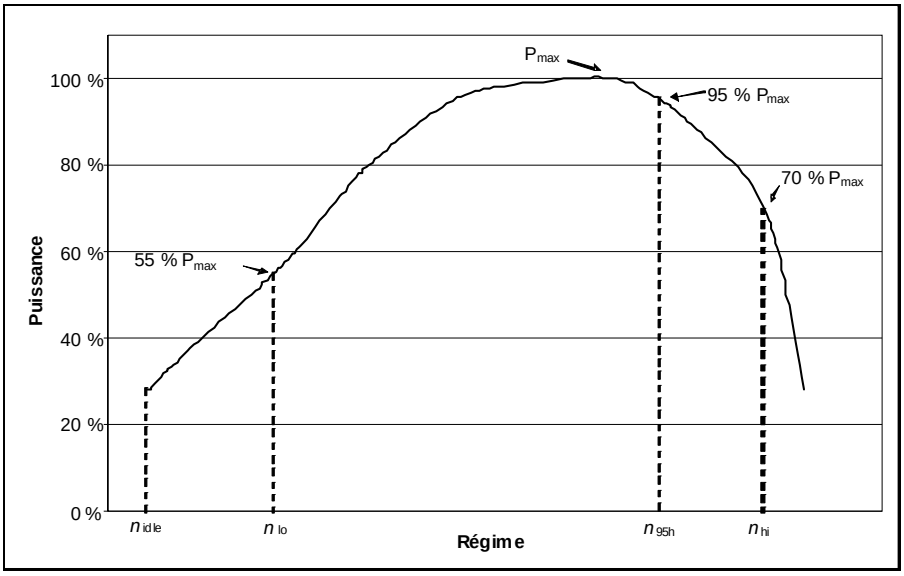


Figure 4
Définition des régimes d'essai

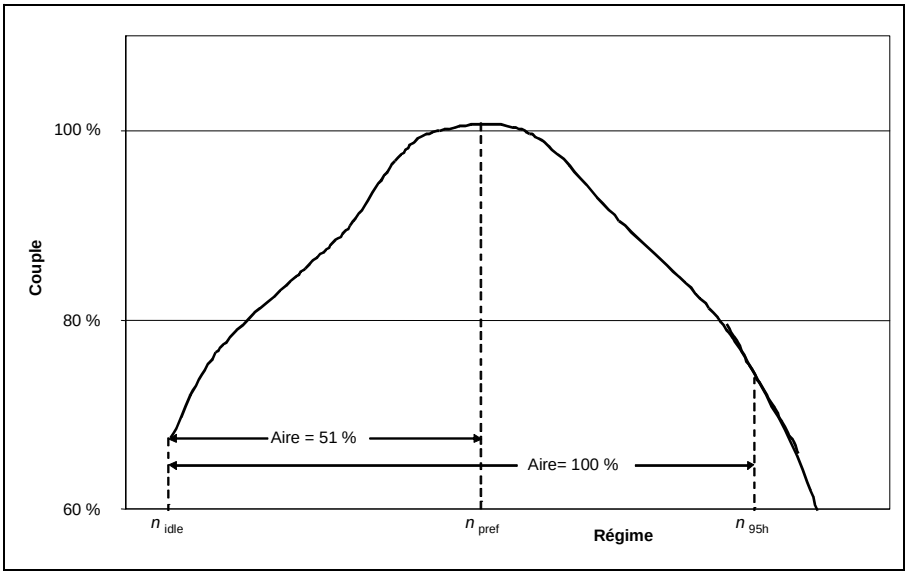


Figure 5
Définition de n_{pref}

7.4.7 Dénormalisation des valeurs de couple

Les valeurs de couple dans la fiche de programmation du banc moteur de freinage de l'annexe 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 conversion déterminée conformément au paragraphe 7.4.3, comme suit:

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

où:

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

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

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

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

Si les accessoires et équipements sont montés conformément au paragraphe 6.3.1 et à l'annexe 7, M_{a} et M_{b} sont nuls.

Pour l'élaboration du cycle de référence, les valeurs de couple négatives des points «entraînement par le banc» («m» dans l'annexe 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_{hi} et interpolation linéaire entre ces deux points.

7.4.8 Calcul du travail au cours du cycle d'essai de référence

On détermine le travail au cours du cycle d'essai de référence pour 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_{ref} (kWh). Si les accessoires 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'essais.

La réponse à la mise à zéro et la réponse au calibrage 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'agent diluant peut être déterminé par prélèvement sur l'agent diluant en amont de l'entrée des gaz d'échappement dans le tunnel de dilution. La mesure peut se faire avant ou après l'essai. Si elle 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 techniques reconnues, telles 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 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 ±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 est soumis à un arrêt à chaud, à savoir selon le cas:

a) Un arrêt d'une durée de 5 ± 1 min;

b) Un arrêt d'une durée de 20 ± 1 min.

Le choix de l'option appartiendra à la Partie contractante.

7.6.4 Essai de démarrage à chaud

On démarre le moteur à la fin de la période d'arrêt à chaud comme défini au paragraphe 7.6.3 en appliquant les méthodes 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'émission 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 massique 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_x) et le débit massique 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 de calibrage 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_x 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_2 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 l'agent 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 massique de gaz d'échappement qui est déterminé conformément 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 ±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 ±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 ±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 préconditionnés 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 préconditionnement.

7.7.2 Démarrage du moteur

5 ± 1 min après la fin du préconditionnement 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 massique 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_x) et le débit massique 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 de calibrage 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_x 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_2 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 l'agent diluant doivent être déterminées 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 massique 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 ±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 ±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 ±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 massique 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 par lot proportionnel, tel que le prélèvement d'un sac de collecte ou un prélèvement de matières particulaires, il doit être vérifié que le prélèvement d'un 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 recouverts ou fermés hermétiquement ou les porte-filtres doivent être fermés eux-mêmes, 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 à la mise à zéro et la réponse au calibrage de l'analyseur de gaz 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 à la mise à zéro et au calibrage avant l'essai et après l'essai peuvent être directement appliquées dans les calculs de dérive prescrits au paragraphe 8.6.1 sans déterminer la dérive;

b) Si la différence entre les résultats avant essai et après essai est de moins de 1 % de l'amplitude totale, la concentration mesurée peut être utilisée non corrigée ou peut être corrigée pour 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'amplitude totale, l'essai est annulé ou les concentrations mesurées sont corrigées pour 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 de stabilisation à chaud pour l'essai de démarrage à froid;

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

7.8.6 Validation du travail au cours du cycle

Avant de calculer le travail au cours du 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 au cours du cycle effectif. Si des accessoires 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 avec le travail au cours du cycle de référence W_{ref} et pour le calcul des émissions spécifiques au banc de freinage (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 minimiser 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:

$$y = a_1 x + a_0 \quad (11)$$

où:

y est la valeur réelle du régime (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 (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 satisfaire 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	±20 Nm ou ±2 % du couple maximal, la valeur supérieure étant retenue	±4 kW ou ±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	±20 Nm ou ±2 % du couple maximal, la valeur supérieure étant retenue	±4 kW ou ±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*
Demande minimale de l'opérateur (point de ralenti)	n_{ref} = 0 % et M_{ref} = 0 % et $M_{act} > (M_{ref} - 0{,}02\ M_{max.\ mapped\ torque})$ et $M_{act} < (M_{ref} + 0{,}02\ M_{max.\ mapped\ torque})$	régime et puissance
Demande minimale de l'opérateur (point d'entraînement par le banc)	$M_{ref} < 0$ %	puissance et couple
Demande minimale de l'opérateur	$n_{act} \leq 1{,}02\ n_{ref}$ et $M_{act} > M_{ref}$ ou $n_{act} > n_{ref}$ et $M_{act} \leq M_{ref}$ ou $n_{act} > 1{,}02\ n_{ref}$ et $M_{ref} < M_{act} \leq (M_{ref} + 0{,}02\ M_{max.\ mapped\ torque})$	puissance et, soit couple, soit régime

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

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 de freinage.

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

Le calcul des émissions sur une base molaire conformément à l'annexe 7 du RTM n° [xx] (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:

$$c_w = k_w \cdot c_d \tag{12}$$

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 $k_{w,d}$ en fonction de l'équation respectivement utilisée).

8.1.1 Gaz d'échappement bruts

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

ou

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

ou

$$k_{\mathrm{w,a}} = \left(1 - \frac{1}{1 + a \times 0{,}005 \times \left(c_{\mathrm{CO2}} + c_{\mathrm{CO}}\right)} - k_{\mathrm{w1}}\right) \times 1{,}008 \tag{15}$$

avec

$$k_{\mathrm{fw}} = 0{,}055594 \times W_{\mathrm{ALF}} + 0{,}0080021 \times W_{\mathrm{DEL}} + 0{,}0070046 \times W_{\mathrm{EPS}} \tag{16}$$

et

$$k_{\mathrm{w1}} = \frac{1{,}608 \times H_{\mathrm{a}}}{1\,000 + \left(1{,}608 \times H_{\mathrm{a}}\right)} \tag{17}$$

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 % de la masse;

$q_{\mathrm{mf,i}}$ est le débit massique instantané de carburant, en kg/s;

$q_{\mathrm{mad,i}}$ est le débit massique 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 % de la masse;

w_{EPS} est la teneur en oxygène du carburant, en % de la masse;

α est le rapport molaire pour l'hydrogène du carburant;

c_{CO2} est la concentration de CO_2 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

$$k_{w,e} = \left[\left(1 - \frac{a \times c_{\mathrm{CO2w}}}{200}\right)\right] - k_{w2} \times 1{,}008 \tag{18}$$

ou

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

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:

α est le rapport molaire pour l'hydrogène du carburant;

c_{CO2w} est la concentration de CO_2 en conditions humides, en %;

c_{CO2d} 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 NO_x pour l'humidité*

Étant donné que les émissions de NO_x dépendent des conditions atmosphériques ambiantes, les concentrations de NO_x 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 Ha 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 pour la flottabilité dépend de la densité du filtre, de la densité de l'air et de la densité des poids de tarage de la balance et ne tient pas compte de la flottabilité des matières particulaires elles-mêmes. La correction pour la flottabilité s'applique à la fois à la masse à vide du filtre et à la masse brute du filtre.

Si la densité 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^3;

b) Filtre à membrane en PTFE: 2,144 kg/m^3;

c) Filtre à membrane en PTFE avec anneau support en polyméthylpentène: 920 kg/m^3.

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

L'équation suivante doit être appliquée:

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

avec

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

où:

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

ρ_a est la masse volumique de l'air, en kg/m^3;

ρ_w est la masse volumique du poids de tarage de la balance, en kg/m^3;

ρ_f est la masse volumique du filtre de collecte des particules, en kg/m^3;

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:

$$m_p = m_{f,G} - m_{f,T} \tag{27}$$

où:

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

$m_{f,T}$ est la masse à vide du filtre à particules corrigée pour les 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 massiques par multiplication avec le débit massique instantané de gaz d'échappement. Le débit massique 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 une synchronisation des signaux. Pour les particules, les signaux de débit massique de gaz d'échappement sont utilisés pour régler le système de dilution du flux partiel de manière à prélever un échantillon proportionnel au débit massique de gaz d'échappement. La proportionnalité doit être contrôlée par application d'une analyse de régression entre 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.

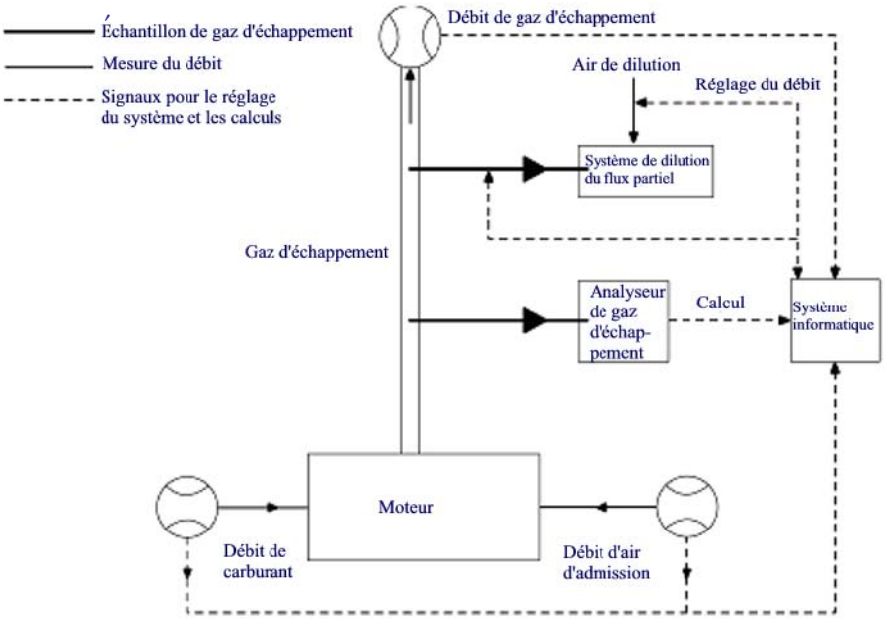


Figure 6
Schéma de principe du système de mesure du débit brut/débit partiel

8.4.1 Détermination du débit massique 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 massique de gaz d'échappement. Pour la détermination du débit massique 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 qui est ≤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 ≤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 ≤5 s avec un temps de montée ≤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:

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

où:

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

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

$q_{mf,i}$ est le débit massique 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 l'amplitude de l'analyseur de gaz.

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

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

où:

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

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

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

ρ_e est la masse volumique des gaz d'échappement, en kg/m³ (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 ($c_{\mathrm{mix.i}}$) 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 massique de gaz d'échappement d'après le débit d'air et le rapport air/carburant. Le débit massique instantané de gaz d'échappement est calculé comme suit:

$$q_{m\mathrm{ew,i}} = q_{m\mathrm{aw,i}} \times \left(1 + \frac{1}{A/F_{\mathrm{st}} \times \lambda_{\mathrm{i}}}\right) \tag{30}$$

avec

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

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

où:

$q_{m\mathrm{aw,i}}$ est le débit massique instantané d'air d'admission, en kg/s;

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

λ_{i} est le taux d'excédent d'air instantané;

c_{CO2d} est la concentration de CO_2 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 massique instantané de gaz d'échappement est calculé comme suit:

$$q_{mew,i} = q_{mf,i} \times \left(\frac{w_{BET}^2 \times 1{,}4}{(1{,}0828 \times w_{BET} + k_{fd} \times k_c) \times k_c} \left(1 + \frac{H_a}{1\,000} \right) + 1 \right) \tag{33}$$

avec

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

et

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

où:

$q_{mf,i}$ est le débit massique 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 % de la masse;

w_{ALF} est la teneur en hydrogène du carburant, en % de la masse;

w_{DEL} est la teneur en azote du carburant, en % de la masse;

w_{EPS} est la teneur en oxygène du carburant, en % de la masse;

c_{CO2d} est la concentration de CO2 en conditions sèches, en %;

$c_{CO2d,a}$ est la concentration de CO2 de l'air d'admission, en %;

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

c_{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'annexe 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'annexe 2. La méthode du paragraphe 8.4.2.3 est d'une application plus simple car elle utilise des valeurs *u* 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'annexe 2, mais elle nécessite une analyse élémentaire de la composition du carburant.

8.4.2.2 Évaluation des données

Les données d'émission pertinentes doivent être enregistrées et consignées 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 massique de gaz d'échappement peuvent être alignées par le 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 massique 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 massique de gaz d'échappement, alignées 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 indiquées dans le 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 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:

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

où:

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

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

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

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

n est le nombre de mesures.

		Gaz					
		NO_x	*CO*	*HC*	*CO_2*	*O_2*	*CH_4*
		ρ_{gas} [kg/m³]					
		2,053	*1,250*	*[a]*	*1,9636*	*1,4277*	*0,716*
Carburant	*ρ_e*	*u_{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
GNG[c]	1,2661	0,001621	0,000987	0,000558[d]	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[e]	1,2811	0,001602	0,000976	0,000510	0,001533	0,001115	0,000559

[a] Selon le carburant.

[b] À λ = 2, air sec, 273 K, 101,3 kPa.

[c] *u* avec une précision inférieure à 0,2 % pour la composition (en masse) suivante: C = 66-76 %; H = 22-25 %; N = 0-12 %.

[d] HCNM sur la base de $CH_{2,93}$ (pour les HC totaux, le coefficient u_{gas} de CH_4 doit être utilisé).

[e] *u* avec une précision inférieure à 0,2 % 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 massique de gaz d'échappement, alignées 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 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:

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

où:

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

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

$q_{mew,i}$ est le débit massique 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:

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

ou

$$u_{gas,i} = \rho_{gas} / \left(\rho_{e,i} \times 1\,000\right) \tag{39}$$

avec

$$\rho_{gas} = M_{gas} / 22{,}414 \tag{40}$$

où:

M_{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;

ρ_{gas} est la masse volumique des constituants gazeux, en kg/m^3;

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

La masse molaire des gaz d'échappement (M_e) est calculée, pour une composition générale du combustible de $CH_\alpha O_\varepsilon N_\delta S_\gamma$, dans l'hypothèse d'une combustion complète, comme suit:

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

où:

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

$q_{mf,i}$ est le débit massique 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 (ρ_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 massique instantané d'air d'admission sur base sèche, en kg/s;

$q_{mf,i}$ est le débit massique 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 massique 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

$$m_{PM} = \frac{m_p}{m_{sep}} \times \frac{m_{edf}}{1\,000} \tag{45}$$

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:

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

$$q_{medf,i} = q_{mew,i} \times r_{d,i} \tag{47}$$

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

où:

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

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

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

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

$q_{mdw,i}$ est le débit massique 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 avec le débit massique de gaz d'échappement dilués. Le débit massique 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 ±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 ±2,5 % de son propre débit de consigne.

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

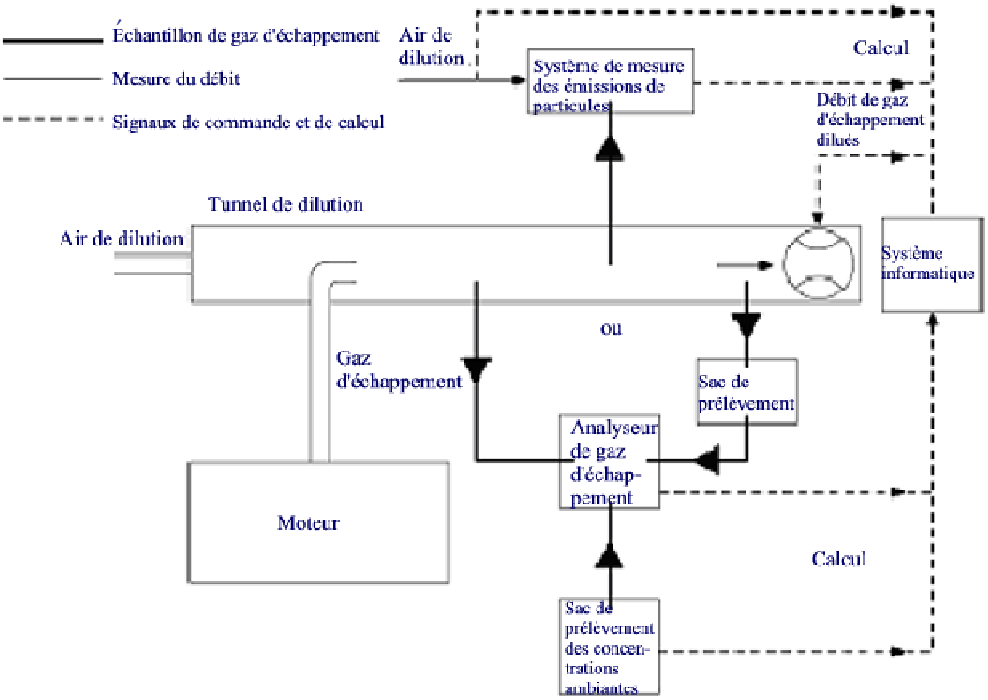


Figure 7
Schéma de principe du système de mesure sur le flux total

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 massique de gaz d'échappement dilués. Le débit massique 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 de calibrage 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 massique sur tout le cycle s'effectue comme suit, si la température des gaz d'échappement dilués est maintenue constante à ±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 massique au cours du cycle s'effectue comme suit, si la température des gaz d'échappement dilués est maintenue constante à ±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:

Δt_i est l'intervalle de temps, en s.

8.5.1.4 Système SSV-CVS

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

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

avec

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

où:

A_0 est égal à 0,006111 dans les unités SI suivantes

$$\left(\frac{m^3}{\min}\right)\left(\frac{K^{\frac{1}{2}}}{kPa}\right)\left(\frac{1}{mm^2}\right);$$

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

Cd 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:

$$m_{ed} = 1{,}293 \times \mathrm{QSSV} \times \Delta \mathrm{ti} \qquad (55)$$

où:

Δt_i est l'intervalle de temps, en s.

Le calcul en temps réel doit être initialement effectué, soit avec une valeur acceptable de C_d telle que 0,98, soit avec une valeur acceptable 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'annexe 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 consignées conformément au paragraphe 7.6.6.

8.5.2.3 Calcul des émissions massiques

8.5.2.3.1 Systèmes à débit massique constant

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

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

où:

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

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

m_{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 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.

Les valeurs de u sont données dans le tableau 6. Pour le calcul des valeurs de u_{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_{gas} sont donc identiques pour les constituants gazeux individuels, mais différentes pour les HC.

		Gaz					
		NO_x	*CO*	*HC*	*CO_2*	*O_2*	*CH_4*
		ρ_{gas} [kg/m³]					
		2,053	*1,250*	*[a]*	*1,9636*	*1,4277*	*0,716*
Carburant	*ρ_{de}*	*u_{gas} [b]*					
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[c]	1,293	0,001588	0,000967	0,000517[d]	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[e]	1,293	0,001588	0,000967	0,000505	0,001519	0,001104	0,000553

[a] Selon le carburant.

[b] À λ = 2, air sec, 273 K, 101,3 kPa.

[c] u avec une précision inférieure à 0,2 % pour la composition (en masse) suivante: C = 66-76 %; H = 22-25 %; N = 0-12 %.

[d] HCNM sur la base de $CH_{2,93}$ (pour les HC totaux, le coefficient u_{gas} de CH_4 doit être utilisé).

[e] u avec une précision inférieure 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 exacte décrite en termes généraux au paragraphe 8.4.2.4, comme suit:

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

où:

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

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

M_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 des 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 utilisée:

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

où:

$c_{gas,e}$ 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;

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

$$D = \frac{F_S}{c_{CO2,e} + \left(c_{HC,e} + c_{CO,e}\right) \times 10^{-4}} \quad (59)$$

b) Pour les moteurs à allumage commandé alimentés au GN

$$D = \frac{F_S}{c_{CO2,e} + \left(c_{NMHC,e} + c_{CO,e}\right) \times 10^{-4}} \quad (60)$$

où:

$c_{CO2,e}$ est la concentration de CO2 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:

α 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:

FS (gazole) = 13,4

FS (GPL) = 11,6

FS (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:

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

où:

$c_{gas,e}$ 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;

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

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

u_{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:

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

où:

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

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

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

avec

$$m_{sep} = m_{set} - m_{ssd} \tag{64}$$

où:

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

m_{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:

$$m_{PM} = \left[\frac{m_p}{m_{sep}} - \left(\frac{m_b}{m_{sd}} \times \left(1 - \frac{1}{D} \right) \right) \right] \times \frac{m_{ed}}{1\,000} \tag{65}$$

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:

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

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 calibrage, 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 calibrage 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;

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

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

Deux séries de résultats de mesures d'émissions spécifiques doivent être calculées pour chaque constituant conformément au paragraphe 8.6.3, après application de toute autre correction nécessaire. On calcule l'une des séries en utilisant des concentrations non corrigées et l'autre en utilisant des concentrations corrigées pour les 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_{gas}, dans les équations 36, 37, 56, 57 ou 62, respectivement, doit être remplacé par c_{cor} de l'équation 66. Si les valeurs de concentration instantanées $c_{gas,i}$ sont utilisées dans l'équation respective, la valeur corrigée doit aussi être appliquée en tant que valeur instantanée $c_{cor,i}$. Dans 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 non corrigées et corrigées ne doit pas excéder ±4 % des valeurs des émissions spécifiques 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 pour les effets de la dérive doivent être utilisés dans le compte rendu des mesures d'émissions.

8.6.2 Détermination des HCNM et du CH_4 avec le convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques

Le calcul des HCNM et du CH_4 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'annexe 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'annexe 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_4 sont calculées comme suit a):

$$c_{\mathrm{NMHC}} = \frac{c_{\mathrm{HC(w/\,NMC)}} - c_{\mathrm{HC(w/oNMC)}} \times (1 - E_{\mathrm{E}})}{rh \;\; x \;\; (E_{\mathrm{E}} - E_{\mathrm{M)}}} \tag{67}$$

$$C_{CH4} = \frac{c_{HC(w/oNMC)} \times (1 - E_M) - c_{HC(w/NMC)}}{E_E - E_M} \tag{68}$$

Les concentrations de HCNM et de CH_4 sont calculées comme suit b):

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

$$C_{CH4} = \frac{c_{HC(w/NMC)} \times r_h \times (1 - E_M) - c_{HC(w/oNMC)} \times (1 - E_E)}{r_h \times (E_E - E_M)} \tag{68a}$$

où:

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

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

r_{h} est le facteur de réponse pour le méthane comme déterminé selon le paragraphe 9.3.7.2;

E_{M} est l'efficacité pour le méthane comme déterminé selon le paragraphe 9.3.8.1;

E_{E} est l'efficacité pour l'éthane comme déterminé selon le paragraphe 9.3.8.2.

Si $r_{\mathrm{h}} < 1{,}05$, il peut être omis dans les équations 67, 67a et 68a.

8.6.3 Calcul des émissions spécifiques

Les émissions spécifiques e_{gas} ou e_{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:

$$e = \frac{m}{W_{\mathrm{act}}} \tag{69}$$

où:

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

W_{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 l'une ou l'autre des équations suivantes:

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

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

Les Parties contractantes décideront de la variante choisie.

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 influer 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	$\lvert x_{\min} \cdot (a_1 - 1) + a_0 \rvert$	*Pente a_1*	*Erreur type SEE*	*Coefficient de détermination r^2*
Régime moteur	≤0,05 % max.	0,98 − 1,02	≤2 % max.	≥0,990
Couple moteur	≤1 % max.	0,98 − 1,02	≤2 % max.	≥0,990
Débit de carburant	≤1 % max.	0,98 − 1,02	≤2 % max.	≥0,990
Débit d'air	≤1 % max.	0,98 − 1,02	≤2 % max.	≥0,990
Débit de gaz d'échappement	≤1 % max.	0,98 − 1,02	≤2 % max.	≥0,990
Débit d'air de dilution	≤1 % max.	0,98 − 1,02	≤2 % max.	≥0,990
Débit de gaz d'échappement dilués	≤1 % max.	0,98 − 1,02	≤2 % max.	≥0,990
Débit de prélèvement	≤1 % max.	0,98 − 1,02	≤2 % max.	≥0,990
Analyseurs de gaz	≤0,5 % max.	0,99 − 1,01	≤1 % max.	≥0,998
Mélangeurs-doseurs de gaz	≤0,5 % max.	0,98 − 1,02	≤2 % max.	≥0,990
Températures	≤1 % max.	0,99 − 1,01	≤1 % max.	≥0,998
Pressions	≤1 % max.	0,99 − 1,01	≤1 % max.	≥0,998
Balance de pesage des particules	≤1 % max.	0,99 − 1,01	≤1 % max.	≥0,998

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 comme spécifié, au système de mesure contrôlé, et les valeurs mesurées doivent être comparées aux valeurs de référence au moyen d'une 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 mise à 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 l'étalonnage de l'appareil en appliquant le signal approprié. Pour les analyseurs de gaz, un gaz de calibrage approprié est introduit directement par le raccord d'entrée de l'analyseur;

c) L'opération a) de réglage de mise à zéro est répétée;

d) On effectue la vérification en appliquant au moins 10 valeurs de référence (y compris 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, en conformité avec le 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) La mise à zéro doit être à nouveau contrôlée 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 précision nécessaire pour la mesure des concentrations des constituants des gaz d'échappement en conditions transitoires ou stationnaires.

La compatibilité électromagnétique de l'appareil doit être suffisante pour 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 ±2 % de la valeur lue ou de ±0,3 % de l'amplitude totale, 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 de calibrage donné; elle doit être conforme à la limite de 1 % de la concentration maximale de calibrage 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 mise à zéro et de calibrage sur une période quelconque de 10 s ne doit pas être supérieure à 2 % de l'amplitude totale sur toutes les gammes utilisées.

9.3.1.5 Dérive de la réponse à la mise à zéro

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

9.3.1.6 Dérive de la réponse au calibrage

La dérive de la réponse au calibrage 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'annexe 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 non dispersif à absorption de l'infrarouge (NDIR).

9.3.2.3 Analyse du dioxyde de carbone (CO_2)

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 ± 10 K (190 ± 10 °C). Éventuellement, 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'annexe 3, par. A.3.1.3).

9.3.2.5 Analyse du méthane (CH_4) 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 au système décrit à l'annexe 3, paragraphes A.3.1.4 et A.3.1.5, fonctionnant par soustraction du méthane des hydrocarbures. Les concentrations des constituants doivent être déterminées selon le paragraphe 8.6.2.

9.3.2.6 Analyse des oxydes d'azote (NO_x)

Deux instruments de mesure sont spécifiés pour la mesure des NO_x; 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_2/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_x. Si l'analyseur mesure uniquement le NO, un convertisseur NO_2/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_2/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 mesure pour $\lambda < 2$;

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

±10 % de la valeur de mesure 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 ≤ 1 ppm C1, ≤ 1 ppm CO, ≤ 400 ppm CO_2, ≤ 0,1 ppm NO)

Oxygène purifié
(Pureté > 99,5 % vol. O_2)

Mélange hydrogène-hélium (carburant du brûleur du DIF (de l'analyseur FID))
(Hydrogène 40 ± 1 %, reste hélium)
(Contamination ≤ 1 ppm C1, ≤ 400 ppm CO_2)

Air synthétique purifié
(Contamination ≤ 1 ppm C1, ≤ 1 ppm CO, ≤ 400 ppm CO_2, ≤ 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 ≤ 0,05 ppm C1, ≤ 1 ppm CO, ≤ 10 ppm CO_2, ≤ 0,02 ppm NO)

Oxygène purifié
(Pureté > 99,5 % vol. O2)

Mélange hydrogène-hélium (carburant du brûleur du DIF (de l'analyseur FID))
(Hydrogène 40 ± 1 %, reste hélium)
(Contamination ≤ 0,05 ppm C1, ≤ 10 ppm CO_2)

Air synthétique purifié
(Contamination ≤ 0,05 ppm C1, ≤ 1 ppm CO, ≤ 10 ppm CO_2, ≤ 0,02 ppm NO)
(Teneur en oxygène 20,5 - 21,5 % vol.).

Si l'on ne dispose pas de bouteilles de gaz, 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 de calibrage

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

C_3H_8 et air synthétique purifié (voir par. 9.3.3.1);

CO et azote purifié;

NO et azote purifié;

NO_2 et air synthétique purifié;

CO_2 et azote purifié;

CH_4 et air synthétique purifié;

C_2H_6 et air synthétique purifié.

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

9.3.3.3 Mélangeurs-doseurs de gaz

Les gaz utilisés pour le calibrage peuvent être aussi obtenus au moyen de mélangeurs-doseurs de précision, par dilution avec du N_2 purifié ou de l'air synthétique purifié. La justesse du mélangeur-doseur doit être telle que la concentration des gaz de calibrage produits par mélange soit juste à ±2 % près. Cette condition implique que les gaz primaires utilisés pour produire le mélange soient d'une concentration connue à ±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'amplitude totale pour chaque opération de calibrage incluant un mélangeur-doseur. Une vérification supplémentaire peut être exécutée avec un autre gaz de calibrage, en cas d'échec de la première.

Éventuellement, le mélangeur peut être contrôlé avec un appareil qui est par nature linéaire (exemple: mesure d'un gaz NO avec un DCL). La valeur de l'amplitude de l'instrument doit être ajustée lorsque le gaz de calibrage 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 en chaque point être au maximum de ±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 ±1 % près.

9.3.3.4 Gaz de contrôle de l'interférence avec l'oxygène

Le contrôle de l'interférence 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 ± 75 ppm C d'hydrocarbures. La valeur de concentration doit être déterminée aux tolérances s'appliquant aux gaz de calibrage 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 dans le tableau 8, la fraction restante des gaz étant constituée par de l'azote purifié.

Type de moteur	*Concentration de O_2 (%)*
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'interférence 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 Δp (kPa/min) dans le système ne doit pas dépasser:

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

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 de calibrage. Si pour un analyseur correctement étalonné, après un laps de temps suffisant, la mesure est ≤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'amplitude totale.

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

Le temps de réponse du système doit être ≤10 s et le temps de montée ≤2,5 s conformément aux dispositions du paragraphe 9.3.1.7 pour tous les constituants réglementés (CO, NO_x, 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_x

L'efficacité du convertisseur utilisé pour convertir NO_2 en NO doit être vérifiée comme indiqué aux paragraphes 9.3.6.1 à 9.3.6.8 (voir fig. 8).

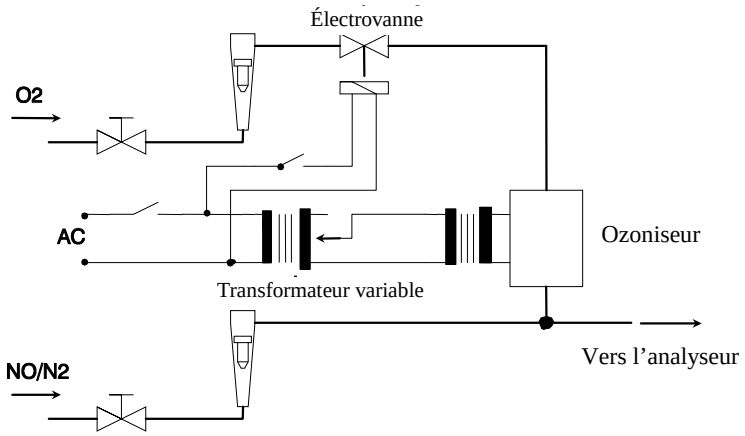


Figure 8
Schéma du système de contrôle de l'efficacité du convertisseur de NO_2

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 mise à zéro et d'un gaz de calibrage (la teneur en NO doit correspondre à 80 % approximativement de la valeur maximale de la gamme utilisée et la teneur en NO_2 du mélange de gaz doit être inférieure à 5 % de la teneur en NO). L'analyseur de NO_x doit être réglé sur le mode NO de manière que le gaz de calibrage ne traverse pas le convertisseur. La concentration indiquée doit être enregistrée.

9.3.6.3 Calcul

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

$$E_{\mathrm{NOx}} = \left(1 + \frac{a-b}{c-d}\right) \times 100 \qquad (72)$$

où:

a est la concentration de NO_x conformément au paragraphe 9.3.6.6;

b est la concentration de NO_x 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 de calibrage 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 diminuer la concentration de NO à environ 20 % (valeur minimale 10 %) de la concentration de calibrage 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_x

L'analyseur est alors commuté sur le mode NO_x, de telle manière que le mélange de gaz (constitué de NO, NO_2, O_2 et N_2) traverse maintenant le convertisseur. La concentration indiquée *a* doit être enregistrée (l'analyseur est sur le mode NO_x).

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_x).

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_x 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_{NOx} ne doit pas être inférieure à 95 %. Si, lorsque l'analyseur est réglé sur la gamme la plus courante, l'ozoniseur ne permet pas d'obtenir une réduction de la concentration de 80 à 20 % comme prescrit au paragraphe 9.3.6.5, on doit utiliser la gamme la plus élevée qui permette d'obtenir cette réduction.

9.3.7 Réglage de l'analyseur FID

9.3.7.1 Optimisation de la réponse du détecteur

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

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

Éventuellement, 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'amplitude totale. Cette concentration doit être connue avec une précision de ±2 % par rapport à un étalon gravimétrique exprimé en volume. En outre, la bouteille de gaz doit être préconditionnée pendant 24 heures à une température de 298 ± 5 K (25 ± 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'interférence avec l'oxygène

Pour les analyseurs utilisés pour l'analyse des gaz d'échappement bruts seulement, le contrôle de l'interférence 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'interférence 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'interférence 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'étalonnage 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 à la mise à zéro doit être contrôlée à nouveau. Si elle a varié de plus de 0,5 % de l'amplitude totale, les étapes a) et b) du présent paragraphe doivent être répétées.

d) Les gaz de contrôle de l'interférence avec l'oxygène à 5 et à 10 % doivent être appliqués.

e) La réponse à la mise à zéro doit être à nouveau contrôlée. Si elle a varié de plus de ±1 % de l'amplitude totale, l'essai doit être répété.

f) L'effet de l'interférence avec l'oxygène E_{O2} doit être calculé pour chaque mélange utilisé à l'étape d) comme suit:

$$E_{O2} = (c_{ref,d} - c) \times 100/c_{ref,d} \quad (73)$$

avec c, réponse de l'analyseur:

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

où:

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

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

$c_{FS,b}$ est la concentration de HC sur toute l'amplitude à l'étape b), en ppm C;

$c_{FS,d}$ est la concentration de HC sur toute l'amplitude à l'étape d), en ppm C;

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

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

g) L'effet d'interférence avec l'oxygène E_{O2} doit être inférieur à ±1,5 % pour tous les gaz de contrôle prescrits, le contrôle étant effectué avant l'essai.

h) Si l'effet d'interférence avec l'oxygène E_{O2} est supérieur à ±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'interférence 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 massique d'émissions de HCNM (voir par. 8.5.2).

9.3.8.1 Efficacité pour le méthane

On fait passer le gaz de calibrage 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:

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

où:

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

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

9.3.8.2 Efficacité pour l'éthane

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

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

où:

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

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

9.3.9 Effets d'interférence

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 interférence 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 interférence 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'interférence 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'interférence pour l'analyseur de CO

L'eau et le CO_2 peuvent interférer avec les résultats donnés par l'analyseur de CO. C'est pourquoi il doit être effectué un contrôle avec un gaz de calibrage CO_2 ayant une concentration de 80 à 100 % de l'amplitude totale 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'interférence pour CO_2 et H_2O peuvent aussi être menées séparément. Si les niveaux de CO_2 et H_2O utilisés sont supérieurs aux niveaux maximaux escomptés pendant l'essai, chaque valeur observée subissant une interférence doit être réduite en la multipliant par le quotient de la valeur de concentration escomptée maximale par la valeur réelle utilisée pendant cette procédure. Des procédures séparées pour l'interférence pour les concentrations de H_2O qui sont inférieures aux niveaux maximaux escomptés pendant l'essai peuvent être appliquées, mais la valeur observée subissant une interférence avec H_2O doit être corrigée vers le haut en la multipliant par le quotient de la valeur de la concentration de H_2O maximale escomptée par la valeur réelle utilisée pendant cette procédure. La somme de ces deux valeurs observées 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_x en ce qui concerne les analyseurs CLD

Les deux gaz à considérer pour les analyseurs CLD (et HCLD) sont le CO_2 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 utilisent des instruments de mesure de H_2O et/ou CO_2, 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_2

Un gaz de calibrage CO_2 ayant une concentration de 80 à 100 % de l'amplitude totale utilisée doit être envoyé dans l'analyseur NDIR et la valeur de CO_2 enregistrée comme *A*. Il doit ensuite être dilué à 50 % environ avec le gaz de calibrage NO et envoyé dans l'analyseur NDIR et l'analyseur (H)CLD, les valeurs de CO_2 et de NO étant enregistrées comme *B* et *C* respectivement. L'arrivée de CO_2 doit alors être coupée et seul le gaz de calibrage 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:

$$E_{CO2} = \left[1 - \left(\frac{(C \times A)}{(D \times A) - (D \times B)}\right)\right] \times 100 \qquad (77)$$

où:

A est la concentration de gaz CO_2 non dilué mesurée avec l'analyseur NDIR, en %;

B est la concentration de gaz CO_2 dilué mesurée avec l'analyseur NDIR, en %;

C est la concentration de gaz NO dilué mesurée avec l'analyseur (H)CLD, en ppm;

D est la concentration de gaz NO dilué mesurée avec l'analyseur (H)CLD, en ppm.

D'autres méthodes de dilution et de quantification des valeurs des gaz de calibrage CO_2 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 calibrage NO par la vapeur d'eau et de l'adaptation de la concentration de vapeur d'eau du mélange à la valeur prévue lors de l'essai.

Un gaz de calibrage NO ayant une concentration de 80 à 100 % de l'amplitude totale utilisée doit être envoyé dans l'analyseur (H)CLD, et la valeur NO enregistrée comme *D*. Le gaz de calibrage 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:

$$H = 100 \text{ x } (G/p_b) \qquad (78)$$

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

$$D_e = D \text{ x } (1 - H/100) \quad (79)$$

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_2 dans les gaz d'échappement A, comme suit:

$$H_m = 0{,}9 \text{ x } A \quad (80)$$

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

$$E_{H2O} = 100 \text{ x } ((D_e - C)/D_e) \text{ x } (H_m/H) \quad (81)$$

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_2 et pour l'eau ne doit pas être supérieur à 2 % de l'amplitude totale.

9.3.9.3 Contrôle des effets d'extinction pour les analyseurs de NO_x en ce qui concerne les analyseurs non dispersifs à absorption dans l'ultraviolet (NDUV)

Les hydrocarbures et le H_2O peuvent interagir positivement avec un analyseur NDUV en causant une réaction similaire à NO_x. Si l'analyseur NDUV utilise des algorithmes de compensation qui utilisent des mesures d'autres gaz pour satisfaire à cette vérification d'interférence, de telles mesures doivent être effectuées simultanément pour vérifier les algorithmes lors du contrôle de l'interférence.

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 CLD est utilisé pour calculer la quantité de NO_x dans les gaz d'échappement. La réponse du 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 le CLD doit être soustraite de la valeur moyenne donnée par le NDUV. Cette différence est 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:

$$E_{\mathrm{HC/H2O}} = \left(c_{\mathrm{NOx,CLD}} - c_{\mathrm{NOx,NDUV}}\right) \times \left(\frac{c_{\mathrm{HC,e}}}{c_{\mathrm{HC,m}}}\right) \tag{82}$$

où:

$c_{\mathrm{NOx,CLD}}$ est la concentration de NO_x mesurée avec le CLD, en ppm;

$c_{\mathrm{NOx,NDUV}}$ est la concentration de NO_x mesurée avec le NDUV, en ppm;

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

$c_{\mathrm{HC,m}}$ 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_x escomptée pendant l'essai.

9.3.9.4 Sécheur de l'échantillon

Un sécheur élimine de l'échantillon l'eau qui risquerait de fausser la mesure des NO_x.

9.3.9.4.1 Efficacité du sécheur d'échantillon

Pour les analyseurs CLD par voie sèche, il doit être démontré que, pour la plus forte concentration de vapeur d'eau H_m prévisible (voir par. 9.3.9.2.2), le sécheur d'échantillon maintient l'humidité du CLD à ≤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 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 combiner 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 massique 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'annexe 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 ± 11 K (191 ± 11 °C); pour les NO_x, 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.

Le prélèvement des échantillons de concentrations ambiantes s'effectue en amont du tunnel de dilution dans un sac de collecte; les concentrations ambiantes mesurées 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 (l'agent 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 K (42 °C) et 325 K (52 °C) dans les 20 cm situés en amont ou en aval de l'avant du ou des porte-filtres;

c) Maintenir la température de l'agent diluant entre 293 K et 325 K (20 °C et 42 °C) à proximité immédiate de l'entrée dans le tunnel de dilution; à l'intérieur de cette plage, les Parties contractantes peuvent exiger des spécifications plus strictes pour les moteurs dont le type est homologué sur leur territoire;

d) Le taux de dilution minimum 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 entre le point d'introduction de l'agent diluant et le ou les porte-filtres 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 entre l'introduction de l'agent diluant et le ou les porte-filtres 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, entre le point d'introduction de l'agent diluant secondaire et le ou les porte-filtres doit être au moins de 0,5 s.

Une déshumidification de l'agent diluant avant que celui-ci entre dans le système de dilution est admise; elle est particulièrement utile si l'humidité du 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'annexe 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 combiner 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 massique 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 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'annexe 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 µm 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 de 46,50 ± 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 de valeurs de vitesse mesurées excédant cette limite devant être inférieure à 5 %. Si la masse totale des matières particulaires présentes sur le filtre est supérieur à 400 µg, la vitesse d'entrée dans le filtre peut être abaissée à 0,50 m/s. La vitesse d'entrée est calculée en divisant le débit volumique de l'échantillon à la pression en amont du filtre et à la température à la surface du filtre par la superficie exposée du filtre.

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-volatil) susceptible de contaminer les filtres à particules. La chambre de pesée doit satisfaire aux conditions prescrites pendant au minimum 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 K ± 1 K (22 ± 1 °C) pendant toutes les opérations de conditionnement et de pesée. L'humidité doit être maintenue au point de rosée à 282,5 ± 1 K (9,5 ± 1 °C).

Si l'environnement de stabilisation et l'environnement de pesée sont séparés, la température de l'environnement de stabilisation doit être maintenue à 295 K avec une marge de tolérance de ±3 K (22 ± 3 °C), mais la prescription relative au point de rosée reste à 282,5 K ± 1 K (9,5 ± 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 pour les 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 ±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 RTM. 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 ≤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 ≤1 s et le temps de retard combiné ≤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 massique 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 ±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 massique 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 massique 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 $q_{mew,\mathrm{pre}}$ de l'essai préalable est corrigée d'un décalage prédictif de $t_{50,P} + t_{50,F}$.

Pour contrôler la corrélation entre $q_{mp,\mathrm{i}}$ et $q_{mew,\mathrm{i}}$, on utilise les données collectées au cours de l'essai réel, en alignant dans le temps $q_{mew,\mathrm{i}}$ de $t_{50,\mathrm{F}}$ par rapport à $q_{mp,\mathrm{i}}$ (la synchronisation ne fait pas intervenir $t_{50,\mathrm{P}}$). C'est-à-dire que le décalage temporaire entre q_{mew} et q_{mp} correspond à la différence des temps de transformation déterminés 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 précision 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:

$$q_{mp} = q_{mdew} - q_{mdw} \qquad (83)$$

Dans ce cas, l'erreur maximale sur le calcul de la différence doit être telle que la précision de la valeur de q_{mp} reste dans les limites de ±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 précision de q_{mp} peut être obtenue si l'une des conditions suivantes est remplie:

a) Si les précisions absolues de q_{mdew} et q_{mdw} sont de ±0,2 %, ce qui garantit une précision 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 précision 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 précision de q_{mp} est déterminée indirectement d'après la précision du taux de dilution, tel qu'il est déterminé au moyen d'un gaz témoin comme le CO_2. Des valeurs de précision équivalant au cas a) ci-dessus pour q_{mp} sont requises;

d) Si la précision absolue de q_{mdew} et q_{mdw} reste dans les limites de ±2 % de l'amplitude totale, 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 ±0,2 % de la valeur la plus élevée de q_{mdew} observée au cours de l'essai.

9.4.6.3 Étalonnage du système de mesure de la différence de débit

Le débitmètre ou l'appareillage de mesure du débit doit être étalonné selon 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_{mdw}, la différence entre les valeurs des deux débitmètres devant être étalonnée en 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 précision 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 précision doit être contrôlée en 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_2 ou NO_x. Après dilution dans le tunnel, la concentration du gaz témoin doit être mesurée. Cette mesure doit s'effectuer pour cinq taux de dilution variant entre 3 et 50. La précision du débit de prélèvement doit être déterminée d'après le taux de dilution r_d:

$$q_{mp} = q_{mdew}/r_d \qquad (84)$$

Il est nécessaire de prendre en compte les valeurs de justesse respectives des analyseurs de gaz pour pouvoir garantir la précision de q_{mp}.

9.4.6.4 Contrôle du débit de carbone

Il est vivement recommandé d'effectuer un contrôle du débit 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 débit 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_2 de 5 % ou plus. Le système de prélèvement du flux partiel doit fonctionner avec un rapport de dilution d'environ 15 à 1.

Si un contrôle du débit de carbone est effectué, la procédure décrite à l'annexe 5 doit être appliquée. Les débits de carbone doivent être calculés conformément aux équations 80 à 82 de l'annexe 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 2 heures au maximum avant l'essai dans les conditions suivantes.

La précision 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 de débit utilisé pour la mesure du temps de réponse, et ne doit restreindre le débit que très faiblement de manière à ne pas affecter le comportement dynamique du système de dilution du flux partiel; il doit être installé conformément aux règles d'usage.

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^3/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 ($q_{v\mathrm{CVS}}$) à chaque réglage du réducteur de débit (six 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 débit d'air doit ensuite être converti en débit de la pompe (V_0) en m^3/tr aux valeurs mesurées de pression absolue et de température à l'entrée de la pompe, comme suit:

$$V_0 = \frac{q_{v\mathrm{CVS}}}{n} \times \frac{T}{273} \times \frac{101{,}3}{p_\mathrm{p}} \qquad (85)$$

où:

$q_{v\mathrm{CVS}}$ est le débit d'air aux conditions normales (101,3 kPa, 273 K), en m^3/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:

$$X_0 = \frac{1}{n} \times \sqrt{\frac{\Delta p_p}{p_p}} \tag{86}$$

où:

Δp_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:

$$V_0 = D_0 - m \times X_0 \tag{87}$$

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 ±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 ($q_{v\mathrm{CVS}}$) 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 de calibrage pour chaque réglage comme suit:

$$K_v = \frac{q_{v\mathrm{CVS}} \times \sqrt{T}}{p_\mathrm{p}} \tag{88}$$

où:

$q_{v\mathrm{CVS}}$ est le débit d'air aux conditions normales (101,3 kPa, 273 K), en m^3/s;

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

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

La valeur moyenne de K_V et l'écart type doivent être calculés. L'écart type ne doit pas dépasser ±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^3/s normaux à partir des données du débitmètre conformément à la méthode prescrite par le fabricant. Le coefficient de décharge doit être calculé à partir des données de calibrage pour chaque réglage, comme suit:

$$C_d = \frac{Q_{SSV}}{d_V^{\,2} \times p_p \times \sqrt{\left[\frac{1}{T} \times \left(r_p^{\,1,4286} - r_p^{\,1,7143}\right) \times \left(\frac{1}{1 - r_D^{\,4} \times r_p^{\,1,4286}}\right)\right]}} \tag{89}$$

où:

Q_SSV est le débit d'air aux conditions normales (101,3 kPa, 273 K), en m^3/s;

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

d_V est le diamètre du col du SSV, en m;

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

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:

$$\mathrm{Re} = A_1 \times \frac{Q_\mathrm{SSV}}{d_\mathrm{V} \times \mu} \tag{90}$$

avec

$$\mu = \frac{\mathrm{b} \times T^{1,5}}{\mathrm{S} + T} \tag{91}$$

où:

A_1 est 25,55152 en unités SI de $\left(\frac{1}{m^3}\right)\left(\frac{\min}{s}\right)\left(\frac{mm}{m}\right)$;

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;

μ est la viscosité absolue ou dynamique du gaz, en kg/ms;

b est 1,458 x 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 ±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 ajustage 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 ±3 % de la masse connue de gaz injecté.

9.5.5.2 Dosage par méthode gravimétrique

On mesure avec une précision de ±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 ±3 % de la masse connue de gaz injecté.

Annexe 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.

Annexe 2

Carburants de référence

A.2.1 *Carburant de référence gazole européen*

Caractéristique	*Unité*	*Limites*[1] *Minimum*	*Maximum*	*Méthode d'essai*[5]
Indice de cétane		52	54	ISO 5165
Masse volumique à 15 °C	kg/m^3	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^2/s	2,3	3,3	ISO 3104
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	% (m/m)	2,0	6,0	EN 12916
Résidu de carbone Conradson (10 % DR)	% (mm)		0,2	ISO 10370
Teneur en cendres	% (mm)		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
Lubrifiance (essai HFRR à 60 °C)	µm		400	CEC F-06-A-96
Indice de neutralisation	mg KOH/g		0,02	
Stabilité à l'oxydation à 110 °C[2, 3]	h	20		EN 14112
FAME (biodiesel)[4]	% v/v	4,5	5,5	EN 14078

[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 minimale 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.

A.2.2 *Carburant gazole de référence 2-D des États-Unis d'Amérique*

Caractéristique	*Unité*	*Méthode d'essai*	*Limites*	
			Minimum	*Maximum*
Cétane mesuré	1	ASTM D 613	40	50
Cétane calculé	1	ASTM D 976	40	50
Masse volumique à 15 °C	kg/m^3	ASTM D 1298	840	865
Distillation:		ASTM D 86		
• point initial	°C		171	204
• point 10 % vol.	°C		204	238
• point 50 % vol.	°C		243	282
• point 90 % vol.	°C		293	332
Point d'ébullition final	°C		321	366
Point d'éclair	°C	ASTM D 93	54	-
Viscosité cinématique à 37,9 °C	mm^2/s	ASTM D 445	2	3,2
Teneur en soufre (masse)	ppm	ASTM D 2785	7	15
Teneur en aromatiques (volume)	% v/v	ASTM D 1319	27	-

A.2.3 *Carburant gazole de référence japonais*

Propriété	*Unité*	*Méthode d'essai*	*Qualité 1*		*Qualité 2*		*Cert. Gazole*	
			Min.	*Max.*	*Min.*	*Max.*	*Min.*	*Max.*
Indice de cétane		ISO 4264	50	-	45	-	53	57
Densité à 15 °C	kg/m^3		-	-	-	-	824	840
Distillation:		ISO 3405						
• point 50 % vol.	°C		-	-	-	-	255	295
• point 90 % vol.	°C		-	360	-	350	300	345
• point d'ébullition final	°C		-	-	-	-	-	370
Point d'éclair	°C	ISO 3405	50	-	50	-	58	-
Température limite de filtrabilité	°C	ICS 75.160.20	-	-1	-	-5	-	-
Point d'écoulement	°C	ISO 3015	-	-2,5	-	-7,5	-	-
Viscosité cinématique à 30 °C	mm^2/s	ISO 2909	2,7	-	2,5	-	3.0	4,5
Teneur en soufre (masse)	%	ISO 4260	-	0,001	-	0,001	-	0,001
Teneur de la totalité des aromatiques (volume)	% v/v	HPLC	-	-	-	-	-	25
Teneur des polyaromatiques (volume)	% v/v	HPLC	-	-	-	-	-	5,0
Teneur en carbone résiduel (masse) (fond à 10 %)	mg	ISO 4260	-	0,1	-	0,1	-	-

Annexe 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 précision 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

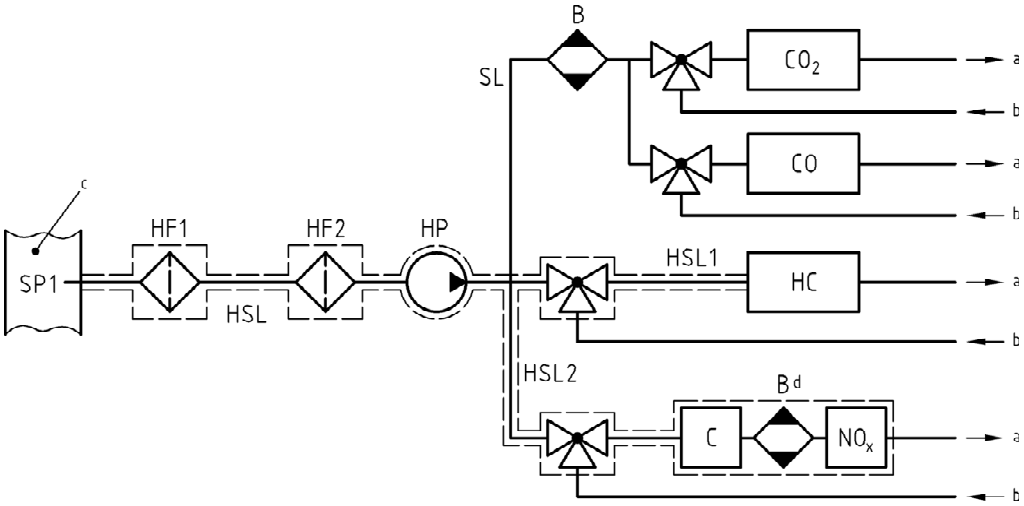
Le système d'analyse pour la mesure des émissions gazeuses dans les gaz d'échappement bruts (fig. 9) ou dans les gaz d'échappement dilués (fig. 10) décrit ici utilise:

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;

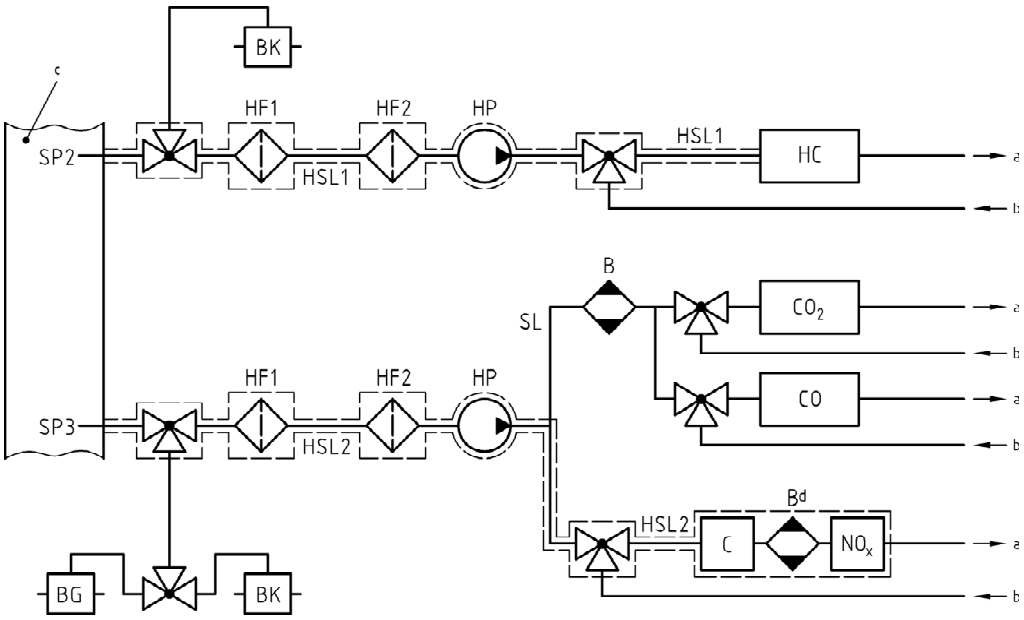
c) Un analyseur HCLD ou CLD pour la mesure des oxydes d'azote.

L'échantillon pour tous les constituants doit être prélevé avec une seule sonde et subdivisé plus en aval entre les différents analyseurs. Éventuellement, 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.



a = vers l'atmosphère
b = gaz de mise à zéro, de calibration
c = tuyau d'échappement
d = optionnel

Figure 9
Schéma de principe du système d'analyse des gaz d'échappement bruts pour la mesure du CO, du CO_2, des NO_x et des HC



a = vers l'atmosphère
b = gaz de mise à zéro, de calibration
c = tuyau d'échappement
d = optionnel

Figure 10
Schéma de principe du système d'analyse des gaz d'échappement dilués pour la mesure du CO, du CO_2, des NO_x 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 ± 10 K (190 ± 10 °C) à la sortie de la sonde, ou à 385 ± 10 K (112 ± 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_2 et des NO_x (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 ± 10 K (190 ± 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 ± 10 K (190 ± 10 °C) immédiatement en amont du filtre chauffé HF_2 et de l'analyseur HFID.

HSL2 Tuyauterie de prélèvement chauffée pour les NO_x

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_2

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_2 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_x 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 subit pas d'interférence 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_4 en CO_2 et H_2O, de telle manière qu'après passage de l'échantillon dans le convertisseur, seul le CH_4 soit détectable 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 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 CH_4 et le C_2H_6 à des valeurs de H_2O représentatives du courant de gaz d'échappement. Le point de rosée et la teneur en O_2 des gaz d'échappement prélevés doivent être connus. La réponse relative de l'analyseur FID pour CH_4 et pour C_2H_6 doit être déterminée conformément au paragraphe 9.3.8.

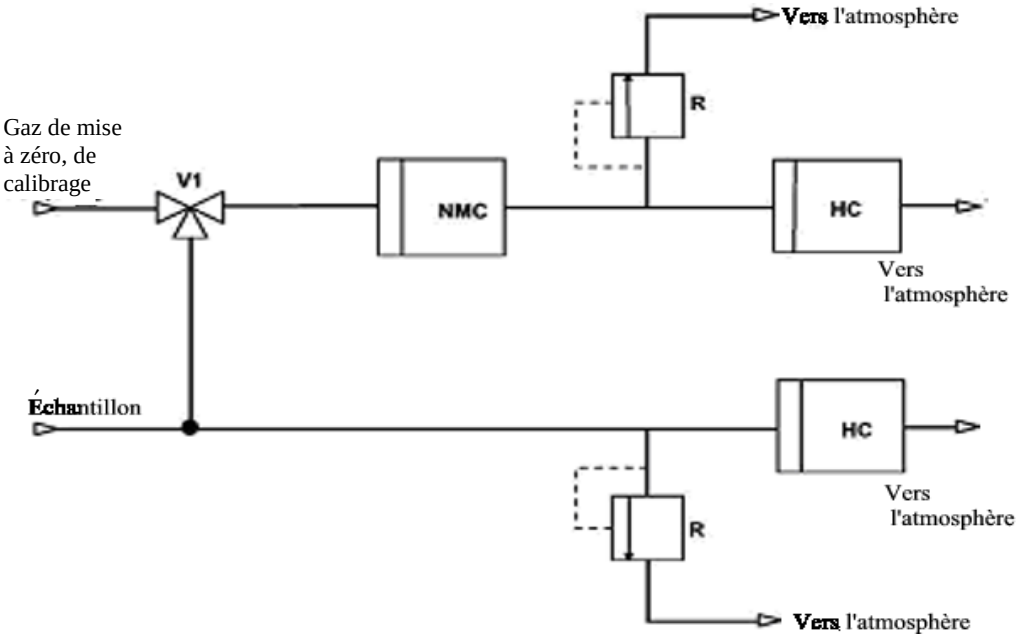


Figure 11
Schéma de principe du système de mesure du méthane avec convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques (NMC)

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 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 mise à zéro et le gaz de calibrage.

R Régulateur de pression

Servant à régler la pression dans la tuyauterie de prélèvement et le débit vers l'analyseur HFID.

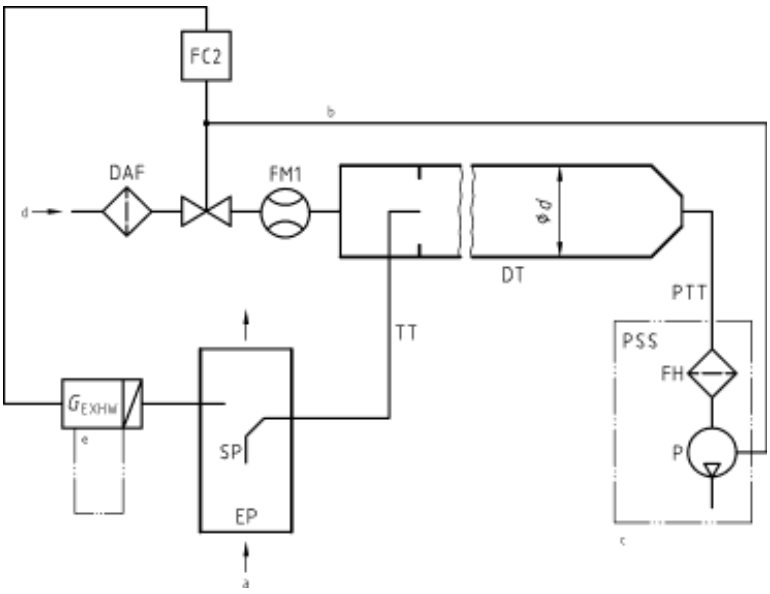
A.3.2 *Système de dilution et de collecte des particules*

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.

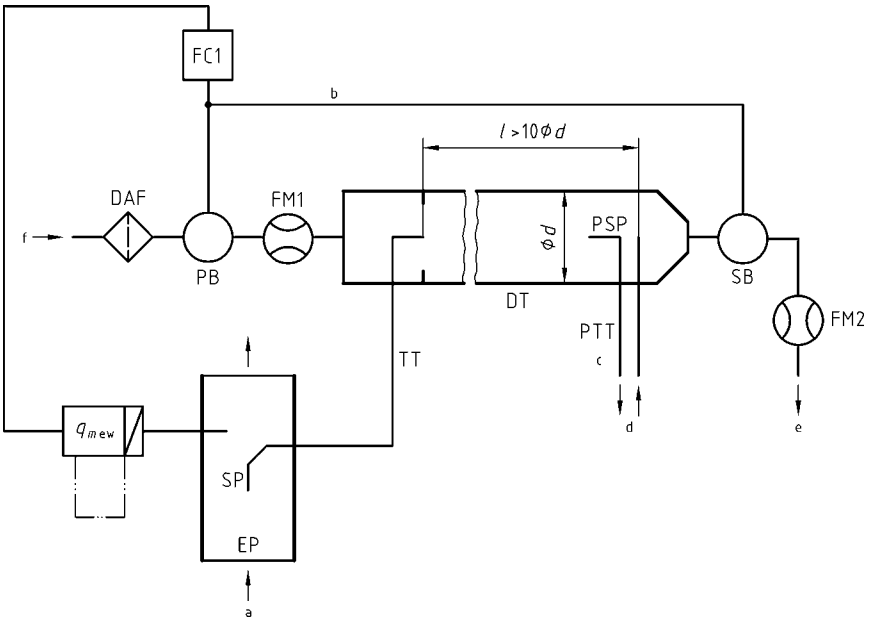


a = gaz d'échappement
b = optionnel
c = installation détaillée, voir fig. 16

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).



a = gaz d'échappement
b = vers PB ou SB
c = installation détaillée, voir fig. 16
d = vers le système de prélèvement des particules
e = vers l'atmosphère

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 µm doit être installé immédiatement en amont du porte-filtre.

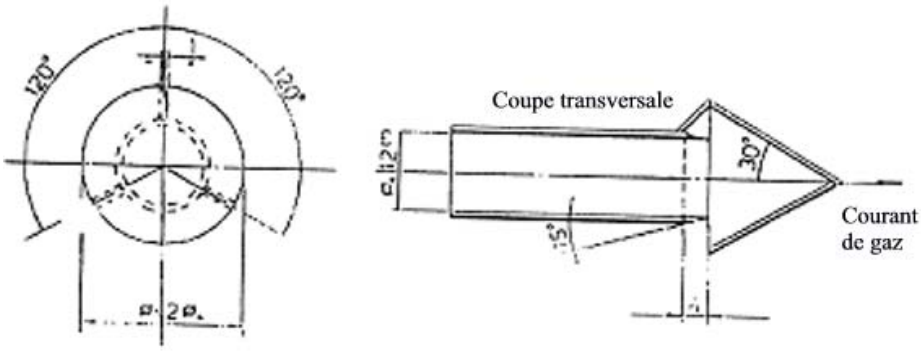


Figure 14
Schéma d'une sonde à chapeau conique

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 constituée 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

L'agent 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 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 ºC);

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;

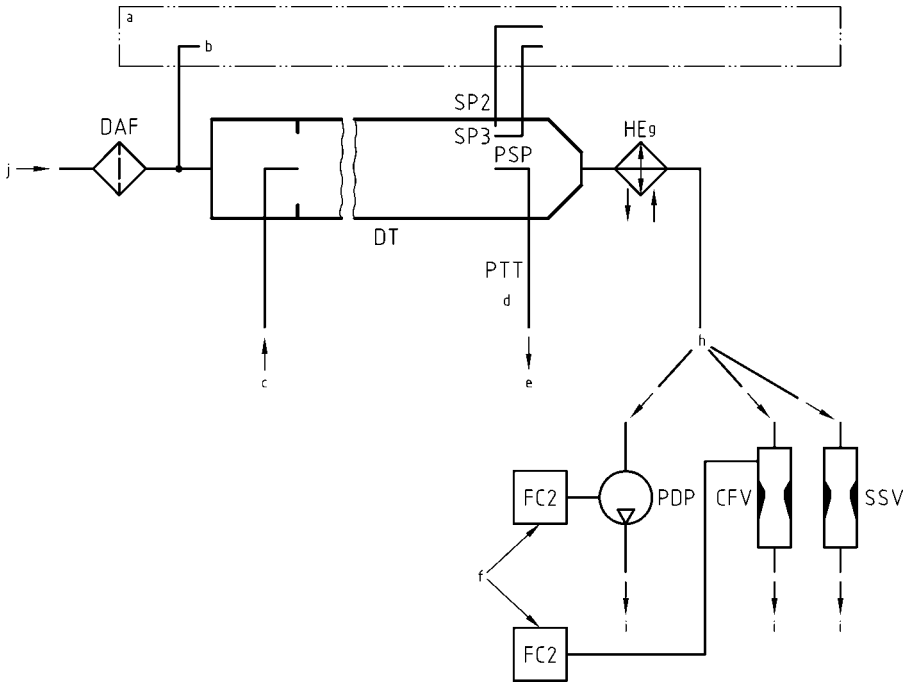
d) Peut être isolée.

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 de 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 de particules car la plupart de ses éléments sont communs à un système normal de prélèvement de 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 ±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 ±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 ±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 ±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 ±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 ±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 ±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;

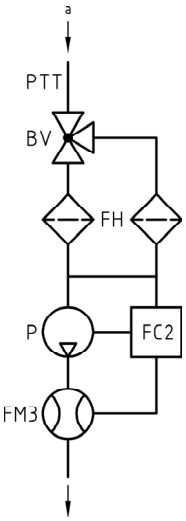
d) Peut être isolée.

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.

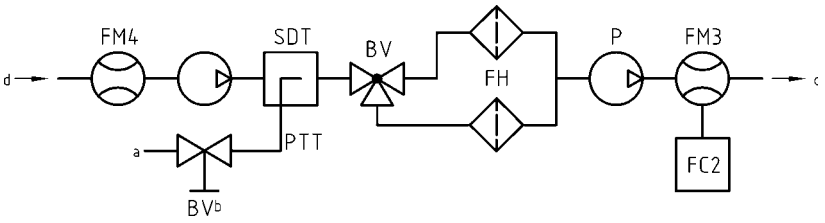
Dans le cas d'un système à dilution du flux partiel, un échantillon de gaz d'échappement dilués est prélevé dans le tunnel de dilution DT par l'intermédiaire de la sonde PSP et du tube de transfert des particules PTT au moyen de la pompe de prélèvement P, comme représenté à la figure 16. L'échantillon 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 ºC);

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 ºC);

c) Peut être isolé.

FH Porte-filtre

Le porte-filtre:

a) Doit former un angle de cône divergent de 12,5° (à partir du centre) par rapport à la transition 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 ºC);

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 4

Statistiques

A.4.1 *Valeur moyenne et écart type*

La valeur moyenne arithmétique est calculée comme suit:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \tag{92}$$

L'écart type est calculé comme suit:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n-1}} \tag{93}$$

A.4.2 *Analyse de régression*

La pente de la droite de régression est calculée comme suit:

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(y_i - \bar{y}\right) \times \left(x_i - \bar{x}\right)}{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \bar{x}\right)^2} \tag{94}$$

L'ordonnée à l'origine de la droite de régression est calculée comme suit:

$$a_0 = \bar{y} - \left(a_1 \times \bar{x}\right) \tag{95}$$

L'erreur type d'estimation (SEE) est calculée comme suit:

$$SEE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left[y_i - a_0 - \left(a_1 \times x_i\right)\right]^2}}{n-2} \tag{96}$$

Le coefficient de détermination est calculé comme suit:

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} \left[y_i - a_0 - \left(a_1 \times x_i\right)\right]^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(y_i - \bar{y}\right)^2} \tag{97}$$

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* (de Student) bilatéral.

Cette méthode statistique vérifie 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 vérifiée 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 le système de référence et le système à l'examen, respectivement:

a) Effectuer au moins sept essais au cours desquels 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;

b) Calculer les valeurs moyennes $\overline{x_R}$ et $\overline{x_C}$ et les écarts types s_R et s_C;

c) Calculer la valeur *F* comme suit:

$$F = \frac{s_{\text{major}}^2}{s_{\text{minor}}^2} \tag{98}$$

(la plus grande des deux valeurs d'écart type s_R ou s_C doit figurer au numérateur).

d) Calculer la valeur *t* comme suit:

$$t = \frac{\left|\overline{x_C} - \overline{x_R}\right|}{\sqrt{s_C^2/n_C + s_R^2/n_R}} \tag{99}$$

e) 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	6,6	3,055	6	1,943
8	7,7	2,785	7	1,895
9	8,8	2,589	8	1,860
10	9,9	2,440	9	1,833

Tableau 9
Valeurs de *t* et *F* pour diverses tailles de l'échantillon

Annexe 5

Contrôle du flux de carbone

A.5.1 *Introduction*

Tout le contenu de carbone des gaz d'échappement, à peu de chose près, provient du carburant; tout ce carbone, à très peu près, est présent dans les gaz d'échappement sous la forme de CO_2. C'est sur cette base que repose un système de contrôle par mesure du CO_2.

Le flux de carbone dans les systèmes de mesure des gaz d'échappement est déterminé à partir du débit de carburant. Le flux de carbone aux différents points de prélèvement dans les systèmes de mesure des émissions et des particules est déterminé à partir des concentrations de CO_2 et des débits de gaz en 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 précision 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.

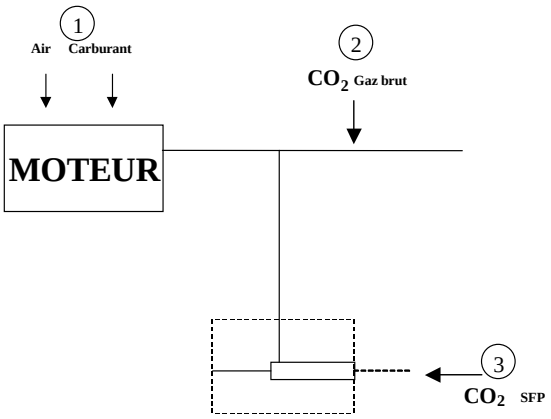


Figure 18
Points de prélèvement pour le contrôle du flux de carbone

A.5.2 *Débit de carbone entrant dans le moteur (point de prélèvement 1)*

Le débit massique de carbone entrant dans le moteur pour un carburant $CH_\alpha O_\varepsilon$ est donné par la formule:

$$q_{mCf} = \frac{12\beta}{12\beta + \alpha + 16\varepsilon} \times q_{mf} \tag{102}$$

où:

q_{mf} est le débit massique de carburant, en kg/s.

A.5.3 *Débit de carbone dans les gaz d'échappement bruts (point de prélèvement 2)*

Le débit massique de carbone dans le tuyau d'échappement du moteur doit être déterminé à partir de la concentration de CO_2 dans les gaz d'échappement bruts et du débit massique de gaz d'échappement:

$$q_{mCe} = \left(\frac{c_{CO2,r} - c_{CO2,a}}{100} \right) \times q_{mew} \times \frac{12{,}011}{M_{re}} \tag{103}$$

où:

$c_{CO2,r}$ est la concentration de CO_2 en conditions humides dans les gaz d'échappement bruts, en %;

$c_{CO2,a}$ est la concentration de CO_2 en conditions humides dans l'air ambiant, en %;

q_{mew} est le débit massique 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 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 CO_2 dans les gaz d'échappement dilués, du débit massique de gaz d'échappement et du débit de prélèvement des gaz d'échappement:

$$q_{mCp} = \left(\frac{c_{CO2,d} - c_{CO2,a}}{100} \right) \times q_{mdew} \times \frac{12{,}011}{M_e} \times \frac{q_{mew}}{q_{mp}} \tag{104}$$

où:

$c_{CO2,d}$ est la concentration de CO_2 en conditions humides dans les gaz d'échappement dilués à la sortie du tunnel de dilution, en %;

$c_{CO2,a}$ est la concentration de CO_2 en conditions humides dans l'air ambiant, en %;

q_{mew} est le débit massique 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 $_B$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 (gazole) = 28,9 g/mol;

M_e (GPL) = 28,6 g/mol;

M_e (GN) = 28,3 g/mol.

Annexe 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:

% régime = 43 %

% couple = 82 %

Sur la base des valeurs suivantes:

n_{lo} = 1 015 minP^{-1}

n_{hi} = 2 200 minP^{-1}

n_{pref} = 1 300 minP^{-1}

n_{idle} = 600 min^{-1}

Ce qui donne:

Régime réel =

$$\frac{43\times(0{,}45\times1015+0{,}45\times1300+0{,}1\times2\,200-600)\times2{,}0327}{100}+600 = 1\,178 \text{ min}^{-1}$$

Compte tenu du couple maximal de 700 Nm déterminé d'après la courbe de conversion à 1 178 min^{-1}, on a

$$\text{Couple réel} = \frac{82\times700}{100} = 574 \text{ Nm.}$$

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_x 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	α = 1,8529	w_{ALF} = 13,45
C	β = 1,0000	w_{BET} = 86,50
S	γ = 0,0002	w_{GAM} = 0,050
N	δ = 0,0000	w_{DEL} = 0,000
O	ε = 0,0000	w_{EPS} = 0,000

Étape 1: Correction base sèche/base humide (par. 8.1):

Équation (16):

k_f = 0,055584 x 13,45 − 0,0001083 x 86,5 − 0,0001562 x 0,05
= 0,7382

Équation (13):

$$k_{w,a} = \left(1 - \frac{1{,}2434 \times 8 + 111{,}12 \times 13{,}45 \times \frac{0{,}005}{0{,}148}}{773{,}4 + 1{,}2434 \times 8 + \frac{0{,}005}{0{,}148} \times 0{,}7382 \times 1000}\right) \times 1{,}008 =$$

= 0,9331

Équation (12): $c_{CO,i}$ (wet) = 40 x 0,9331 = 37,3 ppm

$c_{NOx,i}$ (wet) = 500 x 0,9331 = 466,6 ppm

Étape 2: Correction des valeurs de NO_x pour la température et l'humidité (par. 8.2.1):

Équation (23): $$k_{h,D} = \frac{15{,}698 \times 8{,}00}{1\,000} + 0{,}832 \quad = 0{,}9576$$

Étape 3: Calcul des émissions instantanées en chaque point distinct du cycle (par. 8.4.2.4):

Équation (36): $m_{HC,i}$ = 10 x 3 x 0,155 = 4,650

$m_{CO,i}$ = 37,3 x 0,155 = 5,782

$m_{NOx,i}$ = 466,6 x 0,9576 x 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* indiquées dans le tableau 5 (par. 8.4.2.4):

Le calcul s'effectue comme suit pour le cycle WHTC (1 800 s) et les mêmes émissions en chaque point du cycle.

Équation (36): $$m_{HC} = 0{,}000479 \times \sum_{i=1}^{1800} 4{,}650 \quad = 4{,}01 \text{ g/essai}$$

$$m_{CO} = 0{,}000966 \times \sum_{i=1}^{1800} 5{,}782 \quad = 10{,}05 \text{ g/essai}$$

$$m_{NOx} = 0{,}001586 \times \sum_{i=1}^{1800} 69{,}26 \quad = 197{,}72 \text{ g/essai}$$

Étape 5: Calcul des émissions spécifiques (par. 8.6.3):

Équation (69): e_{HC} = 4,01/40 = 0,10 g/kWh

e_{CO} = 10,05/40 = 0,25 g/kWh

e_{NOx} = 197,72/40 = 4,94 g/kWh

A.6.4 *Émission de particules (gazole)*

$p_{b,b}$ (kPa)	$p_{b,a}$ (kPa)	W_{act} (kWh)	$q_{mew,i}$ (kg/s)	$q_{mf,i}$ (kg/s)	$q_{mdw,i}$ (kg/s)	$q_{mdew,i}$ (kg/s)	$m_{uncor,b}$ (mg)	$m_{uncor,a}$ (mg)	m_{sep} (kg)
99	100	40	0,155	0,005	0,0015	0,0020	90,0000	91,7000	1,515

Étape 1: Calcul de m_{edf} (par. 8.4.3.2.2):

Équation (48): $$r_{d,i} = \frac{0{,}002}{(0{,}002 - 0{,}0015)} = 4$$

Équation (47): $q_{medf,i}$ = 0,155 x 4 = 0,620 kg/s

Équation (46): $$m_{edf} = \sum_{i=1}^{1800} 0{,}620 \quad = 1{,}116 \text{ kg/essai}$$

Étape 2: Correction pour la flottabilité de la masse de particules (par. 8.3):

Avant l'essai:

Équation (26): $\rho_{a,b} = \dfrac{99 \times 28{,}836}{8{,}3144 \times 295} = 1{,}164 \text{ kg/m}^3$

Équation (25): $m_{f,T} = 90{,}0000 \times \dfrac{(1 - 1{,}164/8\,000)}{(1 - 1{,}164/2\,300)} = 90{,}0325 \text{ mg}$

Après l'essai:

Équation (26): $\rho_{a,a} = \dfrac{100 \times 28{,}836}{8{,}3144 \times 295} = 1{,}176 \text{ kg/m}^3$

Équation (25): $m_{f,G} = 91{,}7000 \times \dfrac{(1 - 1{,}176/8\,000)}{(1 - 1{,}176/2\,300)} = 91{,}7334 \text{ mg}$

Équation (27): $m_p = 91{,}7334 \text{ mg} - 90{,}0325 \text{ mg} = 1{,}7009 \text{ mg}$

Étape 3: Calcul des émissions massiques de particules (par. 8.4.3.2.2):

Équation (45): $m_{PM} = \dfrac{1{,}7009 \times 1{,}116}{1{,}515 \times 1\,000} = 1{,}253 \text{ g/essai}$

Étape 4: Calcul des émissions spécifiques (par. 8.6.3):

Équation (69): $e_{PM} = 1{,}253/40 = 0{,}031 \text{ g/kWh}$

Annexe 7

Installation des accessoires et des équipements pour l'essai de mesure des émissions

Numéro	*Équipements et accessoires*	*Installés pour l'essai de mesure des émissions*
1	Système d'admission	
	Collecteur d'admission	Oui
	Circuit de recyclage des gaz de carter	Oui
	Dispositifs de commande pour double tubulure d'admission	Oui
	Débitmètre d'air	Oui
	Conduite d'entrée d'air	Oui, ou équipement de la chambre d'essai
	Filtre à air	Oui, ou équipement de la chambre d'essai
	Silencieux d'admission	Oui, ou équipement de la chambre d'essai
	Limiteur de vitesse	Oui
2	Dispositif de réchauffage du collecteur d'admission	Oui, s'il est réglable, il doit être réglé dans la position la plus favorable.
3	Système d'échappement	
	Collecteur d'échappement	Oui
	Tuyauteries de liaison	Oui
	Silencieux	Oui
	Tuyau de sortie	Oui
	Ralentisseur d'échappement	Non, ou complètement ouvert
	Dispositif de suralimentation	Oui
4	Pompe d'alimentation en carburant	Oui
5	Équipement pour les moteurs à gaz	
	Module de commande électronique, débitmètre d'air, etc.	Oui
	Détendeur	Oui

Numéro	*Équipements et accessoires*	*Installés pour l'essai de mesure des émissions*
	Évaporateur	Oui
	Mélangeur	Oui
6	Équipement d'injection du carburant	
	Préfiltre	Oui
	Filtre	Oui
	Pompe	Oui
	Tuyauterie haute pression	Oui
	Injecteur	Oui
	Volet d'admission d'air	Oui
	Module de commande électronique, capteurs, etc.	Oui
	Régulateur/système de commande	Oui
	Butée automatique de pleine charge de la crémaillère en fonction des conditions atmosphériques	Oui
7	Refroidissement par liquide	
	Radiateur	Non
	Ventilateur	Non
	Carénage du ventilateur	Non
	Pompe à eau	Oui
	Thermostat	Oui, peut être bloqué en position ouverte
8	Refroidissement par air	
	Carénage	Non
	Ventilateur ou soufflante	Non
	Dispositif régulateur de température	Non
9	Équipement électrique	
	Générateur	Non
	Bobine ou bobines	Oui
	Câblage	Oui
	Module de commande électronique	Oui

Numéro	*Équipements et accessoires*	*Installés pour l'essai de mesure des émissions*
10	Équipement de suralimentation	
	Compresseur entraîné directement par le moteur et/ou par les gaz d'échappement	Oui
	Refroidisseur intermédiaire	Oui, ou équipement de la chambre d'essai
	Pompe du liquide de refroidissement ou ventilateur (entraîné par le moteur)	Non
	Dispositif de réglage du débit du fluide de refroidissement	Oui
11	Dispositif antipollution (système de traitement aval des gaz d'échappement)	Oui
12	Équipement de démarrage	Oui, ou équipement de la chambre d'essai
13	Pompe à huile moteur	Oui

».