ECE/TRANS/180/Add.11*
16 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° 11

Émissions des moteurs des tracteurs agricoles et forestiers et des engins mobiles non routiers

(Inscrit au Registre mondial le 12 novembre 2009)

Nations Unies

* Nouveau tirage pour raisons techniques.

GE.10-22981 (F) 280510 300610

Merci de recycler

Table des matières

		Page
I.	Raison d'être technique et justification	3
	A. Faisabilité technique et économique	3
	B. Avantages escomptés	4
	C. Rapport coût/efficacité potentiel	5
II.	Texte du Règlement	5
	1. Objet	5
	2. Portée	5
	3. Définitions, symboles et abréviations	6
	4. Prescriptions générales	18
	5. Prescriptions fonctionnelles	18
	6. Conditions d'essai	23
	7. Méthodes d'essai	30
	8. Méthodes de mesure	52
	9. Équipement de mesure	111
Annexes		
A.1	Cycles d'essai	137
A.2	Statistiques	148
A.3	Formule gravimétrique internationale 1980	154
A.4	Contrôle du flux de carbone	155
A.5	Prescriptions d'installation pour les équipements et les accessoires	158
A.6	Carburants de référence pour moteurs diesel	161
A.7	Calcul des émissions sur base molaire	163
A.7	− Appendice 1. Étalonnage du débit des gaz d'échappement dilués	191
A.7	− Appendice 2. Correction de la dérive	200
A.8	Calculs des émissions sur la base de la masse	202
A.8	− Appendice 1. Étalonnage du débit de gaz d'échappement dilués (CVS)	228
A.8	− Appendice 2. Correction de la dérive	232

I. Raison d'être technique et justification

A. Faisabilité technique et économique

1. L'objectif de la présente proposition est d'élaborer un règlement technique mondial (RTM) concernant les émissions des moteurs à allumage par compression des engins mobiles non routiers (EMNR) au titre de l'Accord mondial de 1998 en se fondant sur le protocole d'essai harmonisé des engins mobiles non routiers, incluant des cycles d'essai, élaboré par le groupe informel NRMM/GRPE et en utilisant également le cycle d'essai en conditions transitoires pour les engins non routiers (NRTC), élaboré entre 2000 et 2002 par une équipe spéciale internationale.

2. Certains pays appliquent déjà des règlements sur les émissions d'échappement des engins mobiles non routiers, mais les procédures d'essai varient d'un règlement à l'autre. Pour garantir la meilleure protection de l'environnement et une utilisation optimale de l'énergie, il est souhaitable que le maximum de pays appliquent le même protocole d'essai pour contrôler les émissions. La société profitera de cette harmonisation des prescriptions sous la forme d'une réduction mondiale générale du niveau des émissions. Les constructeurs d'engins non routiers opèrent déjà sur un marché mondial et il n'est pas économiquement rationnel pour eux de devoir mettre au point des modèles d'engins différents afin de satisfaire à divers règlements sur les émissions. L'harmonisation qui découlera de ce RTM permettra aux constructeurs de mettre au point de nouveaux modèles de manière plus efficace. Enfin, le consommateur tirera avantage à pouvoir choisir entre des engins peu polluants et fabriqués selon une norme reconnue à l'échelle mondiale et à un coût moindre.

3. Les nouveaux travaux de recherche concernant les conditions réelles d'utilisation des EMNR dans le monde ont alimenté les travaux d'élaboration du cycle d'essai en conditions transitoires entrepris par l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis d'Amérique et développés en coopération avec la Direction générale du Centre commun de recherche (DG JRC) de la Commission européenne et une équipe spéciale internationale. Un cycle d'essai transitoire incluant des prescriptions pour le démarrage à froid et le démarrage à chaud a été élaboré sur la base des données rassemblées. Pour le cycle d'essai en conditions stationnaires (WHSC) avec démarrage à chaud, la base a été offerte par un comité d'experts de l'Organisation internationale de normalisation (ISO). Les cycles d'essai ont été publiés dans la série ISO 8178. Cette procédure tient compte des techniques avancées de mesure des émissions d'échappement, qui sont suffisamment précises pour mesurer les émissions polluantes des moteurs à faibles émissions qui apparaîtront à l'avenir. Le cycle d'essai NRTC a déjà été adopté par l'Union européenne, le Canada et les États-Unis d'Amérique dans leurs législations respectives concernant les émissions et constitue la base de la législation concernant les véhicules spéciaux actuellement en cours d'élaboration au Japon. Ce RTM vise à harmoniser au mieux les conditions d'essai complémentaires prévues par les législations existantes ou en cours d'élaboration.

4. La procédure d'essai reflète le plus fidèlement possible les conditions réelles de fonctionnement des moteurs des EMNR à travers le monde et est beaucoup plus réaliste que celle actuellement utilisée pour mesurer les émissions des moteurs d'EMNR d'aujourd'hui ou de demain. En bref, la procédure d'essai a été élaborée pour répondre aux critères suivants:

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

b) Offrir le plus haut niveau possible d'efficacité dans la limitation 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.

5. Au stade actuel, le RTM est présenté sans que les valeurs limites et la plage de puissance applicable aux moteurs des EMNR soient fixés. 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. Le RTM comprend une option que les Parties contractantes sont libres d'adopter ou non. Cette option porte sur la température de l'air de dilution.

6. 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 qui soient au minimum aussi strictes que les 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.

7. Un document d'orientation a été élaboré pour faciliter les activités de réglementation de certains pays, en particulier ceux qui n'ont pas encore mis en œuvre une législation dans ce domaine ou dont la législation n'est pas aussi ambitieuse que celles mentionnées plus haut. Son format s'inspire de celui utilisé par l'Union européenne pour les Directives concernant la nouvelle approche et l'approche globale. Il importe de relever que seul le texte du RTM est juridiquement contraignant. Le document d'orientation n'a pas de statut juridique et ne contient aucune prescription supplémentaire; il vise à faciliter l'utilisation du RTM et son application. Il a été placé à côté du texte du RTM sur le site Web du WP.29, conformément à la décision de l'AC.3.

B. Avantages escomptés

8. Les moteurs des EMNR sont mis au point et produits pour un marché mondial unique. Il est contraire aux principes de l'efficacité économique que les constructeurs soient obligés de concevoir et de produire 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 le plus possible 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.

9. Pour atteindre les objectifs du mandat sur lequel se fondent les travaux entrepris pour élaborer le RTM, cette procédure d'essai ne traite pas uniquement des questions économiques mais améliore les techniques d'essai des moteurs des EMNR et reproduit de

façon plus fidèle les conditions dans lesquelles ces moteurs sont utilisés aujourd'hui. Comme mentionné plus haut certaines Parties contractantes ont déjà adopté une législation qui inclut les cycles d'essai prescrits dans le présent RTM. Pour les Parties contractantes à l'Accord de 1998 qui n'ont pas encore adopté de dispositions législatives de ce niveau, l'application des méthodes d'essai prescrites dans le présent RTM offrira une base beaucoup plus représentative des conditions d'utilisation de ces moteurs dans le monde par rapport aux méthodes de mesure prescrites aujourd'hui dans leur législation.

10. On peut escompter que l'application du RTM à grande échelle 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 la corrélation beaucoup plus étroite entre les méthodes d'essai et des conditions d'utilisation de ces moteurs dans la réalité.

C. Rapport coût/efficacité potentiel

11. Il n'a pas été effectué d'analyse coûts-avantages particulière pour ce RTM. La décision prise par le Comité exécutif (AC.3) de l'Accord de 1998 de poursuivre l'élaboration du RTM sans attendre de disposer de valeurs limites d'émissions est la raison principale pour laquelle cette analyse n'a pas été menée à bien. Toutefois, cette information sera disponible lorsque, dans une phase ultérieure de l'élaboration du RTM, des valeurs limites harmonisées seront fixées. Une attention particulière sera accordée au processus d'élaboration de ces prescriptions d'efficacité pour l'insertion dans le RTM n° 2 concernant le cycle d'essai mondial harmonisé de mesure des émissions des motocycles (WMTC). Les constructeurs de moteurs des EMNR enrichiront également leur expérience en ce qui concerne les coûts et les économies liés à l'utilisation de cette procédure d'essai. 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 de la méthode d'essai définie dans ce RTM. Bien que l'on ne dispose pas au stade actuel de valeurs exprimées en coût par tonne, le groupe d'experts est d'avis que l'adoption de ce RTM aura des retombées manifestement positives.

II. Texte du Règlement

1. Objet

Le présent règlement a pour objet d'établir une méthode harmonisée à l'échelle mondiale pour déterminer les niveaux des émissions gazeuses polluantes des moteurs à allumage par compression utilisés dans les véhicules de la catégorie T et les engins mobiles non routiers, méthode qui soit représentative du fonctionnement des engins en conditions réelles. Les résultats pourraient servir de base à la réglementation des émissions de gaz polluants et aux procédures d'homologation et de certification.

2. Portée

Le présent règlement s'applique à la détermination des émissions de polluants des moteurs à allumage par compression dont la puissance maximale se situe entre 19 et 560 kW:

a) Utilisés dans les véhicules de la catégorie T[1];

b) Utilisés dans les engins mobiles non routiers.

3. Définitions, symboles et abréviations

3.1 *Définitions*

3.1.1 Par «*facteurs d'ajustement*» on entend les facteurs additifs (éléments correcteurs vers le haut et vers le bas) et les facteurs multiplicateurs qu'il y a lieu de prendre en considération pendant la régénération périodique (peu fréquente);

3.1.2 Par «*limite d'émissions applicable*» on entend la limite des émissions applicable au moteur;

3.1.3 Par «*condensation aqueuse*» on entend la précipitation de constituants aqueux lors du passage d'une phase gazeuse à une phase aqueuse. La condensation aqueuse est fonction de l'humidité, de la pression, de la température et de la concentration d'autres éléments constitutifs tels que l'acide sulfurique. Ces paramètres varient en fonction de l'humidité de l'air d'admission et de l'humidité de l'air de dilution, du rapport air-combustible et de la composition du carburant, y compris sa teneur en hydrogène et en soufre;

3.1.4 Par «*pression atmosphérique*» on entend la pression atmosphérique humide absolue statique. À noter que si la pression atmosphérique est mesurée dans un conduit, on devra veiller à ce que les pertes soient négligeables entre l'atmosphère et le point de mesure, et tenir compte des changements de la pression statique dans le conduit résultant du débit;

3.1.5 Par «*étalonnage*» on entend le processus qui consiste à régler la réponse d'un système de manière telle que ses résultats correspondent à une série de signaux de référence. Voir aussi «vérification»;

3.1.6 Par «*gaz d'étalonnage*» on entend un mélange de gaz purifiés utilisé pour étalonner les analyseurs de gaz. Ils satisfont aux spécifications du paragraphe 9.5.1. À noter que les gaz d'étalonnage et les gaz de calibrage sont qualitativement les mêmes, mais qu'ils diffèrent de par leur fonction primaire. Les divers contrôles des performances des analyseurs de gaz et des éléments de manipulation des échantillons peuvent recourir à des gaz d'étalonnage ou des gaz de calibrage;

3.1.7 Par «*certification*» on entend le processus permettant d'obtenir un certificat de conformité;

3.1.8 Par «*moteur à régime constant*» on entend un moteur dont l'homologation n'est valable que pour un seul régime. Les moteurs dont on a neutralisé ou supprimé la fonction de régime constant ne sont plus des moteurs à régime constant;

3.1.9 Par «*fonctionnement à régime constant*» on entend celui d'un moteur qui maintient automatiquement un régime constant par la présence d'un régulateur qui adapte la demande de l'opérateur pour maintenir le régime du moteur en conditions de charge changeantes. Un régulateur ne maintient pas

[1] Comme défini dans l'annexe 7 à la Résolution d'ensemble sur la construction des véhicules (R.E.3) (TRANS/WP.29/78/Rev.1/Amend.2).

toujours un régime constant. Généralement, le régime peut descendre de 0,1 à 10 % au-dessous du régime de charge nulle, de telle manière que le régime minimal survienne près du point de puissance maximale du moteur;

3.1.10 Par «*régénération continue*» on entend le processus de régénération d'un système de traitement aval des gaz d'échappement qui agit en continu ou une fois au moins sur le cycle d'essai transitoire ou à modes stationnaires raccordés applicable; contrairement à la régénération périodique (peu fréquente);

3.1.11 Par «*efficacité de conversion du convertisseur de HCNM E*» on entend l'efficacité de la conversion d'un convertisseur qui est utilisé pour éliminer les hydrocarbures non méthaniques de l'échantillon de gaz par oxydation de tous les hydrocarbures à l'exception du méthane. Idéalement, la conversion pour le méthane est de 0 % (E_{CH4} = 0) et pour les autres hydrocarbures représentés par l'éthane elle est de 100 % (E_{C2H6} = 100 %). Pour mesurer efficacement les HCNM, il convient de déterminer les deux efficacités et de les utiliser pour le calcul du débit massique d'émissions pour le méthane et l'éthane. Voir aussi sous «fraction de pénétration»;

3.1.12 Par «*temps d'attente*» on entend la différence de temps entre le changement du constituant à mesurer au point de référence et un temps de réponse du système de 10 % de la valeur finale (t10), la sonde de prélèvement étant par définition le point de référence. Pour les constituants gazeux, il s'agit du temps de transport du constituant mesuré entre la sonde de prélèvement et le détecteur (voir fig. 3.1);

3.1.13 Par «*système réducteur de NO_x*» on entend un système de traitement aval des gaz d'échappement conçu pour réduire les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) (par exemple des catalyseurs de NO_x passifs et actifs, des absorbeurs de NO_x et des systèmes de réduction catalytique sélective (SCR);

3.1.14 Par «*point de rosée*» on entend une mesure de l'humidité correspondant à la température d'équilibre à laquelle se condense l'eau sous une certaine pression à partir de l'air humide avec une humidité absolue donnée. Le point de rosée est défini en tant que température en °C ou K, et n'est valable que pour la pression à laquelle il est mesuré;

3.1.15 Par «*mode discret*» on entend un mode d'essai en conditions stationnaires de type discret, comme décrit au paragraphe 7.4.1.1 et dans l'annexe A.1;

3.1.16 Par «*dérive*» on entend la différence entre un signal zéro ou d'étalonnage et la valeur respective indiquée par un instrument de mesure immédiatement après son emploi dans un essai d'émissions, pour autant que l'instrument ait été mis à zéro et étalonné juste avant l'essai;

3.1.17 Par «*module de gestion électronique*» on entend un dispositif électronique d'un moteur qui se sert des données des capteurs du moteur pour gérer les paramètres de celui-ci;

3.1.18 Par «*dispositif antipollution*» on entend un dispositif, un système ou un élément de conception qui limite ou réduit les émissions de polluants d'un moteur;

3.1.19 Par «*famille de moteurs*» on entend un groupe de moteurs défini par le constructeur qui, de par leur conception telle que définie au paragraphe 5.2 du présent règlement, ont des caractéristiques d'émissions similaires; tous les

membres de la famille doivent respecter les valeurs limites d'émissions applicables;

3.1.20 Par «*régime moteur régulé*» on entend le régime de fonctionnement du moteur lorsqu'il est réglé par le régulateur en place;

3.1.21 Par «*système moteur*» on entend l'ensemble composé du moteur, du système de limitation des émissions et de l'interface de communication (matériel et messages) entre la ou les unités de gestion électroniques du moteur (ECU) et tout autre unité de gestion du groupe motopropulseur ou du véhicule;

3.1.22 Par «*type de moteur*» on entend une catégorie de moteurs qui ne diffèrent pas par leurs caractéristiques essentielles;

3.1.23 Par «*système de traitement aval des gaz d'échappement*» on entend un catalyseur, un filtre à particules, un système d'élimination des oxydes d'azote, ou encore une combinaison formée d'un tel système et d'un autre dispositif de réduction des émissions qui est installé en aval du moteur. De cette définition sont exclus les dispositifs de recirculation des gaz d'échappement et les turbocompresseurs, qui sont considérés comme faisant partie intégrante du moteur;

3.1.24 Par «*recirculation des gaz d'échappement*» on entend une technique qui réduit les émissions en renvoyant les gaz d'échappement sortant des chambres de combustion dans le flux d'air d'admission avant ou pendant la combustion. Le recours au calage de distribution pour augmenter la quantité de gaz d'échappement résiduels dans la ou les chambres de combustion qui est mélangée avec l'air entrant n'est pas considéré comme un recyclage des gaz d'échappement aux termes du présent règlement;

3.1.25 Par «*méthode de dilution du flux total*» on entend le processus de mélangeage de tout le flux de gaz d'échappement avec l'air de dilution avant de prélever une fraction du flux des gaz d'échappement dilués à des fins d'analyse;

3.1.26 Par «*polluants gazeux*» on entend le monoxyde de carbone, les hydrocarbures et/ou les hydrocarbures non méthaniques (en partant d'un taux de $CH_{1,85}$ pour le gazole), le méthane et les oxydes d'azote (exprimés sous la forme de leurs équivalents en dioxyde d'azote (NO_2));

3.1.27 Par «*pratiques techniques reconnues*» on entend les évaluations faites en conformité avec les principes scientifiques et techniques généralement admis et les informations techniques disponibles;

3.1.28 Par «*filtre HEPA*» on entend un filtre à air antiparticules de grande efficacité qui doit atteindre une efficacité nominale initiale d'élimination des particules de 99,97 % en application de la norme ASTM F 1471-93 ou d'une norme équivalente;

3.1.29 Par «*hydrocarbures (HC)*» on entend, selon le cas, les HCT ou les HCNM. Par hydrocarbures, on entend généralement le groupe d'hydrocarbures sur lequel sont fondés les normes d'émissions pour chaque type de carburant et de moteur;

3.1.30 Par «*régime haut (n_{hi})*» on entend le régime le plus élevé auquel le moteur produit 70 % de sa puissance maximale;

3.1.31 Par «*ralenti*» on entend le régime moteur en charge minimale (supérieure ou égale à zéro) lorsqu'un régulateur gère le régime moteur. Pour les moteurs qui en sont dépourvus, le ralenti est le régime annoncé par le constructeur

comme étant le régime minimal possible en charge minimale. Par ralenti à chaud on entend le régime de ralenti du moteur à chaud;

3.1.32 Par «*régime d'essai intermédiaire*» on entend celui qui satisfait aux conditions suivantes:

a) Dans le cas des moteurs conçus pour fonctionner sur une plage de régimes couvrant la courbe de couple à pleine charge, le régime intermédiaire sera considéré comme étant le régime de couple maximal annoncé s'il se situe entre 60 et 75 % du régime nominal;

b) Si le régime de couple maximal annoncé est inférieur à 60 % du régime nominal, le régime intermédiaire sera de 60 % du régime nominal;

c) Si le régime de couple maximal annoncé est supérieur à 75 % du régime nominal, le régime intermédiaire sera de 75 % du régime nominal;

3.1.33 Par «*linéarité*» on entend la mesure dans laquelle les valeurs mesurées concordent avec les valeurs de référence respectives. La linéarité est quantifiée au moyen d'une régression linéaire de paires de valeurs mesurées et de valeurs de référence sur une plage de valeurs escomptées ou observées pendant les essais;

3.1.34 Par «*régime bas (n_{lo})*» on entend le régime le plus bas auquel le moteur fournit 50 % de sa puissance maximale;

3.1.35 Par «*puissance maximale (P_{max})*» on entend la puissance maximale, en kW, fournie par le moteur tel qu'il est conçu par le constructeur;

3.1.36 Par «*régime de couple maximum*» on entend le régime auquel le moteur fournit son couple maximal tel que prévu par le constructeur;

3.1.37 Par «*moyenne d'une quantité*» basée sur les valeurs moyennes pondérées par le débit on entend le niveau moyen d'une quantité après sa pondération proportionnelle au débit correspondant;

3.1.38 Par «*hydrocarbures non méthaniques (HCNM)*» on entend la somme de toutes les espèces d'hydrocarbures à l'exception du méthane;

3.1.39 Par «*rejets de gaz de carter*» on entend tout flux de gaz provenant du carter qui est envoyé directement dans l'atmosphère;

3.1.40 Par «*demande de l'opérateur*» on entend une action de l'opérateur pour commander la puissance produite par le moteur. Cet «opérateur» peut être une personne (agissant manuellement) ou un régulateur (automatique) qui signale mécaniquement ou électroniquement une intervention qui requiert une réaction du moteur. L'ordre peut être donné au moyen d'une pédale d'accélérateur ou d'un signal, d'un levier ou d'un signal de commande des gaz, un levier ou un signal commandant le débit de carburant, un levier ou un signal commandant le régime, ou encore une valeur de consigne ou signal d'un régulateur;

3.1.41 Par «*oxydes d'azote*» on entend des mélanges composés uniquement d'azote et d'oxygène tels que mesurés suivant les procédures spécifiées dans le présent règlement. Les oxydes d'azote sont exprimés quantitativement comme si le NO était sous la forme de NO_2, de telle sorte qu'on utilise une masse molaire effective pour tous les oxydes d'azote équivalents à celui du NO_2;

3.1.42 Par «*moteur de base*» on entend un moteur choisi dans une famille de moteurs de telle sorte que ses caractéristiques d'émissions soient représentatives de cette famille (voir le paragraphe 5.2.4);

3.1.43 Par «*pression partielle*» on entend la pression *p* attribuable à un gaz unique dans un mélange de gaz. Pour un gaz idéal, la pression partielle divisée par la pression totale est égale à la concentration molaire, *x*, du constituant;

3.1.44 Par «*dispositif de traitement aval des particules*» on entend un système de traitement aval des gaz d'échappement conçu pour réduire les émissions de particules polluantes par séparation mécanique, aérodynamique, diffusionnelle ou inertielle;

3.1.45 Par «*méthode de dilution du flux partiel*» on entend une méthode qui consiste à séparer une partie du flux d'échappement total et à le mélanger avec une quantité appropriée d'air de dilution avant le filtre de prélèvement des particules;

3.1.46 Par «*particules (MP)*» on entend toute matière retenue par un moyen de filtration après dilution des gaz d'échappement avec de l'air propre filtré jusqu'à une température et un point spécifiés dans le paragraphe 9.3.3.4; il s'agit essentiellement de carbone, d'hydrocarbures condensés et de sulfates et d'eau associée;

3.1.47 Par «*fraction de pénétration PF*» on entend l'écart par rapport au fonctionnement idéal d'un convertisseur de HCNM (voir «efficacité des convertisseurs de HCNM *E*»). Un convertisseur idéal doit avoir un facteur de pénétration, PF_{CH4}, de 1 000 (autrement dit une efficacité de conversion du méthane E_{CH4} de 0), et un facteur de pénétration pour tous les autres hydrocarbures de 0,000, comme représenté par PF_{C2H6} (c'est-à-dire une efficacité de conversion de l'éthane E_{C2H6} de 1). La relation est: $PF_{CH4} = 1 - E_{CH4}$ et $PF_{C2H6} = 1 - E_E$;

3.1.48 Par «*pourcentage de charge*» on entend la fraction du couple maximal disponible à un régime donné;

3.1.49 Par «*régénération périodique*» (ou peu fréquente) on entend le processus de régénération d'un système de traitement aval des gaz d'échappement qui survient périodiquement après moins de cent heures de fonctionnement normal du moteur. Pendant les cycles de régénération, les normes de pollution peuvent être dépassées;

3.1.50 Par «*sonde*» on entend la première section de la ligne de transfert qui achemine l'échantillon jusqu'à l'élément suivant du système de prélèvement;

3.1.51 Par «*PTFE*» on entend le polytétrafluoréthylène, aussi connu sous le nom de Teflon®;

3.1.52 Par «*cycle à modes stationnaires raccordés*» on entend un cycle d'essai comportant une suite de modes d'essai du moteur en conditions stationnaires avec des critères de régime et de couple définis pour chaque mode ainsi que des rampes de transition de régime et de couple définies entre ces modes;

3.1.53 Par «*régime nominal*» on entend le régime maximal permis par le régulateur tel qu'il a été défini par le constructeur, ou, en l'absence d'un tel régulateur, le régime auquel est obtenue la puissance maximale du moteur tel qu'il a été conçu;

3.1.54 Par «*régénération*» on entend un événement au cours duquel les niveaux d'émissions changent pendant que l'efficacité du traitement aval se rétablit par un processus prévu par le constructeur. Deux types de régénération peuvent se produire: la régénération continue (voir le paragraphe 6.6.1) et la régénération périodique (ou peu fréquente) (voir le paragraphe 6.6.2);

3.1.55 Par «*temps de réponse*» on entend la différence de temps entre le changement du constituant à mesurer au point de référence et une réponse de système de 90 % du relevé final (t_{90}), la sonde de prélèvement étant définie comme étant le point de référence, pendant lequel le changement du constituant mesuré est d'au moins 60 % du total et a lieu en moins de 0,1 s. Le temps de réponse du système est la somme du temps de retard jusqu'au système et du temps de montée du système;

3.1.56 Par «*temps de montée*» on entend la différence de temps des réponses à 10 % et à 90 % de la valeur finale lue ($t_{90} - t_{10}$);

3.1.57 Par «*manomètre atmosphérique commun*» on entend un manomètre dont les valeurs annoncées sont utilisées comme valeur de pression atmosphérique pour tout un atelier comportant plusieurs cellules d'essais dynamométriques;

3.1.58 Par «*mesure commune de l'humidité*» on entend une mesure de l'humidité s'appliquant à l'ensemble de l'atelier de mesure comportant plusieurs cellules d'essai;

3.1.59 Par «*réglage de sensibilité*» on entend le réglage d'un instrument de manière à ce qu'il donne une réponse appropriée à une norme d'étalonnage qui représente entre 75 et 100 % de la valeur maximale de la plage de mesure de l'instrument ou de la plage d'utilisation prévue;

3.1.60 Par «*gaz de calibrage*» on entend un mélange de gaz purifiés qui sert à régler les analyseurs de gaz. Les gaz de calibrage doivent satisfaire aux spécifications du paragraphe 9.5.1. À noter que les gaz d'étalonnage et les gaz de calibrage sont qualitativement les mêmes mais qu'ils diffèrent de par leur fonction primaire. Diverses vérifications des performances des analyseurs de gaz et d'éléments de manipulation des échantillons peuvent se référer selon le cas à leur gaz d'étalonnage ou à leur gaz de calibrage;

3.1.61 Par «*émissions spécifiques*» on entend les émissions massiques exprimées en g/kWh;

3.1.62 Par «*autonome*» on entend le fait qu'un objet soit indépendant;

3.1.63 Par «*essais en conditions stationnaires*» on entend des essais d'émissions dans lesquels le régime moteur et la charge sont maintenus dans un ensemble fini de valeurs nominalement constantes. Les essais en conditions stationnaires sont soit des essais en modes discrets, soit des essais en modes raccordés (avec transition progressive);

3.1.64 Par «*stœchiométrique*» on entend l'établissement d'un rapport air/carburant tel que si le carburant était entièrement oxydé, il n'y aurait pas de carburant ou d'oxygène restant;

3.1.65 Par «*support de prélèvement*» on entend un filtre à particules, un sac-échantillon, un dispositif de stockage ou tout autre moyen de stockage utilisé pour le prélèvement par lots;

3.1.66 Par «*cycle d'essai*» on entend une suite de points de mesure correspondant chacun à un régime et un couple précis devant être appliqués avec le moteur

en conditions de fonctionnement stationnaires ou transitoires. Les cycles d'essai sont définis dans l'annexe A.1. Un cycle d'essai peut lui-même comporter un ou plusieurs intervalles d'essai;

3.1.67 Par «*intervalle d'essai*» on entend l'intervalle de temps pendant lequel sont déterminées les émissions spécifiques au frein. Si plusieurs intervalles d'essai surviennent sur un cycle d'essai, la régulation peut spécifier des calculs additionnels qui pondèrent et combinent les résultats pour aboutir à des valeurs composites permettant des comparaisons avec les limites d'émissions applicables;

3.1.68 Par «*tolérance*» on entend l'intervalle dans lequel se situent 95 % d'un ensemble de valeurs enregistrées d'une quantité donnée, les 5 % restants ne s'écartant de l'intervalle de tolérance qu'en raison de la variabilité des mesures. Les fréquences d'enregistrement et les intervalles de temps spécifiés permettront de déterminer si une quantité respecte la tolérance applicable. Pour les paramètres qui ne sont pas exposés à la variabilité des mesures, la tolérance signifie une plage absolue permise;

3.1.69 Par «*hydrocarbures totaux (HCT)*» on entend la masse combinée des composés organiques mesurée au moyen de la procédure spécifique utilisée pour mesurer le total des hydrocarbures, exprimée sous la forme d'un hydrocarbure ayant un indice de structure hydrogène à carbone de 1,85:1;

3.1.70 Par «*temps de transformation*» on entend la différence de temps entre la variation du constituant à mesurer au point de référence et une réponse du système de 50 % de la valeur finale (t_{50}), la sonde de prélèvement étant définie comme étant le point de référence. Le temps de transformation est utilisé pour l'alignement du signal des différents instruments de mesure. Voir la figure 3.1;

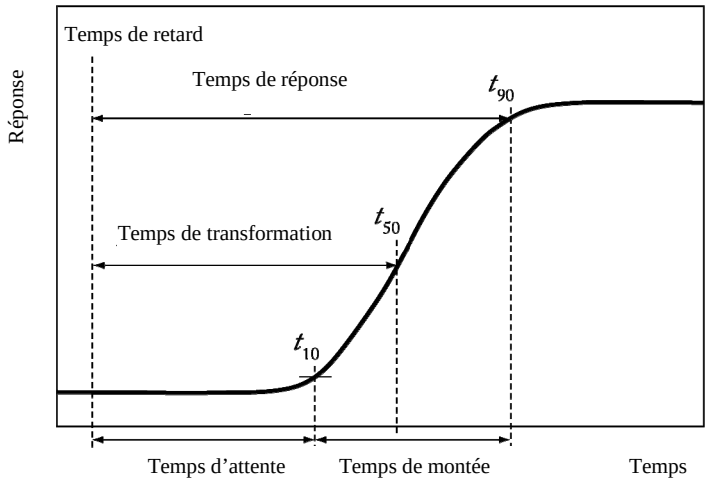


Figure 3.1
Définitions des temps de réponse: temps d'attente (3.1.12), temps de réponse (3.1.55), temps de montée (3.1.56) et temps de transformation (3.1.70)

3.1.71 Par «*cycle d'essai en conditions transitoires*» on entend un cycle d'essai comportant une série de valeurs de régime et de couple normalisés qui varient relativement rapidement en fonction du temps (NRTC);

3.1.72 Par «*homologation*» on entend l'homologation d'un type de moteur en ce qui concerne les émissions de gaz mesurées conformément aux procédures du présent règlement;

3.1.73 Par «*mise à jour/enregistrement*» on entend la fréquence avec laquelle l'analyseur fournit des valeurs nouvelles du moment;

3.1.74 Par «*durée de vie utile*» on entend la distance et/ou le temps pendant laquelle/lequel doit être garantie la conformité aux limites d'émissions gazeuses/particulaires;

3.1.75 Par «*moteur à régime variable*» on entend un moteur autre qu'un moteur à régime constant;

3.1.76 Par «*vérification*» on entend le fait d'évaluer si les résultats d'un système de mesure concordent ou non avec une série de signaux de référence appliqués dans une ou plusieurs limites préalablement fixées. Voir aussi «étalonnage»;

3.1.77 Par «*mise à zéro*» on entend le fait de régler un instrument d'une manière telle que sa réponse corresponde à zéro à un standard d'étalonnage nul, tel que l'azote purifié ou l'air purifié, pour mesurer des concentrations de constituants des émissions;

3.1.78 Par «*gaz de zéro*» on entend un gaz donnant une réponse nulle dans un analyseur. Il peut s'agir d'azote purifié ou une combinaison d'air purifié et d'azote purifié.

3.2 *Symboles généraux*[2]

Symbole	*Unité*	*Terme*
a_0	–	ordonnée à l'origine de la droite de régression
a_1	–	pente de la droite de régression
α_{sp}	rad/s^2	dérivée du régime moteur au point de consigne
A/F_{st}	–	rapport air/carburant stœchiométrique
c	ppm, % vol.	concentration (aussi en µmol/mol = ppm)
D	–	facteur de dilution
d	m	diamètre
E	%	efficacité de conversion
e	g/kWh	base spécifique du frein
e_{gas}	g/kWh	émissions spécifiques de constituants gazeux
e_{PM}	g/kWh	émissions spécifiques de particules
e_w	g/kWh	émissions spécifiques pondérées
F		statistique de test F
F	–	fréquence de la régénération en fractions des essais au cours desquels se produit la régénération
f_a	–	facteur atmosphérique de laboratoire

[2] Les symboles spécifiques figurent dans les annexes.

Symbole	*Unité*	*Terme*
θ_D	kg·mm^2	inertie rotative du dynamomètre D à courants de Foucault
k_r	–	facteur de régénération multiplicateur
k_{Dr}	–	facteur d'ajustement dégressif
k_{Ur}		facteur d'ajustement progressif
λ	–	facteur d'excédent d'air
L	–	couple en %
M_a	g/mol	masse molaire de l'air d'admission
M_e	g/mol	masse molaire des gaz d'échappement
M_{gas}	g/mol	masse molaire des composants gazeux
m	kg	masse
m_{gas}	g	masse des émissions gazeuses sur l'ensemble du cycle
m_{PM}	g	masse des émissions de particules sur l'ensemble du cycle
n	min^{-1}	régime de rotation du moteur
n_{hi}	min^{-1}	régime moteur haut
n_{lo}	min^{-1}	régime moteur bas
P	kW	puissance
P_{max}	kW	puissance maximale observée ou déclarée au régime d'essai dans les conditions de l'essai (définies par le constructeur)
P_{AUX}	kW	puissance totale annoncée absorbée par les équipements auxiliaires utilisés pour les essais
p	kPa	pression
p_a	kPa	pression en atmosphère sèche
PF	%	fraction de pénétration
q_{maw}	kg/s	débit d'air d'admission en conditions humides
q_{mdw}	kg/s	débit d'air de dilution en conditions humides
q_{mdew}	kg/s	débit des gaz d'échappement dilués en conditions humides
q_{mew}	kg/s	débit des gaz d'échappement en conditions humides
q_{mf}	kg/s	débit massique de carburant
q_{mp}	kg/s	débit de l'échantillon de gaz d'échappement dans le système de dilution partielle du flux
q_V	m^3/s	débit volumétrique

Symbole	*Unité*	*Terme*
RF	–	facteur de réponse
r_d	–	taux de dilution
r^2	–	coefficient de détermination
ρ	kg/m³	densité
σ	–	écart type
S	kW	réglage du dynamomètre
SEE	–	erreur type de l'estimation de *y* en fonction de *x*
T	°C	température
T_a	K	température absolue
T	N·m	couple moteur
T_{sp}	N·m	demande de couple au point de consigne «sp»
u	–	rapport entre les densités de la composante carburant et du gaz d'échappement
t	s	temps
Δt	s	intervalle de temps
t_{10}	s	temps écoulé entre l'application du signal et l'affichage de 10 % de la valeur finale
t_{50}	s	temps écoulé entre l'application du signal et l'affichage de 50 % de la valeur finale
t_{90}	s	temps écoulé entre l'application du signal et l'affichage de 90 % de la valeur finale
V	m^3	volume
W	kWh	travail
y		variable
$\bar{y}$		moyenne arithmétique.

3.3 *Indices*

abs	quantité absolue
act	quantité réelle
air	quantité d'air
amb	quantité ambiante
atm	quantité atmosphérique
cor	quantité corrigée
CFV	venturi tuyère en régime critique
denorm	régime moteur dénormalisé
dry	quantité à sec

exp	quantité escomptée
filter	filtre d'échantillon MP
i	mesure instantanée (par exemple, 1 Hz)
i	élément d'une série
idle	état au ralenti
in	dans
leak	quantité de fuite
max	valeur maximale (crête)
meas	quantité mesurée
min	valeur minimale
mix	masse molaire de l'air
out	quantité sortante
PDP	pompe volumétrique
ref	quantité de référence
SSV	venturi subsonique
total	quantité totale
uncor	quantité non corrigée
vac	quantité
weight	masse d'étalonnage
wet	quantité en conditions humides.

3.4 *Symboles et abréviations des composants chimiques (aussi utilisés comme indices)*

Ar	argon
C_1	hydrocarbures en équivalent carbone 1
CH_4	méthane
C_2H_6	éthane
C_3H_8	propane
CO	monoxyde de carbone
CO_2	dioxyde de carbone
DOP	di-octylphthalate
H	hydrogène atomique
H_2	hydrogène moléculaire
HC	hydrocarbures
H_2O	eau
HCNM	hydrocarbures non méthaniques

HCT	hydrocarbures totaux
He	hélium
MP	particules
N_2	azote moléculaire
NO_x	oxydes d'azote
NO	oxyde nitrique
NO_2	dioxyde d'azote
S	soufre.

3.5 *Abréviations et sigles*

ASTM	American Society for Testing and Materials
BMD	minidilueur en sac
BSFC	consommation spécifique de carburant par ch de puissance utile
CFV	tube de venturi à écoulement critique
CI	allumage par compression
CLD	détecteur par chimiluminescence
CVS	prélèvement à volume constant
deNOx	système de traitement aval des NO_x
DF	facteur de détérioration
ECM	module électronique de commande
EFC	régulation électronique de débit
EGR	recyclage des gaz d'échappement
FID	détecteur à ionisation de flamme
GC	chromatographie en phase gazeuse
GPL	gaz de pétrole liquéfié
HCLD	détecteur à chimiluminescence chauffé
HFID	détecteur à ionisation de flamme chauffé
IBP	point d'ébullition initial
ISO	Organisation Internationale de Normalisation
NDIR	analyseur dans l'infrarouge non dispersif
NDUV	analyseur dans l'ultraviolet non dispersif
NIST	US National Institute for Standards and Technology
NMC	convertisseur de HCNM
PDP	pompe volumétrique
Per cent FS	pourcentage de l'échelle

PFD	dilution de flux partiel
PFS	système à flux partiel
PTFE	polytétrafluoréthylène (couramment appelé Teflon®)
RMC	cycle à modes stationnaires raccordés
RMS	valeur quadratique moyenne
RTD	détecteur de température résistif
SAE	Society of Automotive Engineers
SSV	venturi subsonique
UCL	limite supérieure de confiance
UFM	débitmètre ultrasonique.

4. Prescriptions générales

Le système moteur doit être conçu, construit et installé de manière à lui permettre de satisfaire aux prescriptions du présent RTM. Les mesures techniques à prendre par le constructeur doivent être telles qu'elles garantissent que les émissions mentionnées sont effectivement limitées, conformément au présent RTM, pendant toute la durée de vie utile du moteur, comme cela est défini par la Partie contractante, et en conditions d'utilisation normales. À cet effet, les moteurs doivent être conformes aux exigences du paragraphe 5 lorsqu'ils sont soumis aux essais conformément aux conditions du paragraphe 6 et suivant la procédure d'essai du paragraphe 7.

5. Prescriptions fonctionnelles

5.1 *Prescriptions d'ordre général*

5.1.1 Mise en œuvre de la procédure d'essai

Lorsqu'elles mettent 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.

5.1.2 Émissions de polluants gazeux et de particules

Les polluants sont représentés par:

a) Les oxydes d'azote (NO_x);

b) Les hydrocarbures, qui peuvent être exprimés de la manière suivante:

i) Hydrocarbures totaux (HC ou HCT);

ii) Hydrocarbures non méthaniques (HCNM);

c) Les particules (MP);

d) Le monoxyde de carbone (CO).

Les valeurs mesurées des polluants gazeux et des particules émis par l'échappement du moteur sont des émissions spécifiques au frein en grammes par kilowatt/heure (g/kWh). On peut utiliser d'autres systèmes d'unités en appliquant le facteur de conversion approprié.

Les émissions doivent être déterminées en fonction des cycles d'utilisation (conditions stationnaires et/ou régime transitoire), comme indiqué au paragraphe 7. Les systèmes de mesure satisferont aux essais d'étalonnage et d'efficacité du paragraphe 8, avec les équipements de mesure prescrits au paragraphe 9.

D'autres systèmes ou analyseurs peuvent être approuvés par l'autorité d'homologation de type ou de certification s'il est constaté qu'ils donnent des résultats équivalents conformément au paragraphe 5.1.3.

5.1.3 Équivalence d'un système

La détermination de l'équivalence d'un système doit s'appuyer sur une étude de corrélation portant sur sept paires d'échantillons (ou plus) entre le système envisagé et l'un des systèmes 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 à l'annexe A.2, obtenues dans la chambre d'essai et avec les conditions moteur décrites ci-dessus. Les valeurs aberrantes seront déterminées conformément à la norme ISO 5725 et exclues de la base de données. Les systèmes utilisés pour les essais de corrélation doivent être soumis à l'agrément de l'autorité d'homologation de type ou de certification.

5.2 *Famille de moteurs*

5.2.1 Dispositions générales

Une famille de moteurs est caractérisée par ses paramètres de conception. Ceux-ci doivent être communs à tous les moteurs d'une famille. Le constructeur de moteurs peut décider quels moteurs appartiennent à une famille, pour autant que les critères d'appartenance énumérés au paragraphe 5.2.3 soient respectés. La famille de moteurs doit être agréée par l'autorité d'homologation de type ou de certification. Le constructeur doit fournir à cette autorité les informations utiles relatives aux niveaux d'émissions des membres de cette famille. Aux fins de l'homologation de type ou de la certification, les Parties contractantes peuvent appliquer des prescriptions additionnelles pour la définition d'une famille de moteurs sur la base de la puissance, du type de carburant et des limites d'émissions.

5.2.2 Cas spéciaux

5.2.2.1 Interactions entre paramètres

Dans certains cas, il peut y avoir des interactions entre paramètres, qui peuvent influer sur les émissions. Ce facteur doit être pris en considération pour garantir que seuls les moteurs ayant des caractéristiques semblables en matière d'émissions d'échappement soient compris dans la même famille. Ces cas doivent être identifiés par le constructeur et notifiés à l'autorité d'homologation de type ou de certification. Ils seront pris alors en

considération comme critères pour l'établissement d'une nouvelle famille de moteurs.

5.2.2.2 Dispositifs ou caractéristiques qui ont une forte incidence sur le niveau d'émissions

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 pratiques reconnues et doivent être notifiés à l'autorité d'homologation de type ou de certification. Ils doivent ensuite être pris en compte comme critère pour l'établissement d'une nouvelle famille de moteurs.

5.2.2.3 Critères additionnels

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) Autres (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

Dans des limites de 85 % et 100 % pour des moteurs ayant une cylindrée unitaire ±0,75 dm^3 de la plus forte cylindrée unitaire dans la famille.

Dans des limites de 70 % et 100 % pour des moteurs ayant une cylindrée unitaire <0,75 dm^3 de la plus forte cylindrée unitaire dans la famille.

5.2.3.5 Mode d'aspiration

a) Aspiration naturelle

b) Suralimentation

c) Suralimentation avec refroidisseur intermédiaire.

5.2.3.6 Type de chambre de combustion

a) Chambre ouverte

b) Chambre fractionnée

c) Autres types.

5.2.3.7 Soupapes et conduits

a) Configuration

b) Nombre de soupapes par cylindre.

5.2.3.8 Système d'alimentation en carburant

a) Pompe, tuyauterie (haute pression) et injecteur

b) Pompe en ligne ou à distributeur

c) Injecteur unitaire

d) Rampe haute pression.

5.2.3.9 Dispositifs divers

a) Système de recyclage des gaz d'échappement (EGR)

b) Injection d'eau

c) Injection d'air

d) Autres.

5.2.3.10 Stratégie de gestion électronique

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

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

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

5.2.3.11 Systèmes de traitement aval des gaz d'échappement

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

a) Catalyseur d'oxydation;

b) Système deNOx avec réduction sélective des NO_x (adjonction d'un agent réducteur);

c) Autre système deNOx;

d) Filtre à particules avec régénération passive;

e) Filtre à particules avec régénération active;

f) Autres filtres à particules;

g) Autres dispositifs.

Lorsqu'un moteur a été homologué sans système de traitement aval, que ce soit en tant que moteur de base ou en tant que membre d'une famille, ce moteur lorsqu'il est équipé d'un catalyseur d'oxydation (mais non avec un filtre à particules) peut être inclus dans la même famille, s'il n'exige pas de carburant ayant des caractéristiques différentes.

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

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

5.2.4 Choix du moteur de base

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

L'autorité d'homologation de type ou de certification 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, les parties en cause doivent présenter les informations nécessaires pour permettre de déterminer les moteurs de la famille susceptibles d'avoir les niveaux d'émissions les plus élevés.

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

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

5.3 *Tenue d'enregistrements*

Les prescriptions en matière de tenue d'enregistrements seront fixées par les Parties contractantes. Les procédures définies dans le présent RTM incluent

dans divers cas des prescriptions concernant l'enregistrement de données ou d'autres informations.

6. Conditions d'essai

6.1 *Conditions de laboratoire*

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

Moteurs à aspiration naturelle et moteurs à suralimentation mécanique:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right) \times \left(\frac{T_a}{298}\right)^{0,7} \qquad (6\text{-}1)$$

Moteurs à turbocompresseur avec ou sans refroidisseur intermédiaire:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right)^{0,7} \times \left(\frac{T_a}{298}\right)^{1,5} \qquad (6\text{-}2)$$

La température de l'air d'admission, mesurée en amont de tout composant moteur, doit être maintenue à (25 ± 5) °C.

L'utilisation des appareils suivants est admise:

a) Un manomètre de pression atmosphérique commun, pour autant que l'appareillage dans lequel passe l'air d'admission maintienne la pression ambiante à l'endroit où est effectué l'essai à ±1 kPa de la pression atmosphérique commune;

b) Un système commun de mesure de l'humidité de l'air d'admission, pour autant que l'appareillage dans lequel passe l'air d'admission maintienne le point de rosée à l'endroit où est effectué l'essai à ±0,5 °C de la valeur de l'humidité commune mesurée.

6.2 *Moteurs à refroidisseur intermédiaire*

a) Un système de refroidissement intermédiaire d'une capacité totale représentative de l'installation sur les moteurs de série en service doit être utilisé. Tout système de refroidissement intermédiaire de laboratoire doit être conçu pour réduire au minimum l'accumulation de condensat. Tout condensat éventuellement accumulé doit être évacué et les orifices de purge doivent être complètement fermés avant les essais d'émissions. Les purgeurs doivent être maintenus fermés pendant l'essai d'émissions. Les paramètres du réfrigérant doivent être maintenus aux valeurs suivantes:

i) Une température du réfrigérant d'au moins 20 °C doit être maintenue à l'entrée du refroidisseur intermédiaire pendant tout l'essai;

ii) Aux conditions moteur définies par le constructeur, le débit de réfrigérant doit être réglé de manière à obtenir une température d'air se situant à ±5 °C de la valeur prévue par le constructeur à la sortie du refroidisseur intermédiaire. La température doit être mesurée à l'emplacement précisé par le constructeur. Cette valeur de consigne de débit du réfrigérant doit être appliquée pendant tout l'essai. Si le fabricant du moteur ne spécifie pas de conditions moteur ou de température correspondante de l'air à la sortie du refroidisseur intermédiaire, le débit de réfrigérant doit être réglé à la puissance maximale du moteur en vue d'obtenir une température à la sortie de l'air du refroidisseur intermédiaire représentative du fonctionnement en service;

iii) Si le fabricant du moteur précise les limites de la perte de charge dans le système de refroidisseur intermédiaire, il doit être vérifié que cette perte de charge, aux conditions moteur spécifiées par le fabricant, reste dans les limites spécifiées par ce dernier. La perte de charge doit être mesurée aux emplacements définis par le constructeur;

b) L'objectif de cette procédure est d'obtenir des résultats d'émissions représentatifs du fonctionnement en service. Si une analyse fondée sur les principes techniques d'usage indique que l'application des prescriptions de cette section aboutirait à des conditions d'essai non représentatives (refroidissement excessif de l'air d'admission par exemple), il peut être appliqué des points de consigne et des systèmes plus poussés de régulation de la perte de charge de l'air d'admission, de la température du réfrigérant et du débit afin d'obtenir des résultats plus représentatifs.

6.3 *Puissance du moteur*

6.3.1 Base de la mesure des émissions

La base de la mesure des émissions spécifiques est la valeur de puissance non corrigée.

6.3.2 Accessoires à monter pour l'essai

Les accessoires nécessaires pour le fonctionnement du moteur doivent être montés pour l'essai au banc conformément aux prescriptions de l'annexe A.5.

6.3.3 Accessoires à démonter pour l'essai

Certains accessoires dont la fonction est liée au fonctionnement de l'engin et qui peuvent être montés sur le moteur doivent être démontés pour l'essai.

Lorsque les accessoires ne peuvent pas être démontés, la puissance qu'ils absorbent en fonctionnement à vide peut être déterminée et ajoutée à la puissance mesurée du moteur (voir note h du tableau de l'annexe A.5). Si cette valeur est supérieure à 3 % de la puissance maximale au régime d'essai, l'autorité responsable des essais peut la vérifier. La valeur de puissance absorbée par les accessoires doit être prise en compte pour régler les valeurs de consigne et pour calculer le travail produit par le moteur au cours du cycle d'essai.

6.4 *Système d'admission du moteur*

6.4.1 Introduction

Le système d'admission d'air monté sur le moteur ou un système représentatif d'une configuration typique en service doit être utilisé. Les systèmes de refroidisseur intermédiaire et les systèmes de recyclage des gaz d'échappement doivent être inclus.

6.4.2 Perte de charge à l'admission

Il doit être utilisé un système d'admission d'air du moteur ou un système de laboratoire produisant un perte de pression de l'air d'admission se situant à ±300 Pa de la valeur maximale fixée par le fabricant pour un filtre à air propre au régime nominal et à pleine charge. La pression différentielle statique correspondant à la perte de charge doit être mesurée à l'emplacement et aux points de consigne de régime et de couple précisés par le fabricant. Si le fabricant ne définit pas d'emplacement, la pression doit être mesurée en amont de tout turbocompresseur ou raccordement d'un système de recyclage des gaz d'échappement au système d'admission d'air. Si le fabricant ne définit pas de point de consigne de régime et de couple, la pression doit être mesurée alors que le moteur produit sa puissance maximale.

6.5 *Système d'échappement du moteur*

Le système d'échappement monté sur le moteur ou un système représentatif d'une configuration typique en service doit être utilisé. Pour les dispositifs de traitement aval, la perte de charge à l'échappement doit être précisée par le fabricant en fonction de l'état du système de traitement aval (rodage/vieillissement et régénération/encrassage). Le système d'échappement doit être conforme aux prescriptions en ce qui concerne le prélèvement des gaz d'échappement énoncées au paragraphe 9.3. Il doit être utilisé un système d'échappement du moteur ou un système de laboratoire produisant une contre-pression statique d'échappement de 80 à 100 % de la contre-pression maximale d'échappement, aux valeurs de régime et de couple fixées par le fabricant. Si la contre-pression maximale est de 5 kPa ou moins, le point de consigne ne doit pas être à moins de 1,0 kPa du maximum. Si le fabricant ne fixe pas de valeurs de régime et de couple, la pression doit être mesurée alors que le moteur produit sa puissance maximale.

6.6 *Moteur avec système de traitement aval des gaz d'échappement*

Si le moteur est équipé d'un système de traitement aval des gaz d'échappement, le tuyau d'échappement doit avoir un diamètre identique à celui du tuyau de série sur une longueur égale à au moins quatre diamètres de tuyau en amont de l'entrée de la section divergente contenant le dispositif de traitement aval. La distance entre la bride du collecteur d'échappement ou la bride de sortie du turbocompresseur et le dispositif de traitement aval doit être la même que sur le véhicule ou être conforme aux spécifications du constructeur concernant cette distance. La contre-pression ou la restriction à l'échappement doit satisfaire aux critères énoncés plus haut, et elle peut être réglable au moyen d'une soupape. Le système de traitement aval peut être enlevé lors des essais à blanc et pendant l'établissement de la courbe de conversion du moteur et peut être remplacé par une enceinte équivalente contenant un élément catalyseur inactif.

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

Pour les moteurs équipés d'un système de traitement aval avec régénération périodique, comme décrit au paragraphe 6.6.2, les résultats d'émissions doivent être ajustés pour tenir compte des cycles de régénération. Dans ce cas, les émissions moyennes dépendent de la fréquence des cycles de régénération, et donc de la fraction de la durée des essais pendant laquelle il y a régénération. Dans le cas des systèmes de traitement aval à régénération continue, qui sont décrits au paragraphe 6.6.1, aucune procédure d'essai spéciale n'est nécessaire.

6.6.1 Régénération continue

Pour un système de traitement aval fonctionnant avec régénération continue, les émissions doivent être mesurées sur un système dont les caractéristiques ont été stabilisées de manière à garantir la répétabilité des valeurs d'émissions mesurées. L'opération de régénération doit se produire au moins une fois au cours de l'essai NRTC et le constructeur doit déclarer les conditions dans lesquelles la régénération a normalement lieu (charge en particules, température, contre-pression d'échappement, etc.). Afin de démontrer que l'opération de régénération est continue, il doit être exécuté au moins trois essais NRTC de démarrage à chaud. Au cours des essais, les valeurs de température et de pression des gaz d'échappement doivent être enregistrées (température en amont et en aval du système de traitement, contre-pression d'échappement, etc.). Le système de traitement aval est considéré comme satisfaisant si les conditions déclarées par le constructeur sont observées au cours de l'essai pendant une durée suffisante et si les résultats en matière d'émissions n'offrent pas une dispersion excédant ±15 %. 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 (ou peu fréquente)

Ces prescriptions s'appliquent seulement aux moteurs équipés de systèmes antipollution à régénération périodique. Pour les moteurs qui sont soumis au cycle d'essai à modes discrets, cette procédure n'est pas applicable.

Les émissions doivent être mesurées sur un système de traitement aval des gaz d'échappement dont les caractéristiques sont stabilisées sur au moins trois essais NRTC de démarrage à chaud ou essais à modes raccordés RMC, un pendant un cycle à régénération et deux hors cycles à régénération. L'opération de régénération doit avoir lieu au moins une fois pendant l'essai NRTC ou RMC. Si l'opération dure plus longtemps qu'un essai NRTC ou RMC, les essais sont répétés jusqu'à ce que la régénération soit terminée. Le moteur peut être équipé d'un interrupteur inhibant ou permettant l'opération de régénération à condition que cette fonction n'ait pas d'incidence sur les réglages d'origine du moteur.

Le constructeur doit déclarer les conditions normales dans lesquelles l'opération de régénération a lieu (charge en particules, température, contre-pression d'échappement, etc.). Il doit aussi indiquer la fréquence de

l'opération de régénération en termes de fraction de la durée des essais au cours de laquelle il y a régénération (*F*). La manière exacte de déterminer cette fraction doit être approuvée par l'autorité d'homologation de type ou de certification en fonction des considérations techniques pertinentes.

Pour un essai avec régénération, le constructeur doit fournir un système de traitement aval qui a subi un traitement préliminaire d'encrassage. La régénération ne doit pas avoir lieu au cours de cette phase de préparation du système. Le constructeur peut aussi exécuter des essais NRTC de démarrage à chaud ou RMC jusqu'à ce que le système soit dans l'état d'encrassage voulu. Il n'est pas nécessaire que les émissions soient mesurées pendant tous ces essais.

Les émissions moyennes entre phases de régénération doivent être déterminées sur la base de la moyenne arithmétique de plusieurs essais NRTC de démarrage à chaud ou RMC également espacés. Au minimum, il doit être exécuté au moins un essai NRTC ou RMC le plus tard possible avant un essai où il y a régénération et un essai NRTC ou RMC immédiatement après un tel essai.

Au cours de l'essai où il y a régénération, toutes les données nécessaires pour détecter cette phase doivent être enregistrées (émissions de CO ou NO_x, température en amont et en aval du système de traitement, contre-pression d'échappement, etc.). Pendant l'opération de régénération, les limites d'émissions applicables peuvent être dépassées. La procédure d'essai est représentée schématiquement à la figure 6.1.

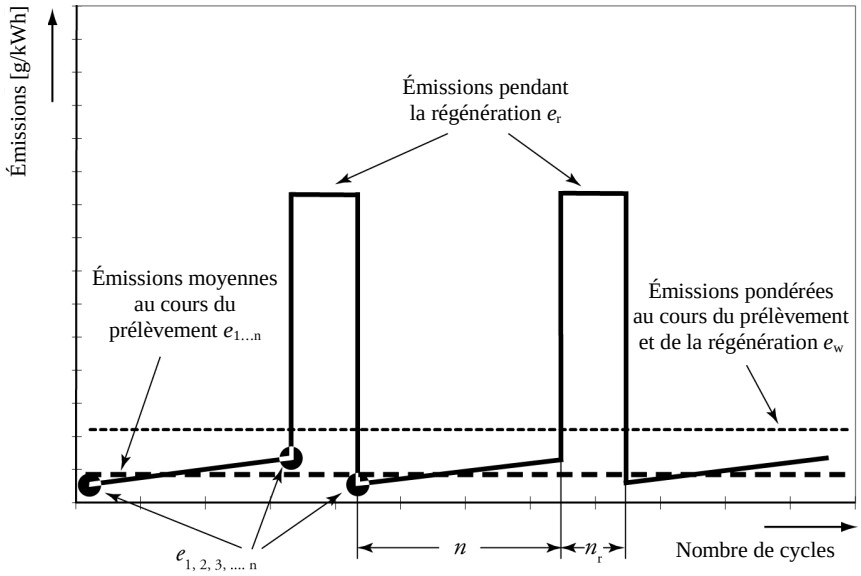


Figure 6.1
Représentation schématique de la régénération périodique avec *n* mesures et n_r mesures pendant la régénération

Les taux d'émissions spécifiques moyens liés au démarrage à chaud $\overline{e}_w$ [g/kWh] doivent être pondérés comme suit (voir fig. 6.1):

$$\overline{e}_w = \overline{e}_r \cdot F + (1 - F) \cdot \overline{e} \qquad (6\text{-}3)$$

Où:

F = fréquence de la régénération en fractions des essais au cours desquels se produit la régénération [-]

$\overline{e}$ = émissions spécifiques moyennes lors d'un essai dans lequel la régénération ne se produit pas [g/kWh]

$\overline{e}_r$ = émissions spécifiques moyennes dans un essai pendant lequel se produit la régénération [g/kWh].

Au choix du fabricant et sur la base des règles techniques reconnues, le facteur k_r, d'ajustement de régénération, qui exprime le taux d'émissions moyen, peut être calculé de manière multiplicative ou additive de la manière suivante:

$$k_r = \frac{\overline{e}_w}{\overline{e}} \qquad \text{(facteur d'ajustement multiplicatif)} \qquad (6\text{-}4)$$

ou

$$k_{Ur} = \overline{e}_w - \overline{e} \qquad \text{(facteur d'ajustement vers le haut)} \qquad (6\text{-}5)$$

$$k_{Dr} = \overline{e}_w - \overline{e}_r \qquad \text{(facteur d'ajustement vers le bas)} \qquad (6\text{-}6)$$

Les facteurs d'ajustement vers le haut sont ajoutés pour mesurer les taux d'émissions pour tous les essais dans lesquels la régénération n'a pas lieu. Les facteurs d'ajustement vers le bas sont ajoutés aux taux d'émissions mesurés pour tous les essais pendant lesquels survient la régénération. L'occurrence de la régénération doit être identifiée d'une manière qui est rapidement apparente au cours de tout l'essai. Si aucune régénération n'est observée, il convient d'appliquer le facteur d'ajustement vers le haut.

En référence aux annexes A.7 et A.8 sur les émissions spécifiques au frein, le facteur d'ajustement de la régénération:

a) Doit être appliqué aux résultats de l'essai NRTC pondéré et au cycle à modes discrets;

b) Peut être appliqué aux cycles à modes raccordés et à l'essai NRTC à froid si une régénération a lieu au cours du cycle;

c) Peut être appliqué à d'autres membres de la même famille de moteurs;

d) Peut être appliqué à d'autres familles de moteur utilisant le même système de traitement ultérieur avec l'accord préalable de l'autorité d'homologation de type ou de certification si le fabricant fournit des données techniques prouvant que les émissions sont similaires.

Il convient de prendre en considération les options suivantes:

a) Un fabricant peut choisir de négliger les facteurs d'ajustement pour une ou plusieurs de ses familles (ou configurations) de moteur, étant donné que l'effet de régénération est faible ou parce qu'il n'est guère pratique de déterminer à quel moment survient la régénération. Dans ces cas, on n'utilisera pas de facteur d'ajustement et le fabricant est

responsable de la conformité avec les limites d'émissions pour tous les essais, qu'une régénération survienne ou non;

b) Sur la demande du fabricant, l'autorité d'homologation de type ou de certification peut prendre en compte des événements de régénération autrement que comme il est prévu au paragraphe a). Toutefois, cette option ne s'applique qu'aux événements qui surviennent extrêmement rarement et qui ne peuvent être traités de manière pratique au moyen des facteurs d'ajustement décrits dans le paragraphe a).

6.7 *Système de refroidissement*

Il conviendra d'utiliser un système de refroidissement du moteur ayant la capacité suffisante pour maintenir aux températures normales de fonctionnement prescrites par le fabricant les températures de l'huile, du réfrigérant, du bloc et de la culasse. Il est permis d'utiliser des refroidisseurs et des ventilateurs auxiliaires de laboratoire.

6.8 *Huile de graissage*

Le fabricant doit définir l'huile de graissage, qui doit être représentative de l'huile de graissage disponible sur le marché; les caractéristiques de l'huile de graissage utilisée pour l'essai sont reconsignées et présentées avec les résultats de l'essai.

6.9 *Spécifications du carburant de référence*

L'emploi d'un carburant de référence normalisé a toujours été considéré comme une condition idéale pour garantir la reproductibilité des essais réglementaires, les Parties contractantes sont encouragées à utiliser un tel carburant dans leurs essais de conformité. Toutefois, jusqu'au moment où les prescriptions (c'est-à-dire les valeurs limites) ont été introduites dans le présent RTM, les Parties contractantes à l'Accord de 1998 sont autorisées à définir leur propre carburant de référence pour leur législation nationale afin de tenir compte de la situation réelle du marché du carburant destiné aux moteurs en question.

Les carburants de référence pour les moteurs à allumage par compression de l'Union européenne, des États-Unis d'Amérique et du Japon sont énumérés dans l'annexe A.6. Étant donné que les caractéristiques du carburant influent sur les émissions d'échappement, il conviendra d'établir les caractéristiques du carburant utilisé pour l'essai, de l'enregistrer et de le déclarer avec les résultats des essais.

La température du carburant doit être conforme aux recommandations du fabricant. La température du carburant doit être mesurée à l'entrée à la pompe d'injection du carburant ou conformément aux spécifications du fabricant, et l'endroit où la mesure a été faite doit être enregistré.

6.10 *Émissions de gaz de carter*

Aucune émission de gaz de carter ne doit être libérée directement dans l'atmosphère ambiante, avec les exceptions suivantes: les moteurs équipés de turbocompresseurs, de pompes, de soufflantes ou de compresseurs pour l'air d'alimentation peuvent libérer des émissions de gaz de carter dans l'atmosphère ambiante si les émissions sont ajoutées aux émissions d'échappement (physiquement ou mathématiquement) durant tous les essais d'émissions. Les fabricants qui tireront profit de cette exception doivent installer les moteurs de telle manière que toutes les émissions provenant du

carter puissent être acheminées dans le système de prélèvement des émissions. Pour les besoins du présent paragraphe, les émissions provenant du carter qui sont introduites dans le conduit d'échappement après le traitement aval des gaz d'échappement pendant toutes les opérations ne sont pas considérées comme ayant été libérées directement dans l'atmosphère ambiante.

Les émissions provenant d'un système à carter ouvert doivent être acheminées dans le système d'échappement aux fins de mesure d'émissions, et cela dans les conditions suivantes:

a) Les matériaux des tubes utilisés auront des parois lisses, seront électriquement conducteurs et ne réagiront pas aux gaz de carter. La longueur des tubes doit être maintenue au minimum dans la mesure du possible;

b) Il convient de réduire le nombre de cintrages des tubes et le rayon de tout cintrage inévitable doit être aussi grand que possible;

c) Les conduites d'échappement utilisées dans le laboratoire doivent être conformes aux spécifications du fabricant de moteurs en ce qui concerne la contre pression du carter;

d) Le conduit d'échappement des gaz de carter doit être branché dans le flux d'échappement brut en aval de tout système de traitement aval, en aval de toute restriction introduite à l'échappement et suffisamment en amont de toute sonde d'échantillon pour garantir un mélange complet avec les gaz d'échappement du moteur avant la prise de l'échantillon. Le conduit d'échappement du carter aboutira dans le flux libre de l'échappement pour éviter les effets de couche limite et pour favoriser le mélange. La sortie du tube d'échappement du carter doit être orientable dans toute direction relative au flux d'échappement brut.

7. Méthodes d'essai

7.1 *Introduction*

Le présent chapitre traite de la détermination des émissions spécifiques par ch de puissance utile de polluants gazeux et particulaires des moteurs soumis aux essais. Le moteur soumis aux essais sera la configuration typique pour la famille de moteurs, comme spécifié au paragraphe 5.2.

Un essai d'émissions en laboratoire consiste à mesurer des émissions et d'autres paramètres pour les cycles d'essai spécifiés dans le présent RTM. Les aspects suivants sont pris en considération:

a) Les configurations de laboratoire pour mesurer les émissions spécifiques au frein (par. 7.2);

b) Les procédures de vérification avant et après essais (par. 7.3);

c) Les cycles d'essai (par. 7.4);

d) La séquence générale de l'essai (par. 7.5);

e) La courbe de conversion du moteur (par. 7.6);

f) L'établissement du cycle d'essai (par. 7.7);

g) La procédure d'application du cycle d'essai spécifique (par. 7.8).

7.2 *Principe de la mesure des émissions*

Pour mesurer les émissions spécifiques au frein, le moteur doit fonctionner conformément aux cycles d'essai définis dans le paragraphe 7.4, selon qu'ils s'appliquent. La mesure des émissions spécifiques par ch de puissance utile requiert la détermination de la masse de polluants contenue dans les gaz d'échappement (c'est-à-dire HC, HCNM, CO, NO_x et MP) et le travail correspondant fourni par le moteur.

7.2.1 Masse du constituant

Il convient de déterminer la masse totale de chaque constituant sur tout le cycle d'essai applicable au moyen des méthodes suivantes:

7.2.1.1 Prélèvement en continu

En prélèvement en continu, on mesure la concentration du constituant de manière continue à partir des gaz d'échappement bruts ou dilués. Cette concentration est multipliée par le débit des gaz d'échappement continu (bruts ou dilués) à l'emplacement de prélèvement des émissions afin de déterminer le débit du constituant. Les émissions de constituant sont continuellement additionnées sur tout l'intervalle de l'essai. Cette somme est la masse totale des constituants émis.

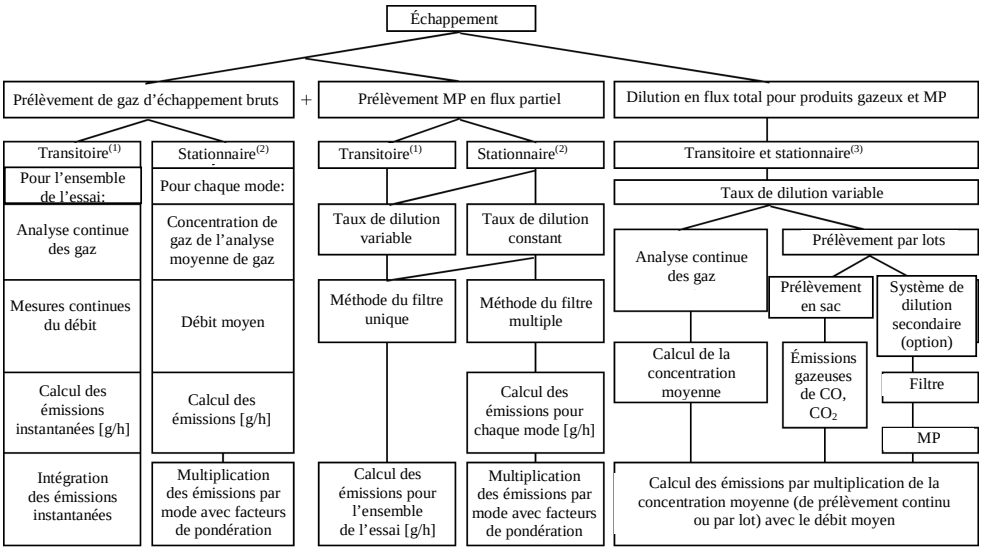
7.2.1.2 Prélèvement par lots

Dans le prélèvement par lots, on extrait en continu des gaz d'échappement bruts ou dilués qui sont ensuite stockés pour mesures ultérieures. L'échantillon extrait doit être proportionnel au débit d'échappement brut ou dilué. Des exemples de prélèvement par lots sont la collecte d'émissions gazeuses diluées dans un sac et la collecte de matières particulières sur un filtre. En principe, la méthode de calcul des émissions se fait de la manière suivante: les concentrations des échantillons par lots sont multipliées par la masse totale ou le débit massique (brut ou dilué) dont il a été extrait au cours du cycle d'essai. Ce produit est la masse totale ou le débit massique du constituant émis. Pour calculer la concentration de particules, on divise la quantité de particules déposées sur un filtre par la quantité de gaz d'échappement filtrés.

7.2.1.3 Prélèvement combiné

Toute combinaison du prélèvement en continu et par lots est permise (par exemple, les particules avec un prélèvement par lots et les émissions de gaz avec un prélèvement continu).

La figure 7.1 qui suit illustre les deux aspects des procédures d'essai utilisées pour mesurer les émissions: les équipements avec les lignes de prélèvement dans les gaz d'échappement bruts et dilués et les opérations nécessaires pour calculer les émissions de polluant dans les cycles d'essai en conditions stationnaires et transitoires (fig. 7.1).



(1) Cycle transitoire et cycle à modes stationnaires raccordés; (2) Cycle à modes stationnaires discrets; (3) Cycle transitoire, cycles à modes stationnaires discrets et à modes stationnaires raccordés;

Figure 7.1
Opérations nécessaires pour calculer les émissions des moteurs dans les cycles d'essai en conditions stationnaires et transitoires (voir annexes A.7 et A.8)

Note de la figure 7.1: Les termes «Prélèvement de MP en flux partiel» englobent la dilution du flux partiel pour extraire uniquement une fraction de gaz d'échappement bruts avec des rapports de dilution constants ou variables.

7.2.2 Détermination du travail

Le travail est déterminé sur le cycle d'essai en multipliant de manière synchronisée le régime et le couple de freinage pour calculer les valeurs instantanées de puissance au frein du moteur. Cette puissance sera intégrée dans l'ensemble du cycle d'essai pour déterminer la totalité du travail.

7.3 *Vérification et étalonnage*

7.3.1 Procédures préliminaires à l'essai

7.3.1.1 Préconditionnement

Pour obtenir des conditions stables, le système de prélèvement et le moteur doivent être préconditionnés avant le départ d'une séquence d'essai, comme cela est spécifié dans les paragraphes 7.3 et 7.4. Le préconditionnement destiné à refroidir le moteur en vue d'un essai transitoire de démarrage à froid est particulièrement indiqué dans le paragraphe 7.4.2.

7.3.1.2 Vérification de la contamination par les hydrocarbures

S'il y a la moindre présomption d'une contamination essentielle par hydrocarbures des systèmes de mesure des gaz d'échappement, on peut vérifier la contamination par les HC à l'aide d'un gaz de zéro, ce qui permet d'apporter la correction nécessaire. S'il y a lieu de contrôler l'importance de la contamination du système de mesure et le système de prélèvement des concentrations HC ambiantes, il conviendra de le faire dans les 8 heures suivant le lancement de chaque cycle d'essai. Les valeurs doivent être enregistrées pour correction ultérieure. Avant cette vérification, il est

nécessaire de faire un contrôle des fuites et d'étalonner l'analyseur FID (détecteur à ionisation de flamme).

7.3.1.3 Préparation des instruments de mesure en vue du prélèvement

Il convient de prendre les mesures ci-après avant de commencer le prélèvement de mesure des émissions:

a) Le contrôle des fuites doit être effectué dans les 8 heures précédant le prélèvement de mesure des émissions conformément aux indications du paragraphe 8.1.8.7;

b) En cas de prélèvement par lots, on utilise du matériel de stockage propre tel que des sacs vides ou des filtres et on les pèsera;

c) Tous les instruments de mesure doivent être mis en marche conformément aux instructions du fabricant et conformément aux règles d'usage;

d) Les systèmes de dilution, les pompes de prélèvement, les ventilateurs de refroidissement et le système de collecte de données doivent être mis en marche;

e) Les débits des échantillons seront ajustés aux niveaux souhaités, éventuellement au moyen d'une dérivation;

f) Les échangeurs de chaleur du système de prélèvement doivent être préchauffés ou prérefroidis pour être amenés dans leurs plages de température de fonctionnement pour les essais;

g) Les éléments chauffés ou refroidis, comme les canalisations d'échantillon, les filtres, les refroidisseurs et les pompes doivent se stabiliser à leurs températures de fonctionnement;

h) Le système de dilution des gaz d'échappement doit être mis en marche au moins 10 min avant la séquence d'essai;

i) L'étalonnage des analyseurs de gaz et la mise à zéro des analyseurs continus doivent être effectués à la procédure du paragraphe 7.3.1.4 ci-dessous;

j) Tout dispositif d'intégration électronique doit être mis à zéro ou remis à zéro avant le lancement d'un quelconque intervalle d'essai.

7.3.1.4 Étalonnage des analyseurs de gaz

Il convient de sélectionner les analyseurs de gaz appropriés. Les analyseurs de mesure des émissions à commutation manuelle ou automatique de la plage de mesure sont autorisés. Au cours d'un essai à modes stationnaires discrets et à modes stationnaires raccordés ou d'un essai NRTC et pendant une période de prélèvement des émissions gazeuses à la fin de chaque mode pour les essais à modes discrets, la plage des analyseurs de mesure des émissions ne peut être modifiée. Par ailleurs, il convient de ne pas modifier le gain du ou des amplificateurs opérationnels analogiques de l'analyseur pendant le cycle d'essai.

Tous les analyseurs continus doivent être mis à zéro et réglés au moyen de gaz internationalement traçables conformes aux spécifications du paragraphe 9.5.1. Les analyseurs FID seront réglés sur la base d'un nombre carbone de un (C_1).

7.3.1.5 Préconditionnement du filtre à particules et mesure du poids à vide

Ces procédures se déroulent conformément aux dispositions du paragraphe 8.2.3.

7.3.2 Procédures préliminaires à l'essai

Les mesures suivantes doivent être prises après le prélèvement des gaz d'échappement:

7.3.2.1 Vérification du prélèvement proportionnel

Pour tout échantillon proportionnel comme un échantillon en sac ou un échantillon de MP, il faut s'assurer que le prélèvement proportionnel s'est effectué conformément au paragraphe 8.2.1. Pour la méthode à filtre simple et le cycle d'essai en conditions stationnaires à modes discrets, il convient de calculer le facteur de pondération MP effectif. Tout échantillon qui ne répond pas entièrement aux prescriptions du paragraphe 8.2.1 sera refusé.

7.3.2.2 Conditionnement et pesage des particules après l'essai

Les filtres à échantillon de MP usagés doivent être placés dans des récipients fermés ou scellés afin de protéger les filtres à échantillon contre la contamination ambiante. Ainsi protégés, les filtres en question doivent être renvoyés à la chambre de conditionnement du filtre MP. Ensuite les filtres à échantillons de MP doivent être conditionnés et pesés conformément aux indications du paragraphe 8.2.4 (postconditionnement du filtre MP et procédures de pesage complètes).

7.3.2.3 Analyse du prélèvement par lots gazeux

Dès que cela sera possible, il conviendra de faire ce qui suit:

a) Tous les analyseurs de gaz prélevé par lots doivent être mis à zéro et réglés moins de 30 min après la fin du cycle d'essai ou durant la période de stabilisation à chaud si possible afin de vérifier si les analyseurs de gaz sont toujours stables;

b) Tout échantillon de gaz doit être analysé au plus tard 30 min après le cycle d'essai de départ à chaud ou pendant la période de stabilisation à chaud;

c) Les échantillons de concentrations ambiantes doivent être analysés dans les 60 min suivant la fin du cycle d'essai avec départ à chaud.

7.3.2.4 Vérification de la dérive

Après la quantification des gaz d'échappement, il convient de vérifier la dérive de la manière suivante:

a) Pour les analyseurs de gaz par lots et en continu, la valeur moyenne de l'analyseur doit être enregistrée après avoir envoyé un gaz à la pression atmosphérique dans l'analyseur. La stabilisation peut englober le temps nécessaire pour analyser un quelconque échantillon de gaz, ainsi que tout temps additionnel nécessaire pour la réaction de l'analyseur;

b) La valeur moyenne de l'analyseur doit être enregistrée après avoir stabilisé le gaz de calibrage sur l'analyseur. La stabilisation peut englober le temps nécessaire pour purger l'analyseur de tout gaz

d'échantillon, ainsi que le temps nécessaire additionnel pour attendre la réponse de l'analyseur;

c) On utilisera ces données pour valider et corriger la dérive, comme indiqué au paragraphe 8.2.2.

7.4 *Cycles d'essai*

Les cycles d'utilisation suivants s'appliquent:

a) Pour les moteurs à régime variable, le cycle d'essai à 8 modes ou le cycle à modes raccordés correspondant, ainsi que le cycle NRTC transitoire, tel que spécifié à l'annexe A.1;

b) Pour les moteurs à régime constant, le cycle d'essai à 5 modes ou le cycle à modes raccordés correspondant, tel que spécifié à l'annexe A.1.

7.4.1 Cycles d'essai en conditions stationnaires

Les cycles d'essai en conditions stationnaires sont spécifiés dans l'annexe A.1 sous la forme d'une liste de modes discrets (points de fonctionnement), qui indique pour chaque point de fonctionnement une valeur de vitesse et une valeur de couple. Un cycle d'essai en conditions stationnaires doit être effectué avec le moteur en marche et à chaud, conformément aux spécifications du fabricant. Un cycle d'essai en conditions stationnaires peut être exécuté en tant que cycle à modes discrets ou cycle à modes raccordés, comme cela est expliqué dans les paragraphes qui suivent.

7.4.1.1 Cycles d'essai en conditions stationnaires à modes discrets

Le cycle d'essai en conditions stationnaires à 8 modes discrets est constitué de 8 modes de vitesse et de charge (avec le facteur de pondération respectif pour chaque mode) et pour la plage de fonctionnement habituelle des moteurs à régime variable. Le cycle est représenté dans l'annexe A.1.

Le cycle d'essai en conditions stationnaires à 5 modes discrets pour moteurs à vitesse constante est constitué de 5 modes de charge (avec le facteur de pondération respectif pour chaque mode), tous situés au régime nominal qui couvre la plage de fonctionnement habituelle des moteurs à régime constant. Le cycle est représenté dans l'annexe A.1.

7.4.1.2 Cycles d'essai en conditions stationnaires à modes raccordés

Les cycles d'essai en conditions stationnaires à modes raccordés (RMC) sont des cycles de fonctionnement à chaud dans lesquels la mesure des émissions commence après le démarrage du moteur, sa montée en température et lorsqu'il fonctionne comme indiqué au paragraphe 7.8.2.1. Le moteur est sous contrôle permanent de l'unité de contrôle des bancs d'essai pendant le cycle d'essai RMC. Les émissions de gaz et de particules doivent être mesurées et échantillonnées en continu pendant le cycle d'essai RMC tout comme dans un cycle transitoire.

Dans le cycle d'essai à 5 modes, le RMC est constitué des mêmes modes dans le même ordre que ceux du cycle d'essai à modes discrets en conditions stationnaires correspondant. Dans le cas du cycle d'essai à 8 modes, le cycle RMC comporte un mode de plus (mode ralenti séparé) et la séquence de modes n'est pas la même que celle du cycle d'essai à modes discrets en conditions stationnaires correspondant afin d'éviter des variations extrêmes dans les températures de traitement aval. La longueur des modes doit être

choisie de manière à correspondre aux facteurs de pondération des cycles d'essai à modes discrets en conditions stationnaires correspondants. Les variations du régime moteur et de la charge d'un mode au suivant doivent être contrôlées régulièrement sur une période de 20 ± 1 s. La durée nécessaire au changement de mode fait partie du nouveau mode (y compris le premier mode).

7.4.2 Cycle d'essai transitoire (NRTC)

Le cycle transitoire non routier (NRTC) est spécifié dans l'annexe A.1, cela forme une séquence seconde par seconde des valeurs normalisées de vitesse de couple. Pour effectuer l'essai dans une cellule d'essai pour moteurs, les valeurs normalisées seront converties à leurs valeurs de référence équivalentes pour le moteur individuel à essayer sur la base de la vitesse spécifique et des valeurs de couple identifiées dans la courbe de conversion du moteur. La conversion est appelée dénormalisation et le cycle d'essai qui en résulte est le cycle d'essai NRTC de référence du moteur à soumettre aux essais (voir le paragraphe 7.7).

On trouvera ci-dessous une représentation graphique du programme du dynamomètre NRTC normalisé.

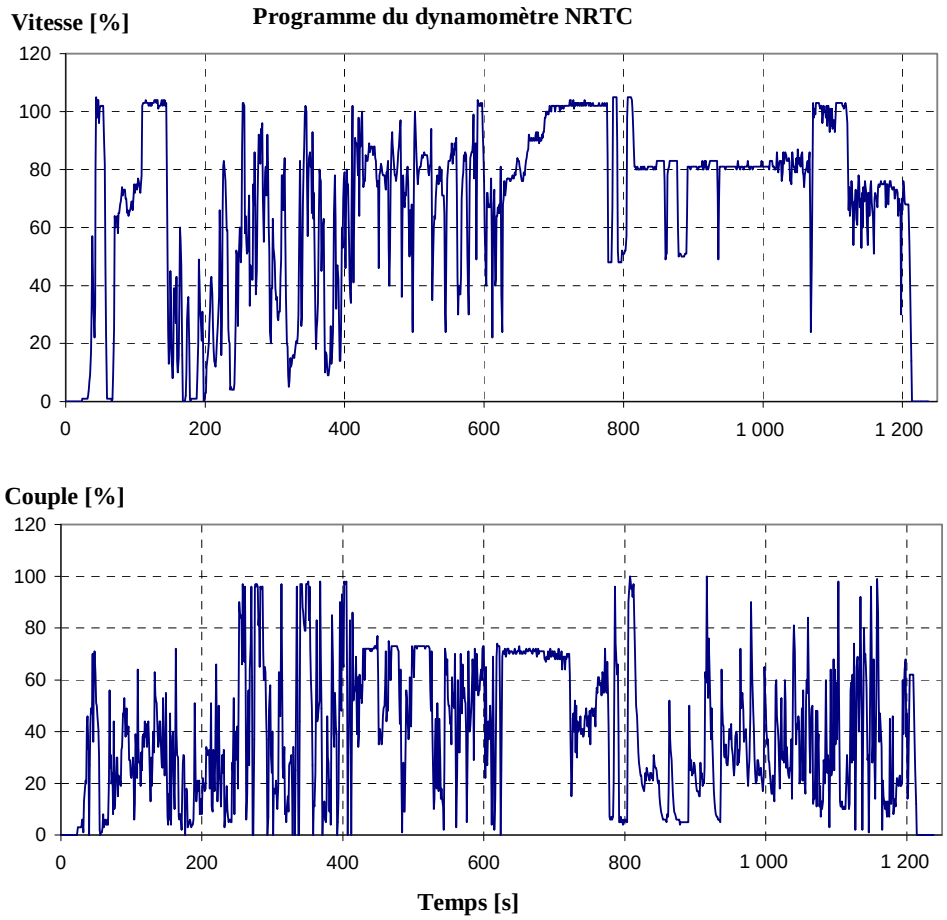


Figure 7.2
Programme du dynamomètre normalisé NRTC

Le cycle d'essai transitoire sera effectué à deux reprises (voir le paragraphe 7.8.3):

a) Après un départ à froid, le moteur et les systèmes de traitement aval ayant refroidi jusqu'aux températures ambiantes, après un refroidissement naturel du moteur, ou comme départ à froid après un refroidissement forcé du moteur, du réfrigérant et des températures d'huile, les systèmes de traitement aval et tous les dispositifs de régulation du moteur étant stabilisés entre 20 et 30 °C. La mesure des émissions avec départ à froid commencera avec la mise en marche du moteur froid;

b) Période de stabilisation à chaud − Immédiatement après avoir effectué la phase de départ à froid, le moteur doit être conditionné pour le départ à chaud par une période de stabilisation à chaud de 20 ± 1 min;

c) Le démarrage à chaud sera lancé immédiatement après la période de stabilisation à chaud par le démarrage du moteur. Les analyseurs de gaz seront enclenchés au plus tard 10 s avant la fin de la période d'arrêt pour éviter les crêtes du signal de commutation. La mesure des émissions doit commencer parallèlement au démarrage de la phase de démarrage à chaud, y compris le lancement du moteur.

Les émissions spécifiques au frein exprimées en g/kWh doivent être déterminées au moyen des procédures de la présente section, tant pour les cycles d'essai avec départ à chaud et à froid. Les émissions pondérées composites seront calculées en pondérant les résultats des départs à froid par 10 % et les résultats de départ à chaud de 90 %, comme indiqué en détail dans les annexes A.7 et A.8.

7.5 *Séquence d'essai générale*

Pour mesurer les émissions du moteur il convient de procéder en respectant les étapes suivantes:

a) Les régimes d'essai du moteur et les charges d'essai doivent être définis pour le moteur soumis aux essais par une mesure du couple maximale (pour les moteurs à régime constant) ou par le maximum de la courbe de couple (pour les moteurs à régime variable) en fonction du régime du moteur;

b) Les cycles d'essai normalisés doivent être dénormalisés au moyen du couple (pour les moteurs à régime constant) ou régimes et couples (pour les moteurs à régime variable) déterminés dans le paragraphe 7.5 a) ci-dessus;

c) Le moteur, les équipements et les instruments de mesure doivent être préparés à l'avance pour l'essai ou la série d'essais d'émissions suivants (cycles froid et chaud);

d) Il convient d'effectuer les procédures précédant les essais pour vérifier le fonctionnement correct de certains équipements et appareils d'analyse. Ceux-ci doivent être calibrés. Toutes les données précédant l'essai doivent être consignées;

e) Le moteur doit être mis en marche (NRTC) ou maintenu en marche (cycles en conditions stationnaires) au début du cycle d'essai et les systèmes de prélèvement seront lancés au même moment;

f) Les émissions et les autres paramètres requis doivent être mesurés ou enregistrés durant le temps de prélèvement (pour un NRTC et cycles d'essai en conditions stationnaires à modes raccordés) pendant tout le cycle d'essai;

g) Les procédures faisant suite aux essais doivent être effectuées pour vérifier le fonctionnement correct de certains équipements et analyseurs;

h) Le ou les filtres à particules conditionnés, pesés (poids à vide), chargés, reconditionnés, pesés à nouveau (poids en charge) et ensuite les échantillons doivent être évalués suivant les procédures préessai (7.3.1.4) et postessai (7.3.2.2);

i) Les résultats des essais d'émissions doivent être évalués.

Le diagramme ci-dessous est un aperçu général des opérations nécessaires pour effectuer les cycles d'essai EMNR avec mesure des émissions d'échappement du moteur.

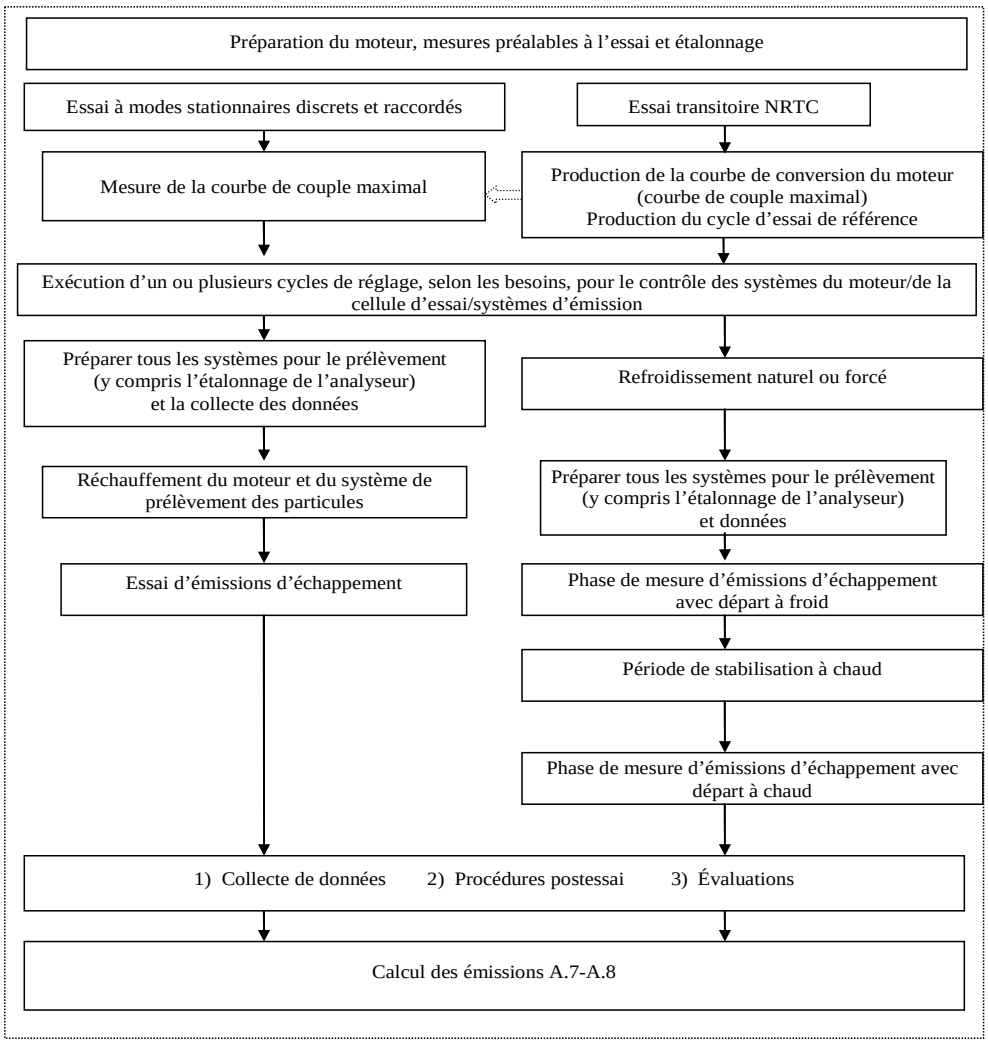


Figure 7.3
Séquence d'essai

7.5.1 Démarrage du moteur et redémarrage

7.5.1.1 Démarrage du moteur

Le moteur doit être démarré:

a) Suivant les recommandations du constructeur, qui figurent dans le manuel d'utilisation, au moyen du démarreur de série et d'une batterie correctement chargée, d'une alimentation électrique appropriée ou d'une source d'air comprimé appropriée; ou

b) Au moyen d'un dynamomètre qui entraîne le moteur jusqu'à ce qu'il démarre. Le moteur est entraîné à sa vitesse normale de démarrage en service ±25 %. On peut aussi mettre le moteur en marche en augmentant linéairement le régime du dynamomètre de zéro à 100 min^{-1} au-dessous du régime de ralenti mais uniquement jusqu'au moment où le moteur démarre.

L'entraînement doit être coupé dans un délai de 1 s après le démarrage du moteur. Si le moteur ne démarre pas après 15 s d'entraînement, on interrompt celui-ci et on détermine la raison du non-démarrage, à moins que le manuel d'utilisation ou le manuel de service et de réparation ne décrive comme normale une durée de démarrage plus longue.

7.5.1.2 Calage du moteur

a) Si le moteur cale à un stade quelconque de l'essai de démarrage du cycle NRTC, l'essai doit être annulé;

b) Si le moteur cale à un moment quelconque de l'essai de démarrage à chaud du cycle NRTC, l'essai est annulé. Après une période de stabilisation à chaud conformément au paragraphe 7.8.3, l'essai de démarrage à chaud doit être répété. Dans ce cas l'essai de démarrage à froid n'a pas à être répété;

c) Si le moteur cale à un moment quelconque au cours du cycle uniforme (à modes discrets ou à modes raccordés), l'essai est annulé et doit reprendre la procédure d'échauffement du moteur. En cas de mesure des MP utilisant la méthode à plusieurs filtres (un filtre à échantillon pour chaque mode de fonctionnement), l'essai doit être poursuivi en stabilisant le moteur dans le mode précédent pour le conditionnement de la température du moteur avant de lancer les mesures vers le mode dans lequel le moteur a calé.

7.6 *Établissement de la courbe de conversion du moteur*

Avant d'établir la courbe de conversion du moteur, il convient de laisser celui-ci se réchauffer. Vers la fin du temps d'échauffement, il doit être utilisé pendant 10 min au moins à sa puissance maximale ou conformément à la recommandation du fabricant et aux pratiques techniques d'usage afin de stabiliser les températures du liquide de refroidissement et de l'huile de graissage. La courbe de conversion du moteur sera établie lorsque le moteur sera stabilisé.

À l'exception des moteurs à régime constant, la conversion doit être effectuée avec le levier de débit de carburant ou régulateur à la position entièrement ouvert en utilisant des régimes discrets dans l'ordre ascendant. Les régimes minimum et maximum pour la conversion sont définis de la manière suivante:

Régime minimum = régime de ralenti à chaud

Régime maximum = n_{hi} x 1,02 ou le régime auquel le couple maximal tombe à zéro, la valeur la plus petite étant retenue.

Où n_{hi} est le régime haut, défini comme étant le régime moteur le plus élevé où la puissance fournie est de 70 % de la puissance nominale.

Si le régime le plus élevé est dangereux ou non représentatif (par exemple dans le cas de moteurs sans régulateur), il conviendra de suivre les règles du bon sens technique pour atteindre le régime sans danger ou le régime maximal représentatif.

7.6.1 Conversion pour le cycle en conditions stationnaires à 8 modes

En cas de conversion pour le cycle en conditions stationnaires à 8 modes (seulement pour les moteurs qui ne doivent pas effectuer le cycle NRTC), une bonne évaluation technique permettra de sélectionner un nombre suffisant (20 à 30) de points de réglage uniformément répartis. À chaque point de réglage, on stabilisera le régime et on permettra au couple de se stabiliser pendant au moins 15 s. Le régime et le couple moyen seront enregistrés pour chaque point de réglage. Ensuite, une interpolation linéaire permettra de déterminer les vitesses et couples de l'essai à 8 modes. Si les régimes et les charges d'essai ne s'écartent pas de ±2,5 % des régimes et couples indiqués par le fabricant, il faudra appliquer les régimes et charges définis par celui ci. Lorsque les moteurs sont soumis au cycle NRTC, la courbe NTC de conversion du moteur permettra de déterminer les vitesses et couples de l'essai en conditions stationnaires.

7.6.2 Conversion pour le cycle NRTC

La conversion doit être effectuée conformément à la procédure suivante:

a) Le moteur tourne au ralenti sans charge:

i) Dans le cas des moteurs ayant un régulateur de bas régime, la demande de l'opérateur est réglée au minimum; le dynamomètre ou tout autre dispositif de mise en charge permet de viser une valeur de couple zéro sur l'arbre principal de sortie du moteur et celui-ci pourra réguler le régime. Ensuite il faut mesurer le régime de ralenti à chaud;

ii) Dans le cas des moteurs dépourvus de régulateur de bas régime, le dynamomètre doit être réglé pour obtenir un couple zéro sur l'arbre de sortie primaire du moteur; la demande de l'opérateur sera réglée de manière à régler le régime au plus bas possible annoncé par le fabricant avec une charge minimale (également appelé régime de ralenti à chaud annoncé par le fabricant);

iii) Le couple à vide annoncé par le fabricant peut être utilisé pour tous les moteurs à régime variable (avec ou sans régulateur de bas régime), si un couple à vide différent de zéro est représentatif du fonctionnement en service;

b) La demande de l'opérateur doit être réglée de manière maximale et le régime moteur doit être réglé entre le ralenti à chaud et 95 % de son régime à chaud. Dans le cas des moteurs ayant des cycles d'utilisation de référence, dont le régime le plus bas est supérieur au régime des ralentis à chaud, la conversion doit commencer entre le régime de référence le plus bas et 95 % du régime de référence le plus bas;

c) Le régime du moteur sera accru à un taux moyen de 8 ± 1 min^{-1}/s ou bien la conversion utilisera un balayage constant du régime à un rythme constant de telle sorte qu'il faille 4 à 6 min pour passer de la vitesse de balayage minimum à maximum. La plage des régimes de conversion commencera entre le ralenti à chaud et 95 % du ralenti à chaud et se terminera au régime le plus élevé au dessus de la puissance maximale à laquelle elle produit un maximum de 70 % de la puissance maximale. Si ce régime maximal est dangereux ou non représentatif (par exemple dans le cas de moteurs sans régulateur), la solution préférable est d'agir sur le régime maximal sûr ou le régime maximal représentatif. Le régime moteur et les couples doivent être enregistrés à une cadence d'échantillonnage d'au moins 1 Hz;

d) Si un constructeur estime que les techniques de conversion 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 conversion spécifiées, à savoir déterminer le couple maximal disponible à tous les régimes moteur atteints au cours des cycles d'essai. Toute technique de conversion s'écartant des techniques spécifiées dans le présent paragraphe pour des raisons de sécurité du moteur ou de représentativité, ainsi que les motifs de son utilisation, doit être approuvée par le service technique. 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;

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

i) Sur la base des considérations techniques il est jugé qu'un délai excessif s'est écoulé depuis la dernière conversion; ou

ii) Le moteur a subi des modifications physiques ou des changements de réglage qui sont susceptibles d'affecter des performances de celui-ci; ou

iii) La pression atmosphérique à l'entrée d'air du moteur n'est pas dans les limites de ±5 kPa de la valeur enregistrée lors de la dernière conversion.

7.6.3 Conversion pour les moteurs à régime constant

a) Le moteur peut être utilisé avec un régulateur à régime constant de série ou on peut simuler un régulateur à vitesse constante en réglant le régime du moteur au moyen d'un système de commande géré par l'opérateur. On utilise un régulateur isochrone ou à écart permanent de tours, selon le cas;

b) Le régime étant commandé par le régulateur ou le régulateur simulé et selon la demande de l'opérateur, le moteur fonctionne à un régime régulé sans charge (régime haut, pas de ralenti) pendant au moins 15 s;

c) On utilise le dynamomètre pour augmenter le couple à un rythme constant. La conversion est réglée de telle manière qu'il faille 2 à 4 min pour passer du régime régulé sans charge au couple maximal.

Pendant l'opération, le régime et le couple réel doivent être enregistrés à 1 Hz près au moins;

d) Dans le cas d'un moteur de groupe électrogène utilisé pour produire de l'énergie électrique à 50 Hz ou 60 Hz (1 500 et 1 800 min^{-1}), il convient d'essayer le moteur séparément à ces deux régimes constants.

Pour les moteurs à régime constant, il faudra suivre les règles de bonnes pratiques pour appliquer d'autres méthodes visant à enregistrer les valeurs maximales de couple et de puissance aux régimes de fonctionnement définis.

7.7 *Établissement du cycle d'essai*

7.7.1 Établissement de cycles d'essai en conditions stationnaires

7.7.1.1 Régime nominal

Dans le cas des moteurs qui sont soumis au programme d'essai en conditions stationnaires et aussi en régime transitoire, on calcule le régime de dénormalisation conformément à la procédure transitoire (par. 7.6.2 et 7.7.2.1, fig. 7.3).

Si le régime dénormalisé calculé (n_{denorm}) diffère de ±2,5 % du régime de dénormalisation annoncé par le fabricant, ce régime de dénormalisation (n_{denorm}) peut être utilisé pour l'essai d'émissions. Si cette tolérance est dépassée, il convient d'utiliser le régime de dénormalisation calculé (n_{denorm}) à cet effet. Dans le cas du cycle en conditions stationnaires, le régime de dénormalisation calculé (n_{denorm}) est considéré comme le régime normal.

Dans le cas des moteurs qui ne sont pas soumis au programme d'essai en conditions stationnaires, le régime nominal des tableaux de l'annexe A.1 pour le cycle à 8 modes discrets et le cycle à modes raccordés qui en est dérivé est calculé conformément à la procédure applicable (par. 7.6.1 et 7.7.2.1, fig. 7.3). Le régime nominal est défini au paragraphe 3.1.53.

7.7.1.2 Création du cycle d'essai en conditions stationnaires à 8 modes (modes discrets et modes raccordés)

Le régime intermédiaire est déterminé à partir du calcul conformément à sa définition (voir le paragraphe 3.1.32).

Le réglage du moteur doit être calculé pour chaque mode d'essai au moyen de la formule:

$$S = \left(\left(P_{max} + P_{AUX} \right) \cdot \frac{L}{100} \right) - P_{AUX} \qquad (7\text{-}1)$$

Où:

S = réglage du dynamomètre en kW

P_{max} = puissance maximale observée ou annoncée au régime d'essai dans les conditions d'essai (spécifiées par le fabricant) en kW

P_{AUX} = puissance totale déclarée absorbée par les éléments accessoires mis en place pour l'essai (voir le paragraphe 6.3) au régime d'essai en kW

L = couple en %.

Au cours du cycle d'essai, le moteur doit fonctionner aux régimes et couples spécifiés dans l'annexe A.1.

Les valeurs de couple maximal au régime d'essai spécifié doivent être établies d'après la courbe de conversion du moteur (voir le paragraphe 7.6.1 ou 7.6.2). Les valeurs «mesurées» le sont, soit directement durant le processus d'établissement de la courbe de conversion, soit à partir de la courbe de conversion du moteur. Les valeurs «annoncées» sont indiquées par le fabricant. Quand on dispose à la fois des valeurs mesurées et des valeurs annoncées, on peut utiliser les valeurs annoncées au lieu des valeurs mesurées si elles ne s'écartent pas de ±2,5 %. À défaut, il convient d'utiliser les couples mesurés obtenus d'après la courbe de conversion du moteur.

7.7.1.3 Création du cycle d'essai en conditions stationnaires à 5 modes (discrets ou raccordés)

Pendant le cycle d'essai, le moteur doit fonctionner aux régimes et aux couples définis dans l'annexe A.1.

Pour produire le cycle d'essai à 5 modes, on utilise les valeurs de couple maximal pour la conversion au régime nominal (voir le paragraphe 7.7.1.1). Un couple minimal à chaud qui est représentatif du fonctionnement en utilisation peut être annoncé. Par exemple, si le moteur est généralement connecté à une machine qui ne fonctionne pas au-dessous d'un couple minimum donné, ce couple peut être annoncé et utilisé pour établir le cycle. Quand les valeurs mesurées et annoncées sont toutes deux disponibles pour le couple maximal d'essai pour l'établissement du cycle, on peut utiliser la valeur annoncée plutôt que la valeur mesurée si elle est au moins égale à 95 ou 100 % de cette dernière.

Les chiffres annoncés sont des valeurs en pourcentage du couple correspondant à la puissance immédiatement disponible[3]. La puissance immédiatement disponible est définie comme étant la puissance maximale disponible au cours d'une séquence à puissance variable qui peut aller d'un nombre illimité d'heures par an, entre intervalles d'entretien annoncés et dans les conditions ambiantes annoncées. L'entretien doit se faire conformément aux prescriptions du fabricant.

7.7.2 Établissement du cycle d'essai transitoire (dénormalisation NRTC)

L'annexe A.1 contient la définition des cycles d'essai applicables dans un format normalisé. Un cycle d'essai normalisé est constitué d'une suite de valeurs appariées pour le régime et le couple en pourcentage.

Les valeurs normalisées de régime et de couple doivent être transformées au moyen des conventions suivantes:

a) Le régime normalisé doit être transformé en une suite de régimes de référence, n_{ref}, conformément aux dispositions du paragraphe 7.7.2.2;

b) Le couple normalisé est exprimé en tant que pourcentage du couple cartographié au régime de référence correspondant. Ces valeurs normalisées doivent être transformées en une suite de couples de référence, T_{ref}, conformément aux dispositions du paragraphe 7.7.2.3;

[3] Des précisions sur la définition et la puissance disponible sont données dans la figure 2 de la norme ISO 8528-1:1993 (E).

c) Le régime de référence et les valeurs de couple de référence exprimés en unités cohérentes sont multipliés pour calculer les valeurs de puissance de référence.

7.7.2.1 Régime de dénormalisation (n_{denorm})

Le régime de dénormalisation (n_{denorm}) est sélectionné de manière à correspondre au régime à 100 % normalisé spécifié dans le plan du dynamomètre de l'annexe A.1. Le cycle moteur de référence résultant de la dénormalisation au régime de référence dépend du choix du régime de dénormalisation approprié (n_{denorm}). Pour le calcul du régime de dénormalisation (n_{denorm}), obtenu à partir de la courbe de conversion mesurée, on peut utiliser au choix une des formulations équivalentes suivantes:

a) $$n_{denorm} = n_{lo} + 0.95 \times (n_{hi} - n_{lo}) \quad (7\text{-}2)$$

Où:

n_{denorm} = régime de dénormalisation

n_{hi} = régime haut (voir le paragraphe 3.1.30)

n_{lo} = régime bas (voir le paragraphe 3.1.34);

b) n_{denorm} correspond au vecteur le plus long défini en tant que:

$$n_{denorm} = n_i \text{ at the maximum of } \left(n_{normi}^2 + P_{normi}^2\right) \quad (7\text{-}3)$$

Où:

i = une variable d'indexage qui représente une valeur enregistrée d'une courbe de conversion de moteur

n_{normi} = un *régime* moteur normalisé en le divisant par $n_{P\max}$.

P_{normi} = une puissance moteur normalisée en la divisant par P_{max}.

À noter que si l'on obtient plusieurs valeurs maximales, il convient de retenir comme vitesse de dénormalisation (n_{denorm}) la vitesse la moins élevée de tous les points ayant la même somme des carrés maximale. On peut utiliser une vitesse annoncée plus élevée si la longueur du vecteur à la vitesse annoncée est inférieure à 2 % de la longueur du vecteur à la valeur mesurée.

Les Parties contractantes peuvent déterminer la formule qu'il convient d'utiliser au cas où les résultats des calculs de a) et de b) diffèrent de plus de 3 %.

Si la partie descendante de la courbe de pleine charge présente un bord très raide, cela peut poser des problèmes pour atteindre correctement les régimes de 105 % du cycle d'essai NRTC. Dans ce cas il est permis, moyennant l'accord préalable des autorités d'homologation ou de certification, de diminuer quelque peu le régime de dénormalisation (n_{denorm}) (3 % maximum) pour rendre possible l'exécution correcte du cycle NRTC.

Si le régime de dénormalisation mesuré (n_{denorm}) est dans les limites de ±3 % du régime de dénormalisation annoncé par le fabricant, on peut utiliser le régime de dénormalisation annoncé (n_{denorm}) pour l'essai d'émissions. Si la tolérance est dépassée, on utilisera pour ces essais d'émissions la vitesse de dénormalisation mesurée (n_{denorm}).

7.7.2.2 Dénormalisation du régime moteur

Il convient de dénormaliser le régime moteur au moyen de l'équation suivante:

$$n_{\text{ref}} = \frac{\%speed \cdot (n_{\text{denorm}} - n_{\text{idle}})}{100} + n_{\text{idle}} \qquad (7\text{-}4)$$

Où:

n_{ref} = régime de référence

n_{denorm} = régime de dénormalisation

n_{idle} = régime de ralenti

%speed = régime normalisé NRTC inscrit au tableau.

7.7.2.3 Dénormalisation des valeurs de couple

Les valeurs de couple dans la fiche de programmation du moteur de l'annexe A.1.4 sont normalisées au couple maximal au régime respectif. Les valeurs de couple du cycle de référence doivent être dénormalisées au moyen de la courbe de conversion déterminée conformément au paragraphe 7.6.2, comme suit:

$$T_{\text{ref}} = \frac{\%torquemax.torque}{100} \qquad (7\text{-}5)$$

pour le régime de référence respectif déterminé conformément au paragraphe 7.6.3.

7.7.2.4 Exemple de procédure de dénormalisation

Il s'agit, par exemple, de dénormaliser les points suivants:

% régime = 43 %

% couple = 82 %

Sur la base des valeurs suivantes:

n_{denorm} = 2 200 min^{-1}

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

ce qui donne

$$n_{\text{ref}} = \frac{43 \cdot (2200 - 600)}{100} + 600 = 1288\text{min}^{-1}$$

Compte tenu du couple maximal de 700 Nm déterminé d'après la courbe cartographique à 1 288 min^{-1}

$$T_{\text{ref}} = \frac{82 \times 700}{100} = 574\text{Nm}$$

7.8 *Procédure spécifique d'exécution du cycle d'essai*

7.8.1 Séquence d'essai d'émissions pour un cycle en conditions stationnaires à modes discrets

7.8.1.1 Échauffement du moteur pour un cycle en conditions stationnaires à modes discrets

Pour le préconditionnement, le moteur doit être chauffé conformément aux recommandations du fabricant et avec les précautions techniques nécessaires. Avant que le prélèvement des émissions ne puisse commencer, le moteur doit tourner jusqu'à ce que ses températures de fonctionnement (eau de refroidissement et huile de graissage) se soient stabilisées (normalement pendant 10 min au moins) au mode 1 (100 % de couple et régime nominal pour le cycle d'essai à 8 modes et au régime nominal constant, 100 % de couple pour le cycle d'essai à 5 modes). Le cycle de mesure démarre immédiatement à partir de ce point de mise en condition du moteur.

Il s'agira d'effectuer la procédure préliminaire aux essais conformément au paragraphe 7.3.1, y compris l'étalonnage de l'analyseur.

7.8.1.2 Cycles d'essai à modes discrets

a) L'essai sera effectué dans l'ordre ascendant des numéros de mode tels qu'ils sont établis pour le cycle d'essai (voir l'annexe A.1);

b) Chaque mode a une durée de 10 min au moins. Dans chacun de ces modes, le moteur doit être stabilisé pendant 5 min au moins et les émissions sont échantillonnées pendant 1 à 3 min pour les émissions gazeuses à la fin de chaque mode. Une durée importante du prélèvement est permise pour améliorer la précision du prélèvement des particules.

La durée du mode doit être notée et consignée;

c) Le prélèvement de particules peut se faire soit avec la méthode du filtre unique, soit avec la méthode des filtres multiples. Étant donné que les résultats des méthodes peuvent différer légèrement, il convient d'annoncer le mode utilisé avec les résultats.

Dans le cas de la méthode à filtre unique, les facteurs de pondération spécifiés dans la procédure du cycle d'essai et le débit d'échappement effectif doivent être pris en compte durant le prélèvement en ajustant en conséquence le débit de l'échantillon et/ou la durée du prélèvement. Il est nécessaire que le facteur de pondération réel de l'échantillon de particules soit à moins de ±0,003 du facteur de pondération du mode en question.

Le prélèvement doit être fait le plus tard possible dans chaque mode. Pour la méthode à filtre unique, la fin du prélèvement des particules doit coïncider à 5 s près à la fin de la mesure des émissions gazeuses. La durée de prélèvement par mode doit être de 20 s au moins pour la méthode à filtre unique et de 60 s au moins pour la méthode à filtre multiple. Dans le cas des systèmes sans capacité de dérivation, la durée de prélèvement par mode doit être de 60 s au moins pour les méthodes à filtre unique et à filtre multiple;

d) Le régime et la charge du moteur, la température de l'air d'admission, le débit de carburant ainsi que le débit d'air ou d'échappement doivent être mesurés pour chaque mode au même intervalle que celui utilisé pour les mesures des concentrations gazeuses.

On prendra note de toute donnée additionnelle nécessaire pour le calcul;

e) Si le moteur cale ou que le prélèvement des émissions est interrompu à un moment quelconque après le délai du prélèvement pour un mode discret et la méthode à filtre unique, l'essai sera considéré comme nul et il conviendra de le répéter en commençant par la procédure d'échauffement du moteur. En cas de mesure des particules au moyen de la méthode à plusieurs filtres (un filtre de prélèvement pour chaque mode de fonctionnement), l'essai se poursuivra en stabilisant le moteur dans le mode précédent pour la mise en température pour ensuite lancer la mesure dans le mode dans lequel le moteur a calé;

f) Ensuite on effectuera les procédures postessai conformément aux indications du paragraphe 7.3.2.

7.8.1.3 Critères de validation

Durant chaque mode du cycle d'essai en conditions stationnaires faisant suite à la période de transition initiale, le régime mesuré ne doit pas s'écarter du régime de référence de plus de 1 % du régime nominal ou de 3 min^{-1}, si la seconde valeur est plus élevée, sauf celui du ralenti qui devra respecter les tolérances annoncées par le fabricant. Le couple mesuré ne doit pas s'écarter du couple de référence de plus de ±2 % pour le couple maximal au régime d'essai.

7.8.2 Cycles d'essai à modes raccordés

7.8.2.1 Échauffement du moteur

Avant de lancer les cycles d'essai à modes raccordés, le moteur doit être mis en température et tourner jusqu'à ce que celle-ci (eau de refroidissement et huile de graissage) se soit stabilisée à 50 % du régime et à 50 % du couple pour les cycles d'essai (dérivés du cycle d'essai à 8 modes) et au régime moteur nominal et à 50 % de couple pour le cycle d'essai en question (dérivé du cycle d'essai à 5 modes). Immédiatement après cette procédure de mise en condition, le régime et le couple doivent être changés suivant une progression linéaire de 20 ± 1 s jusqu'au premier mode d'essai. Entre 5 et 10 s après la fin de la progression, le cycle de mesure doit commencer.

7.8.2.2 Réalisation d'un cycle d'essai à modes raccordés

Les cycles d'essai à modes raccordés dérivés des cycles d'essai à 8 et à 5 modes sont représentés à l'annexe A.1.

Le moteur doit fonctionner pendant le temps prescrit pour chaque mode. Le passage d'un mode au suivant doit se faire linéairement en 20 ± 1 s en respectant les tolérances prescrites dans le paragraphe 7.8.2.4 (voir l'annexe A.1).

Dans le cas des cycles d'essai à modes raccordés, les valeurs de référence de régime et de couple doivent être établies à la fréquence minimale de 1 Hz, et cette séquence de points sera utilisée pour effectuer le cycle. Au cours de la transition entre les modes, les valeurs de référence de régime et de couple dénormalisés doivent être linéairement inclinées entre les modes pour engendrer des points de référence. Les valeurs de couple de référence normalisées ne doivent être pas linéairement inclinées entre les modes et ensuite dénormalisées. Si des rampes de régime et de couple traversent un point au-dessus de la courbe de couple du moteur, elles doivent être poursuivies pour atteindre les couples de référence et il sera permis à l'opérateur d'aller au maximum.

Pendant tout le cycle d'essai (dans chaque mode et y compris les progressions entre les modes), il faudra mesurer la concentration de chaque polluant gazeux et effectuer le prélèvement de MP. Les polluants gazeux peuvent être mesurés sans dilution ou dilués et être enregistrés en permanence; s'ils sont dilués, ils peuvent également être échantillonnés dans un sac. L'échantillon de particules doit être dilué avec de l'air propre et conditionné. On prendra un échantillon sur l'ensemble de la procédure d'essai et celui-ci sera prélevé au moyen d'un filtre unique de prélèvement de particules.

Pour calculer les émissions spécifiques au frein, le cycle de travail réel doit être calculé en intégrant la puissance moteur réelle sur l'ensemble du cycle.

7.8.2.3 Séquence d'essai d'émissions

a) L'exécution du cycle RMC, le prélèvement des gaz d'échappement, l'enregistrement des données et l'intégration des valeurs mesurées doivent commencer simultanément;

b) Le régime et le couple doivent être contrôlés selon le premier mode du cycle d'essai;

c) Si le moteur cale à un moment donné pendant l'exécution du cycle RMC, celui ci sera invalidé. Le moteur sera à nouveau préparé et l'essai sera répété;

d) À la fin du cycle RMC, le prélèvement se poursuit, exception faite du prélèvement de MP en faisant fonctionner tous les systèmes pour que les délais de réponse soient écoulés. Ensuite, tous les prélèvements et enregistrements sont arrêtés, y compris l'enregistrement des échantillons ambiants. Enfin, tout dispositif d'intégration sera mis à l'arrêt et la fin du cycle d'essai sera inscrite dans les données enregistrées;

e) Ensuite ont lieu les procédures postessais conformément au paragraphe 7.4.

7.8.2.4 Critères de validation

Les essais RMC doivent être validés au moyen de l'analyse de régression comme indiqué dans les paragraphes 7.8.3.3 et 7.8.3.5. Les tolérances RMC permises figurent dans le tableau 7.1 ci-dessous. À noter que celles-ci sont différentes des tolérances NRTC du tableau 7.2.

	Régime	*Couple*	*Puissance*
Erreur type de l'estimation (SEE) de *y* sur *x*	Maximum 1 % du régime nominal	Maximum 2 % du couple maximal	Maximum 2 % de la puissance maximale
Pente de la droite de régression, a_1	0,99 à 1,01	0,98 − 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	±1 % du régime nominal	±20 Nm ou 2 % du couple maximal, le plus élevé étant retenu	4 kW ou 2 % de la puissance maximale, la plus élevée étant retenue

Tableau 7.1
Tolérances s'appliquant à la droite de régression RMC

Si le cycle RMC ne s'effectue pas sur un banc pour essai transitoire, et donc que les valeurs de régime et de couple ne sont pas connues seconde par seconde, on utilise les critères de validation ci-après.

Dans chaque mode les prescriptions de tolérance de régime et de couple figurent dans le paragraphe 7.8.1.3. Pour les transitions linéaires de vitesse et linéaires de couple de 20 s entre les modes d'essai RMC en conditions stationnaires (par. 7.4.1.2) on appliquera les tolérances suivantes à la rampe, le régime doit être maintenu linéairement à 2 % près du régime nominal. Le couple doit être maintenu linéaire à 5 % près du couple maximal au régime nominal.

7.8.3 Cycle d'essai transitoire (NRTC)

Les ordres de régime et de couple de référence doivent être exécutés en séquences pour effectuer le cycle d'essai transitoire. Les ordres de régime et de couple doivent être émis à une fréquence d'au moins 5 Hz. Comme le cycle d'essai de référence est prévu pour 1 Hz, les ordres de régime et de couple intermédiaires seront interpolés linéairement à partir des valeurs de couple de référence engendrées par la création du cycle.

Les faibles régimes normalisés proches du régime de ralenti à chaud peuvent avoir pour conséquence que les régulateurs de ralenti à chaud s'activent et que le couple moteur dépasse le couple de référence, même si la demande de l'opérateur est au minimum. Dans de tels cas, il est recommandé de régler la commande du dynamomètre de manière à accorder la priorité au suivi du couple de référence plutôt que du régime de référence et de laisser le moteur régler le régime.

En conditions de démarrage à froid, les moteurs peuvent utiliser un dispositif de ralenti rapide pour réchauffer rapidement le moteur et les dispositifs de traitement aval. Dans de telles conditions, des régimes normalisés très faibles produiront des régimes de référence inférieurs à ce régime de ralenti accéléré. Dans ce cas, il est recommandé d'agir sur le dynamomètre pour qu'il accorde la priorité au suivi du couple de référence et de laisser le moteur régler le régime lorsque la demande de l'opérateur est au minimum.

Au cours d'un essai d'émissions, les régimes et couples de référence ainsi que les régimes et couples réels doivent être enregistrés avec une fréquence minimale de 1 Hz, mais de préférence de 5, voire de 10 Hz. Cette fréquence d'enregistrement plus élevée peut être importante étant donné qu'elle contribue à réduire au minimum l'effet de biais du décalage entre les valeurs de régime et de couple de référence et les valeurs mesurées.

Les régimes et les couples de référence et réels peuvent être enregistrés à des fréquences plus basses (jusqu'à 1 Hz) si l'on enregistre les valeurs moyennes pendant l'intervalle entre les valeurs enregistrées. Les valeurs moyennes doivent être calculées sur la base des valeurs réelles actualisées à une fréquence d'au moins 5 Hz. Ces valeurs enregistrées doivent être utilisées pour calculer les statistiques de validation du cycle et le travail total.

7.8.3.1 Préconditionnement du moteur

Pour obtenir des conditions stables en vue de l'essai d'émissions suivant, le système de prélèvement et le moteur doivent être préconditionnés, soit par exécution d'un cycle pré-NRTC, soit en amenant le moteur et les systèmes de mesure à des conditions similaires à celles qui doivent être rencontrées dans

le cycle d'essai proprement dit. Si l'essai précédent est également un essai NRTC à chaud, aucun conditionnement supplémentaire n'est requis.

On peut utiliser une procédure de refroidissement naturelle ou forcée. Dans le cas d'un refroidissement forcé, il faudra suivre les règles du bon sens pour monter les systèmes et faire circuler de l'air de refroidissement dans le moteur, faire circuler de l'huile froide dans le système de graissage du moteur, de refroidir le réfrigérant au moyen du système de refroidissement du moteur et d'évacuer la chaleur d'un éventuel système de traitement aval de l'échappement. En cas de refroidissement forcé après traitement, on n'appliquera pas l'air de refroidissement avant que le système de traitement aval n'ait refroidi jusqu'à sa température d'activation catalytique. Toute procédure de refroidissement qui donne lieu à des émissions non représentatives est interdite.

Il faut exécuter les procédures préessais, y compris l'étalonnage de l'analyseur, conformément au paragraphe 7.3.1.

7.8.3.2 Exécution d'un cycle d'essai transitoire NRTC

L'essai commence de la manière décrite ci-après.

La séquence d'essai doit commencer immédiatement après la mise en route du moteur à froid en cas d'essai NRTC à froid ou à partir de l'état stabilisé à chaud dans le cas de l'essai NRTC à chaud. On suit les instructions de l'annexe A.1.

L'enregistrement chronologique des données, le prélèvement des gaz d'échappement et l'intégration des valeurs mesurées doivent commencer simultanément au départ du moteur. Le cycle d'essai doit être lancé lorsque le moteur démarre et doit être exécuté conformément au programme de l'annexe A.1.

À la fin du cycle, le prélèvement doit se poursuivre, tous les systèmes étant en fonctionnement afin de tenir compte du temps de réponse du système. Ensuite on mettra fin à tous les prélèvements et enregistrements, y compris l'enregistrement des échantillons de concentrations ambiantes. Enfin, tout dispositif d'intégration doit être mis à l'arrêt et la fin du cycle d'essai sera notée dans les données enregistrées.

Ensuite il faut effectuer toutes les procédures suivant l'essai conformément au paragraphe 7.3.2.

7.8.3.3 Critères de validation du cycle pour le cycle d'essai transitoire

Pour vérifier la validité d'un essai, on appliquera les critères de validation des cycles du présent paragraphe aux valeurs de référence et aux valeurs obtenues de régime, de couple, de puissance et de travail global.

7.8.3.4 Calcul du travail au cours du cycle

Avant le calcul du travail sur le cycle, les points enregistrés au cours du démarrage du moteur doivent être omis. Les points pour lesquels les valeurs de couple sont négatives sont comptés comme travail nul. Le travail au cours du cycle réel W_{act} (kWh) doit être calculé sur la base des valeurs réelles de régime et de couple. Le travail au cours du cycle de référence W_{ref} (kWh) est calculé sur la base des valeurs de référence du régime et du couple. Le travail au cours du cycle réel W_{act} est utilisé pour la comparaison du travail au cours

du cycle de référence W_{ref} et pour le calcul des émissions spécifiques au frein (voir le paragraphe 7.2). W_{act} doit se situer entre 85 et 105 % de W_{ref} .

7.8.3.5 Statistiques de validation (voir l'annexe A.2)

Il faut calculer pour le régime, le couple et la puissance les régressions linéaires des valeurs réelles par rapport aux valeurs de référence.

Afin de minimiser l'effet de polarisation 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 être de la même valeur et avoir le même sens.

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

$$y = a_1 x + a_0 \qquad (7\text{-}6)$$

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 (annexe A.2).

Il est recommandé d'effectuer cette analyse à 1 Hz. Pour qu'un essai soit jugé valable, il doit satisfaire aux critères du tableau 7.2.

	Régime	*Couple*	*Puissance*
Erreur type d'estimation (SEE) de y sur x	≤5,0 % du régime maximal de l'essai	≤10,0 % du couple maximal reconnu	≤10,0 % de la puissance maximum reconnue
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	Minimum 0,970	Minimum 0,850	Minimum 0,910
Ordonnée à l'origine de la droite de régression, a_0	≤10 % du régime de ralenti	±20 Nm ou ±2 % du couple maximal, la valeur la plus élevée étant retenue	±4 kW ou ±2 % de la puissance maximale, la valeur la plus élevée étant retenue

Tableau 7.2
Tolérances de la droite de régression

Pour les calculs de régression exclusivement, des suppressions de point sont admises dans les cas prévus au tableau 7.3 du présent paragraphe avant de faire les calculs de régression. Ces suppressions ne sont par contre pas autorisées pour le calcul du travail et des émissions au cours du cycle. Un point de ralenti est défini comme un point ayant un couple de référence normalisé de 0 %. La suppression du point peut être appliquée à l'ensemble du cycle ou à une de ses parties; il convient cependant de spécifier les suppressions de point.

Événement	*Conditions (n = régime moteur, T = couple)*	*Suppressions de point autorisées*
Demande minimale de l'opérateur (ralenti)	n_{ref} = 0 % et T_{ref} = 0 % et $T_{act} > (T_{ref} - 0{,}02\ T_{maxmappedtorque})$ et $T_{act} < (T_{ref} + 0{,}02\ T_{maxmappedtorque})$	Régime et puissance
Demande minimale de l'opérateur	$n_{act} \leq 1{,}02\ n_{ref}$ et $T_{act} > T_{ref}$ ou $n_{act} > n_{ref}$ et $T_{act} \leq T_{ref'}$ ou $n_{act} > 1{,}02\ n_{ref}$ et $T_{ref} < T_{act} \leq (T_{ref} + 0{,}02\ T_{maxmappedtorque})$	Puissance et couple ou régime
Demande maximale de l'opérateur	$n_{act} < n_{ref}$ et $T_{act} \geq T_{ref}$ ou $n_{act} \geq 0{,}98\ n_{ref}$ et $T_{act} < T_{ref}$ ou $n_{act} < 0{,}98\ n_{ref}$ et $T_{ref} > T_{act} \geq (T_{ref} - 0{,}02\ T_{maxmappedtorque})$	Puissance et couple ou régime

Tableau 7.3
Suppressions de point admises dans l'analyse de régression

8. Méthodes de mesure

8.1 *Contrôles d'étalonnage et de performance*

8.1.1 Introduction

Le présent paragraphe traite des étalonnages et des vérifications des systèmes de mesure. Se référer au paragraphe 9.4 en ce qui concerne les spécifications qui s'appliquent aux instruments individuels.

Les étalonnages ou vérifications portent généralement sur la chaîne de mesure complète.

Si un étalonnage ou une vérification portant sur une partie du système de mesure n'a pas été spécifié, cette portion du système doit être étalonnée et il y a lieu de vérifier ses performances à une fréquence conforme à toutes les recommandations du fabricant du système de mesure et en prenant les précautions techniques nécessaires.

On appliquera les normes internationalement reconnues et vérifiables par souci de conformité aux tolérances fixées pour les étalonnages et les vérifications.

8.1.2 Résumé de l'étalonnage et de la vérification

Le tableau 8.1 est un résumé des opérations d'étalonnage et de vérification décrites au paragraphe 8. Il précise à quel moment ces opérations doivent avoir lieu.

Type d'étalonnage ou de vérification	*Fréquence minimale*[a]
8.1.3: Précision, répétabilité et bruit	Précision: Non requise mais recommandée à l'installation initiale.
	Répétabilité: Non requise mais recommandée à l'installation initiale.
	Bruit: Non requis mais recommandé à l'installation initiale.
8.1.4: Linéarité	Régime: À l'installation initiale, dans les 370 jours avant les essais et après un grand entretien
	Couple: À l'installation initiale, dans les 370 jours avant les essais et après un grand entretien
	Débit de gaz propre et de gaz d'échappement dilué: À l'installation initiale, dans les 370 jours avant les essais et après un grand entretien, à moins que le débit ne soit vérifié par un contrôle au propane ou par un bilan du carbone ou de l'oxygène
	Débit d'échappement brut: À l'installation initiale, dans les 185 jours avant les essais et après un grand entretien, à moins que le débit ne soit vérifié par un contrôle au propane ou par un bilan du carbone ou de l'oxygène
	Analyseurs de gaz: À l'installation initiale, dans les 35 jours avant les essais et après un grand entretien
	Bilan de MP: À l'installation initiale, dans les 370 jours avant les essais et après un grand entretien
	Pression et température autonomes: À l'installation initiale, dans les 370 jours avant les essais et après un grand entretien
8.1.5: Réponse du système d'analyse des gaz fonctionnant en continu et mise à jour, enregistrement et vérification − pour analyseurs de gaz qui ne sont pas corrigés en permanence pour d'autres sortes de gaz	À l'installation initiale ou après une modification qui influencerait la réponse
8.1.6: Réponse du système d'analyse des gaz fonctionnant en continu et mise à jour, enregistrement et vérification − pour analyseurs de gaz qui sont corrigés en permanence pour d'autres sortes de gaz	À l'installation initiale ou après une modification qui influencerait la réponse
8.1.7.1: Couple	À l'installation initiale et après un grand entretien
8.1.7.2: Pression, température, point de rosée	À l'installation initiale et après un grand entretien
8.1.8.1: Débit de carburant	À l'installation initiale et après un grand entretien.
8.1.8.2: Débit d'admission	À l'installation initiale et après un grand entretien
8.1.8.3: Débit d'échappement	À l'installation initiale et après un grand entretien
8.1.8.4: Débit d'échappement dilué (CVS et PFD)	À l'installation initiale et après un grand entretien

Type d'étalonnage ou de vérification	*Fréquence minimale*[a]
8.1.8.5: CVS/PFD et vérification du système de prélèvement par lots[b]	À l'installation initiale, dans les 35 jours avant les essais et après un grand entretien. (Contrôle au propane)
8.1.8.8: Fuite de vide	Avant chaque essai en laboratoire et conformément au paragraphe 7.1
8.1.9.1: Interférence de CO_2 et H_2O avec le NDIR	À l'installation initiale et après un grand entretien
8.1.9.2: Interférence de CO_2 et H_2O avec le NDIR/CO	À l'installation initiale et après un grand entretien
8.1.10.1: Étalonnage FID Optimisation FID/THC et vérification	Étalonnage, optimisation et détermination de la réponse au CH_4: à l'installation initiale et après un grand entretien
	Vérification de la réponse au CH_4: à l'installation initiale, dans les 185 jours avant l'essai et après un grand entretien
8.1.10.2: Interférence de O_2 avec le FID/gaz d'échappement bruts	Pour tous les analyseurs FID: à l'installation initiale et après un grand entretien
	Pour les analyseurs FID/THC: à l'installation initiale et après une optimisation du FID conformément au 8.1.10.1
8.1.10.3: Pénétration de NMC	À l'installation initiale, dans les 185 jours avant les essais et après un grand entretien
8.1.11.1: Extinction par CO_2 et H_2O du CLD	À l'installation initiale et après un grand entretien
8.1.11.3: Interférence de H_2O avec le NDUV/HC	À l'installation initiale et après un grand entretien
8.1.11.4: Pénétration de NO_2 dans le bain de refroidissement (refroidisseur)	À l'installation initiale et après un grand entretien
8.1.11.5: Conversion par le convertisseur NO_2-à-NO	À l'installation initiale, dans les 35 jours avant les essais et après un grand entretien
8.1.12.1: Bilan des MP et pesage	Vérification indépendante: à l'installation initiale, dans les 370 jours avant les essais et après un grand entretien.
	Vérifications des échantillons zéro, de portée et de référence: dans les 12 heures suivant la pesée et après un grand entretien

[a] Effectuer les étalonnages et les vérifications plus fréquemment, conformément aux instructions du fabricant du système de mesure et avec du bon sens technique.

[b] La vérification CVS n'est pas nécessaire pour les systèmes qui sont conformes à 2 % près d'après le bilan chimique du carbone ou de l'oxygène dans l'air d'entrée, le carburant et les gaz d'échappement dilués.

Tableau 8.1
Résumé des étalonnages et vérifications

8.1.3 Vérification de la justesse, de la répétabilité et du bruit

Les niveaux de performances des instruments individuels spécifiés dans le tableau 9.3 sont la base pour la détermination de la justesse, de la répétabilité et du bruit d'un appareil.

Il n'est pas nécessaire de vérifier la justesse, la répétabilité ou le bruit d'un appareil. Il peut toutefois être utile d'utiliser ces vérifications pour définir la spécification d'un nouvel instrument, pour contrôler les performances d'un nouvel appareil à sa réception ou pour rechercher la défaillance d'un instrument existant.

8.1.4 Contrôle de linéarité

8.1.4.1 Étendue et fréquence

Un contrôle de linéarité doit être effectué sur chaque système de mesure énuméré dans le tableau 8.2, avec au moins la fréquence minimale indiquée dans le tableau, conformément aux recommandations du fabricant du système de mesure et en suivant les règles du bon sens technique. L'objet d'un contrôle de linéarité est de déterminer si un système de mesure répond proportionnellement sur la gamme de mesures présentant de l'intérêt. Un contrôle de linéarité consiste à introduire une série d'au moins 10 valeurs de référence dans un système de mesure, sauf indication contraire. Le système de mesure quantifie chacune de ces valeurs. Les valeurs mesurées sont collectivement comparées aux valeurs de référence au moyen d'une régression linéaire des moindres carrés et les critères de linéarité spécifiés dans le tableau 8.2 ci-après.

8.1.4.2 Conditions s'appliquant aux performances du système

Si un système de mesure ne satisfait pas aux critères de linéarité applicables du tableau 8.2, il convient de corriger cette lacune par un réétalonnage, un entretien ou le remplacement des pièces suivant les besoins. Il faudra vérifier à nouveau la linéarité après avoir remédié au problème pour s'assurer que le système de mesure répond aux critères de linéarité.

8.1.4.3 Procédure

On utilisera le protocole de vérification de la linéarité suivant:

a) Un système de mesure doit être utilisé aux températures, aux pressions et aux débits spécifiés;

b) L'instrument doit être mis à zéro comme il le serait avant un essai d'émissions par l'introduction d'un signal zéro. Dans le cas des analyseurs de gaz, on utilisera un gaz à la pression atmosphérique qui répond aux spécifications du paragraphe 9.5.1, et cela directement dans l'orifice de l'analyseur;

c) L'instrument doit être étalonné avant un essai d'émissions par l'introduction d'un signal de calibrage. Dans le cas des analyseurs de gaz, on utilisera un gaz de calibrage répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1, gaz qui sera introduit directement à l'entrée de l'analyseur;

d) Après le réglage de l'instrument, le zéro est vérifié avec le même signal que celui utilisé au point b) du présent paragraphe. Sur la base de l'indication zéro et de bon sens technique, on détermine s'il convient de remettre l'instrument à zéro ou de le réétalonner avant de procéder à l'étape suivante;

e) Pour toutes les quantités mesurées on se réfère aux recommandations du fabricant et on fait preuve de bon sens technique pour sélectionner les valeurs de référence, y_{refi}, qui contrôlent la gamme complète de

valeurs escomptées pendant l'essai d'émissions et éviter ainsi la nécessité d'extrapoler au-delà de ces valeurs. Un signal de référence zéro doit être sélectionné comme une des valeurs de référence du contrôle de linéarité. Pour les vérifications de pression autonome et de température, on retient au moins trois valeurs de référence. Pour toutes les autres vérifications de linéarité, on en retient au moins 10;

f) Pour déterminer l'ordre dans lequel une série de valeurs de référence sera introduite, on suivra les recommandations du fabricant de l'instrument et on agira avec du bon sens technique;

g) Des quantités de référence seront produites et introduites comme indiqué au paragraphe 8.1.4.4. Dans le cas des analyseurs de gaz, on utilise des concentrations de gaz dont on sait qu'elles répondent aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et ces gaz seront introduits directement dans l'entrée de l'analyseur;

h) On laissera à l'instrument le temps nécessaire pour se stabiliser pendant qu'il mesure la valeur de référence;

i) À la fréquence d'enregistrement minimale, comme indiqué dans le tableau 9.2, la valeur de référence doit être mesurée pendant 30 s et la moyenne arithmétique des valeurs enregistrées, $\overline{y}_i$, doit être notée;

j) Les étapes f) à h) ci-dessus doivent être répétées jusqu'à ce que toutes les quantités de référence aient été mesurées;

k) On utilise les moyennes arithmétiques $\overline{y}_i$ et les valeurs de référence y_{refi} pour calculer les paramètres de la régression linéaire des moindres carrés et les valeurs statistiques afin de comparer les critères de performances minimum spécifiés dans le tableau 8.2. On utilise à cet effet les calculs présentés dans l'annexe A.2.2.

8.1.4.4 Signaux de référence

Le présent paragraphe traite des méthodes recommandées pour produire des valeurs de référence nécessaires au protocole de vérification de la linéarité du point 8.1.4.3 de la présente section. On utilise les valeurs de référence qui simulent des valeurs réelles ou bien on introduira une valeur réelle et on la mesurera au moyen d'un système de mesure de référence. Dans ce dernier cas, la valeur de référence est la valeur annoncée par le système de mesure de référence. Les valeurs de référence et les systèmes de mesure de référence doivent être internationalement étalonnés.

Dans le cas des systèmes de mesure de la température comportant des capteurs tels que des thermocouples, des RTD et des thermistors, la vérification de la linéarité peut être effectuée en retirant le capteur du système et en utilisant à sa place un simulateur. On utilise dans ce cas un simulateur qui est étalonné de manière indépendante et compensé par jonction froide. L'incertitude du simulateur internationalement traçable proportionnée à la température doit être inférieure à 0,5 % de la température de fonctionnement maximale $T_{\max}$. Si l'on utilise cette option, il faut recourir à des capteurs dont les fournisseurs garantissent une justesse supérieure à 0,5 % de $T_{\max}$ comparée à leur courbe d'étalonnage standard.

8.1.4.5 Systèmes de mesure qui requièrent une vérification de la linéarité

Le tableau 8.2 contient les systèmes de mesure qui requièrent des vérifications de linéarité. Les dispositions suivantes s'appliquent à ce tableau:

a) La vérification de la linéarité doit être effectuée plus souvent si le fabricant de l'instrument ou le bon sens technique le recommande;

b) «min» désigne la valeur de référence minimale utilisée au cours de la vérification de linéarité;

On notera que cette valeur peut être égale à zéro ou négative selon le signal;

c) «max» désigne généralement la valeur de référence maximale utilisée pendant la vérification de la linéarité. Dans le cas des diviseurs de gaz, par exemple, x_{max} est la concentration du gaz de calibrage non dilué, non divisé. Ce qui suit sont des cas spéciaux dans lesquels «max» concerne une valeur différente:

i) Pour le contrôle de la linéarité de la balance de MP, m_{max} se réfère à la masse typique d'un filtre MP;

ii) Pour la vérification de la linéarité du couple, T_{max} désigne la valeur de crête du couple du moteur telle que fixée par le fabricant pour le couple le plus élevé qu'il y a lieu d'essayer;

d) Les plages prescrites englobent les valeurs extrêmes. Une gamme de 0,98-1,02 pour la pente a_1 signifie une gamme prescrite de $0{,}98 \leq a_1 \leq 1{,}02$;

e) Ces vérifications de la linéarité ne sont pas nécessaires pour les systèmes qui n'appliquent pas la vérification du débit pour les gaz d'échappement dilués comme décrit au paragraphe 8.1.8.5 pour le contrôle du propane ou pour les systèmes qui sont conformes à ±2 % près sur la base d'un bilan chimique de carbone ou d'oxygène dans l'air d'admission, le carburant et les gaz d'échappement;

f) Pour ces quantités, le critère a_1 ne doit être satisfait que si la valeur absolue de la quantité est requise, contrairement au signal qui est linéairement proportionnel à la valeur réelle seulement;

g) Les températures autonomes englobent les températures du moteur et les conditions ambiantes utilisées pour régler et vérifier les conditions de fonctionnement, les températures utilisées pour régler ou vérifier les conditions critiques du système d'essai ainsi que les températures utilisées pour les calculs des émissions:

i) Les contrôles de linéarité suivants de la température sont nécessaires: air d'admission, banc(s) pour le traitement aval (pour les moteurs soumis aux essais avec des dispositifs de traitement aval sur des cycles ayant des critères de départ à froid), l'air de dilution pour le prélèvement des MP (CVS, double dilution et systèmes à flux partiel); échantillons de MP, un échantillon du refroidisseur (pour les systèmes de prélèvement de gaz qui recourent à des refroidisseurs pour sécher les échantillons);

ii) Ces contrôles de linéarité de la température sont uniquement requis si cela est prescrit par le fabricant du moteur. L'admission de carburant, la sortie d'air du refroidisseur de la cellule d'essai (pour les moteurs soumis aux essais dans lesquels un échangeur de chaleur simule un

refroidisseur d'admission de véhicule ou de machine), l'entrée de liquide de refroidissement du refroidisseur d'admission (pour les moteurs soumis aux essais avec un échangeur de chaleur de la cellule d'essai simulant un refroidisseur d'air d'admission du véhicule ou de la machine), l'huile du carter et le liquide de refroidissement avant le thermostat (pour les moteurs refroidis par un liquide);

h) Les pressions autonomes sont les pressions du moteur et les conditions ambiantes utilisées pour régler ou vérifier les conditions de fonctionnement du moteur, les pressions utilisées pour régler ou vérifier des situations critiques dans le système d'essai ainsi que les pressions utilisées dans les calculs des émissions:

i) Les contrôles de linéarité de la pression sont: restriction à l'admission; contre pression à l'échappement; baromètre; pression d'entrée du CVS (si des mesures font appel au CVS); un échantillon de réfrigérant (pour les systèmes de prélèvement de gaz utilisant des refroidisseurs pour sécher les échantillons);

ii) Les contrôles de linéarité de la pression qui sont nécessaires seulement s'ils sont prescrits par le fabricant du moteur: refroidisseur à refroidissement d'admission de la cellule d'essai et baisse de la pression dans le conduit d'interconnexion (pour les moteurs suralimentés essayés avec un échangeur de chaleur de la cellule d'essai simulant un refroidisseur d'air d'admission du véhicule ou de la machine), l'admission de carburant et la sortie de carburant.

Système de mesure	*Quantité*	*Fréquence de vérification minimale*	*Critères de linéarité*			
			$\lvert x_{min} \cdot (a_1 - 1) + a_0 \rvert$	*a*	*SEE*	r^2
Régime moteur	n	Dans les 370 jours avant l'essai	≤0.05 % n_{max}	0,98-1,02	≤2 % n_{max}	≥0,990
Couple moteur	T	Dans les 370 jours avant l'essai	≤1 % T_{max}	0,98-1,02	≤2 % T_{max}	≥0,990
Débit de carburant	q_m	Dans les 370 jours avant l'essai	≤1 % $q_{m,\,max}$	0,98-1,02	≤2 % $q_{m,\,max}$	≥0,990
Débit d'air d'admission	q_V	Dans les 370 jours avant l'essai	≤1 % $q_{V,\,max}$	0,98-1,02	≤2 % $q_{V,\,max}$	≥0,990
Débit d'air de dilution	q_V	Dans les 370 jours avant l'essai	≤1 % $q_{V,\,max}$	0,98-1,02	≤2 % $q_{V,\,max}$	≥0,990
Débit de gaz d'échappement dilué	q_V	Dans les 370 jours avant l'essai	≤1 % $q_{V,\,max}$	0,98-1,02	≤2 % $q_{V,\,max}$	≥0,990
Débit de gaz d'échappement brut	q_V	Dans les 185 jours avant l'essai	≤1 % $q_{V,\,max}$	0,98-1,02	≤2 % $q_{V,\,max}$	≥0,990
Débit de l'échantillonneur	q_V	Dans les 370 jours avant l'essai	≤1 % $q_{V,\,max}$	0,98-1,02	≤2 % $q_{V,\,max}$	≥0,990
Diviseurs de gaz	x/x_{span}	Dans les 370 jours avant l'essai	≤0.5 % x_{max}	0,98-1,02	≤2 % x_{max}	≥0,990

Système de mesure	*Quantité*	*Fréquence de vérification minimale*	*Critères de linéarité*			
			$\lvert x_{min} \cdot (a_1 - 1) + a_0 \rvert$	*a*	*SEE*	r^2
Analyseurs de gaz	*x*	Dans les 35 jours avant l'essai	≤0.5 % x_{max}	0,99-1,01	≤1 % x_{max}	≥0,998
Balance des MP	*m*	Dans les 370 jours avant l'essai	≤1 % m_{max}	0,99-1,01	≤1 % m_{max}	≥0,998
Pressions autonomes	*p*	Dans les 370 jours avant l'essai	≤1 % p_{max}	0,99-1,01	≤1 % p_{max}	≥0,998
Conversion analogique/ numérique des signaux de température	*T*	Dans les 370 jours avant l'essai	≤1 % T_{max}	0,99-1,01	≤1 % T_{max}	≥0,998

Tableau 8.2
Systèmes de mesure qui requièrent des vérifications de linéarité

8.1.5 Vérification en continu de la réponse du système d'analyse des gaz et de l'enregistrement de sa mise à jour

La présente section contient la description d'une procédure de vérification générale relative à la réponse du système d'analyse des gaz en continu et à la mise à jour des enregistrements. Voir le paragraphe 8.1.6 qui traite des procédures de vérification des analyseurs de type à compensation.

8.1.5.1 Étendue et fréquence

Cette vérification doit être effectuée après l'installation ou le remplacement d'un analyseur de gaz qui est utilisé pour le prélèvement en continu. Cette vérification doit également être faite si le système a été reconfiguré d'une manière qui modifierait sa réponse. Cette vérification est requise pour les analyseurs de gaz en continu utilisés pour les essais transitoires ou à modes raccordés mais elle n'est pas nécessaire pour les systèmes d'analyse de gaz en vrac ou pour les analyseurs de gaz en continu utilisés uniquement pour les essais à modes discrets.

8.1.5.2 Principes de mesure

Cet essai a pour but de s'assurer que les fréquences de mise à jour et d'enregistrement sont adaptées à la réponse globale du système à un changement rapide dans la valeur de concentration au niveau de la sonde de prélèvement. Des systèmes d'analyse de gaz doivent être optimalisés d'une manière telle que la réponse globale à un changement rapide de concentration soit mise à jour et enregistrée à une fréquence appropriée pour éviter toute perte d'information. Cet essai vérifie également si les analyseurs de gaz en continu respectent un temps de réponse minimum.

Les réglages du système pour l'évaluation des temps de réponse sont exactement les mêmes que ceux utilisés lors des mesures du cycle d'essai (c'est-à-dire pression, débits, réglage des filtres sur les analyseurs et tous les autres éléments ayant de l'influence sur le temps de réponse). La détermination du temps de réponse sera faite avec commutation de gaz directement à l'entrée de la sonde d'échantillon. Les dispositifs destinés à la

commutation du gaz seront conçus de manière à effectuer le passage en moins de 0,1 s. Les gaz utilisés pour l'essai doivent produire un changement de concentration d'au moins 60 % de l'échelle (FS).

Il convient de prendre note du degré de concentration de chaque gaz.

8.1.5.3 Configuration nécessaire

a) Le temps de réponse du système doit être ≤10 s avec un temps de montée de ≤2,5 s, ou avec un temps de montée et de descente de ≤5 s chacun pour chaque composante mesurée (CO, NO_x, CO_2 et HC) et toutes les gammes utilisées. Lorsqu'on utilise un convertisseur NMC pour la mesure des HCNM, le temps de réponse du système peut dépasser 10 s;

Toutes les données (concentration, carburant et débit d'air) doivent être classées d'après leur temps de réponse mesuré avant d'effectuer les calculs d'émissions des annexes A.7 et A.8;

b) Pour prouver qu'une mise à jour et un enregistrement sont acceptables en ce qui concerne le temps de réponse global du système, celui-ci doit satisfaire à l'un des critères suivants:

i) Le produit du temps de montée moyen par la fréquence à laquelle le système enregistre une concentration mise à jour doit être d'au moins 5. En aucun cas le temps de montée moyen ne doit dépasser 10 s;

ii) La fréquence à laquelle le système enregistre la concentration est de 2 Hz au moins (voir également le tableau 9.2).

8.1.5.4 Procédure

On utilisera la procédure suivante pour vérifier la réponse de chaque système analyseur de gaz en continu:

a) Il convient de respecter les instructions de fonctionnement des instruments données par le fabricant du système analyseur. Le système de mesure doit être ajusté selon les besoins pour atteindre les meilleures performances possibles. Cette vérification doit être faite lorsque l'analyseur fonctionne de la même manière que celle utilisée pour les essais d'émissions. Si l'analyseur utilise un système de prélèvement en partage avec d'autres analyseurs, et si le débit de gaz vers les autres analyseurs intervient sur le temps de réponse du système, il convient de faire démarrer les autres analyseurs et de les faire fonctionner pendant que s'effectue l'essai de vérification. Ce dernier peut être effectué sur plusieurs analyseurs utilisant simultanément le même système de prélèvement. En cas d'utilisation de filtres analogiques ou numériques en temps réel pendant les essais d'émissions, ces filtres doivent fonctionner de la même manière au cours de cette vérification;

b) En ce qui concerne les équipements utilisés pour valider le temps de réponse du système, il est recommandé d'utiliser des lignes de transfert de gaz les plus courtes possibles entre toutes les connexions qu'il y a lieu d'utiliser; on connectera une source de gaz de zéro à l'entrée d'un distributeur rapide à 3 voies (2 entrées et 1 sortie) afin de gérer le débit des gaz de zéro et des gaz mélangés jusqu'à l'entrée de la sonde du système de prélèvement ou un T proche de la sortie de la sonde. Normalement, le débit de gaz est plus élevé que le débit de

l'échantillon de la sonde et l'excès déborde à l'entrée de la sonde. Si le débit de gaz est plus faible que le débit de la sonde, il faut ajuster les concentrations de gaz pour tenir compte de la dilution de l'air ambiant dans la sonde. On peut utiliser des gaz de calibrage binaires ou multiples. On peut utiliser un dispositif de mélange de gaz à cet effet. Un mélange de gaz ou un dispositif de mélange est recommandé lorsqu'on utilise des gaz de calibrage dilués dans du N_2 avec des gaz de calibrage dilués dans l'air.

Au moyen d'un diviseur de gaz, on mélange à parts égales un gaz de calibrage NO-CO-CO_2-C_3H_8-CH_4 (complément N_2) avec un gaz de réglage de NO_2, avec complément d'air synthétique purifié. On peut aussi utiliser les gaz de réglage binaire standard, lorsque cela s'applique, à la place du mélange NO-CO-CO_2-C_3H_8-CH_4; dans ce cas il convient de faire des essais de performances individuels pour chaque analyseur. La sortie du diviseur de gaz doit être connectée à l'autre entrée du distributeur à 3 voies. La sortie du distributeur peut être connectée à un surdébit à la sonde du système d'analyse de gaz ou à un raccord de débordement entre la sonde et la ligne de transfert vers tous les analyseurs en cours de vérification. On utilisera un montage qui évite les pulsations de pression résultant des arrêts du débit à travers le dispositif de mélange de gaz. On omettra chacun des éléments constitutifs du gaz qui ne sont pas pertinents pour les analyseurs dans le cas de cette vérification. Une autre possibilité consiste à utiliser des bouteilles de gaz contenant des gaz uniques; une mesure séparée des temps de réponse est permise;

c) La collecte des données se fait de la manière suivante:

i) Agir sur la vanne pour lancer le débit de gaz de zéro;

ii) Attendre que la situation se stabilise compte tenu du temps de transport et de la réponse complète la plus lente de l'analyseur;

iii) L'enregistrement des données doit commencer à la fréquence utilisée pendant les essais d'émissions. Chaque valeur inscrite doit être une concentration unique à jour mesurée par l'analyseur; on ne peut pas modifier les valeurs annoncées par interpolation ou par filtration;

iv) Commuter la vanne pour permettre aux gaz de calibrage mélangés de passer dans les analyseurs. Le temps nécessaire sera appelé t_0;

v) Il faut tenir compte des temps de transport et de la réponse complète de l'analyseur le plus lent;

vi) Commuter le flux pour permettre au gaz de zéro de passer dans l'analyseur. Ce temps doit être inscrit comme étant t_{100};

vii) Il faut tenir compte des temps de transport et de la réponse complète de l'analyseur le plus lent;

viii) Les étapes c) iv) à vii) du présent paragraphe doivent être répétées jusqu'à obtenir sept cycles complets qui se terminent par l'envoi de gaz de zéro dans les analyseurs;

ix) Mettre fin aux enregistrements.

8.1.5.5 Évaluation des résultats obtenus

Il faut utiliser les données du paragraphe 8.1.5.4 c) de la présente section pour calculer le temps moyen de montée, $T_{10–90}$, pour chacun des analyseurs:

a) Si l'on choisit de prouver la conformité avec le paragraphe 8.1.5.3 b) i) de la présente section, il convient d'appliquer la procédure suivante: multiplier les temps de montée (en s) par leurs fréquences d'enregistrement respectives en Hertz (1/s). La valeur de chaque résultat est d'au moins 5. Si elle est inférieure, il faut augmenter la fréquence d'enregistrement ou ajuster le débit ou encore modifier la conception du système de prélèvement pour allonger le temps de montée selon les besoins. On peut aussi configurer des filtres numériques pour augmenter le temps de montée;

b) Si l'on souhaite prouver la conformité avec le paragraphe 8.1.5.3 b) ii) de la présente section, le fait de démontrer la conformité aux prescriptions du paragraphe 8.1.5.3 b) ii) suffit.

8.1.6 Vérification du temps de réponse pour les analyseurs de type à compensation

8.1.6.1 Étendue et fréquence

Cette vérification doit être effectuée pour déterminer la réponse en continu de l'analyseur de gaz, dans le cas où une réponse de l'analyseur est compensée par une autre pour quantifier une émission gazeuse. Pour cet essai, on prendra de la vapeur d'eau comme élément constitutif gazeux. Cette vérification est nécessaire dans le cas des analyseurs de gaz fonctionnant en continu utilisés pour les essais transitoires ou à modes raccordés. Cette vérification n'est pas requise pour les analyseurs de gaz en vrac ou pour les analyseurs de gaz en continu utilisés pour les essais en modes discrets seulement. La vérification ne s'applique pas à la correction en fonction de l'eau enlevée de l'échantillon lors du traitement aval et ne s'applique pas à la détermination des HCNM à partir des HCT et CH_4 annoncés dans les annexes A.7 et A.8 concernant les calculs d'émissions. Cette vérification doit être effectuée après l'installation initiale (c'est-à-dire la mise en service de la cellule d'essai). Après un grand entretien, on peut se référer au paragraphe 8.1.5 pour analyser la réponse uniforme fournie à condition que tout composant ayant été remplacé ait subi une vérification du temps de réponse uniforme en conditions humides à un stade quelconque.

8.1.6.2 Principes de mesure

Cette procédure a pour but d'analyser l'alignement dans le temps et l'uniformité de la réponse des mesures de gaz combinées en permanence. Pour cette procédure, il faut s'assurer que tous les algorithmes de compensation et de correction de l'humidité sont en fonction.

8.1.6.3 Configurations nécessaires

Les prescriptions données au paragraphe 8.1.5.3 a) en ce qui concerne le temps de réponse général et le temps de montée sont également valables pour les analyseurs de type à compensation. De plus, si la fréquence d'enregistrement est différente de la fréquence de mise à jour du signal combiné/compensé en permanence, on utilisera la plus basse de ces deux fréquences pour la vérification requise en vertu du paragraphe 8.1.5.3 b) i).

8.1.6.4 Marche à suivre

Il faut utiliser toutes les procédures énoncées dans les paragraphes 8.1.5.4 a) à c). De plus, il faut mesurer le temps de réponse et le temps de montée de la vapeur d'eau si on utilise un algorithme de compensation basé sur la vapeur d'eau mesurée. Dans ce cas un seul des gaz d'étalonnage utilisés (mais non le NO_2) doit être humidifié de la manière suivante:

Si le système ne comporte pas de sécheur pour extraire l'eau du gaz échantillon, le gaz de calibrage doit être humidifié en faisant passer le mélange de gaz par un vase hermétique qui humidifie le gaz jusqu'à la valeur la plus élevée du point de rosée de l'échantillon estimée au cours du prélèvement d'émissions par barbotage dans l'eau distillée. Si le système comporte pendant l'essai un sécheur d'échantillon qui satisfait aux exigences, le mélange de gaz humidifié peut être introduit en aval du sécheur en le faisant traverser de l'eau distillée dans un vase scellé à (25 ± 10 °C), ou à une température supérieure au point de rosée. Dans tous les cas, en aval du vase, le gaz humidifié doit être maintenu à une température d'au moins 5 ºC au-dessus du point de rosée local dans la ligne. On notera qu'il est possible d'omettre l'un de ces éléments constitutifs du gaz s'il n'est pas pertinent pour les analyseurs dans le cas de cette vérification. Si l'un quelconque des éléments du gaz n'est pas sensible à l'effet de compensation de l'eau, le contrôle de réponse pour ces analyseurs peut être effectué sans humidification.

8.1.7 Mesure des paramètres du moteur et des conditions ambiantes

Le fabricant du moteur doit appliquer des procédures de qualité internes attribuables à des normes nationales ou internationales reconnues. À défaut, les procédures ci dessous s'appliquent.

8.1.7.1 Étalonnage du couple

8.1.7.1.1 Étendue et fréquence

Tous les systèmes de mesure du couple, y compris les transducteurs et systèmes de mesure du couple au dynamomètre, doivent être étalonnés lors de leur installation initiale et après la grande intervention d'entretien en utilisant, notamment, une force de référence ou une longueur de bras de levier couplée à un point mort. Le bons sens technique prévaudra s'il est nécessaire de recommencer l'étalonnage. Il convient de suivre les instructions du fabricant du transducteur de couple pour linéariser les résultats obtenus. D'autres méthodes d'étalonnage sont permises.

8.1.7.1.2 Étalonnage avec charge permanente

Par cette technique on applique une force connue en suspendant des poids à des distances connues le long d'un bras de levier. Il faut s'assurer que le bras de levier supportant le poids est perpendiculaire au sol (c'est-à-dire horizontal) et perpendiculaire à l'axe de pivotement du dynamomètre. On appliquera six combinaisons de poids d'étalonnage au moins pour chaque gamme de mesures du couple applicable en espaçant les quantités de poids de manière égale sur l'ensemble de la gamme. Le dynamomètre doit être soumis à des mouvements alternatifs ou de rotation pendant l'étalonnage pour réduire l'hystérésis statique de friction. La force de chaque poids doit être déterminée en multipliant sa masse internationalement étalonnée par l'accélération de la force de gravité de la Terre.

8.1.7.1.3 Étalonnage de l'extensomètre ou de l'anneau dynamométrique

Pour cette technique on applique une force, soit en suspendant des poids à un bras de levier (ces poids et la longueur du bras de levier ne sont pas utilisés dans la partie détermination du couple de référence), soit en utilisant le dynamomètre à différents couples. On appliquera au moins six combinaisons de force à chaque gamme de mesures applicable, en espaçant les quantités de force de manière à peu près égale sur toute la gamme. Pendant l'étalonnage, le dynamomètre doit être soumis à des mouvements alternatifs ou de rotation pour diminuer l'hystérésis statique de friction. Dans ce cas, le couple de référence est déterminé en multipliant le résultat de l'instrument de référence (tel que l'extensomètre ou l'anneau dynamométrique) par la longueur de bras effective, qui est mesurée à partir du point où est faite la mesure de la force par rapport à l'axe de rotation du dynamomètre. On s'assurera que cette longueur est mesurée perpendiculairement à l'axe de mesure de référence de l'instrument et perpendiculairement à l'axe de rotation du dynamomètre.

8.1.7.2 Étalonnage de la pression, de la température et du point de rosée

Il convient d'étalonner les instruments de mesure de la pression, de la température et du point de rosée avant l'installation initiale. On le fera conformément aux instructions du fabricant et le bon sens technique dictera le moment de recommencer l'étalonnage.

En ce qui concerne les systèmes de mesure de la température au moyen d'un thermocouple, d'un capteur à résistance ou d'un thermistor, l'étalonnage du système doit être effectué comme indiqué au paragraphe 8.1.4.4 pour la vérification de linéarité.

8.1.8 Mesures en rapport avec le débit

8.1.8.1 Étalonnage du débit de carburant

Les débitmètres de carburant doivent être étalonnés à l'installation initiale. On suivra les instructions du fabricant et on fera preuve de bon sens technique pour décider à quel moment il convient de répéter l'étalonnage.

8.1.8.2 Étalonnage du débit d'air d'admission

Les débitmètres d'air d'admission doivent être étalonnés à l'installation initiale. On suivra les instructions du fabricant et on fera preuve de bon sens technique pour décider à quel moment il convient de répéter l'étalonnage.

8.1.8.3 Étalonnage du débit d'échappement

Les débitmètres de flux d'échappement doivent être étalonnés à l'installation initiale. On suivra les instructions du fabricant et le bon sens technique dictera le moment auquel il convient de répéter l'opération.

8.1.8.4 Étalonnage du débit d'échappement dilué (CVS)

8.1.8.4.1 Aperçu général

a) La présente section est la description de la manière d'étalonner les débitmètres pour systèmes d'étalonnage de gaz d'échappement dilués à volume constant (CVS);

b) Cet étalonnage doit être effectué lorsque le débitmètre est à son emplacement permanent ou quand tout élément du circuit en amont ou en aval a été modifié d'une manière pouvant intervenir sur l'étalonnage du débitmètre. Cet étalonnage doit être effectué à

l'installation initiale du système CVS et chaque fois qu'une action correctrice ne permet pas de remédier à un échec de la vérification du débit d'échappement dilué (c'est-à-dire le contrôle au propane) du paragraphe 8.1.8.5;

c) Un débitmètre CVS peut être étalonné au moyen d'un débitmètre de référence tel qu'un débitmètre venturi subsonique, une tuyère à grand rayon, un orifice à admission lisse, un élément à flux laminaire, un ensemble de venturis à écoulement critique ou un débitmètre à ultrasons. Il convient d'utiliser un débitmètre de référence qui indique les quantités étalonnées internationalement à ±1 % près. L'indication du débitmètre de référence pour le débit sera utilisée comme valeur de référence pour l'étalonnage du débitmètre CVS;

d) On n'utilisera pas d'écran en amont ou une autre restriction qui pourrait influencer le débit en amont du débitmètre, à moins que celui-ci n'ait été étalonné avec une telle restriction;

e) La séquence d'étalonnage décrite dans le présent paragraphe 8.1.8.4 se réfère à la méthode sur base molaire. On trouvera la séquence correspondante de la méthode basée sur la masse dans l'appendice 1 de l'annexe 8.

8.1.8.4.2 Étalonnage de la pompe volumétrique

Une pompe volumétrique (PDP) doit être étalonnée pour établir une équation débit/vitesse PDP qui tienne compte des fuites aux surfaces d'étanchéité de la PDP comme une fonction de la pression à l'entrée de celle-ci. Des coefficients d'équation uniques seront déterminés pour chaque vitesse à laquelle la pompe est utilisée. Le débitmètre de pompe PDP doit être étalonné de la manière suivante:

a) Le système doit être connecté comme indiqué à la figure 8.1;

b) Les fuites entre le débitmètre d'étalonnage et la pompe PDP doivent être inférieures à 0,3 % du débit total au point du débit étalonné le plus bas, par exemple à la plus grande restriction et à la vitesse de la pompe la plus basse;

c) Pendant que la pompe fonctionne, il faut maintenir une température constante à l'entrée à ±2 % de la température d'arrivée absolue moyenne, T_{in};

d) La vitesse de la pompe est réglée sur le premier niveau de vitesse à laquelle il est prévu de faire l'étalonnage;

e) Le restricteur variable est à sa position entièrement ouverte;

f) La pompe PDP est actionnée pendant 3 min au moins pour stabiliser le système. Ensuite, la pompe étant toujours en marche, on enregistre les valeurs moyennes de 30 s au moins des données d'échantillon de chacune des quantités suivantes:

i) Le débit moyen du débitmètre de référence, $\overline{\dot{n}}_{ref}$;

ii) La température moyenne à l'entrée de la pompe, $T_{in;}$

iii) La pression statique absolue moyenne à l'entrée de la pompe, $p_{in;}$

iv) La pression statique absolue moyenne à la sortie de la pompe, p_{out};

v) La vitesse moyenne de la pompe, n_{PDP};

g) Le restricteur variable doit être progressivement fermé pour diminuer la pression absolue à l'entrée de la pompe, p_{in};

h) Les étapes des paragraphes (8.1.8.4.2) f) et g) de la présente section doivent être répétées pour permettre d'enregistrer les données à un minimum de six positions du restricteur variable qui correspondent à la gamme complète de pressions du travail possibles à l'entrée de la pompe;

i) L'étalonnage de la pompe doit se faire au moyen des données rassemblées et des équations figurant dans les annexes A.7 et A.8;

j) Les étapes des paragraphes f) à i) de la présente section doivent être répétées pour chaque vitesse à laquelle la pompe PDP sera utilisée;

k) Les équations de l'annexe A.7 (méthode molaire) ou A.8 (méthode basée sur la masse) permettront de déterminer l'équation du débit de la PDP pour les essais d'émissions;

l) L'étalonnage doit être vérifié en effectuant une vérification CVS (c'est-à-dire un contrôle au propane) comme indiqué au paragraphe 8.1.8.5;

m) La pompe ne peut pas être utilisée au-dessous de la pression d'entrée la plus basse essayée au cours de l'étalonnage.

8.1.8.4.3 Étalonnage du CFV

Un venturi-tuyère en régime critique (CFV) doit être étalonné pour vérifier son coefficient de décharge Cd à la pression différentielle statique la plus basse escomptée entre l'entrée et la sortie. Un débitmètre de CFV doit être étalonné de la manière suivante:

a) Le système doit être connecté comme indiqué dans la figure 8.1;

b) Le ventilateur est lancé en aval du CFV;

c) Pendant le fonctionnement du CFV, il faut maintenir une température constante à son entrée à ±2 % près de la température moyenne absolue à l'admission, T_{in};

d) Les fuites entre le débitmètre d'étalonnage et le venturi doivent être inférieures à 0,3 % du débit total à la restriction la plus élevée;

e) Le restricteur variable doit être mis à sa position grande ouverte. La pression en aval du CFV peut aussi être rendue variable au moyen d'une vitesse de ventilateur variable ou par l'introduction d'une fuite contrôlée. Il convient de noter que certains ventilateurs ont des restrictions lorsqu'ils ne sont pas en charge;

f) Le CFV doit fonctionner pendant 3 min au moins pour stabiliser le système. Ensuite il continue de fonctionner et il faut prendre note des valeurs moyennes obtenues pendant 30 s au moins des données échantillonnées de chacune des quantités suivantes:

i) Le débit moyen du débitmètre de référence, $\overline{\dot{n}}_{ref}$;

ii) Facultativement, le point de rosée moyen de l'air d'étalonnage, T_{dew}. Voir les annexes A.7 et A.8 en ce qui concerne les hypothèses acceptables au cours des mesures des émissions;

iii) La température moyenne à l'entrée du venturi, T_{in};

iv) La pression absolue statique moyenne à l'entrée du venturi, p_{in};

v) La pression différentielle statique moyenne entre l'entrée et la sortie du CFV, Δp_{CFV};

g) Le restricteur variable doit être progressivement fermé pour diminuer la pression absolue à l'entrée du CFV, p_{in};

h) On répétera les actions des paragraphes f) et g) pour enregistrer les données moyennes à un minimum de 10 positions du restricteur variable de manière à essayer la gamme pratique la plus complète possible de Δp_{CFV}. Il n'est pas nécessaire de retirer des éléments d'étalonnage ou des éléments CVS pour étalonner aux restrictions les plus faibles possibles;

i) Déterminer le coefficient C_d et le taux de pression le plus bas permis r comme indiqué dans les annexes A.7 et A.8;

j) On utilisera C_d pour déterminer le débit du CFV au cours d'un essai d'émissions. Ne pas utiliser le CFV en dessous de la valeur de r la plus faible permise, calculée dans les annexes A.7 et A.8;

k) L'étalonnage doit être contrôlé par une vérification du système CVS (c'est-à-dire un contrôle au propane), comme indiqué au paragraphe 8.1.8.5;

l) Si le système CVS est configuré pour faire fonctionner plus d'un CFV en même temps et en parallèle, il faut l'étalonner par un des moyens suivants:

i) Toute combinaison de CFV doit être étalonnée conformément au présent paragraphe et aux annexes A.7 et A.8. Voir ces annexes qui contiennent les instructions pour le calcul du débit;

ii) Chaque CFV doit être étalonné conformément au présent paragraphe et aux annexes A.7 et A.8. Voir ces annexes qui contiennent les instructions pour le calcul du débit.

8.1.8.4.4 Étalonnage du venturi subsonique

Le venturi subsonique (SSV) doit être étalonné pour déterminer son coefficient d'étalonnage, C_d, compte tenu de la plage des pressions d'entrée escomptées. On procède de la manière suivante:

a) Connecter le système comme indiqué à la figure 8.1;

b) Le ventilateur doit être mis en marche en aval du SSV;

c) Les fuites entre le débitmètre d'étalonnage et le SSV doivent être inférieures à 0,3 % du débit à la restriction la plus élevée;

d) Pendant que le SSV fonctionne, on doit obtenir une température constante à l'entrée du SSV à ±2 % de la température d'entrée absolue moyenne, T_{in};

e) Le restricteur variable ou le ventilateur à vitesse variable doit être mis à un débit supérieur au débit le plus important attendu au cours de l'essai. On ne peut pas extrapoler les débits au-delà des valeurs étalonnées et dès lors il est recommandé de s'assurer que le nombre de Reynolds, *Re*, au col du SSV au débit étalonné le plus grand est supérieur au *Re* maximal attendu au cours de l'essai;

f) Le SSV doit fonctionner pendant 3 min au moins pour stabiliser le système. Ensuite, pendant qu'il continue de fonctionner, on retient la moyenne des 30 s des données échantillonnées de chacune des quantités suivantes:

i) Le débit moyen du débitmètre de référence, $\overline{q}_{V\mathrm{ref}}$;

ii) Facultativement, le point de rosée moyen de l'air d'étalonnage, T_{dew}. Voir les annexes A.7 et A.8 en ce qui concerne les hypothèses acceptables;

iii) La température moyenne à l'entrée du venturi, T_{in};

iv) La pression absolue statique moyenne à l'entrée du venturi, p_{in};

v) La pression différentielle statique entre l'entrée du venturi et le col du venturi, Δp_{SSV};

g) Fermer progressivement le restricteur variable ou réduire la vitesse du ventilateur pour diminuer le débit;

h) Répéter les étapes des points f) et g) du présent paragraphe pour enregistrer les données correspondant à un minimum de 10 débits différents;

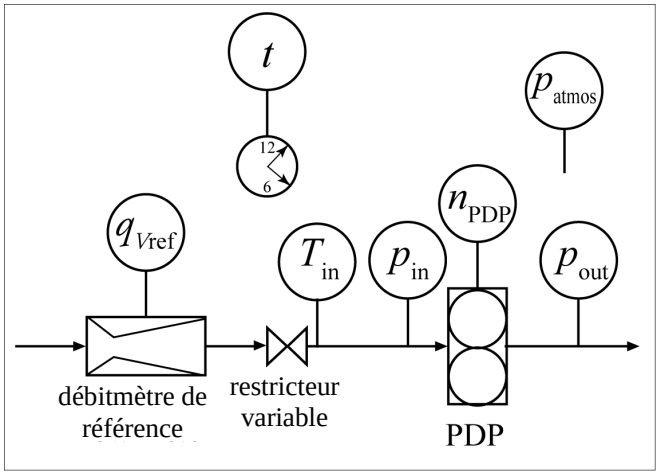
i) Déterminer une forme fonctionnelle de C_{d} en fonction de *Re* au moyen des données rassemblées et des équations des annexes A.7 et A.8;

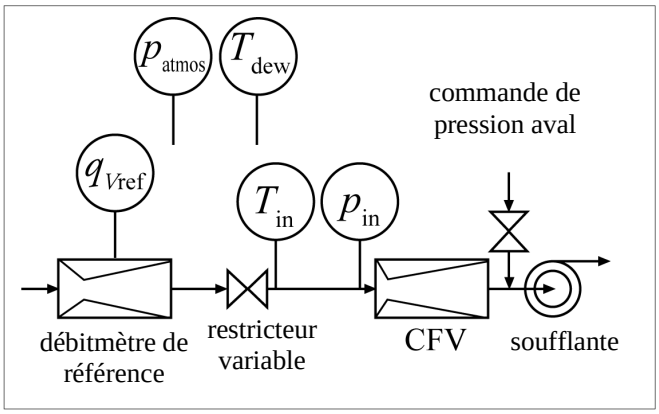
j) L'étalonnage doit être vérifié en effectuant la vérification du système CVS (c'est-à-dire le contrôle au propane) tel que décrit dans le paragraphe 8.1.8.5 avec le nouveau C_{d} en fonction de *Re*;

k) Le SSV doit être uniquement utilisé entre les débits étalonnés minimum et maximum;

l) On utilisera les équations de l'annexe A.7 (méthode molaire) ou de l'annexe A.8 (méthode de la masse) pour déterminer le débit SSV pendant l'essai.

8.1.8.4.5 Étalonnage aux ultrasons (réservé)





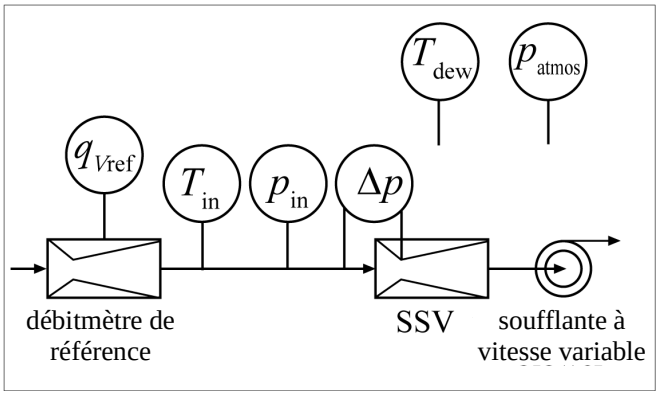


Figure 8.1
Schéma pour l'étalonnage CVS du débit d'échappement dilué

8.1.8.5 Vérification du système CVS et prélèvement par lots (contrôle au propane)

8.1.8.5.1 Introduction

a) Un contrôle au propane sert de vérification du système CVS pour déterminer s'il y a des divergences entre les valeurs mesurées du débit d'échappement dilué. Un contrôle au propane sert également de vérification du prélèvement par lots pour déterminer s'il y a une divergence dans un système de prélèvement par lots qui extrait un échantillon d'un CVS, comme indiqué au paragraphe f). Moyennant une bonne évaluation technique et des méthodes sûres, on peut faire cette vérification avec un gaz autre que le propane, le CO_2 ou le CO, par exemple. L'échec d'un contrôle au propane peut révéler un ou plusieurs problèmes nécessitant une intervention, à savoir:

i) Étalonnage incorrect de l'analyseur. L'analyseur FID doit être réétalonné, réparé ou remplacé;

ii) Des recherches de fuites sont effectuées sur le tunnel CVS, les connexions, les raccords et le système de prélèvement HC conformément au paragraphe 8.1.8.7;

iii) La recherche d'un mauvais mélange doit s'effectuer conformément au paragraphe 9.2.2;

iv) La vérification de la contamination par les hydrocarbures dans un système de prélèvement doit être effectuée comme indiqué au paragraphe 7.3.1.3;

v) Changement de l'étalonnage CVS. On effectuera un étalonnage *in situ* du débitmètre CVS comme indiqué au paragraphe 8.1.8.4;

vi) D'autres problèmes avec le CVS, le matériel de vérification des échantillons ou le logiciel. Ils doivent être examinés pour en rechercher les défauts éventuels;

b) Un contrôle au propane fait appel soit à une masse de référence, soit à un débit de référence de C_3H_8 en tant que gaz témoin dans un CVS. Si l'on utilise le débit de référence, il faut prendre en compte tout comportement non idéal du gaz de C_3H_8 dans le débitmètre de référence. Voir les annexes A.7 (méthode molaire) ou A.8 (méthode de la masse), où on trouvera la description de l'étalonnage et de l'utilisation de certains débitmètres. On ne fera pas d'hypothèse sur le gaz idéal dans le paragraphe 8.1.8.5 et les annexes A.7 ou A.8. Le contrôle au propane compare la masse calculée de C_3H_8 injecté au moyen de mesures du HC et du débit CVS avec la valeur de référence.

8.1.8.5.2 Méthode pour introduire une quantité connue de propane dans le système CVS

La justesse totale du système de prélèvement CVS et du système analytique doit être déterminée en introduisant une masse connue de gaz polluant dans le système pendant qu'il fonctionne de manière normale. Le polluant est analysé et la masse calculée conformément aux annexes A.7 et A.8. On utilise au choix l'une des deux techniques suivantes:

a) Le dosage moyen de la technique gravimétrique doit se faire de la manière suivante: la masse d'une petite bouteille à gaz remplie de monoxyde de carbone ou de propane doit être déterminée avec une

précision de ±0,01 g. Pendant 5 à 10 min, on utilise le système CVS comme dans un essai de gaz d'échappement normal pendant que du monoxyde de carbone ou du propane est injecté dans le système. La quantité de gaz pur envoyée doit être déterminée au moyen d'un pesage différentiel. Un échantillon de gaz doit être analysé avec les équipements habituels (sacs de prélèvement ou méthode d'intégration) et la masse de gaz calculée;

b) La mesure au moyen d'un orifice d'écoulement critique doit se faire de la manière suivante: une quantité connue de gaz pur (monoxyde de carbone ou propane) est introduite dans le système CVS via un orifice critique étalonné. Si la pression à l'admission est suffisamment grande le débit, qui est ajusté au moyen d'un orifice à débit critique, est indépendant de la pression de sortie à l'orifice (débit critique). Le système CVS doit être utilisé comme dans un essai d'émissions d'échappement normal pendant 5 à 10 min. On analyse un échantillon de gaz avec les équipements usuels (sacs de prélèvement ou méthode d'intégration) et la masse de gaz calculée.

8.1.8.5.3 Préparation du contrôle au propane

Le contrôle au propane doit être préparé de la manière suivante:

a) Si l'on utilise une masse de référence de C_3H_8 à la place du débit de référence, on devra disposer d'une bouteille à gaz remplie de C_3H_8. La masse de C_3H_8 dans la bouteille de référence doit être déterminée à ±0,5 % près de la quantité de C_3H_8 que l'on s'attend à utiliser;

b) Sélectionner les débits appropriés pour le CVS et le C_3H_8;

c) Un orifice d'injection de C_3H_8 doit être choisi dans le CVS. On choisit l'orifice le plus près possible de l'emplacement où les gaz d'échappement sont introduits dans le CVS. La bouteille de C_3H_8 doit être raccordée au système d'injection;

d) Faire fonctionner le CVS jusqu'à ce qu'il se stabilise;

e) Tout échangeur de chaleur du système de prélèvement doit être préchauffé ou prérefroidi;

f) Les éléments chauffés ou refroidis tels que les prises d'échantillon, les filtres, les refroidisseurs et les pompes doivent être stabilisés à la température de fonctionnement;

g) Si nécessaire, on effectue une vérification des fuites latérales du système de prélèvement HC comme indiqué au paragraphe 8.1.8.7.

8.1.8.5.4 Préparation du système de prélèvement HC pour le contrôle au propane

La vérification décrite du côté dépression du système de prélèvement HC doit être effectuée conformément à la disposition g) ci-après. Si l'on utilise cette procédure, on peut recourir à la marche à suivre exposée dans le paragraphe 7.3.1.3. Si le contrôle de la fuite du côté dépression n'est pas effectué conformément au point g), on mettra le système de prélèvement HC à zéro, réglé et vérifié au niveau de la contamination, et ce de la manière suivante:

a) On utilise la gamme de l'analyseur HC la plus faible pouvant mesurer la concentration attendue de C_3H_8 pour les débits CVS et C_3H_8;

b) L'analyseur HC doit être mis à zéro au moyen d'un gaz de zéro introduit dans l'entrée de l'analyseur;

c) L'analyseur HC doit être réglé au moyen du gaz de réglage C_3H_8 introduit dans l'orifice de l'analyseur;

d) De l'air de mise à zéro doit être introduit dans la sonde HC dans un raccord entre la sonde HC et la conduite de transfert;

e) La concentration de HC stable du système de prélèvement HC doit être mesurée pendant un surdébit d'air de mise à zéro. Pour une mesure de HC par lots, il faut remplir le conteneur de lot (par exemple une cartouche) et mesurer la concentration du surdébit de HC;

f) Si la concentration de HC de surdébit dépasse 2 µmol/mol, il ne faut pas poursuivre la procédure tant que la contamination n'est pas éliminée. On détermine la source de contamination et on prend les mesures nécessaires, par exemple le nettoyage du système ou le remplacement des parties contaminées;

g) Lorsque la concentration de HC de surdébit ne dépasse pas 2 µmol/mol, il faut inscrire cette valeur en tant que x_{HCinit} et l'utiliser pour corriger la contamination par les HC, comme indiqué à l'annexe A.7 (méthode molaire) ou l'annexe A.8 (méthode basée sur la masse).

8.1.8.5.5 Exécution du contrôle au propane

a) Le contrôle au propane doit être effectué de la manière suivante:

i) Pour le prélèvement des HC par lots, on raccorde le moteur au support de stockage propre, des sacs sous vide par exemple;

ii) Les instruments de mesure des HC doivent être utilisés conformément aux instructions du fabricant;

iii) Si l'on prévoit des corrections des concentrations ambiantes de l'air de dilution du HC, il convient de mesurer le niveau des HC ambiants dans l'air de dilution et d'en prendre note;

iv) Tout dispositif d'intégration doit être mis à zéro;

v) Le prélèvement peut commencer et il faut mettre en marche tout intégrateur de débit;

vi) Le C_3H_8 doit être libéré à la vitesse sélectionnée. Si l'on utilise un débit de référence de C_3H_8, il convient de lancer l'intégration de ce débit;

vii) On continuera de libérer le C_3H_8 jusqu'à ce qu'il y en ait suffisamment pour assurer une quantification précise du C_3H_8 de référence et du C_3H_8 mesuré;

viii) Fermer la bouteille de C_3H_8 et poursuivre le prélèvement de manière à tenir compte des retards dus au transport de l'échantillon et de la réponse de l'analyseur;

ix) Arrêter le prélèvement et les intégrateurs;

b) Au cas où l'on utilise pour la mesure un orifice à écoulement critique, on peut recourir à la méthode suivante pour le contrôle du propane à la place de la méthode du paragraphe 8.1.8.5.5 a):

i) Pour le prélèvement HC par lots, on raccorde le moteur au support de stockage propre tel que des sacs sous vide;

ii) Les instruments de mesure de HC doivent être utilisés conformément aux instructions du fabricant;

iii) Si l'on prévoit des corrections des concentrations ambiantes d'air de dilution du HC, il convient de mesurer le niveau des HC ambiants dans l'air de dilution et d'en prendre note;

iv) Tout dispositif d'intégration doit être mis à zéro;

v) Libérer le contenu de la bouteille de référence de C_3H_8 au débit sélectionné;

vi) Commencer le prélèvement et lancer tout intégrateur de débit après la confirmation que la concentration de HC est stable;

vii) Continuer à libérer le contenu de la bouteille jusqu'à ce qu'il y ait suffisamment de C_3H_8 pour garantir une quantification précise du C_3H_8 de référence et du C_3H_8 mesuré;

viii) Mettre tous les intégrateurs à l'arrêt;

ix) Fermer la bouteille de référence de C_3H_8.

8.1.8.5.6 Évaluation du contrôle au propane

La procédure faisant suite à l'essai doit être exécutée de la manière suivante:

a) Si l'on a utilisé le prélèvement par lots, ces échantillons doivent être analysés dès que possible;

b) Après les analyses du HC, il faut corriger pour la contamination et les concentrations ambiantes en conséquence;

c) On calculera la masse totale C_3H_8 sur la base du CVS. Les données HC doivent être calculées comme indiqué dans les annexes A.7 et A.8 au moyen de la masse molaire de C_3H_8, M_{C3H8}, à la place de la masse molaire effective de HC, M_{HC};

d) Si l'on utilise une masse de référence (technique gravimétrique), il faut déterminer la masse de propane du cylindre à ±0,5 % près et déterminer la masse de référence C_3H_8 en soustrayant la masse de propane de la bouteille vide de la masse du propane de la bouteille pleine. Si l'on utilise un orifice d'écoulement critique, il faut déterminer la masse de propane en multipliant le débit par la durée de l'essai;

e) Déduire la masse C_3H_8 de référence de la masse calculée. Si la différence est inférieure de ±3,0 % de la masse de référence, le CVS satisfait à cette vérification.

8.1.8.5.7 Vérification du système de dilution secondaire des particules

S'il faut recommencer le contrôle au propane pour vérifier le système de dilution secondaire des MP, on utilise la procédure suivante a) à d) pour faire cette vérification:

a) Le système de prélèvement de HC doit être configuré pour extraire un échantillon près de l'emplacement du support de stockage de l'échantillonneur par lots (tel qu'un filtre à particules). Si la pression

absolue à cet emplacement est trop basse pour extraire un échantillon de HC, celui-ci peut être prélevé à la sortie de la pompe de l'échantillonneur par lots. Il faut prendre garde dans ce cas étant donné qu'une fuite à la pompe en aval du circuit du débitmètre de l'échantillonneur, qui normalement est acceptable, entraînerait une erreur dans le contrôle au propane;

b) Le contrôle au propane doit être fait à plusieurs reprises comme indiqué dans le présent paragraphe mais les HC doivent être prélevés avec l'échantillonneur par lots;

c) La masse de C_3H_8 doit être calculée en tenant compte de toute dilution secondaire de l'échantillonneur par lots;

d) La masse de référence C_3H_8 doit être déduite de la masse calculée. Si cette différence se situe à ±5 % de la masse de référence, l'échantillonneur par lots satisfait à cette vérification. Dans la négative, il convient de prendre les dispositions nécessaires comme indiqué dans le paragraphe a) ci-dessus.

8.1.8.5.8 Vérification du sécheur d'échantillon

Si l'on utilise un capteur d'humidité pour la surveillance continue du point de rosée à la sortie du sécheur d'échantillon, ce contrôle ne s'applique pas tant que l'on ne s'assure pas que l'humidité à la sortie du sécheur reste en dessous des valeurs minimales utilisées pour les contrôles d'extinction, d'interférence et de compensation:

a) Si l'on utilise un sécheur d'échantillon, comme cela est permis au titre du paragraphe 9.3.2.3.1.2, pour extraire l'eau de l'échantillon de gaz, les performances doivent être vérifiées à l'installation, après un grand entretien au niveau du refroidisseur. Pour les sécheurs à membrane osmotique, les performances doivent être vérifiées à l'installation, après un grand entretien et dans les 35 jours suivant les essais;

b) L'eau peut compromettre la capacité d'un analyseur à mesurer correctement la partie du gaz d'échappement présentant de l'intérêt et pour cette raison elle est extraite avant que l'échantillon n'atteigne l'analyseur. À titre d'exemple, l'eau peut interférer négativement avec la réponse aux NO_x d'un CLD par extinction collisionnelle et peut interférer positivement avec un analyseur NDIR en produisant une réponse similaire à du CO;

c) Le sécheur d'échantillon doit répondre aux spécifications déterminées au paragraphe 9.3.2.3.1 pour le point de rosée, T_{dew}, et la pression absolue, p_{total}, en aval du sécheur à membrane osmotique ou du refroidisseur;

d) On aura recours à la procédure de vérification du sécheur d'échantillon pour déterminer les performances de celui-ci, ou bien une bonne évaluation technique permettra de mettre au point un protocole différent:

i) On utilise des tubes en PTFE ou en acier inoxydable pour faire les connexions nécessaires;

ii) Le N_2 ou l'air purifié doit être humidifié par barbotage à travers de l'eau distillée dans un récipient étanche qui humidifie les gaz jusqu'au point de rosée le plus élevé qui a été estimé pendant le prélèvement;

iii) Le gaz humidifié doit être introduit en amont du sécheur d'échantillon;

iv) La température du gaz humidifié en aval du récipient doit être maintenue à 5 ºC au moins au-dessus du point de rosée;

v) Le point de rosée du gaz humidifié, T_{dew}, et la pression, p_{total}, doivent être mesurés le plus près possible de l'entrée du sécheur d'échantillon pour s'assurer que le point de rosée est le plus élevé de ceux qui ont été estimés pendant le prélèvement d'émissions;

vi) Le point de rosée du gaz humidifié, T_{dew}, et la pression, p_{total}, doivent être mesurés le plus près possible de la sortie du sécheur;

vii) Le sécheur satisfait à la vérification si le résultat du paragraphe d) 6) est inférieur au point de rosée correspondant aux spécifications du sécheur telles qu'elles ont été déterminées au paragraphe 9.3.2.3.1 majoré de 2 °C ou si la fraction molaire de d) 6) est inférieure aux spécifications du sécheur d'échantillon correspondant majorées de 0,002 mol/mol ou 0,2 vol. %. À noter que pour cette vérification, le point de rosée d'un échantillon est exprimé en température absolue (Kelvin).

8.1.8.6 Étalonnage périodique du débit partiel de MP et systèmes de mesure des gaz d'échappement bruts associés

8.1.8.6.1 Spécifications pour la mesure du débit différentiel

Pour que les systèmes de dilution du flux partiel puissent extraire un échantillon de gaz d'échappement bruts proportionnel, la précision du débit d'échantillon q_{mp} est particulièrement importante si elle n'est pas mesurée directement mais déterminée par des mesures de débit différentiel:

$$q_{mp} = q_{mdew} - q_{mdw} \qquad (8\text{-}1)$$

Où:

q_{mp} = débit d'échantillon de gaz d'échappement dans le système de dilution partiel

q_{mdw} = débit massique d'air de dilution (à l'état humide)

q_{mdew} = débit massique de gaz d'échappement dilué à l'état humide.

Dans ce cas, l'erreur maximum de la différence doit être telle que la précision de q_{mp} soit de moins de 5 % lorsque le taux de dilution est inférieur à 15. Elle peut être calculée au moyen de la valeur quadratique moyenne des erreurs de chaque instrument.

On peut atteindre une précision acceptable de q_{mp} par une des méthodes suivantes:

a) Les précisions absolues de q_{mdew} et q_{mdw} sont de ±0,2 %, ce qui garantit une précision de q_{mp} de ≤5 % à un taux de dilution de 15. Toutefois, des erreurs plus grandes surviendront à des taux de dilution plus élevés;

b) L'étalonnage de q_{mdw} relatif à q_{mdew} est effectué de manière telle qu'on obtient les mêmes précisions pour q_{mp} qu'au point a). Pour les détails, voir le paragraphe 8.1.8.6.2;

c) La précision de q_{mp} est déterminée indirectement par la précision du taux de dilution tel que déterminé par un gaz témoin tel que le CO_2. Des précisions du même ordre que celles utilisées dans la méthode a) pour q_{mp} sont nécessaires;

d) La précision absolue de q_{mdew} et q_{mdw} est de ±2 % de l'échelle totale, l'erreur maximale de la différence entre q_{mdew} et q_{mdw} est inférieure à 0,2 % et les valeurs de linéarité de ±0,2 % de la valeur q_{mdew} la plus élevée observée pendant l'essai.

8.1.8.6.2 Étalonnage de la mesure du débit différentiel

Le système de dilution du flux partiel pour extraire un échantillon de gaz d'échappement proportionnel doit être périodiquement étalonné au moyen d'un débitmètre étalonné selon les normes internationales et/ou nationales. Le débitmètre ou les instruments de mesure du débit doivent être étalonnés suivant une des procédures ci-après de telle manière que le débit de la sonde q_{mp} dans le tunnel satisfasse entièrement aux prescriptions de précision du paragraphe 8.1.8.6.1:

a) Le débitmètre pour q_{mdw} doit être connecté en série au débitmètre pour q_{mdew}, la différence entre les deux débitmètres doit être étalonnée pour au moins 5 points de réglage avec des valeurs de débit également espacées entre la valeur q_{mdw} la plus faible utilisée durant l'essai et la valeur de q_{mdew} utilisée durant l'essai. Le tunnel de dilution peut être contourné;

b) Un dispositif de débit étalonné peut être connecté en série au débitmètre pour q_{mdew} et la précision doit être vérifiée pour la valeur utilisée pendant l'essai. Le dispositif de débit étalonné doit être connecté en série au débitmètre pour q_{mdw}, et la précision doit être vérifiée pour au moins 5 réglages correspondant aux taux de dilution entre 3 et 15 relativement à q_{mdew} au cours de l'essai;

c) La ligne de transfert TL (voir la figure 9.2) doit être déconnectée de l'échappement et un dispositif de mesure du débit étalonné disposant d'une plage de fonctionnement utilisée pour mesurer q_{mp} doit être connecté à la ligne de transfert. q_{mdew} doit être mis à la valeur utilisée durant l'essai et q_{mdw} doit être séquentiellement mis aux 5 valeurs correspondant à des taux de dilution compris entre 3 et 15. On peut aussi utiliser un débit d'étalonnage spécial dans lequel le tunnel est contourné, mais le total de l'air et de l'air de dilution traverse les compteurs correspondants comme dans l'essai de base;

d) Introduire un gaz témoin dans le tuyau de conduite TL de transfert des gaz d'échappement. Ce gaz témoin peut être une composante du gaz d'échappement telle que le CO_2 ou les NO_x. Après dilution dans le tunnel, il faut mesurer le gaz témoin. Cela doit se faire pour 5 taux de dilution compris entre 3 et 15. La précision du débit de l'échantillon doit être déterminée à partir du taux de dilution r_d:

$$q_{mp} = q_{mdew} / r_d \qquad (8\text{-}2)$$

La justesse des analyseurs de gaz doit être prise en compte pour garantir la précision de q_{mp}.

8.1.8.6.3 Conditions particulières pour la mesure du débit différentiel

Un contrôle du flux de carbone sur les gaz d'échappement réels est fortement recommandé pour détecter les problèmes de mesure et de commande et de vérifier le fonctionnement correct du système à flux partiel. Le contrôle du flux de carbone doit être effectué au moins à chaque nouvelle installation de moteur, ou lorsqu'un changement significatif a été apporté à la configuration de la cellule d'essai.

Le moteur devra fonctionner à la charge et au régime de couple maximal ou tout autre mode permanent produisant 5 % ou davantage de CO_2. Le système de prélèvement du flux partiel doit fonctionner avec un facteur de dilution d'environ 15 à 1.

Si l'on effectue un contrôle du flux de carbone, il convient d'appliquer la procédure de l'annexe A.4. Tous les taux du flux de carbone doivent être les mêmes à 5 % près.

8.1.8.6.3.1 Contrôle préliminaire

Un essai préliminaire est effectué dans les 2 heures précédant l'essai, comme suit.

On mesure la justesse des débitmètres par les mêmes méthodes que celles utilisées pour l'étalonnage (voir le paragraphe 8.1.8.6.2) pour au moins deux points, y compris les valeurs de débit de $q_{m\mathrm{dw}}$ qui correspondent aux taux de dilution compris entre 5 et 15 pour la valeur $q_{m\mathrm{dew}}$ utilisée pendant l'essai.

Si l'on peut démontrer par des enregistrements de la procédure d'étalonnage au titre du paragraphe 8.1.8.6.2 que l'étalonnage du débitmètre est stable sur une période de temps plus longue, on peut omettre ce contrôle préliminaire.

8.1.8.6.3.2 Détermination du temps de transformation

Les réglages du système pour l'évaluation de la durée de transformation doivent être les mêmes que ceux utilisés lors des mesures de l'essai de fonctionnement. La durée de transformation, définie à la figure 3.1, doit être déterminée par la méthode suivante:

Un débitmètre de référence indépendant ayant une plage de mesure appropriée pour le débit d'essai doit être mis en série et étroitement couplé à la sonde. Ce débitmètre doit avoir une durée de transformation de moins de 100 ms pour la valeur de la variation de débit utilisée lors de la mesure du temps de réponse, avec une restriction du débit suffisamment faible pour ne pas influencer le comportement dynamique du système de dilution du flux partiel, évaluation à faire en suivant les règles du bon sens technique. Une variation en échelon doit être introduite dans le débit de gaz d'échappement (ou débit d'air si on calcule le débit de gaz d'échappement) qui entre dans le système de dilution partiel, depuis un débit faible jusqu'à un débit d'au moins 90 % de l'amplitude totale. Le signal déclencheur pour la variation en échelon doit être le même que celui utilisé pour lancer la commande prédictive dans les essais réels. Le signal en échelon de débit de gaz d'échappement et la réponse du débitmètre doivent être enregistrés à un taux d'échantillon 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 entre le lancement du stimulus de l'échelon et le point de 50 % de la réponse du débitmètre. De manière analogue, les durées de transformation du signal $q_{m\mathrm{p}}$ (c'est-à-dire le

débit d'échantillon de gaz d'échappement dans le système de dilution du flux partiel) et du signal $q_{mew,i}$ (c'est-à-dire le débit massique de gaz d'échappement à l'état humide) fourni par le débitmètre d'échappement doivent être déterminées. Ces signaux sont utilisés dans les contrôles de régression effectués après chaque essai (voir le paragraphe 8.2.1.2).

Le calcul doit être répété pour au moins 5 signaux de montée et de descente, et on prendra la moyenne des résultats. Le temps de transformation interne (<100 ms) du débitmètre de référence doit être déduit de cette valeur. Au cas où le système, conformément au paragraphe 8.2.1.2, doit suivre la méthode prédictive, c'est la valeur prédictive du système de dilution du flux partiel qu'il convient d'appliquer conformément au paragraphe 8.2.1.2.

8.1.8.7 Vérification des fuites du côté dépression

8.1.8.7.1 Étendue et fréquence

Dès que l'installation du système de prélèvement initial est terminée, après une maintenance majeure telle que les changements de préfiltre, et 8 heures avant chaque séquence de cycle de travail, on vérifie qu'il n'y a pas de fuites significatives du côté dépression lorsque l'on utilise un des essais de fuite décrits dans la présente section. Cette vérification ne s'applique pas à une quelconque partie du flux total d'un système de dilution CVS.

8.1.8.7.2 Principes de mesure

On peut détecter une fuite en observant un faible débit alors que le débit doit être nul, en mesurant la dilution de concentration connue de gaz de calibrage lorsqu'il traverse le côté dépression du système de prélèvement ou en mesurant l'augmentation des pressions d'un système évacué.

8.1.8.7.3 Essai d'étanchéité à faible débit

Un système de prélèvement doit être vérifié de la manière suivante en ce qui concerne les fuites à faible débit:

a) L'extrémité sonde du système doit être obturée de l'une des manières suivantes:

i) Au moyen d'un couvercle ou d'un bouchon à l'extrémité de la sonde à échantillon;

ii) En déconnectant la ligne de transfert au niveau de la sonde; le conduit de transfert doit également être obturé par un couvercle ou un bouchon;

iii) En fermant la vanne hermétique en ligne entre la sonde et le conduit de transfert;

b) Toutes les pompes à vide doivent être mises en marche. Après la stabilisation, il convient de s'assurer que le débit qui traverse le côté dépression du système de prélèvement est inférieur à 0,5 % du débit du système en utilisation normale. On peut estimer les débits de l'analyseur et de la dérivation par une approximation du débit normal du système en utilisation.

8.1.8.7.4 Essai d'étanchéité lors de la dilution du gaz de calibrage

On peut utiliser pour cet essai n'importe quel analyseur de gaz. Si l'on utilise un FID, toute contamination aux hydrocarbures dans le système de prélèvement doit être corrigée conformément aux annexes A.7 et A.8 sur la

détermination des HC et des HCNM. On évitera des résultats induisant en erreur en utilisant uniquement des analyseurs qui ont une répétabilité de 0,5 % ou davantage à la concentration du gaz de calibrage utilisé pour cet essai. Le contrôle d'étanchéité du côté dépression doit être effectué de la manière suivante:

a) On prépare un analyseur de gaz comme on le ferait pour un essai d'émissions;

b) Du gaz de calibrage doit être envoyé dans l'ouverture de l'analyseur et on vérifie que la concentration de ce gaz répond aux attentes en matière de précision de mesure et de répétabilité;

c) Le gaz de réglage en excès doit être acheminé vers l'un des emplacements suivants du système de prélèvement:

i) L'extrémité de la sonde d'échantillon;

ii) La ligne de transfert doit être déconnectée à la connexion de la sonde et le gaz de réglage doit déboucher à l'extrémité ouverte de la ligne de transfert;

iii) Une vanne à trois voies doit être installée en ligne entre la sonde et la ligne de transfert;

d) On s'assurera que la concentration de gaz de réglage mesuré est inférieure à ±0,5 % de la concentration de gaz de réglage. Une valeur mesurée inférieure aux attentes signifie qu'il y a fuite, mais une valeur plus élevée peut être une indication d'un problème avec le gaz de réglage ou l'analyseur proprement dit. Une valeur mesurée supérieure à celle escomptée n'est pas l'indication d'une fuite.

8.1.8.7.5 Essai de décroissance du vide

Pour effectuer cet essai on applique du vide au volume du côté dépression du système de prélèvement pour ensuite observer le taux de fuite du système comme une décroissance de la dépression appliquée. Pour cet essai, il faut connaître le volume du côté dépression du système de prélèvement à ±10 % de son volume. On utilisera pour cet essai des instruments de mesure qui répondent aux spécifications des paragraphes 8.1 et 9.4.

Un essai de diminution de la dépression doit être effectué de la manière suivante:

a) L'extrémité sonde du système doit être obturée le plus près possible de l'ouverture de la sonde par l'un des moyens suivants:

i) L'extrémité de la sonde à échantillon doit être obturée d'un couvercle ou munie d'un bouchon;

ii) La ligne de transfert doit être déconnectée au niveau de la sonde et le conduit de transfert doit également être obturé par un couvercle ou un bouchon;

iii) Une vanne à trois voies doit être installée en ligne entre la sonde et la ligne de transfert;

b) Toutes les pompes à dépression doivent être actionnées. On obtient une dépression qui est représentative des conditions de fonctionnement normales. Dans le cas de sacs d'échantillon, il est

recommandé de répéter à deux reprises la procédure de prélèvement pour réduire autant que possible les volumes emprisonnés;

c) Les pompes de prélèvement doivent être mises à l'arrêt et le système doit être obturé. Il faut d'abord mesurer et prendre note de la pression absolue du gaz emprisonné et facultativement la température absolue du système. On laisse suffisamment de temps pour permettre aux régimes transitoires de se dérouler et pour qu'une fuite de 0,5 % puisse entraîner une modification de pression d'au moins 10 fois la résolution du transducteur de pression. La pression et facultativement la température doivent être notées une fois de plus;

d) Il faut calculer le débit de fuite basé sur une valeur hypothétique de zéro pour les volumes en sac pompés et basés sur des valeurs connues pour le volume du système de prélèvement, les pressions initiales et finales, les températures facultatives, ainsi que le temps écoulé. Il faut vérifier que le débit de fuite de la décroissance du vide est inférieur à 0,5 % du débit normal d'utilisation du système, et ce de la manière suivante:

$$q_{V\,\mathrm{leak}} = \frac{V_{\mathrm{vac}}}{R} \frac{\left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1}\right)}{\left(t_2 - t_1\right)} \qquad (8\text{-}3)$$

Où:

$q_{V\mathrm{leak}}$ = débit de fuite de la décroissance du vide [mol/s]

V_{vac} = volume géométrique du côté dépression du système de prélèvement [m^3]

R = constante de gaz molaire [J/(mol·K)]

p_2 = pression absolue côté dépression à l'instant t_2 [Pa]

T_2 = température absolue côté dépression à l'instant t_2 [K]

p_1 = pression absolue côté dépression à l'instant t_1 [Pa]

T_1 = température absolue côté dépression à l'instant t_1 [K]

t_2 = instant auquel se termine l'essai de vérification des fuites produisant la ou les décroissances

t_1 = instant de départ des essais de vérification des fuites de vide [s].

8.1.9 Mesure du CO et du CO_2

8.1.9.1 Vérification de l'interférence par H_2O pour les analyseurs NDIR de CO_2

8.1.9.1.1 Étendue et fréquence

Si on mesure le CO_2 au moyen d'un analyseur NDIR, il convient de vérifier l'importance de l'interférence par H_2O qui doit être mesurée après l'installation initiale de l'analyseur et après un grand entretien.

8.1.9.1.2 Principes de mesure

Le H_2O peut perturber la réponse d'un analyseur NDIR au CO_2. Si l'analyseur NDIR a recours à des algorithmes de compensation qui utilisent des mesures d'autres gaz pour déterminer cette vérification de l'interférence,

il faut faire simultanément ces mesures pour soumettre aux essais les algorithmes de compensation pendant la vérification de l'interférence avec l'analyseur.

8.1.9.1.3 Prescriptions du système

Un analyseur NDIR de CO_2 doit avoir une interférence par H_2O qui est inférieure à (0,0 ± 0,4) mmol/mol (de la concentration de CO_2 moyenne attendue).

8.1.9.1.4 Marche à suivre

La vérification de l'interférence doit être effectuée de la manière suivante:

a) L'analyseur NDIR de CO_2 doit être lancé, utilisé, remis à zéro et subir un réglage de sensibilité comme il doit l'être avant un essai d'émissions;

b) Un gaz d'essai humidifié doit être créé par barbotage conformément aux indications du paragraphe 9.5.1 à travers de l'eau distillée dans un récipient étanche. Si l'échantillon n'est pas passé par un sécheur, il faut contrôler la température du récipient afin de produire un niveau de H_2O qui soit aussi élevé que le maximum attendu pendant l'essai. Si l'échantillon traverse un sécheur pendant les essais, il faut contrôler la température du récipient pour produire un niveau de H_2O qui soit au moins aussi élevé que celui déterminé au paragraphe 9.3.2.3.1;

c) La température du gaz d'essai humidifié doit être maintenue à 5 °C au moins au dessus du point de rosée en aval de ce récipient;

d) Le gaz d'essai humidifié doit être introduit en aval de tout sécheur d'échantillon au cas où un tel appareil est utilisé;

e) Il faut mesurer la fraction molaire de l'eau, x_{H2O}, du gaz d'essai humidifié aussi près que possible de l'entrée de l'analyseur. À titre d'exemple, on mesure le point de rosée, T_{dew}, et la pression absolue p_{total}, pour calculer x_{H2O};

f) On fera appel au bon sens technique pour prévenir la condensation dans les lignes de transfert, les raccords ou les distributeurs entre le point à mesurer, le x_{H2O} et l'analyseur;

g) Attendre que la réponse de l'analyseur se stabilise. La durée de stabilisation englobe le temps nécessaire pour purger la canalisation de transfert et pour tenir compte de la réponse de l'analyseur;

h) Pendant que l'analyseur détermine la concentration de l'échantillon, on enregistre 30 s de données échantillonnées, puis on calcule la moyenne arithmétique de ces données. L'analyseur satisfait à la vérification de l'interférence si cette valeur est dans les limites de (0,0 ± 0,4) mmol/mol.

8.1.9.2 Vérification de l'interférence H_2O et CO_2 pour les analyseurs NDIR de CO

8.1.9.2.1 Étendue et fréquence

Si le CO est analysé au moyen d'un analyseur NDIR, l'importance de l'interférence de H_2O et CO_2 doit être vérifiée après l'installation initiale de l'analyseur et après tout grand entretien.

8.1.9.2.2 Principes de mesure

Le H_2O et le CO_2 peuvent interférer positivement avec un analyseur NDIR en produisant une réponse similaire à celle du CO. Si l'analyseur NDIR utilise les algorithmes de compensation qui se basent sur des mesures d'autres gaz pour effectuer cette vérification de l'interférence, ces autres mesures sont effectuées simultanément afin de vérifier les algorithmes de compensation pendant la vérification de l'interférence de l'analyseur.

8.1.9.2.3 Conditions relatives à l'appareillage

Un analyseur NDIR de CO doit avoir une interférence combinée de H_2O et de CO_2 qui est dans les limites de ±2 % de la concentration moyenne escomptée de CO.

8.1.9.2.4 Procédure

La vérification de l'interférence doit être effectuée comme suit:

a) L'analyseur NDIR de CO doit être mis en marche, utilisé, remis à zéro et sa sensibilité doit être réglée à nouveau comme avant un essai d'émissions;

b) Un gaz d'essai CO_2 humidifié doit être créé par barbotage d'un gaz de réglage CO_2 dans de l'eau distillée à l'intérieur d'un récipient fermé. Si l'échantillon n'est pas passé au sécheur, la température du récipient doit être réglée pour produire un niveau de H_2O atteignant au moins le maximum attendu pendant l'essai. Si l'échantillon doit passer par un sécheur pendant l'essai, la température du récipient doit être maintenue sous contrôle pour produire un niveau de H_2O au moins aussi élevé que le niveau déterminé au paragraphe 8.1.8.5.8. Une concentration de gaz de calibrage CO_2 doit être utilisée à un niveau au moins aussi élevé que le maximum attendu pendant l'essai;

c) Le gaz d'essai CO_2 humidifié doit être introduit en aval de tout sécheur d'échantillon si un tel appareil est utilisé pendant l'essai;

d) La fraction molaire de l'eau, x_{H2O}, du gaz d'essai humidifié doit être mesurée aussi près que possible de l'entrée de l'analyseur. Il faut, par exemple, mesurer le point de rosée, T_{dew}, et la pression absolue p_{total}, pour le calcul de x_{H2O};

e) Il faudra prendre les précautions techniques nécessaires pour empêcher la condensation dans les lignes de transfert, les raccords ou les soupapes entre les analyseurs et le point où est mesuré x_{H2O};

f) On laissera le temps nécessaire pour que la réponse de l'analyseur se stabilise;

g) Pendant que l'analyseur mesure la concentration de l'échantillon, ses valeurs mesurées sont enregistrées pendant 30 s. On calcule ensuite la moyenne arithmétique de ces données;

h) L'analyseur est conforme à la vérification de l'interférence si le résultat du paragraphe g) de la présente section respecte la tolérance indiquée au paragraphe 8.1.9.2.3;

i) On peut également faire les procédures d'interférence du CO_2 et du H_2O séparément. Si les niveaux de CO_2 et de H_2O utilisés sont plus élevés que les niveaux maximum attendus pendant l'essai, chaque

valeur d'interférence observée doit être ramenée à une échelle plus petite en multipliant l'interférence observée par le taux de la valeur maximum attendue de concentration à la valeur réelle utilisée pendant cette procédure. On peut utiliser des procédures d'interférence avec des concentrations de H_2O (jusqu'à 0,025 mol/mol de contenu de H_2O) qui sont plus basses que les niveaux maximum attendus au cours de l'essai, mais l'interférence observée avec le H_2O doit être ramenée à une échelle plus grande en multipliant l'interférence constatée par le taux de la valeur de concentration de H_2O maximum attendu jusqu'à la valeur réelle utilisée au cours de cette procédure. La somme des deux valeurs d'interférence à l'échelle doit correspondre à la tolérance du paragraphe 8.1.9.2.3.

8.1.10 Mesure des hydrocarbures

8.1.10.1 Optimisation et vérification du FID

8.1.10.1.1 Étendue et fréquence

Pour tous les analyseurs de FID, il convient d'étalonner le FID lors de l'installation initiale. L'étalonnage doit être répété selon les besoins et en connaissance de cause. On suivra les étapes suivantes pour un FID qui mesure les HC:

a) Une réponse de FID aux divers hydrocarbures doit être optimisée après l'installation initiale de l'analyseur et après une maintenance majeure. La réponse du FID au propylène et au toluène doit être comprise entre 0,9 et 1,1 relativement au propane;

b) Un facteur de réponse au méthane (CH_4) du FID devra être déterminé après l'installation initiale de l'analyseur et après un grand entretien, comme indiqué au paragraphe 8.1.10.1.4 de la présente section;

c) La réponse au méthane (CH_4) doit être vérifiée dans les 185 jours précédant l'essai.

8.1.10.1.2 Étalonnage

On élabore une procédure d'étalonnage en prenant les précautions techniques nécessaires, par exemple une procédure fondée sur les instructions du fabricant de l'analyseur FID et la fréquence recommandée pour l'étalonnage du FID. Dans le cas d'un FID qui mesure les HC, il convient de faire l'étalonnage au moyen de gaz d'étalonnage C_3H_8 répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1. Dans le cas d'un FID qui mesure le CH_4, il convient de faire l'étalonnage au moyen de gaz d'étalonnage CH_4 répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1. Indépendamment de la composition du gaz d'étalonnage, il doit être étalonné sur la base d'un nombre de carbone de un (C_1).

8.1.10.1.3 Optimisation de la réponse de l'analyseur FID aux mesures de HC

Cette procédure s'applique uniquement aux analyseurs FID qui mesurent les HC.

a) On respecte les prescriptions du fabricant de l'instrument et on évalue en suivant les règles de bon sens technique le démarrage initial de l'instrument et les réglages de fonctionnement élémentaires par les débits de combustible FID et d'air de mise à zéro. Les analyseurs FID doivent être à leur température de fonctionnement normale requise.

La réponse du FID doit être optimisée pour satisfaire aux prescriptions des facteurs de réponse aux hydrocarbures et du contrôle d'interférence par l'oxygène conformément aux paragraphes 8.1.10.1 a) et 8.1.10.2 à la plage de l'analyseur la plus courante attendue pendant les essais d'émissions. On peut utiliser une plage de l'analyseur plus élevée conformément aux recommandations du fabricant de l'instrument et en prenant les précautions techniques nécessaires pour optimiser le FID de manière précise si la plage courante de fonctionnement de l'analyseur est plus faible que la plage minimale pour l'optimisation indiquée par le fabricant de l'instrument;

b) Les analyseurs FID chauffés seront dans leurs plages de température de fonctionnement requises. La réponse est optimisée pour la plage d'analyse la plus courante attendue au cours des essais portant sur les émissions. Les débits de combustible et d'air étant réglés selon les recommandations du fabricant, il convient d'introduire un gaz de calibrage dans l'analyseur;

c) Pour l'optimisation, on suivra les étapes 1) à 4) de la procédure préconisée par le fabricant de l'instrument. On peut facultativement utiliser à cet effet les procédures du document SAE n° 770141:

i) La réponse à un débit de combustible donné doit être déterminée par la différence entre la réponse du gaz de calibrage et la réponse du gaz de zéro;

ii) Le débit de combustible doit être ajusté progressivement au-dessus et au dessous des spécifications du fabricant. La réponse au gaz de calibrage et de mise à zéro à ces débits de combustible doit être notée;

iii) Ensuite on trace la différence entre la réponse aux deux gaz et le débit de combustible sera adapté au côté riche de la courbe. Il s'agit du réglage du débit initial qui peut nécessiter davantage d'optimisation selon les résultats des facteurs de réponse aux hydrocarbures et du contrôle d'interférence par l'oxygène, conformément aux paragraphes 8.1.10.1 a) et 8.1.10.2;

iv) Si les facteurs d'interférence par l'oxygène ou les hydrocarbures ne répondent pas aux spécifications ci-après, le débit d'air est ajusté progressivement au-dessus et au-dessous des spécifications du fabricant en répétant les paragraphes 8.1.10.1 a) et 8.1.10.2 pour chaque débit;

d) Les débits et/ou pressions optimum pour le combustible FID et l'air du brûleur doivent être déterminés et ensuite échantillonnés et notés comme référence pour l'avenir.

8.1.10.1.4 Établissement du facteur de réponse au CH_4 du FID de mesure des HC

Cette procédure s'applique uniquement aux analyseurs FID qui mesurent les HC. Comme les analyseurs FID répondent généralement différemment au CH_4 et au C_3H_8, il faut déterminer le facteur de réponse au CH_4 $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ de chaque analyseur FID de HCT après l'optimisation du FID. Le facteur $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ le plus récent mesuré dans le cadre de ce paragraphe doit être utilisé pour le calcul du HC décrit dans l'annexe A.7 (méthode molaire) ou à l'annexe A.8 (méthode de la masse) afin de compenser la réponse au CH_4. On détermine $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ de la manière suivante, en notant que $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$

n'est pas déterminé pour les FID qui sont étalonnés et réglés au moyen de CH_4 avec convertisseur NMC:

a) On choisit une concentration de gaz de calibrage C_3H_8 afin de régler l'analyseur avant l'essai d'émissions. Seuls les gaz de calibrage répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1 doivent être retenus et on prend note de la concentration de C_3H_8;

b) On choisit un gaz de calibrage CH_4 répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et on prend note de la concentration du CH_4;

c) L'analyseur de FID doit être utilisé conformément aux instructions du fabricant;

d) Il faut confirmer que l'analyseur FID a été étalonné au moyen de C_3H_8. L'étalonnage s'effectue sur la base d'un nombre carbone de un (C_1);

e) Le FID doit être mis à zéro au moyen d'un gaz de zéro utilisé pour les essais d'émissions;

f) Le FID doit être réglé en sensibilité au moyen du gaz de zéro C_3H_8 sélectionné;

g) Le gaz de calibrage CH_4 doit être introduit dans l'orifice pour échantillon de l'analyseur FID; il s'agit du gaz de calibrage CH_4 qui a été choisi au paragraphe b) ci-dessus;

h) Il faut stabiliser la réponse de l'analyseur. Le temps nécessaire à la stabilisation peut englober celui nécessaire pour purger l'analyseur et pour obtenir son temps de réponse;

i) Pendant que l'analyseur mesure la concentration de CH_4, il faut enregistrer 30 s de données échantillonnées pendant 30 s pour ensuite calculer la moyenne arithmétique de ces valeurs;

j) La concentration mesurée moyenne doit être divisée par la concentration de gaz notée pour le gaz d'étalonnage CH_4. Le résultat est le facteur de réponse pour CH_4, $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ de l'analyseur FID.

8.1.10.1.5 Vérification de la réponse au méthane (CH_4) du FID de mesure des HC

Cette procédure s'applique uniquement aux analyseurs FID mesurant le HC. Si la valeur de $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ du paragraphe 8.1.10.1.4 est dans les limites de ±5,0 % de sa valeur précédente la plus récemment déterminée, le FID HC satisfait à la vérification de la réponse au méthane.

a) Tout d'abord on vérifie que les pressions et/ou débits du combustible du FID, de l'air du brûleur et de l'échantillon sont dans les limites de ±0,5 % des valeurs les plus récemment observées, comme indiqué au paragraphe 8.1.10.1.3 de la présente section. S'il y a lieu d'ajuster ces débits, il convient de déterminer un nouveau $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ comme indiqué au paragraphe 8.1.10.1.4 de la présente section. Il faut s'assurer que la valeur de $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ déterminée respecte les tolérances indiquées au paragraphe 8.1.10.1.5;

b) Si $RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ ne respecte pas cette tolérance, la réponse du FID devra à nouveau être optimisée, comme indiqué au paragraphe 8.1.10.1.5;

c) Il convient de déterminer un nouveau $RF_{CH4[THC-FID]}$ conformément aux dispositions du point 8.1.10.1.4 de la présente section. Cette nouvelle valeur de $RF_{CH4[THC-FID]}$ est utilisée dans les calculs de détermination des HC comme décrit dans l'annexe A.7 (méthode molaire) ou l'annexe A.8 (méthode de la masse).

8.1.10.2 Vérification non stœchiométrique de l'interférence de O_2 dans la mesure des gaz d'échappement bruts avec le FID

8.1.10.2.1 Étendue et fréquence

On utilise les analyseurs FID pour faire des mesures sur les gaz d'échappement bruts. L'importance de l'interférence de O_2 sur la réponse du FID doit être vérifiée après l'installation initiale et après un grand entretien.

8.1.10.2.2 Principes de mesure

Des changements de la concentration de O_2 dans les gaz d'échappement bruts peuvent influencer la réponse de la mesure FID par modification de la température de la flamme du FID. Le débit de combustible du FID, l'air de combustion et le débit de prélèvement doivent être optimisés en vue de cette vérification. Les performances du détecteur FID doivent être contrôlées au moyen des algorithmes de compensation des interférences de O_2 qui se produisent pendant un essai d'émissions.

8.1.10.2.3 Conditions s'appliquant au système

Tout analyseur FID utilisé pendant les essais doit être conforme à la vérification de l'interférence de O_2 avec le FID selon la procédure de la présente section.

8.1.10.2.4 Procédure

L'interférence de O_2 avec le FID doit être déterminée selon la méthode décrite ci-après; il est à noter que l'on peut utiliser un ou plusieurs diviseurs de gaz pour produire les concentrations de référence qui sont nécessaires à l'exécution de cette vérification:

a) Sélectionner trois gaz de référence de calibrage qui répondent aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et qui contiennent une concentration de C_3H_8 utilisée pour calibrer les analyseurs avant l'essai d'émissions. Seuls les gaz de calibrage répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1 sur le gaz de référence peuvent être utilisés pour les détecteurs FID étalonnés au CH_4 avec un convertisseur de HCNM. Les trois concentrations de gaz équilibrées doivent être choisies d'une manière telle que les concentrations de O_2 et de N_2 représentent les concentrations minimum, maximum et intermédiaire attendues au cours de l'essai. La nécessité d'utiliser la concentration de O_2 moyenne doit être supprimée si le FID est étalonné au moyen d'un gaz de calibrage équilibré avec la concentration d'oxygène moyenne attendue;

b) Il faudra confirmer que l'analyseur FID est conforme aux spécifications du paragraphe 8.1.10.1;

c) L'analyseur FID doit être mis en marche et fonctionner comme il le ferait avant un essai d'émissions. Quelle que soit la source d'air du brûleur FID pendant les essais, on utilise pour cette vérification l'air de mise à zéro comme source d'air du brûleur FID;

d) L'analyseur doit être mis à zéro;

e) La sensibilité de l'analyseur est réglée au moyen d'un gaz de calibrage qui est utilisé au cours des essais d'émissions;

f) La réponse nulle est vérifiée au moyen du gaz de zéro utilisé pendant les essais d'émissions. On passe à l'étape suivante si la réponse zéro moyenne de 30 s de données échantillonnées ne dépasse pas ±0,5 % de la valeur de référence de sensibilité du paragraphe e) ci-dessus. À défaut, il convient de relancer la procédure au point d) ci-dessus;

g) La réaction de l'analyseur doit être contrôlée au moyen du gaz de calibrage ayant la concentration minimum de O_2 attendue au cours de l'essai. La réponse moyenne de 30 s de données échantillonnées stabilisées est retenue en tant que $x_{O2minHC}$;

h) La réponse zéro de l'analyseur FID doit être vérifiée au moyen du gaz de zéro qui a été utilisé pendant les essais d'émissions. L'étape suivante est effectuée si la réponse zéro moyenne de 30 s de données échantillonnées stabilisées se situe dans la limite de ±0,5 % de la valeur de référence du réglage de sensibilité utilisée au point e) ci-dessus; dans le cas contraire, la procédure est relancée à partir du point d) ci-dessus;

i) La réponse de l'analyseur doit être vérifiée au moyen du gaz de calibrage ayant la concentration moyenne de O_2 attendue au cours de l'essai. La réponse moyenne de 30 s de données échantillonnées stabilisées doit être inscrite en tant que $x_{O2avgHC}$;

j) Il faut vérifier la réaction de l'analyseur FID au moyen du gaz de zéro utilisé au cours de l'essai. L'étape suivante est exécutée si la réponse zéro moyenne de 30 s de données échantillonnées stabilisées ne dépasse pas ±0,5 % de la valeur de référence de réglage de sensibilité utilisée au paragraphe e) ci-dessus; à défaut, la procédure est relancée à partir du point d);

k) La réponse de l'analyseur doit être vérifiée au moyen du gaz de réglage ayant la concentration de O_2 maximale attendue au cours de l'essai. La réponse moyenne de 30 s de données échantillonnées stabilisées doit être notée en tant que $x_{O2maxHC}$;

l) La réponse nulle de l'analyseur FID doit être vérifiée au moyen du gaz de zéro utilisé pendant l'essai d'émissions. L'étape suivante est effectuée si la réponse moyenne nulle à 30 s de données échantillonnées stabilisées ne dépasse pas ±0,5 % de la valeur de référence de réglage utilisée au point e) ci-dessus; à défaut, il faut relancer la procédure du point d) ci-dessus;

m) On calcule la différence en pourcentage entre $x_{O2maxHC}$ et sa concentration de gaz de référence. On calcule la différence de pourcentage entre $x_{O2avgHC}$ et sa concentration de gaz de référence. On calcule la différence de pourcentage entre $x_{O2minHC}$ et sa concentration de gaz de référence. On détermine la différence de pourcentage maximale des trois paramètres. Ceux-ci correspondent à l'interférence par O_2;

n) Si l'interférence de O_2 est dans les limites de ±3 %, l'analyseur FID satisfait à la vérification de l'interférence par O_2; si tel n'est pas le cas, il faut procéder de l'une des manières suivantes pour remédier à cette insuffisance:

i) Il faudra recommencer la vérification pour déterminer si une erreur a été faite pendant la procédure;

ii) On choisit des gaz de zéro et des gaz de calibrage contenant des concentrations de O_2 plus basses pour recommencer la vérification;

iii) L'air, le combustible et les débits d'échantillon du brûleur FID doivent être ajustés. À noter que si ces débits sont ajustés sur un FID/HCT pour satisfaire à l'interférence de O_2, le RF_{CH4} doit être remis à zéro pour la vérification RF_{CH4} suivante. La vérification de l'interférence par O_2 doit être répétée après l'ajustement et ensuite sera déterminé le RF_{CH4};

iv) Le FID doit être réparé ou remplacé et la vérification de l'interférence par O_2 doit être répétée.

8.1.10.3 Fractions de pénétration du convertisseur de HCNM

8.1.10.3.1 Étendue et fréquence

Si l'on utilise un analyseur FID et un convertisseur NMC pour mesurer le méthane (CH_4), il faut déterminer les efficacités de conversion du convertisseur pour le méthane E_{CH4}, et pour l'éthane, E_{C2H6}. Comme indiqué dans ce paragraphe, ces efficacités de conversion peuvent être déterminées comme une combinaison d'efficacités de conversion NMC et de facteurs de réponse de l'analyseur FID selon la configuration particulière du NMC et du FID.

Cette vérification doit être effectuée après l'installation du convertisseur NMC. La vérification doit être répétée dans les 185 jours précédant l'essai afin de s'assurer que l'activité catalytique du convertisseur ne s'est pas dégradée.

8.1.10.3.2 Principes de mesure

Un convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques (NMC) est un catalyseur chauffé qui élimine les hydrocarbures non méthaniques du flux d'échappement avant que l'analyseur FID mesure la concentration restante d'hydrocarbures. Un convertisseur de NMC idéal aurait une efficacité de conversion du méthane de E_{CH4} [-] de 0 (autrement dit, une fraction de pénétration du méthane, PF_{CH4}, de 1,000), et l'efficacité de conversion de tous les hydrocarbures serait de 1,000, comme cela est représenté par une efficacité de conversion de l'éthane E_{C2H6} [-] de 1 (autrement dit une fraction de pénétration de l'éthane PF_{C2H6} [-] de 0). Les calculs d'émissions de l'annexe A.7 ou de l'annexe A.8 utilisent les valeurs mesurées de conversion d'efficacité E_{CH4} et E_{C2H6} du présent paragraphe pour tenir compte d'une efficacité moins que parfaite du convertisseur NMC.

8.1.10.3.3 Conditions s'appliquant au système

Les efficacités de la conversion NMC ne sont pas limitées à une plage donnée. Toutefois, il est recommandé d'optimiser le convertisseur NMC en ajustant sa température pour obtenir un E_{CH4} <0,15 et un E_{C2H6} >0,98 (PF_{CH4} >0,85 et PF_{C2H6} <0,02), comme cela est déterminé au paragraphe 8.1.10.3.4,

selon qu'il s'applique. Si l'ajustement de la température du convertisseur NMC ne permet pas d'atteindre ces spécifications, il est recommandé de remplacer le matériau catalyseur. On utilisera les valeurs de conversion les plus récemment déterminées pour calculer les émissions de HC, conformément aux annexes A.7 et A.8 selon qu'elles s'appliquent.

8.1.10.3.4 Procédure

Toute procédure spécifiée dans les paragraphes 8.1.10.3.4.1, 8.1.10.3.4.2 et 8.1.10.3.4.3 est recommandée. On peut utiliser une autre méthode recommandée par le fabricant de l'instrument.

8.1.10.3.4.1 Procédure applicable à un détecteur FID étalonné avec le convertisseur NMC

Si le détecteur FID est toujours étalonné pour mesurer le CH_4 avec le convertisseur NMC, il sera réglé avec le convertisseur NMC utilisant un gaz de calibrage CH_4. Le produit du facteur de réponse du FID au CH_4 et la fraction de pénétration du CH_4, $RFPF_{CH4[NMC\text{-}FID]}$, seront mis à 1,0 (c'est-à-dire une efficacité de E_{CH4} [-] mise à 0) pour tous les calculs concernant les émissions; le facteur de réponse combiné à l'éthane (C_2H_6) et la fraction de pénétration $RFPF_{C2H6[NMC\text{-}FID]}$ (et l'efficacité E_{C2H6} [-]) sont déterminés de la manière suivante:

a) On choisit à la fois un mélange de gaz CH_4 et un mélange de gaz analytique C_2H_6 répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1. On retient une concentration de CH_4 pour le calibrage du FID au cours des essais d'émissions et la concentration de C_2H_6 qui est typique de la concentration de HCNM de crête attendue à la norme d'hydrocarbures ou égale à la valeur de réglage de l'analyseur HCT;

b) Le convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques est démarré, utilisé et optimisé conformément aux instructions du fabricant, y compris toute optimisation de la température;

c) Il faut confirmer que l'analyseur FID répond à toutes les spécifications du paragraphe 8.1.10.1;

d) L'analyseur FID doit être utilisé conformément aux instructions;

e) On utilise un gaz de calibrage pour régler le détecteur FID avec le convertisseur. Le FID doit être réglé sur une base de C_1. Par exemple, si le gaz de calibrage a une valeur de référence CH_4 de 100 µmol/mol, la réponse FID correcte à ce gaz de réglage est 100 µmol/mol étant donné qu'il y a un atome de carbone par molécule de CH_4;

f) Le mélange de gaz analytique C_2H_6 doit être introduit en amont du convertisseur;

g) La réponse de l'analyseur doit se stabiliser. Le temps nécessaire à cet effet peut englober le temps requis pour purger le convertisseur et pour tenir compte de la réponse de l'analyseur;

h) Pendant que l'analyseur mesure une concentration stable, il faut enregistrer 30 s de données échantillonnées pour calculer ensuite la moyenne arithmétique de ces points de données;

i) La moyenne est divisée par la valeur de référence de C_2H_6, convertie à une base C_1. Le résultat est le facteur de réponse combiné C_2H_6 et la fraction de pénétration, $RFPF_{C2H6[NMC\text{-}FID]}$, équivalant à (1 - E_{C2H6} [-]). Ce facteur de réponse combiné et cette fraction de pénétration ainsi

que le produit du facteur de réponse CH_4 et la fraction de pénétration CH_4, $RFPF_{CH4[NMC-FID]}$, qui est mise à 1,0, sont utilisés dans les calculs d'émissions, conformément à l'annexe A.7 ou A.8.

8.1.10.3.4.2 Procédure s'appliquant à un détecteur FID étalonné avec du propane en dérivation du NMC

Si l'on utilise un détecteur FID avec un convertisseur NMC qui est étalonné au propane, C_3H_8, en contournant le NMC, on détermine les fractions de pénétration $PF_{C2H6[NMC-FID]}$ et $PF_{CH4[NMC-FID]}$ de la manière suivante:

a) Il faut sélectionner un mélange de gaz CH_4 et un mélange de gaz analytique C_2H_6 répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1, la concentration de CH_4 étant typique de la concentration de crête attendue à la norme d'hydrocarbures et la concentration de C_2H_6 typique de la concentration d'hydrocarbures totaux de crête (HCT) attendue à la norme d'hydrocarbures, ou encore la valeur de réglage de l'analyseur HCT;

b) Le convertisseur NMC doit être mis en marche et doit fonctionner conformément aux instructions du fabricant, y compris toute optimisation de la température;

c) Il conviendra de confirmer que l'analyseur FID est conforme à toutes les spécifications du paragraphe 8.1.10.1;

d) L'analyseur FID doit être utilisé conformément aux instructions du fabricant;

e) Le détecteur FID doit être mis à zéro et réglé comme il le serait pendant un essai d'émissions. Il est réglé en contournant le convertisseur et en utilisant un gaz de réglage C_3H_8. Il le sera sur la base de C_1;

f) Le mélange de gaz analytique C_2H_6 doit être introduit en amont du convertisseur, au même point que celui utilisé pour introduire le gaz de zéro;

g) On laisse le temps à l'analyseur de se stabiliser. La durée peut englober le temps nécessaire pour purger le convertisseur et tenir compte de la réponse de l'analyseur;

h) Pendant que l'analyseur mesure une concentration stable, il faut enregistrer 30 s de données échantillonnées et calculer la moyenne arithmétique de ces points;

i) Le circuit du flux doit être modifié pour contourner le convertisseur, le mélange de gaz analytique C_2H_6 doit être introduit dans la dérivation puis on répète les étapes des paragraphes g) à h);

j) La concentration moyenne de C_2H_6 mesurée par le convertisseur doit être divisée par la concentration moyenne mesurée après contournement du convertisseur. Le résultat est la fraction de pénétration C_2H_6, $PF_{C2H6[NMC-FID]}$, qui est équivalente à (1- E_{C2H6} [-]). Cette fraction de pénétration doit être utilisée conformément à l'annexe A.7 ou A.8 selon qu'elle s'applique;

k) Il conviendra de répéter les opérations des paragraphes f) à j) mais avec le mélange de gaz analytique CH_4 à la place du C_2H_6. Le résultat donne la fraction de pénétration CH_4, $PF_{CH4[NMC-FID]}$ (équivalente à (1- E_{CH4} [-])). Cette fraction de pénétration est utilisée conformément à l'annexe A.7 ou A.8.

8.1.10.3.4.3 Procédure applicable à un détecteur FID étalonné avec du méthane, avec contournement du convertisseur NMC

Si l'on utilise un détecteur FID avec un convertisseur NMC qui est étalonné au méthane (CH_4) en contournant le NMC, il faut déterminer son facteur de réponse combiné à l'éthane (C_2H_6) et sa fraction de pénétration, $RFPF_{C2H6[NMC-FID]}$, ainsi que sa fraction de pénétration CH_4, $PF_{CH4[NMC-FID]}$, de la manière suivante:

a) On choisit des mélanges de gaz analytiques CH_4 et C_2H_6 répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1, la concentration de CH_4 étant typique de la concentration de crête attendue à la norme d'hydrocarbures et la concentration de C_2H_6 étant typique de la concentration totale de crête en hydrocarbures (HCT) attendue au niveau standard d'hydrocarbures ou à la valeur de réglage de l'analyseur HCT;

b) Le convertisseur NMC doit être lancé et fonctionner conformément aux instructions du fabricant, y compris l'optimisation de la température;

c) Il conviendra de confirmer que l'analyseur FID répond aux spécifications du paragraphe 8.1.10.1;

d) L'analyseur FID doit être mis en marche et fonctionner conformément aux instructions du fabricant;

e) Le détecteur FID doit être mis à zéro et réglé comme on le ferait au cours d'un essai d'émissions. Il convient de le régler au moyen d'un gaz d'étalonnage CH_4 avec contournement du convertisseur. À noter que le FID doit être réglé en sensibilité sur la base de C_1. Si, par exemple, le gaz de calibrage a une valeur de référence de méthane de 100 µmol/mol, la réponse FID correcte à ce gaz de réglage est 100 µmol/mol étant donné qu'il y a un atome de carbone par molécule de CH_4;

f) Le mélange de gaz analytique C_2H_6 doit être introduit en amont du convertisseur NMC au même point que celui utilisé pour introduire le gaz de zéro;

g) On laisse à l'analyseur le temps nécessaire de se stabiliser. Cette durée de stabilisation peut englober le temps nécessaire pour purger le convertisseur et pour tenir compte de la réponse de l'analyseur;

h) Il convient d'enregistrer 30 s de données échantillonnées pendant que l'analyseur mesure une concentration stable. Ensuite il faut calculer la moyenne arithmétique de ces points de données;

i) Le trajet du flux pour contourner le convertisseur doit être réacheminé et le mélange de gaz analytique C_2H_6 doit être introduit dans le contournement. Ensuite on répétera les étapes des paragraphes g) et h) ci-dessus;

j) La concentration moyenne de C_2H_6 mesurée dans le convertisseur NMC doit être divisée par la concentration moyenne mesurée après contournement du NMC. Le résultat est le facteur de réponse combiné de C_2H_6 et la fraction de pénétration $RFPF_{C2H6[NMC\text{-}FID]}$. Ce facteur de réponse combiné et la fraction de pénétration sont utilisés conformément à l'annexe A.7 ou A.8;

k) Les étapes des paragraphes f) à j) ci-dessus doivent être répétées, mais avec le mélange de gaz analytiques CH_4 à la place du C_2H_6. Le résultat est le facteur de pénétration du CH_4, soit $PF_{CH4[NMC\text{-}FID]}$. Cette fraction de pénétration doit être utilisée conformément aux annexes A.7 ou A.8.

8.1.11 Mesure des oxydes d'azote (NO_x)

8.1.11.1 Vérification des facteurs d'extinction par le CO_2 et l'H_2O

8.1.11.1.1 Étendue et fréquence

Si l'on utilise un analyseur CLD pour mesurer les NO_x, il convient de vérifier l'importance des facteurs d'extinction par H_2O et CO_2 après l'installation de l'analyseur CLD et après un grand entretien.

8.1.11.1.2 Principes de mesure

Le H_2O et le CO_2 peuvent fausser la réponse aux NO_x d'un CLD par extinction collisionnelle, ce qui inhibe la réaction chimiluminescente qu'utilise un détecteur CLD pour détecter les NO_x. La présente procédure et les calculs du paragraphe 8.1.11.2.3 permettent de déterminer l'effet d'extinction et d'adapter les résultats à la fraction molaire maximale de l'H_2O et la concentration maximale de CO_2 attendue au cours de l'essai d'émissions. Si l'analyseur CLD utilise des algorithmes de compensation de l'extinction comportant des instruments de mesure de H_2O et/ou de CO_2, on évalue l'extinction avec ces instruments actifs et les algorithmes de compensation qui ont été appliqués.

8.1.11.1.3 Conditions s'appliquant au système

Pour une mesure diluée, un analyseur CLD ne doit pas dépasser une extinction combinée par H_2O et CO_2 de ±2 %. Il en est de même pour les mesures brutes. L'effet d'extinction combiné est la somme de l'extinction par CO_2 déterminée comme indiqué dans le paragraphe 8.1.11.1.4 et l'extinction par H_2O telle qu'elle est déterminée dans le paragraphe 8.1.11.1.5. Si ces conditions ne sont pas respectées, il faut prendre les mesures nécessaires pour la réparation ou le remplacement de l'analyseur. Avant de faire des essais d'émissions, il convient de s'assurer que l'action corrective a remis l'analyseur en parfait état de fonctionnement.

8.1.11.1.4 Procédure de vérification du facteur d'extinction par CO_2

On peut utiliser la méthode ci-après ou une méthode prescrite par le fabricant de l'instrument pour déterminer le facteur d'extinction par CO_2 en utilisant un diviseur de gaz qui mélange des gaz de calibrage binaires avec des gaz de zéro en tant que gaz diluant et qui répondent aux spécifications du paragraphe 9.4.5.6; on peut aussi faire preuve de bon sens technique pour mettre au point un protocole différent:

a) On utilise des tubes en PTFE ou en acier inoxydable pour faire les raccordements nécessaires;

b) Le diviseur de gaz doit être configuré de telle manière que des quantités à peu près égales de gaz de réglage et de gaz diluant soient mélangées entre elles;

c) Si l'analyseur CLD a un mode de fonctionnement dans lequel il détecte les NO seulement, par opposition aux NO_x totaux, il doit fonctionner sur ce mode;

d) On utilise un gaz de calibrage CO_2 satisfaisant aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et une concentration approximativement double de la concentration de CO_2 maximale attendue pendant l'essai d'émissions;

e) On utilise un gaz de calibrage NO conforme aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et une concentration qui est approximativement double de la concentration maximale de NO attendue au cours de l'essai d'émissions. On peut utiliser des concentrations plus élevées conformément aux recommandations du fabricant de l'instrument et en suivant les règles du bon sens technique afin d'obtenir une vérification précise au cas où la concentration de NO attendue est plus basse que la plage minimale de vérification indiquée par le fabricant;

f) L'analyseur CLD doit être mis à zéro et calibré avec le gaz NO dont il est question au point e) ci-dessus via le diviseur de gaz. Le gaz de calibrage NO doit être branché sur l'orifice de réglage du diviseur de gaz. Un gaz à la pression atmosphérique doit être raccordé à l'orifice du gaz diluant du diviseur de gaz; on utilise le même taux de mélange nominal que celui sélectionné au paragraphe b) ci-dessus; et on utilise la concentration de sortie de NO du diviseur de gaz pour régler le détecteur CLD. Des corrections des propriétés du gaz sont appliquées selon les besoins pour garantir une division précise du gaz;

g) Le gaz de calibrage CO_2 doit être raccordé à l'orifice de réglage du diviseur de gaz;

h) Un gaz de réglage NO doit être connecté à l'orifice des gaz diluants du diviseur de gaz;

i) Pendant le flux de NO et de CO_2 à travers le diviseur de gaz, il faut stabiliser le débit de ce dernier. On détermine la concentration de CO_2 à la sortie du diviseur de gaz et on applique une correction des propriétés du gaz selon les besoins pour aboutir à une division précise. Cette concentration, x_{CO2act}, doit être notée et utilisée dans les calculs de vérification d'extinction du paragraphe 8.1.11.2.3. À la place du diviseur de gaz, on peut utiliser un autre dispositif simple de mélange. Dans ce cas, on fait appel à un analyseur pour déterminer la concentration de CO_2. Si on utilise un analyseur NDIR avec un dispositif de mélange de gaz simple, il doit satisfaire aux prescriptions de la présente section. Il est réglé en sensibilité avec le gaz de réglage CO_2 dont il est question au paragraphe d) ci-dessus. Il convient de vérifier la linéarité de l'analyseur NDIR sur l'ensemble de la gamme jusqu'à deux fois la concentration maximale de CO_2 attendue au cours de l'essai;

j) La concentration de NO doit être mesurée en aval du diviseur de gaz au moyen de l'analyseur CLD. Il faut laisser le temps à la réponse de l'analyseur de se stabiliser. Le temps de stabilisation peut englober le temps nécessaire pour purger la canalisation de transfert et pour tenir

compte de la réponse de l'analyseur. Pendant que l'analyseur mesure la concentration de l'échantillon, les résultats seront enregistrés pendant 30 s. À partir de ces données, on calcule la moyenne arithmétique, x_{NOmeas}. Cette valeur doit être notée pour être utilisée dans les calculs de vérification de l'extinction dont il est question au paragraphe 8.1.11.2.3;

k) La concentration réelle de NO doit être calculée à la sortie du diviseur de gaz, x_{NOact}, sur la base des concentrations de gaz de réglage et du x_{CO2act} conformément à l'équation (8-5). La valeur calculée doit être utilisée dans les calculs de vérification d'extinction de l'équation (8-4);

l) Les valeurs enregistrées suivant les indications des paragraphes 8.1.11.1.4 et 8.1.11.1.5 de la présente section serviront à calculer l'extinction, comme cela est décrit dans le paragraphe 8.1.11.2.3.

8.1.11.1.5 Procédure de vérification de l'effet d'extinction par l'eau

On peut utiliser la méthode ci-après ou celle prescrite par le fabricant de l'instrument pour déterminer l'effet d'extinction par l'eau. Éventuellement, on mettra au point un protocole différent en suivant les règles du bon sens technique.

a) Faire les connexions nécessaires avec des tubes en PTFE ou en acier inoxydable;

b) Si l'analyseur CLD est pourvu d'un mode par lequel il détecte les NO seulement, par opposition au NO_x total, on l'utilisera uniquement dans ce mode;

c) Il faut un gaz de calibrage NO répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et une concentration qui soit proche de la concentration maximale attendue au cours de l'essai. On peut utiliser des concentrations plus élevées conformément aux recommandations du fabricant de l'instrument et en suivant les règles du bon sens technique pour obtenir une vérification précise si la concentration de NO est inférieure à la gamme minimale des valeurs indiquées par le fabricant de l'instrument;

d) Il faut ensuite mettre l'analyseur CLD à zéro et régler sa sensibilité. Cela se fait avec le gaz de calibrage NO mentionné au paragraphe c) ci-dessus; la concentration de ce gaz sera notée en tant que x_{NOdry}, et elle sera utilisée dans les calculs de vérification du facteur d'extinction (par. 8.1.11.2.3);

e) Le gaz de réglage NO doit être humidifié par barbotage à travers de l'eau distillée dans un récipient fermé. Si l'échantillon de gaz de réglage NO humidifié ne passe pas par un sécheur pour cet essai, la température du récipient doit être réglée de manière à produire un niveau de H_2O approximativement égal à la fraction molaire maximale de H_2O prévue au cours de l'essai d'émissions. Si le gaz de réglage NO humidifié ne traverse pas le sécheur d'échantillon, les calculs de vérification du paragraphe 8.1.11.2.3 situent l'effet d'extinction par H_2O à la fraction molaire la plus élevée de H_2O attendue au cours de l'essai d'émissions. Si le gaz de réglage NO traverse un sécheur, la température du récipient doit être maintenue sous contrôle pour produire un niveau de H_2O pour le moins aussi élevé que le niveau

déterminé au paragraphe 9.3.2.3.1. Dans ce cas, les calculs de vérification de l'effet d'extinction du paragraphe 8.1.11.2.3 ne réduisent pas le refroidissement de H_2O mesuré;

f) Le gaz d'essai NO humidifié doit être introduit dans le système de prélèvement. Il peut être introduit en amont ou en aval du sécheur qui est utilisé au cours de l'essai d'émissions. Selon le point d'introduction, on choisira la méthode respective de calcul du paragraphe e). À noter que le sécheur doit satisfaire au contrôle de vérification du paragraphe 8.1.8.5.8;

g) On mesure la fraction molaire de H_2O dans le gaz de réglage NO humidifié. Si l'on utilise un sécheur d'échantillon, la fraction molaire de H_2O dans le gaz NO humidifié doit être mesurée en aval du sécheur en question, $x_{H2Omeas}$. Il est recommandé de mesurer la valeur de $x_{H2Omeas}$ aussi près que possible de l'entrée de l'analyseur CLD. On peut calculer $x_{H2Omeas}$ à partir des mesures du point de rosée, T_{dew}, et de la pression absolue, p_{total};

h) On suivra les règles du bon sens technique pour empêcher la formation de condensation dans les lignes de transfert, les raccords ou les vannes à partir du point où $x_{H2Omeas}$ est mesuré. Il est recommandé de concevoir le système de manière telle que les températures des parois dans les lignes de transfert, les raccords et les vannes mesurés dans l'analyseur sont d'au moins 5 °C au dessus du point de rosée du gaz d'échantillon local;

i) La concentration du gaz de réglage NO humidifié doit être mesurée au moyen de l'analyseur CLD. On laisse le temps nécessaire pour que la réponse de l'analyseur se stabilise. Ce temps de stabilisation peut englober le temps nécessaire pour purger la ligne de transfert et le temps de réponse de l'analyseur. Pendant que l'analyseur mesure la concentration de l'échantillon, il faut prendre note pendant 30 s du débit du détecteur. Ensuite on calcule la moyenne arithmétique de ces données, x_{NOwet}. Cette valeur doit être notée et utilisée dans les calculs de vérification du paragraphe 8.1.11.2.3.

8.1.11.2 Calculs de vérification de l'effet d'extinction sur le CLD

Ces calculs sont effectués conformément aux indications du paragraphe 8.1.11.1.

8.1.11.2.1 Quantité d'eau attendue au cours de l'essai

La fraction molaire maximale attendue de l'eau pendant l'essai d'émissions, x_{H2Oexp} doit faire l'objet d'une estimation. Celle-ci doit se faire au moment de l'introduction du gaz de calibrage NO humidifié (par. 8.1.11.1.5 f)). Pour évaluer la fraction molaire maximum attendue de l'eau, il faut examiner la teneur maximale en eau attendue dans l'air de combustion, les produits de la combustion du carburant et l'air de dilution (le cas échéant). Si le gaz de réglage humidifié est introduit dans le système de prélèvement en amont d'un sécheur d'échantillon pendant l'essai de vérification, il n'est pas nécessaire d'évaluer la fraction molaire maximum attendue de l'eau et x_{H2Oexp} devra être mis à $x_{H2Omeas}$.

8.1.11.2.2 Quantité de CO_2 attendue au cours de l'essai

Il faut faire une évaluation de la concentration maximum attendue de CO_2, x_{CO2exp}. Cette estimation doit être faite à l'emplacement du système d'échantillon où les gaz de réglage NO et CO_2 sont introduits conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 j). Pour l'estimation de la concentration de CO_2 maximale attendue, on prend en considération la teneur en CO_2 maximale attendue des produits de combustion de carburant et de l'air de dilution.

8.1.11.2.3 Calculs des effets d'extinction combinés par H_2O et CO_2

Les effets d'extinction combinés par H_2O et CO_2 sont calculés de la manière suivante:

$$quench = \left[\left(\frac{\frac{x_{NOwet}}{1 - x_{H2Omeas}}}{x_{NOdry}} - 1 \right) \cdot \frac{x_{H20exp}}{x_{H2Omeas}} + \left(\frac{x_{NOmeas}}{x_{NOact}} - 1 \right) \cdot \frac{x_{CO2exp}}{x_{CO2act}} \right] \cdot 100\% \qquad (8\text{-}4)$$

Où:

$quench$ = importance de l'effet d'extinction sur le CLD

x_{NOdry} = concentration mesurée de NO en amont du barboteur, conformément au paragraphe 8.1.11.1.5 d)

x_{NOwet} = concentration mesurée de NO en aval du barboteur, conformément au paragraphe 8.1.11.1.5 i)

x_{H2Oexp} = fraction molaire maximale attendue de l'eau pendant l'essai d'émissions, conformément au paragraphe 8.1.11.2.1

$x_{H2Omeas}$ = fraction molaire mesurée de l'eau pendant la vérification de l'extinction, conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 j)

x_{NOmeas} = concentration mesurée de NO quand aucun gaz de calibrage n'est mélangé avec le gaz CO_2, conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 j)

x_{NOact} = concentration réelle de NO lorsque le gaz de calibrage NO est mélangé au gaz de calibrage CO_2, conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 k) et calculé au moyen de l'équation (8-5)

x_{CO2exp} = concentration maximale attendue de CO_2 pendant l'essai d'émissions, conformément au paragraphe 8.1.11.1.3

x_{CO2act} = concentration réelle de CO_2 quand aucun gaz de calibrage n'est mélangé au gaz CO_2, conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 i).

$$x_{NOact} = \left(1 - \frac{x_{CO2act}}{x_{CO2span}} \right) \cdot x_{NOspan} \qquad (8\text{-}5)$$

Où:

x_{NOspan} = concentration du gaz de calibrage NO à l'entrée du diviseur de gaz, conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 e)

$x_{CO2span}$ = concentration de gaz de calibrage CO_2 à l'entrée du diviseur de gaz, conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 d).

8.1.11.3 Vérification de l'interférence par les HC et H_2O sur l'analyseur NDUV

8.1.11.3.1 Étendue et fréquence

Si l'on utilise un analyseur NDUV pour mesurer les NO_x, il faudra mesurer l'importance de l'interférence par H_2O et les hydrocarbures après l'installation initiale de l'analyseur et après un grand entretien.

8.1.11.3.2 Principes de mesure

Les hydrocarbures et le H_2O peuvent effectivement fausser la réponse d'un analyseur NDUV en produisant une réponse analogue aux NO_x. Si l'analyseur NDUV utilise des algorithmes de compensation qui utilisent des mesures d'autres gaz pour effectuer cette vérification de l'interférence, il faut simultanément faire de telles mesures pour essayer les algorithmes pendant la vérification de l'interférence de l'analyseur.

8.1.11.3.3 Conditions s'appliquant au système

Pour un analyseur NDUV de NO_x, l'interférence par H_2O et HC combinés ne doit pas excéder ±2 % de la concentration moyenne de NO_x.

8.1.11.3.4 Marche à suivre

La vérification de l'interférence s'effectue de la manière suivante:

a) L'analyseur NDUV de NO_x doit être lancé, fonctionner, être mis à zéro et réglé en sensibilité selon les instructions du fabricant de l'instrument;

b) Il est recommandé de prélever des gaz d'échappement du moteur pour effectuer cette vérification. On utilise un analyseur CLD qui répond aux spécifications du paragraphe 9.4 pour quantifier les NO_x dans les gaz d'échappement. On utilise la réponse du CLD comme valeur de référence. Il faut également mesurer les HC dans les gaz d'échappement au moyen de l'analyseur FID conforme aux caractéristiques du paragraphe 9.4. Cette réponse de l'analyseur FID est utilisée comme valeur d'hydrocarbures de référence;

c) Les gaz d'échappement du moteur seront introduits dans l'analyseur NDUV en amont de tout sécheur d'échantillon, si un tel appareil est utilisé;

d) On laissera à la réponse de l'analyseur le temps de se stabiliser. Celui-ci peut englober le temps nécessaire pour purger la ligne de transfert et tenir compte de la réponse de l'analyseur;

e) Alors que les analyseurs mesurent la concentration de l'échantillon, on enregistre 30 s de données échantillonnées et on calcule la moyenne arithmétique pour les trois analyseurs;

f) La moyenne CLD doit être soustraite de la moyenne NDUV;

g) La différence doit être multipliée par le taux de la concentration moyenne de HC attendue à la concentration de HC mesurée pendant la vérification. L'analyseur satisfait à la vérification de l'interférence de ce paragraphe si le résultat est de ±2 % de la concentration de NO_x attendue à la norme:

$$\left(\overline{x}_{\mathrm{NOx,CLD,meas}} - \overline{x}_{\mathrm{NOx,NDUV,meas}}\right) \cdot \left(\frac{\overline{x}_{\mathrm{HC,exp}}}{\overline{x}_{\mathrm{HC,meas}}}\right) \leq 2\% \cdot \left(\overline{x}_{\mathrm{NOx,exp}}\right) \qquad (8\text{-}6)$$

Où:

$\overline{x}$ [µmol/mol] ou [ppm] est la concentration moyenne de:

i) NO_x mesuré par le CLD ($\overline{x}_{\mathrm{NOx,CLD,meas}}$) et par le NDUV ($\overline{x}_{\mathrm{NOx,NDUV,meas}}$)

ii) HC mesuré ($\overline{x}_{\mathrm{HC,meas}}$)

iii) HC attendu à la norme ($\overline{x}_{\mathrm{HC,exp}}$)

iv) NO_x attendu à la norme ($\overline{x}_{\mathrm{NOx,exp}}$)

$\left(\overline{x}_{\mathrm{NOx,CLD,meas}} - \overline{x}_{\mathrm{NOx,NDUV,meas}}\right)$ est la différence de NO_x

$\left(\overline{x}_{\mathrm{NOx,CLD,meas}} - \overline{x}_{\mathrm{NOx,NDUV,meas}}\right) \cdot \left(\frac{\overline{x}_{\mathrm{HC,exp}}}{\overline{x}_{\mathrm{HC,meas}}}\right)$ est la différence mesurée sur les NO_x corrigée en fonction des HC attendus.

8.1.11.3.5 Conditions s'appliquant au refroidisseur

Il faut démontrer que pour la concentration de vapeur d'eau maximale attendue H_m, les techniques de neutralisation de l'eau maintiennent l'humidité CLD à ≤ 5 g eau/kg d'air sec (ou environ 0,8 volume en pourcentage de H_2O), soit 100 % d'humidité relative à 3,9 °C et 101,3 kPa. Cette spécification de l'humidité est également équivalente à 25 % d'humidité relative à 25 °C et 101,3 kPa. On peut le démontrer en mesurant la température à la sortie d'un déshumidificateur thermique ou en mesurant l'humidité en un point juste en amont du CLD.

8.1.11.4 Pénétration de NO_2 dans le bain de refroidissement

8.1.11.4.1 Étendue et fréquence

Si l'on utilise un bain de refroidissement pour sécher un échantillon en amont d'un instrument de mesure de NO_x, mais qu'aucun convertisseur de NO_2-à-NO n'est utilisé en amont du bain, cette vérification est effectuée pour la pénétration du bain de NO_2, après l'installation initiale et après un grand entretien.

8.1.11.4.2 Principes de mesure

Un bain de refroidissement doit être utilisé pour neutraliser l'eau qui peut interférer avec une mesure de NO_x. Toutefois, l'eau liquide restant dans un bain de refroidissement mal conçu peut interférer avec les NO_2 de l'échantillon. Si l'on utilise un bain de refroidissement sans convertisseur NO_2-à-NO en amont, cela pourrait interférer avec le NO_2 de l'échantillon avant la mesure des NO_x.

8.1.11.4.3 Conditions s'appliquant au système

Le bain de refroidissement doit permettre de mesurer au moins 95 % du NO_2 total à la concentration maximale escomptée de NO_2.

8.1.11.4.4 Procédure

On utilise la procédure suivante pour vérifier le comportement du bain de refroidissement:

a) Mise en place des instruments: Il faut respecter les opérations de lancement et de fonctionnement du fabricant du bain de refroidissement. L'analyseur et le bain de refroidissement doivent être réglés selon les besoins pour que leurs performances soient optimales;

b) Mise en place des équipements et collecte des données:

i) Le ou les analyseurs de gaz NO_x doivent être mis à zéro et calibrés comme cela se fait avant un essai d'émissions;

ii) On utilise un gaz d'étalonnage NO2 (gaz de complément air sec) qui a une concentration de NO_2 proche du maximum attendu au cours de l'essai. On peut utiliser une concentration plus élevée, conformément aux recommandations du fabricant de l'instrument, en suivant les règles du bon sens technique pour obtenir une vérification précise si la concentration de NO_2 attendue est plus faible que la plage minimale pour la vérification indiquée par le fabricant de l'instrument;

iii) Ce gaz d'étalonnage doit déborder au niveau de la sonde du système d'échantillon de gaz ou au raccord de débordement. On laisse la réponse aux NO_x totaux se stabiliser en tenant compte des temps de transport et de réponse des instruments;

iv) On calcule ensuite la moyenne de 30 s de données NO_x enregistrées et cette valeur doit être notée en tant que x_{NOxref};

v) L'écoulement du gaz d'étalonnage NO_2 est arrêté;

vi) Ensuite, le système doit être saturé par débordement à la sortie d'un générateur de point de rosée mis à un point de rosée de 50 °C, jusqu'à la sonde du système de prélèvement du gaz ou du raccord de débordement. Le produit du générateur de point de rosée doit être échantillonné par le système de prélèvement et le refroidisseur pendant 10 min au moins, jusqu'à ce que le refroidisseur soit censé enlever un débit d'eau constant;

vii) Il est commuté directement sur le gaz d'étalonnage NO_2 pour déterminer x_{NOxref}. Ensuite on attend la stabilisation de la réponse en NO_x totaux en tenant compte uniquement du temps de transport et de la réponse des instruments. On calcule la moyenne de 30 s de données enregistrées de NO_x totaux et cette valeur est notée en tant que $x_{NOxmeas}$;

viii) $x_{NOxmeas}$ doit être corrigé en x_{NOxdry} compte tenu de la vapeur d'eau résiduelle qui a traversé le refroidisseur à la température et à la pression de ce refroidisseur;

c) Évaluation des performances. Si x_{NOxdry} est inférieur à 95 % de x_{NOxref}, le refroidisseur doit être réparé ou remplacé.

8.1.11.5 Vérification de la conversion du convertisseur NO_2-à-NO

8.1.11.5.1 Étendue et fréquence

Si, pour déterminer les NO_x, on utilise un analyseur qui mesure uniquement les NO, on utilisera en amont un convertisseur NO_2-à-NO. Cette vérification

doit être effectuée après l'installation du convertisseur, après un grand entretien et dans les 35 jours avant un essai d'émissions. Cette vérification doit être répétée à cette fréquence pour s'assurer que l'activité catalytique du convertisseur NO_2-à-NO ne s'est pas détériorée.

8.1.11.5.2 Principes de mesure

Un convertisseur NO_2-à-NO permet à un analyseur qui mesure uniquement le NO de déterminer les NO_x totaux en convertissant le NO_2 des gaz d'échappement en NO.

8.1.11.5.3 Configuration nécessaire

Un convertisseur NO_2-à-NO doit permettre de mesurer au moins 95 % du NO_2 total à la concentration maximale attendue de NO_2.

8.1.11.5.4 Procédure

On utilisera la procédure suivante pour s'assurer des performances d'un convertisseur NO_2-à-NO:

a) Pour le montage des instruments, on suivra les instructions de mise en place et de fonctionnement du fabricant du convertisseur NO_2-à-NO. L'analyseur et le convertisseur seront réglés selon les besoins pour optimiser les performances;

b) L'entrée d'un ozoniseur doit être connectée à une source zéro air ou une source d'oxygène et sa sortie doit être raccordée à une branche d'un raccord en T. Un gaz de calibrage NO sera branché sur une autre branche et l'entrée du convertisseur NO_2-à-NO sur la troisième;

c) On effectue la vérification en suivant les étapes ci-après:

i) L'air de l'ozoniseur doit être coupé et l'alimentation électrique de l'ozoniseur doit être coupée; le convertisseur NO_2-à-NO doit être réglé sur le mode contournement (c'est-à-dire mode NO). On laisse le temps nécessaire à la stabilisation en ne tenant compte que du temps de transport et du temps de réponse des instruments;

ii) Ajuster les débits de NO et de gaz de zéro de telle manière que la concentration de NO au niveau de l'analyseur est proche de la concentration de NO_x totaux de crête attendue au cours de l'essai. La teneur en NO_2 du mélange gazeux sera de moins de 5 % de la concentration de NO. Pour obtenir celle-ci on calcule la moyenne de 30 s de données échantillonnées provenant de l'analyseur et cette valeur est notée en tant que x_{NOref}. On peut utiliser une concentration plus élevée conformément aux recommandations du fabricant de l'instrument et en suivant les règles du bon sens technique pour obtenir une vérification précise si la concentration de NO attendue est inférieure à la plage minimale de vérification indiquée par le fabricant;

iii) L'alimentation O_2 de l'ozoniseur doit être mise en route et il faut ajuster le débit de O_2 de telle manière que le NO indiqué dans l'analyseur soit d'environ 10 % inférieur à x_{NOref}. On enregistre la concentration de NO en calculant la moyenne de 30 s de données échantillonnées provenant de l'analyseur et cette valeur doit être inscrite en tant que $x_{NO+O2mix}$;

iv) Mettre l'ozoniseur en marche et régler le taux de production d'ozone de telle manière que le NO mesuré par l'analyseur s'élève à environ 20 % de x_{NOref}, tout en maintenant au moins 10 % de NO inaltéré. Calculer la concentration de NO avec 30 s de données échantillonnées provenant de l'analyseur et enregistrer cette valeur comme étant x_{NOmeas};

v) Commuter l'analyseur sur le mode NO_x et mesurer les NO_x totaux. On obtient la concentration de NO_x en calculant la moyenne de 30 s de données échantillonnées provenant de l'analyseur et cette valeur est notée en tant que $x_{NOxmeas}$;

vi) L'ozoniseur doit être mis à l'arrêt mais le débit de gaz traversant le système doit être maintenu. L'analyseur NO_x indique la quantité de NO_x dans le mélange NO + O_2. On détermine la concentration de NO_x en calculant la moyenne de 30 s de données échantillonnées provenant de l'analyseur et on prend note de cette valeur en tant que $x_{NOx+O2mix}$;

vii) Arrêter l'alimentation en O_2. L'analyseur NO_x indique les NO_x présents dans le mélange initial NO-dans-N_2. La concentration de NO_x doit être déterminée en calculant la moyenne de 30 s de données échantillonnées provenant de l'analyseur et cette valeur est notée en tant que x_{NOxref}. Il ne faut pas que cette valeur soit plus de 5 % au-dessus de la valeur x_{NOref};

d) Évaluation des performances. On détermine l'efficacité du convertisseur de NO_x en substituant les concentrations obtenues dans l'équation suivante:

$$Efficacité\,[\%] = \left(1 + \frac{x_{NOxmeas} - x_{NOx+O2mix}}{x_{NO+O2mix} - x_{NOmeas}}\right) \times 100 \qquad (8\text{-}7)$$

e) Si le résultat est inférieur à 95 %, il convient de réparer le convertisseur NO_2-à-NO ou de le remplacer.

8.1.12 Mesures des MP

8.1.12.1 Vérifications de la balance MP et vérification du processus de pondération

8.1.12.1.1 Étendue et fréquence

Le présent paragraphe contient la description de trois vérifications:

a) La vérification indépendante de la balance des MP dans les 370 jours avant le pesage d'un filtre;

b) La mise à zéro et le réglage de sensibilité de la balance 12 heures avant le pesage d'un filtre quelconque;

c) La vérification que la détermination de la masse des filtres de référence avant et après une séance de pesage de filtre soit inférieure à une tolérance spécifiée.

8.1.12.1.2 Vérification indépendante

Le fabricant de la balance (ou un représentant approuvé par ce fabricant) doit vérifier les performances de la balance dans les 370 jours précédant l'essai, conformément aux procédures d'audit interne.

8.1.12.1.3 Mise à zéro et calibrage

Une fois vérifiées les performances de la balance à sa mise à zéro et son réglage de sensibilité avec au moins un poids d'étalonnage, tout point qui est utilisé doit satisfaire aux caractéristiques énoncées dans le paragraphe 9.5.2. On utilise une procédure manuelle ou automatique:

a) Une procédure manuelle nécessite que l'on utilise une balance qui a été mise à zéro et réglée en sensibilité avec un poids d'étalonnage au moins. Si l'on obtient normalement des valeurs moyennes en répétant le processus de pesage pour améliorer la précision des mesures des MP, on utilise le même processus pour vérifier les performances de la balance;

b) On effectue une procédure automatique avec des poids d'étalonnage internes qui sont utilisés automatiquement pour vérifier les performances de la balance. Pour cette vérification, ces poids d'étalonnage internes doivent répondre aux caractéristiques du paragraphe 9.5.2.

8.1.12.1.4 Pesage de l'échantillon de référence

Toutes les valeurs de poids obtenues au cours d'une séance de pesage doivent être vérifiées en pesant l'échantillon MP de référence (par exemple les filtres) avant et après une séance de pesage. Une telle séance peut être aussi courte qu'on le désire, mais ne doit pas dépasser 80 heures; elle peut englober à la fois des pesages de masse avant et après l'essai. Des déterminations de la masse successives de chaque échantillon MP de référence doit donner la même valeur avec une tolérance maximale de ±10 µg ou ±10 % de la masse totale de particules attendue, la plus élevée étant retenue. Si plusieurs pesages de filtre-échantillon MP successifs ne sont pas conformes à ce critère, toutes les lectures de poids de filtre d'essai obtenues lors des pesages successifs doivent être invalidées. Ces filtres peuvent être à nouveau pesés lors d'une autre séance. Si un filtre est invalidé après l'essai, l'intervalle d'essai est nul. La vérification doit être effectuée de la manière suivante:

a) On maintient dans l'environnement de stabilisation des MP au moins deux échantillons MP inutilisés du support. Ceux-ci sont utilisés comme éléments de référence. Les filtres inutilisés faits du même matériau et ayant la même taille sont retenus pour être utilisés comme éléments de référence;

b) Les éléments de référence doivent être stabilisés dans l'environnement de stabilisation des MP. On considère que les références sont stabilisées si elles ont été dans cet environnement pour un minimum de 30 min, et que l'environnement de stabilisation des MP a été conforme aux prescriptions du paragraphe 9.3.4.4 pendant au moins les 60 min précédentes;

c) Le pesage est effectué à plusieurs reprises avec un échantillon de référence mais sans noter les valeurs;

d) La balance doit être mise à zéro et réglée. À cet effet on met sur la balance un poids d'essai (tel qu'un poids d'étalonnage) pour être ensuite enlevé de telle manière que la balance revienne à une lecture zéro acceptable dans un temps de stabilisation normal;

e) Tous les supports de référence (par exemple les filtres) doivent être pesés et leurs masses notées. Si l'on obtient des valeurs normalement moyennes en répétant le processus de pesage pour améliorer la précision des supports de référence (tels que les filtres), on utilise le même processus pour mesurer les valeurs moyennes des masses de support échantillon (les filtres par exemple);

f) Il convient de noter les valeurs moyennes du point de rosée de l'environnement, de la température ambiante et de la pression atmosphérique;

g) On utilise les conditions ambiantes qui auront été notées pour corriger les résultats au niveau de la flottabilité comme indiqué dans le paragraphe 8.1.12.2. On prend note de la masse corrigée en fonction de la flottabilité pour chacune des références;

h) La masse de référence corrigée en fonction de la flottabilité de chacun des supports de référence (par exemple les filtres) est soustraite de la masse corrigée en fonction de la flottabilité précédemment mesurée;

i) Si l'une des masses constatées pour les filtres de référence change plus que cela n'est autorisé au titre du présent paragraphe, toutes les déterminations de masse MP faites depuis la dernière validation ayant abouti doivent être invalidées. Les filtres MP de référence peuvent être supprimés si une seule de ces masses de filtres a changé plus que cela n'est autorisé et on peut identifier positivement la cause particulière de ce changement de la masse du filtre qui n'aurait pas affecté d'autres filtres faisant partie du processus. La validation peut donc être considérée comme ayant abouti. Dans ce cas, le support de référence contaminé ne sera pas inclus lors de la détermination de la conformité avec le paragraphe j) ci-dessous, mais le filtre de référence concerné doit être écarté et remplacé;

j) Si l'une des masses de référence varie plus qu'il n'est permis aux termes du paragraphe 8.1.12.1.4, tous les résultats en matière de MP qui ont été déterminés pendant le temps que les deux masses de référence ont été établies doivent être invalidés. Si l'échantillon MP de référence est refusé en vertu du paragraphe i) ci-dessus, on dispose au moins d'une différence de masse de référence qui réponde aux critères du paragraphe 8.1.12.1.4. À défaut, tous les résultats en matière de MP qui ont été déterminés entre les deux instants où les masses de référence (les filtres) ont été déterminées seront invalidés.

8.1.12.2 Correction de la flottabilité du filtre-échantillon MP

8.1.12.2.1 Considérations générales

Le filtre-échantillon MP est corrigé en fonction de sa flottabilité dans l'air. Cette correction dépend de la densité du média échantillon, de la densité de l'air ainsi que de la densité du poids d'étalonnage utilisé pour étalonner la balance. La correction ne porte pas sur la flottabilité des MP proprement dite étant donné que la masse des MP ne représente généralement que 0,01 à 0,10 % du poids total. Une correction à cette petite quantité de masse atteindrait au maximum 0,010 %. Les valeurs corrigées en fonction de la flottabilité sont les masses à vide des échantillons MP. Les valeurs corrigées pour la flottabilité en vue du pesage du filtre avant l'essai sont ensuite soustraites des valeurs corrigées au niveau de la flottabilité du pesage après

l'essai du filtre correspondant afin de déterminer la masse de MP émise pendant l'essai.

8.1.12.2.2 Densité du filtre-échantillon MP

Des filtres-échantillons MP différents ont des densités différentes. On utilise la densité connue de l'échantillon ou l'une des densités connues pour les supports échantillons:

a) Pour le verre borosilicate enduit de PTFE, on utilise une densité de 2 300 kg/m^3;

b) Pour un support en membrane PTFE (film) avec un anneau support intégral en polyméthylpentène qui représente 95 % de la masse du média, on utilise une densité échantillon de 920 kg/m^3;

c) Pour un film en PTFE ayant un anneau support intégré de PTFE, on utilise une densité échantillon de 2 144 kg/m^3.

8.1.12.2.3 Densité de l'air

Étant donné qu'un environnement de pesage de MP doit être maintenu avec précision à une température de 22 ± 1 °C et un point de rosée de 9,5 ± 1 °C, la densité de l'air est principalement fonction de la pression atmosphérique. Pour cette raison une correction spécifique de la flottabilité est uniquement une fonction de la pression atmosphérique.

8.1.12.2.4 Densité du poids d'étalonnage

On utilise la densité annoncée du matériau du poids métallique d'étalonnage.

8.1.12.2.5 Calcul de la correction

Le filtre-échantillon MP doit être corrigé pour la flottabilité au moyen des équations suivantes:

$$m_{\mathrm{cor}} = m_{\mathrm{uncor}} \left(\frac{1 - \dfrac{\rho_{\mathrm{air}}}{\rho_{\mathrm{weight}}}}{1 - \dfrac{\rho_{\mathrm{air}}}{\rho_{\mathrm{media}}}} \right) \tag{8-8}$$

Où:

m_{cor} = masse de MP corrigée pour la flottabilité

m_{uncor} = masse de MP non corrigée pour la flottabilité

ρ_{air} = densité de l'air dans l'environnement de la balance

ρ_{weight} = densité du poids d'étalonnage utilisé pour régler la balance

ρ_{media} = densité du filtre de prélèvement des particules.

$$\rho_{\mathrm{air}} = \frac{p_{\mathrm{abs}} \cdot M_{\mathrm{mix}}}{R \cdot T_{\mathrm{amb}}} \tag{8-9}$$

Où:

p_{abs} = pression absolue dans l'environnement de la balance

M_{mix} = masse molaire de l'air dans l'environnement de la balance

R = constante de gaz molaire

T_{amb} = température ambiante absolue de l'environnement de la balance.

8.2 *Validation de l'instrument pour l'essai*

8.2.1 Validation du contrôle de débit proportionnel pour le prélèvement par lots et taux de dilution minimum pour le prélèvement par lots de MP

8.2.1.1 Critères de proportionnalité pour le prélèvement CVS

8.2.1.1.1 Débits proportionnels

Pour chaque paire de débitmètres, on utilise l'échantillon prélevé et les taux de débit totaux ou leur moyenne pour 1 Hz avec les calculs statistiques de l'annexe A.2.9. Il faut déterminer l'erreur type de l'estimation du débit de l'échantillon par rapport au débit total. Pour chaque intervalle d'essai, il faut démontrer que l'erreur type était inférieure ou égale à 3,5 % du débit de l'échantillon moyen.

8.2.1.1.2 Débits constants

Pour chaque paire de débitmètres, on utilise l'échantillon enregistré et les débits totaux ou leurs moyennes pour 1 Hz afin de montrer que chaque débit était constant à ±2,5 % de son débit moyen réel ou visé. On peut recourir aux options suivantes au lieu d'enregistrer le débit respectif de chaque type d'instrument:

a) Venturi-tuyère à flux critique. Pour ce genre de venturi, on utilise les conditions enregistrées pour l'entrée du venturi ou sa moyenne pour 1 Hz. Il faudra démontrer que la densité du flux à l'entrée du venturi était constante à ±2,5 % de la densité moyenne ou visée lors de chaque intervalle d'essai. Pour un venturi CVS à flux critique, on peut démontrer cela en montrant que la température absolue à l'entrée du venturi était constante à ±4 % près de la température moyenne ou visée pendant chaque intervalle d'essai;

b) Option de la pompe volumétrique. On utilise les conditions enregistrées à l'entrée de la pompe ou leurs moyennes pour 1 Hz. On démontre que la densité du flux à l'entrée de la pompe était constante à ±2,5 % de la densité moyenne ou visée pendant chaque intervalle d'essai. Dans le cas d'une pompe CVS, on peut prouver cela en montrant que la température absolue à l'entrée de la pompe était constante à ±2 % près de la température absolue moyenne ou visée pendant chaque intervalle d'essai.

8.2.1.1.3 Démonstration du prélèvement proportionnel

Pour chaque prélèvement proportionnel tel qu'un sac ou un filtre à MP, il convient de démontrer que le prélèvement proportionnel a été conservé par l'emploi de l'un des moyens suivants, en notant qu'un maximum de 5 % du nombre total de points de données peuvent être omis en tant que cas particuliers.

Moyennant une bonne évaluation technique, on démontre par une analyse que le système de commande à débit proportionnel assure de manière inhérente le prélèvement proportionnel dans toutes les circonstances attendues au cours de l'essai. À titre d'exemple, on peut utiliser des venturis CFV, tant pour le débit d'échantillon que pour le débit total, s'il est prouvé qu'ils ont toujours les mêmes pressions et températures et qu'ils fonctionnement toujours dans des conditions de flux critique.

On utilise les débits et/ou les concentrations de gaz témoin (par exemple le CO_2) pour déterminer le taux de dilution minimum pour chaque prélèvement de MP sur l'intervalle de l'essai.

8.2.1.2 Validation du système de dilution du flux partiel

Pour commander à un système de dilution du flux partiel pour l'extraction d'un échantillon proportionnel de gaz d'échappement bruts, il faut un système à réponse rapide; on identifie un tel système par la rapidité du système de dilution du flux partiel. Le temps de transformation du système est déterminé par la procédure du paragraphe 8.1.8.6 et la figure 3.1 qui s'y rapporte. La commande proprement dite du système de dilution de flux partiel est fondée sur les conditions courantes. Si le temps de transformation combiné de la mesure du débit des gaz d'échappement et le flux partiel du système est ≤0,3 s, on utilise la commande en ligne. Si ce temps de transformation dépasse 0,3 s, on utilise une commande prédictive fondée sur un essai préalablement enregistré. Dans ce cas, le temps de montée combiné est de ≤1 s et le temps du délai combiné ≤10 s. L'ensemble de la réponse du système est conçu de manière à assurer un échantillon représentatif des MP, $q_{mp,i}$ (échantillon de débit de gaz d'échappement dans le système de dilution de flux partiel), proportionnel au débit massique de gaz d'échappement. Pour établir la proportionnalité, on fait une analyse de régression de $q_{mp,i}$ contre $q_{mew,i}$ (débit massique de gaz d'échappement sur base humide) à un taux d'acquisition des données minimal de 5 Hz et répondant aux critères suivants:

a) Le coefficient de corrélation r^2 de la régression linéaire entre $q_{mp,i}$ et $q_{mew,i}$ n'est pas inférieur à 0,95;

b) L'erreur type de l'estimation de $q_{mp,i}$ sur $q_{mew,i}$ ne dépasse pas 5 % du q_{mp} maximum;

c) L'ordonnée à l'origine q_{mp} de la ligne de régression ne dépasse pas ±2 % du q_{mp} maximum.

Une commande prédictive est nécessaire si les temps de transformation combinés du système de matières particulaires $t_{50,P}$ et le signal de débit massique de gaz d'échappement $t_{50,F}$ sont >0,3 s. Dans ce cas, on procède à un essai préliminaire et on utilise le signal du débit massique de gaz d'échappement de cet essai préliminaire pour gérer le débit d'échantillons dans le système de matières particulaires MP. On obtient une gestion correcte du système de dilution partielle si la trace temporelle de $q_{mew,pre}$ de l'essai préliminaire, qui contrôle q_{mp}, est décalée d'un délai «prédictif» de $t_{50,P} + t_{50,F}$.

Pour établir la corrélation entre $q_{mp,i}$ et $q_{mew,i}$ on utilise les données prélevées au cours de l'essai réel qui est le temps $q_{mew,i}$ aligné par $t_{50,F}$ relatif à $q_{mp,i}$ (pas de contribution de $t_{50,P}$ à l'alignement temporel). Le décalage dans le temps entre q_{mew} et q_{mp} est la différence entre leurs temps de transformation qui ont été déterminés au paragraphe 8.1.8.6.3.2.

8.2.2 Validation de la gamme d'analyseurs de gaz, validation et correction de la dérive

8.2.2.1 Validation de la plage de fonctionnement

Si un analyseur est utilisé à plus de 100 % de sa plage à un moment donné au cours de l'essai, il convient de procéder de la manière suivante:

8.2.2.1.1 Prélèvement par lots

En cas de prélèvement par lots, l'échantillon doit être réanalysé en utilisant la plage de l'analyseur la plus faible qui donne la meilleure réponse de l'instrument en dessous de 100 %. Le résultat sera considéré comme la plage la plus faible à laquelle l'analyseur fonctionne en dessous de 100 % de sa plage pour l'ensemble de l'essai.

8.2.2.1.2 Prélèvement en continu

Pour le prélèvement continu, l'ensemble de l'essai est répété en utilisant la gamme immédiatement supérieure de l'analyseur. Si l'analyseur fonctionne à nouveau au dessus de 100 % de sa plage, il faut répéter l'essai avec la plage suivante plus élevée. L'essai doit se poursuivre et être répété jusqu'à ce que l'analyseur fonctionne toujours à moins de 100 % de sa plage pour l'ensemble de l'essai.

8.2.2.2 Validation et correction de la dérive

Si la dérive est dans la limite de ±1 %, les données peuvent être acceptées sans correction ou après correction. Si la dérive est supérieure à ±1 %, il faut calculer les deux ensembles des résultats d'émissions spécifiques au frein pour chaque polluant, ou bien l'essai est considéré comme nul. Un ensemble est calculé au moyen des données précédant la correction de la dérive et un autre ensemble de données calculé après la correction de toutes les données relatives à la dérive conformément à l'appendice 2 des annexes A.7 ou A.8. La comparaison est faite en pourcentage des résultats non corrigés. La différence entre les valeurs d'émissions spécifiques au frein non corrigées et corrigées doit être inférieure à ±4 % des valeurs d'émissions spécifiques au frein non corrigées. Si tel n'est pas le cas, l'ensemble de l'essai est nul.

8.2.3 Préconditionnement et pesage du poids à vide du support de prélèvement des MP (par exemple les filtres)

Avant un essai d'émissions, on prend les mesures suivantes pour préparer le filtre à échantillon MP et l'équipement pour les mesures de MP:

8.2.3.1 Vérifications périodiques

On s'assure que la balance et les environnements de stabilisation des MP satisfont aux indications périodiques du paragraphe 8.1.12. Le filtre de référence est pesé juste avant que ne soient pesés les filtres soumis aux essais pour fixer un point de référence approprié (voir les détails de la procédure dans le paragraphe 8.1.12.1). La vérification de la stabilité des filtres de référence se produit après la période de stabilisation faisant suite aux essais, immédiatement avant le pesage postessai.

8.2.3.2 Inspection visuelle

Le filtre à échantillon inutilisé doit être inspecté visuellement pour repérer les défauts. Les filtres défectueux doivent être refusés.

8.2.3.3 Mise à la masse

On utilise des pinces électriquement à la masse ou une bride de mise à la masse pour manipuler les filtres MP comme indiqué au paragraphe 9.3.4.

8.2.3.4 Supports d'échantillon inutilisés

Les supports d'échantillon non utilisés doivent être placés dans un ou plusieurs récipients qui sont ouverts à l'environnement de stabilisation des MP. Si l'on utilise des filtres, on peut les placer dans la moitié inférieure d'une cassette à filtre.

8.2.3.5 Stabilisation

Le support d'échantillon doit être stabilisé dans l'environnement de stabilisation des MP. Un support d'échantillon inutilisé peut être considéré comme étant stabilisé pour autant qu'il ait séjourné dans cet environnement pour au moins 30 min, temps pendant lequel l'environnement de stabilisation des MP doit répondre aux spécifications du paragraphe 9.3.4.

8.2.3.6 Pesage

Le support d'échantillon doit être pesé automatiquement ou manuellement de la manière suivante:

a) Pour le pesage automatique, on suivra les recommandations du fabricant du système pour préparer les échantillons en vue de leur pesage;

b) Pour le pesage manuel, il convient de faire preuve de bon sens technique;

c) Facultativement, il est permis de faire un pesage de substitution (voir le paragraphe 8.2.3.10);

d) Dès qu'un filtre a été pesé, il doit être remis dans la boîte de Petri et recouvert.

8.2.3.7 Correction de la flottabilité

Le poids mesuré doit être corrigé pour la flottabilité comme indiqué au paragraphe 8.1.12.2.

8.2.3.8 Répétition

On peut répéter les mesures de la masse du filtre pour déterminer sa masse moyenne en suivant les règles du bon sens technique et excluant des aberrations des calculs de moyenne.

8.2.3.9 Mesure du poids à vide

Les filtres inutilisés qui ont été mesurés à vide doivent être mis dans une cassette à filtre propre et les cassettes ainsi chargées doivent être placées dans un conteneur recouvert ou fermé avant d'être amenées à la cellule d'essai pour prélèvement.

8.2.3.10 Pesage de substitution

Le pesage de substitution est une option qui, si elle est utilisée, fait intervenir la mesure d'un poids de référence avant et après chaque pesage d'un support d'échantillon MP (c'est-à-dire filtre). Alors que le pesage de substitution nécessite davantage de mesures, il corrige une éventuelle dérive du zéro de la balance et il n'est influencé par la linéarité de la balance que sur une plage étroite seulement. Cela est particulièrement utile lorsqu'on quantifie des masses de MP totales qui sont inférieures à 0,1 % de la masse de l'échantillon. Toutefois, un pesage de substitution n'est pas nécessairement approprié lorsque les masses de MP totales dépassent 1 % de la masse de

l'échantillon. Si on utilise le pesage de substitution, il doit être appliqué pour le pesage avant et après l'essai. On utilise le même poids de substitution tant pour le préessai que pour le postessai. La masse du poids de substitution doit être corrigée pour la flottabilité si la densité de ce poids est inférieure à 2,0 g/cm^3. Les étapes suivantes sont un exemple de pesage de substitution:

a) On utilise des pinces qui sont à la masse ou une tresse de masse, comme indiqué au paragraphe 9.3.4.6;

b) Un neutralisateur d'électricité statique doit être utilisé comme indiqué au paragraphe 9.3.4.6 afin de réduire autant que possible la charge électrique statique de tout objet avant qu'il ne soit placé sur le plateau de la balance;

c) Il faut sélectionner un poids de substitution qui réponde aux spécifications des poids d'étalonnage du paragraphe 9.5.2. Le poids de substitution aura également la même densité que le poids qui est utilisé pour régler la microbalance et sera analogue au plan de la masse à un support échantillon inutilisé (par exemple un filtre). Si l'on utilise des filtres, la masse du poids doit être de 80 à 100 mg pour des filtres de diamètre 47 mm représentatifs;

d) La valeur stabilisée de la balance doit être enregistrée et ensuite le poids d'étalonnage doit être enlevé;

e) Ensuite il faut peser un support d'échantillon (par exemple un nouveau filtre), la valeur affichée stabilisée doit être enregistrée de même que le point de rosée dans l'environnement de la balance, la température ambiante et la pression atmosphérique;

f) Le poids d'étalonnage doit être pesé à nouveau et il faut prendre note de la valeur affichée par la balance;

g) Calculer la moyenne arithmétique des deux valeurs lues pour le poids d'étalonnage qui ont été immédiatement enregistrées avant et après le pesage de l'échantillon inutilisé. La valeur moyenne doit ensuite être soustraite de la valeur de l'échantillon inutilisé et on ajoutera alors la masse réelle du poids d'étalonnage comme indiqué sur le certificat du poids d'étalonnage. Ce résultat doit être noté. Il s'agit du poids à vide de l'échantillon sans correction pour la flottabilité;

h) Ces étapes de pesage de substitution doivent être répétées pour les autres supports d'échantillon inutilisés;

i) Les instructions données dans les paragraphes 8.2.3.7 à 8.2.3.9 de la présente section doivent être suivies dès que le pesage est terminé.

8.2.4 Postconditionnement de l'échantillon MP et pesage total

8.2.4.1 Vérification périodique

Il faut s'assurer que les environnements de pesage et de stabilisation des MP ont été conformes lors des vérifications périodiques du paragraphe 8.1.12.1. Lorsque les essais sont terminés, les filtres doivent être ramenés dans l'environnement de pesage et de stabilisation des MP. Ceux-ci répondront aux exigences en matière de conditions ambiantes du paragraphe 9.3.4.4, car à défaut les filtres soumis aux essais doivent rester couverts jusqu'à ce que les conditions appropriées soient établies.

8.2.4.2 Retrait des récipients scellés

Dans l'environnement de stabilisation des MP, les échantillons de MP doivent être retirés des récipients scellés. Les filtres peuvent être retirés de leurs cassettes avant et après stabilisation. Lorsqu'un filtre est retiré d'une cassette, la moitié supérieure de la cassette doit être séparée de la moitié inférieure au moyen d'un séparateur de cassette spécialement conçu à cet effet.

8.2.4.3 Mise à la masse électrique

Pour manier les échantillons de MP, on utilise des pinces électriques à la masse ou une tresse de masse, comme indiqué dans le paragraphe 9.3.4.5.

8.2.4.4 Inspection visuelle

Les échantillons de MP collectés et la matière du filtre associé doivent être visuellement inspectés. Si l'état du filtre ou de l'échantillon de MP donne à penser qu'il y a eu des négligences ou si les matières particulaires ont pu entrer en contact avec toute autre surface que celle du filtre, on ne peut pas utiliser l'échantillon pour déterminer les émissions de particules. En cas de contact avec une autre surface, cette surface touchée doit être nettoyée avant de poursuivre.

8.2.4.5 Stabilisation des échantillons de MP

Pour stabiliser des échantillons de MP, ils doivent être placés dans un ou plusieurs récipients qui sont exposés à l'environnement de stabilisation des MP défini au paragraphe 9.3.4.4. Un échantillon de MP est stabilisé aussi longtemps qu'il a séjourné dans un tel environnement pour l'une des durées suivantes, au cours desquelles cet environnement de stabilisation est resté conforme aux conditions du paragraphe 9.3.4.4:

a) Si l'on prévoit que la concentration de surface totale d'un filtre de MP sera supérieure à 0,353 µg/mm^2, en partant de l'hypothèse d'une charge de 400 µg sur une surface de filtration de 38 mm de diamètre, le filtre doit être exposé à l'environnement de stabilisation pendant 60 min au moins avant le pesage;

b) Si on prévoit que la concentration de MP à la surface totale du filtre sera inférieure à 0,353 µg/mm^2, le filtre doit être exposé à l'environnement de stabilisation pendant 30 min au moins avant le pesage;

c) Si la concentration totale en surface du filtre de MP pendant l'essai est inconnue, le filtre doit être exposé à l'environnement de stabilisation pour une durée de 60 min au moins avant le pesage.

8.2.4.6 Détermination de la masse du filtre après l'essai

Il faut répéter les procédures du 8.2.3 (par. 8.2.3.6 à 8.2.3.9) pour déterminer la masse du filtre après l'essai.

8.2.4.7 Masse totale

Chaque poids à vide de filtre corrigé pour la flottabilité doit être soustrait de sa masse après l'essai corrigé pour la flottabilité. Le résultat est la masse totale, m_{total}, qui doit être utilisée dans les calculs d'émissions des annexes A.7 et A.8.

9. **Équipement de mesure**

9.1 *Spécification du dynamomètre motorisé*

9.1.1 Travaux sur arbre

On utilise un dynamomètre motorisé ayant les caractéristiques nécessaires pour effectuer le cycle de travail applicable, y compris la capacité de répondre aux critères de validation du cycle approprié. On peut utiliser les dynamomètres suivants:

a) Dynamomètres à courants de Foucault ou dynamomètres à frein hydraulique;

b) Dynamomètres à courant alternatif ou à courant continu;

c) Un ou plusieurs dynamomètres.

9.1.2 Cycle transitoire

Pour les mesures de couple on peut utiliser une cellule manométrique ou un instrument de mesure du couple.

Lorsqu'on utilise une cellule de pesée, le signal de couple doit être transféré à l'axe du moteur et l'inertie du dynamomètre doit être prise en considération. Le couple moteur réel est le couple lu sur la cellule de pesée majoré du moment d'inertie du frein multiplié par l'accélération angulaire. Le système de commande doit effectuer un tel calcul en temps réel.

9.1.3 Accessoires du moteur

Le travail des accessoires du moteur nécessaires pour alimenter le moteur en carburant, le lubrifier ou le chauffer, la circulation du liquide de refroidissement vers le moteur ou pour actionner des dispositifs de traitement aval doit être pris en compte; ceux-ci doivent être installés conformément aux indications du paragraphe 6.3.

9.2 *Procédure de dilution (le cas échéant)*

9.2.1 Conditions pour la dilution et concentrations ambiantes

Les composants gazeux peuvent être mesurés directement ou en dilution, alors que la mesure des MP nécessite généralement une dilution. Celle-ci peut être réalisée par un système de dilution du flux total ou du flux partiel. Lorsqu'on utilise la dilution, les gaz d'échappement peuvent être dilués avec de l'air ambiant, de l'air synthétique ou de l'azote. Pour les mesures des émissions gazeuses, le gaz diluant sera à une température de 15 °C au moins. Pour le prélèvement des MP, la température du gaz diluant est spécifiée dans les paragraphes 9.2.2 pour le système CVS et 9.2.3 pour le système PFD avec des taux de dilution différents. La capacité de débit du système de dilution est suffisamment grande pour éliminer complètement l'eau de condensation dans la dilution et les systèmes de prélèvement. La déshumidification de l'air de dilution avant qu'elle n'entre dans le système de dilution est permise si l'humidité de l'air est élevée. Les parois du tunnel de dilution peuvent être chauffées ou isolées, de même que l'ensemble du tubage en aval du tunnel pour éviter la condensation de l'eau.

Avant qu'un gaz diluant ne soit mélangé avec les gaz d'échappement, il faut le préconditionner par augmentation ou diminution de sa température ou de son humidité. On peut enlever des éléments constitutifs du gaz diluant pour réduire les concentrations ambiantes. Les dispositions suivantes s'appliquent

à la suppression d'éléments constitutifs ou à la prise en compte de concentrations ambiantes:

a) On peut mesurer les concentrations des constituants dans le gaz diluant et compenser les effets des concentrations ambiantes sur les résultats d'essai. Voir les annexes A.7 et A.8 pour les calculs qui compensent les concentrations ambiantes;

b) Pour prendre en compte les MP ambiantes, les options suivantes sont possibles:

i) Pour enlever les MP ambiantes, le gaz diluant doit être filtré avec des filtres HEPA (filtres à particules à haute efficacité) ayant une spécification de l'efficacité de la collecte minimale initiale de 99,97 % (voir le point 3.1 qui traite des procédures relatives aux efficacités de la filtration HEPA);

ii) Pour les corrections des MP ambiantes sans filtration HEPA, les MP ambiantes ne devront pas contribuer pour plus de 50 % des MP nets collectées sur le filtre échantillon;

iii) La correction des MP nets compte tenu des concentrations ambiantes avec la filtration HEPA est permise sans restriction.

9.2.2 Système à flux total

Dilution du flux total, prélèvement à volume constant (CVS). Le flux total des gaz d'échappement bruts est dilué dans un tunnel de dilution. On peut rendre le débit constant en maintenant la température et la pression au niveau du débitmètre dans les limites prescrites. Si le débit n'est pas constant, il est mesuré directement pour permettre le prélèvement proportionnel. Le système sera conçu de la manière suivante (voir la figure 9.1):

a) On utilisera un tunnel avec des surfaces internes en acier inoxydable. L'ensemble du tunnel de dilution doit être électriquement à la masse;

b) La contre-pression du système d'échappement ne doit pas être artificiellement abaissée par le système d'entrée d'air de dilution. La pression statique à l'emplacement où les gaz d'échappement bruts sont introduits dans le tunnel doit être maintenue à ±1,2 kPa de la pression atmosphérique;

c) Pour faciliter le mélange, les gaz d'échappement bruts doivent être introduits dans le tunnel en les dirigeant vers le bas le long de la ligne centrale du tunnel. Une fraction de l'air de dilution peut être introduite radialement depuis la surface interne du tunnel pour réduire autant que possible l'interaction des gaz d'échappement avec les parois du tunnel;

d) Gaz diluant. Pour le prélèvement des MP, il faut maintenir la température des gaz diluants (air ambiant, air synthétique ou azote comme indiqué dans le paragraphe 9.2.1) dans l'une des plages suivantes (option):

i) entre 293 et 303 K (20 et 30 °C) ou

ii) entre 293 et 325 K (20 et 52 °C)

à proximité de l'entrée du tunnel de dilution. La plage sera sélectionnée par la Partie contractante;

e) Le nombre de Reynolds, *Re*, doit être d'au moins 4 000 pour le flux d'échappement dilué, où *R*e est fondé sur le diamètre intérieur du tunnel de dilution. *R*e est défini dans les annexes A.7 et A.8. Le contrôle de la qualité du mélange doit être effectué lorsque celui-ci traverse une sonde de prélèvement en diagonale dans le tunnel, verticalement et horizontalement. Si la réponse de l'analyseur fait apparaître un écart dépassant ±2 % de la concentration moyenne mesurée, il faut utiliser le CVS à un débit supérieur, ou bien fixer une plaquette ou un orifice de mélange pour améliorer le mélange;

f) Traitement préliminaire de la mesure du débit. Les gaz d'échappement dilués peuvent être conditionnés avant la mesure de leur débit, pour autant que ce conditionnement ait lieu en aval des sondes d'échantillon HC ou MP, de la manière suivante:

i) On peut utiliser des redresseurs de flux, des amortisseurs de pulsation ou les deux;

ii) On peut utiliser un filtre;

iii) Il faut utiliser un échangeur de chaleur pour gérer la température en amont de tout débitmètre mais des précautions doivent être prises pour empêcher la condensation aqueuse;

g) Condensation aqueuse. Pour s'assurer que l'on mesure un débit qui correspond à une concentration mesurée il faut soit empêcher la formation de condensation aqueuse entre l'emplacement de la sonde de prélèvement et l'entrée du débitmètre dans le tunnel de dilution, soit laisser la condensation se former pour ensuite mesurer le débit à l'entrée du débitmètre. Les parois du tunnel de dilution, ou les tubes du flux brut en aval du tunnel, peuvent être chauffées ou isolées pour empêcher la condensation aqueuse. Il faut empêcher celle-ci de se produire dans tout le tunnel de dilution. Certains composants des gaz d'échappement peuvent être dilués ou supprimés par la présence d'humidité.

Pour le prélèvement des MP, le débit déjà proportionnel provenant du CVS subit une (ou plusieurs) dilution(s) secondaire(s) pour aboutir au taux de dilution global nécessaire comme indiqué dans la figure 9.2 et dans le paragraphe 9.2.3.2;

h) Le taux de dilution global minimum doit être compris dans la gamme de 5:1 à 7:1 et d'au moins 2:1 pour l'étape de dilution primaire sur la base d'un taux de débit des gaz d'échappement du moteur pendant le cycle d'essai ou l'intervalle d'essai;

i) Le temps global de présence dans le système doit être compris entre 0,5 et 5 s, tel que mesuré depuis le point de l'introduction du gaz diluant dans le ou les porte-filtres;

j) Le temps de présence dans le système de dilution secondaire, s'il est présent, doit être d'au moins 0,5 s, mesuré à partir du point de l'introduction du gaz diluant secondaire dans le ou les porte-filtres.

Pour déterminer la masse des matières particulaires, il faut un système de prélèvement des particules, un filtre de prélèvement des particules, une balance gravimétrique ainsi qu'une chambre de pesage sous température et humidité contrôlées.

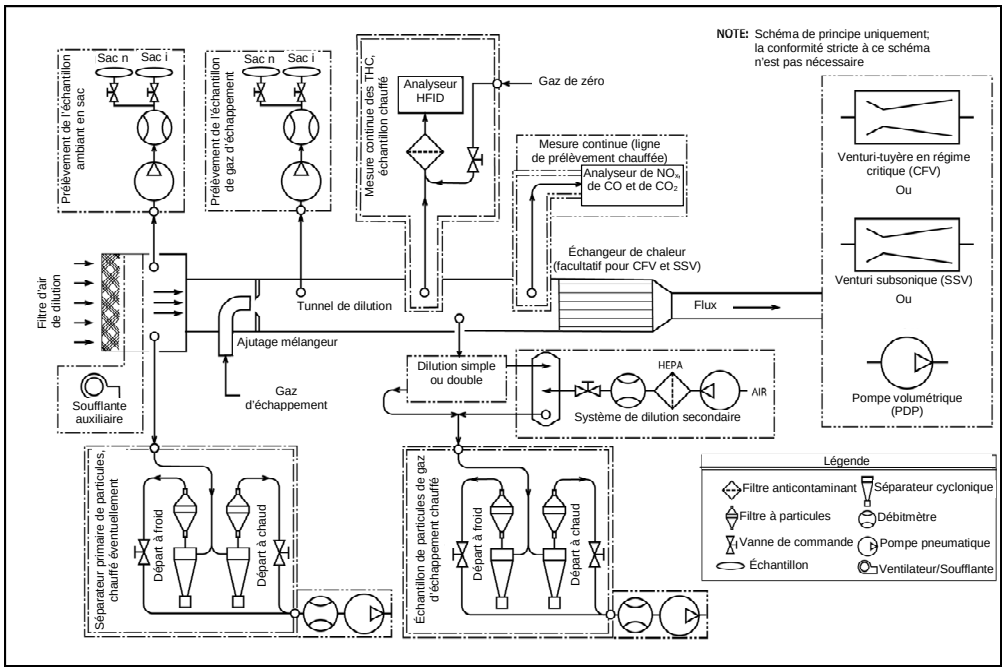


Figure 9.1
Exemples de configurations de prélèvement avec dilution du flux total

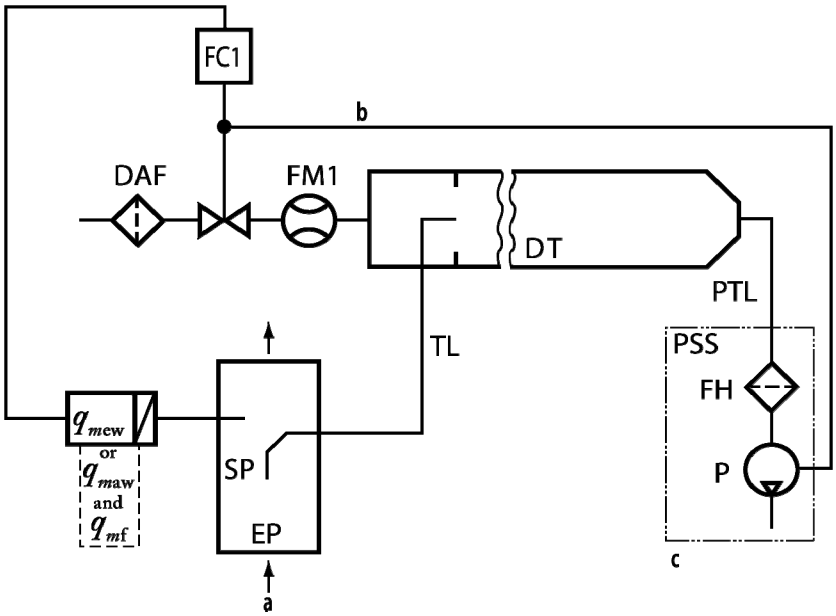
9.2.3 Système de dilution partielle du flux (PFD)

9.2.3.1 Description du système à flux partiel

Un schéma de système PFD est montré à la figure 9.2. Il s'agit d'un schéma simple montrant les principes de l'extraction de l'échantillon, la dilution, et le prélèvement des MP. Il n'a pas pour but d'indiquer que tous les composants décrits dans la figure sont nécessaires pour d'autres systèmes de prélèvement qui répondent au but de prélèvement d'échantillons. D'autres configurations qui ne correspondent pas à ce schéma sont permises à condition qu'elles aient le même objet en matière de collecte d'échantillons, de dilution et de prélèvement des MP. Elles servent à satisfaire à d'autres critères tels que ceux des paragraphes 8.1.8.6 (étalonnage périodique), 8.2.1.2 (validation) pour un système PFD à dilution variable, du paragraphe 8.1.4.5 et du tableau 8.2 (vérification de la linéarité) ainsi que du paragraphe 8.1.8.5.7 (vérification) pour les systèmes PFD à dilution constante.

Comme il apparaît dans la figure 9.2, les gaz d'échappement bruts ou le flux dilué primaire sont transférés du tuyau d'échappement ou depuis le CVS respectivement dans le tunnel de dilution DT via la sonde de prélèvement SE et la ligne de transfert TL. Le débit total qui traverse le tunnel est ajusté au moyen d'un régulateur de débit et de la pompe de prélèvement P du système de prélèvement des particules (PSS). Pour le prélèvement proportionnel du gaz d'échappement bruts, le débit d'air de dilution est contrôlé par le régulateur de débit FC1, qui peut utiliser comme signe de commande pour la division des gaz d'échappement souhaitée q_{mew} (débit massique de gaz d'échappement à l'état humide) ou q_{maw} (débit massique d'air d'admission à l'état humide) et q_{mf} (débit massique de carburant). Le débit de prélèvement dans le tunnel de dilution DT est la différence du débit total et du débit d'air de dilution. Le débit d'air de dilution est mesuré avec le dispositif de mesure

du débit FM1, le débit total avec le dispositif de mesure du débit du système de prélèvement des particules. Le taux de dilution est calculé à partir de ces deux taux. Pour le prélèvement avec un taux de dilution constant des gaz d'échappement bruts ou dilués par rapport au débit de gaz d'échappement (par exemple une dilution secondaire pour le prélèvement des MP), le débit d'air de dilution est généralement constant et réglé par le contrôleur de débit FC1 ou la pompe d'air de dilution.



a = gaz d'échappement ou flux dilué primaire
b = facultatif
c = prélèvement MP

Figure 9.2
Schéma du système de dilution du flux partiel (type prélèvement total)

Composants de la figure 9.2:

DAF =	Filtre d'air de dilution − L'air de dilution (air ambiant, air synthétique ou azote) doit être filtré au moyen d'un filtre MP à grande efficacité (HEPA)
DT =	Tunnel de dilution ou système de dilution secondaire
EP =	Tuyau d'échappement ou système de dilution primaire
FC1 =	Régulateur de débit
FH =	Porte-filtre
FM1 =	Dispositif de mesure du débit mesurant la dilution du flux d'air
P =	Pompe de prélèvement
PSS =	Système de prélèvement des MP
PTL =	Ligne de transfert des MP
SP =	Sonde de prélèvement des gaz d'échappement bruts ou dilués
TL =	Ligne de transfert.

Débits massiques applicables uniquement au prélèvement PFD proportionnel des gaz d'échappement bruts:

q_{mew} = Débit massique des gaz d'échappement à l'état humide

q_{maw} = Débit massique de l'air d'admission à l'état humide

q_{mf} = Débit massique de carburant.

9.2.3.2 Dilution

La température des gaz de dilution (air ambiant, air synthétique ou azote, comme indiqué au paragraphe 9.2.1) doit être maintenue à l'intérieur de l'une des plages suivantes (en option):

a) entre 293 et 303 K (20 et 30 °C) ou

b) entre 293 et 325 K (20 et 52 °C)

à proximité de l'entrée du tunnel de dilution. La plage est sélectionnée par la Partie contractante.

Il est permis de déshumidifier l'air de dilution avant que celui-ci n'entre dans le système de dilution. Le système de dilution du flux partiel doit être conçu de manière à extraire un échantillon de gaz d'échappement bruts proportionnel du débit d'échappement du moteur, répondant ainsi aux excursions dans le débit d'échappement, et d'introduire l'air de dilution dans cet échantillon pour aboutir à une température au niveau du filtre d'essai conformément aux indications du paragraphe 9.3.3.4.3. Pour cette raison il est indispensable que le taux de dilution soit déterminé de manière telle que les prescriptions de précision du paragraphe 8.1.8.6.1 soient remplies.

Pour s'assurer que le débit mesuré correspond à la concentration mesurée on évite soit la condensation aqueuse entre l'emplacement de la sonde d'échantillon et l'entrée du débitmètre dans le tunnel de dilution, soit la condensation aqueuse pouvant se produire, et on mesure l'humidité à l'entrée du débitmètre. Le système PFD peut être chauffé ou isolé pour éviter la condensation aqueuse. On peut empêcher celle-ci de se former dans l'ensemble du tunnel de dilution.

Le taux de dilution minimum sera compris dans la gamme de 5:1 à 7:1 sur la base du débit d'échappement maximum du moteur au cours du cycle ou de l'intervalle d'essai.

Le temps de présence dans le système, mesuré entre le point d'introduction du gaz diluant et le ou les porte-filtres, doit être compris entre 0,5 et 5 s.

Pour déterminer la masse des matières particulaires, il faut un système de prélèvement, un filtre de prélèvement des particules, une balance gravimétrique ainsi qu'une chambre de pesage à température et humidité contrôlées.

9.2.3.3 Applicabilité

On peut utiliser le système PFD pour extraire un échantillon de gaz d'échappement bruts proportionnel pour tout prélèvement par lots ou en continu de MP et d'émissions gazeuses sur tout cycle transitoire, sur tout cycle en conditions stationnaires ou tout cycle à modes raccordés.

Le système peut être utilisé également pour des gaz d'échappement dilués au préalable dans lesquels est déjà dilué un flux proportionnel selon un taux de dilution constant (voir la figure 9.2). C'est ainsi qu'est effectuée la dilution secondaire à partir d'un tunnel CVS pour obtenir le taux de dilution global nécessaire pour le prélèvement des MP.

9.2.3.4 Étalonnage

L'étalonnage du système PFD pour extraire un échantillon de gaz d'échappement proportionnel est examiné dans le paragraphe 8.1.8.6.

9.3 *Procédures de prélèvement*

9.3.1 Conditions générales à observer dans le prélèvement

9.3.1.1 Conception et construction de la sonde

La sonde est le premier élément d'un système de prélèvement. Elle débouche dans un flux de gaz d'échappement bruts ou dilués pour en extraire un échantillon, de telle manière que ses surfaces intérieure et extérieure soient en contact avec l'échappement. L'échantillon est amené depuis la sonde dans une ligne de transfert.

Les sondes à échantillon doivent être faites avec des surfaces internes en acier inoxydable ou, pour le prélèvement de gaz bruts, au moyen d'un matériau quelconque non réactif capable de supporter les températures des gaz d'échappement bruts. Les sondes à échantillon doivent être situées là où les composants sont mélangés pour atteindre leur concentration d'échantillon moyenne et là où l'interférence avec d'autres sondes est réduite au minimum. Il est recommandé de veiller à éviter toute perturbation des sondes par les effets de couche limite, de sillage et de contre-courants, en particulier près de la sortie d'une conduite de gaz d'échappement bruts où une dilution non intentionnelle peut se produire. Le nettoyage ou la purge d'une sonde ne doit pas perturber une autre sonde pendant les essais. Une même sonde peut être utilisée pour extraire un échantillon de plusieurs composants, à condition que cette sonde réponde aux caractéristiques de chaque composant.

9.3.1.2 Lignes de transfert

Les lignes de transfert qui acheminent un échantillon d'une sonde jusqu'à un analyseur, un support de stockage ou un système de dilution, doivent être rendues aussi courtes que possible en plaçant les analyseurs, les supports de stockage et les systèmes de dilution aussi près que possible des sondes. Le nombre de courbes dans les lignes de transfert doit être maintenu au minimum et le rayon de courbure sera toujours le plus grand possible.

9.3.1.3 Méthodes de prélèvement

Pour le prélèvement continu et le prélèvement par lots, présentés dans le paragraphe 7.2, les conditions suivantes s'appliquent:

a) Lorsqu'on extrait un flux à débit constant, l'échantillon doit également être effectué à débit constant;

b) Lorsque l'échantillon est prélevé sur un débit variable, le débit de l'échantillon doit également varier en proportion de celui où il a été prélevé;

c) Le prélèvement proportionnel doit être validé comme indiqué au paragraphe 8.2.1.

9.3.2 Prélèvement des émissions gazeuses

9.3.2.1 Sondes de prélèvement

On utilise des sondes à orifice unique ou à orifices multiples pour le prélèvement des émissions gazeuses. Les sondes peuvent être orientées dans n'importe quelle direction par rapport au flux des gaz d'échappement dilués. Pour certaines sondes, la température de l'échantillon doit être réglée de la manière suivante:

a) Dans le cas des sondes qui prélèvent les NO_x dans les gaz d'échappement dilués, la température de la paroi de la sonde doit être maintenue sous contrôle pour éviter la condensation aqueuse;

b) Dans le cas des sondes d'extraction des hydrocarbures, il est recommandé que la température de la paroi de la sonde soit maintenue à environ 190 °C pour réduire autant que possible la contamination.

9.3.2.2 Lignes de transfert

Pour les lignes de transfert, dont les surfaces internes sont en acier inoxydable, en PTFE, en Viton®, ou tout autre matériau qui a des propriétés meilleures pour prélever les émissions de gaz, on utilise un matériau non réactif capable de résister aux températures des gaz d'échappement. On peut utiliser des filtres en ligne si le filtre et son boîtier répondent aux mêmes conditions de température que les lignes de transfert, à savoir:

a) Pour les lignes de transfert de NO_x en amont, soit un convertisseur NO_2-à-NO répondant aux spécifications du paragraphe 8.1.11.5, soit un refroidisseur qui est conforme aux spécifications du paragraphe 8.1.11.4, il faut maintenir une température d'échantillon qui empêche la condensation aqueuse;

b) Pour les lignes de transfert des HCT, il faut maintenir une température sur l'ensemble de la ligne de (191 ± 11) °C. Si l'échantillon est prélevé sur les gaz d'échappement bruts, on peut connecter directement à la sonde une ligne de transfert isolée non chauffée. La longueur et l'isolation de la ligne de transfert devront être conçues pour refroidir les températures des gaz d'échappement les plus élevées attendues de manière à ne pas tomber sous 191 °C, température mesurée à la sortie de la ligne de transfert. Pour le prélèvement dilué, il est permis d'avoir une zone de transition entre la sonde et la ligne de transfert pouvant atteindre 0,92 m afin de permettre la transition de la température de la paroi à (191 ± 11) °C.

9.3.2.3 Composantes de conditionnement des échantillons

9.3.2.3.1 Sécheurs d'échantillon

9.3.2.3.1.1 Conditions requises

L'instrument nécessaire pour éliminer l'humidité devra être conforme aux prescriptions minimales des paragraphes ci-après. Dans l'équation (A.8-14) on utilise une teneur en humidité de 0,8 volume % de H_2O.

En ce qui concerne la concentration H_m, de vapeur la plus élevée attendue, la technique de suppression de l'eau doit maintenir l'humidité CLD à ≤5 g eau/kg air sec (ou environ 0,8 volume % de H_2O), qui représente une humidité relative de 100 % à 3,9 °C et 101,3 kPa. Cette caractéristique de l'humidité équivaut aussi à environ 25 % d'humidité relative à 25 °C et

101,3 kPa. Cela peut être montré en mesurant la température à la sortie d'un déshumidificateur thermique, ou en mesurant l'humidité en un point juste en amont du CLD.

9.3.2.3.1.2 Types de sécheur d'échantillon autorisés et procédures pour évaluer le contenu d'humidité après le séchage

On peut utiliser n'importe quel type de sécheur d'échantillon décrit dans le présent paragraphe pour diminuer les effets de l'eau sur les mesures des émissions gazeuses:

a) Si l'on utilise un sécheur à membrane osmotique en amont d'un analyseur de gaz ou d'un support de stockage, il faut respecter les spécifications de température du paragraphe 9.3.2.2. Il faudra surveiller le point de rosée, T_{dew}, et la pression absolue, p_{total}, en aval d'un sécheur à membrane osmotique. Il faut calculer la quantité d'eau comme indiqué dans les annexes A.7 et A.8 en utilisant les valeurs continuellement enregistrées de T_{dew} et p_{total} ou leurs valeurs de crête observées lors d'un essai de leur valeur de réglage d'alarme. En l'absence d'une mesure directe, la valeur nominale de p_{total} est donnée par la pression absolue la plus basse du sécheur attendue pendant l'essai. Le point de rosée, T_{dew}, et la pression absolue, p_{total}, en aval d'un sécheur d'échantillon doivent être maintenus sous contrôle;

b) On ne peut pas utiliser un sécheur thermique en amont d'un système de mesure des HCT dans le cas des moteurs à allumage par compression. Si l'on utilise un refroidisseur thermique en amont d'un convertisseur NO_2-à-NO ou dans un système de prélèvement sans convertisseur NO_2-à-NO, le refroidisseur doit être conforme au contrôle de calcul des performances en ce qui concerne la perte de NO_2 comme spécifié dans le paragraphe 8.1.11.4. Il faut garder sous surveillance le point de rosée, T_{dew}, et la pression absolue, p_{total}, en aval d'un sécheur à membrane osmotique. On calculera la quantité d'eau comme indiqué dans les annexes A.7 et A.8 en utilisant les valeurs notées en permanence de T_{dew} et p_{total} ou leurs valeurs de crête observées lors d'un essai ou le réglage d'alarme. En l'absence d'une mesure directe, la valeur nominale de p_{total} est donnée par la pression absolue la plus basse du sécheur attendue pendant l'essai. Le point de rosée, T_{dew}, et la pression absolue, p_{total}, en aval d'un sécheur d'échantillon doivent être maintenus sous surveillance. S'il est valable d'assumer le degré de saturation dans le refroidisseur thermique, on peut calculer T_{dew} sur l'efficacité du refroidisseur, valeur connue, et la surveillance continue de la température du refroidisseur, $T_{chiller}$. Si l'on n'enregistre pas en continu les valeurs de $T_{chiller}$ on peut utiliser sa valeur de crête observée au cours d'un essai comme une valeur constante pour déterminer une quantité constante d'eau conformément aux annexes A.7 et A.8. S'il est valable d'assumer que $T_{chiller}$ est égal à T_{dew}, on peut utiliser $T_{chiller}$ à la place de T_{dew} conformément aux annexes A.7 et A.8. S'il est valable d'assumer un décalage de température constant entre $T_{chiller}$ et T_{dew}, dû à une quantité connue de réchauffement de l'échantillon entre la sortie du refroidisseur et l'emplacement de mesure de la température, ce décalage de température peut être inclus comme facteur dans les calculs des émissions. La validité de toute hypothèse autorisée par le présent paragraphe doit être fondée sur une analyse technique ou par les données.

9.3.2.3.2 Pompes à échantillon

On utilisera les pompes à échantillon en amont de tout analyseur ou support de stockage de tout gaz. Ces pompes doivent avoir des surfaces internes en acier inoxydable, en PTFE, ou en tout autre matériau ayant de meilleures propriétés pour le prélèvement de gaz émis. Pour certaines pompes à échantillon, on règle la température de la manière suivante:

a) Si l'on utilise une pompe de prélèvement des NO_x en amont d'un convertisseur NO_2-à-NO conforme au paragraphe 8.1.11.5 ou un refroidisseur conforme au paragraphe 8.1.11.4, il convient de les chauffer pour éviter la condensation aqueuse;

b) Si l'on utilise une pompe de prélèvement des HCT en amont d'un analyseur de HCT ou d'un support de stockage, ses surfaces internes doivent être chauffées à (191 ± 11) °C.

9.3.2.4 Support de stockage d'échantillon

Dans le cas du prélèvement en sacs, les volumes de gaz devront être mis dans des conteneurs suffisamment propres, à la fois étanches et imperméables aux gaz. Le bon sens technique permet de déterminer des seuils acceptables de propreté et de perméabilité du support de stockage. Pour nettoyer un conteneur, on peut le purger à plusieurs reprises et le vider pour ensuite le chauffer. On utilise un conteneur flexible (tel qu'un sac) dans un environnement où la température est maintenue sous contrôle, ou un conteneur rigide réglé en température qui est initialement évacué ou qui a un volume pouvant être déplacé, par exemple un piston et un cylindre. On utilise les conteneurs conformes aux spécifications du tableau 9.1 ci-dessous.

CO, CO_2, O_2, CH_4, C_2H_6, C_3H_8, NO et NO_2[1]	fluorure de polyvynile (PVF)[2], fluorure de polyvinylidène[2] , polytétrafluoroéthylène[3] ou acier inoxydable[3]
HCT, HCNM	polytétrafluoroéthylène[4] ou acier inoxydable[4]

[1] À condition d'empêcher la condensation aqueuse dans le conteneur.
[2] Jusqu'à 40 °C.
[3] Jusqu'à 202 °C.
[4] A (191 ± 11) °C.

Tableau 9.1
Matériaux des récipients pour prélèvement de gaz par lots

9.3.3 Prélèvement des particules (MP)

9.3.3.1 Sondes de prélèvement

On utilisera des sondes MP à orifice unique d'extrémité. Elles seront orientées de manière à faire directement face au flux montant.

La sonde MP peut être protégée par une coiffe conforme aux exigences de la figure 9.3. Dans ce cas on n'utilise pas le séparateur primaire décrit au paragraphe 9.3.3.3.

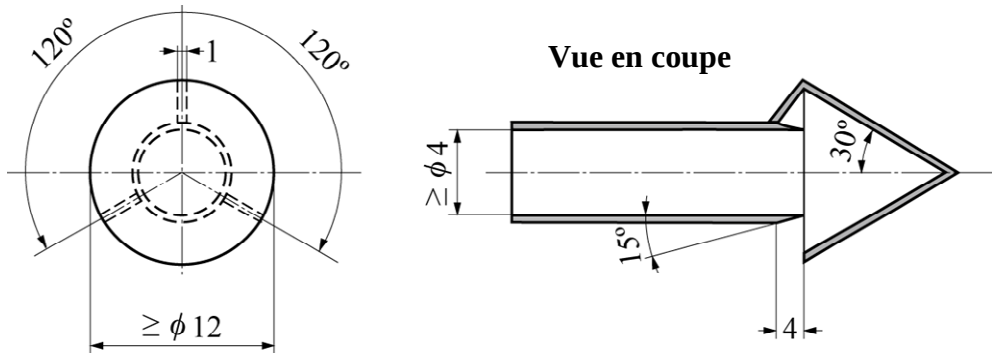


Figure 9.3
Représentation d'une sonde de prélèvement pourvue d'un séparateur primaire en forme de chapeau conique

9.3.3.2 Lignes de transfert

Il est recommandé d'utiliser des lignes de transfert isolées ou chauffées, voire à moitié chauffées, pour réduire autant que possible la différence de température entre les lignes de transfert et les composants des gaz d'échappement. On utilise des lignes de transfert qui sont internes par rapport aux MP et qui sont électriquement conductrices sur leurs faces intérieures. Il est recommandé d'utiliser des lignes de transfert en acier inoxydable, mais on peut utiliser tout autre matériau ayant les mêmes qualités en matière de prélèvement. La face interne des lignes de transfert de MP doit être électriquement à la masse.

9.3.3.3 Séparateur primaire

Il est permis d'utiliser un séparateur primaire de MP pour enlever les particules de grand diamètre; le séparateur primaire doit être installé dans le système de dilution directement avant le porte-filtre. Un seul séparateur primaire est autorisé. Si l'on utilise une sonde à chapeau conique (voir la figure 9.3), il est interdit d'utiliser un séparateur primaire.

Le séparateur primaire de MP doit être soit un impacteur par inertie, soit un séparateur cyclonique, en acier inoxydable. Le séparateur primaire doit avoir la capacité de retenir au moins 50 % de MP d'un diamètre aérodynamique de 10 µm et au maximum 1 % de MP d'un diamètre aérodynamique de 1 µm sur la plage des débits pour lesquels il est utilisé. La sortie du séparateur primaire doit être configurée par un dispositif permettant de contourner tout filtre à échantillon MP de manière telle que le débit du séparateur primaire puisse être stabilisé avant de commencer un nouvel essai. Le filtre à échantillons MP doit être situé environ 75 cm en aval de la sortie du séparateur primaire.

9.3.3.4 Filtre à échantillons

Les gaz d'échappement dilués doivent être prélevés au moyen d'un filtre répondant aux prescriptions des paragraphes 9.3.3.4.1 à 9.3.3.4.4 pendant la séquence d'essai.

9.3.3.4.1 Caractéristiques des filtres

Tous les types de filtre auront une efficacité de captage des DOP (di-octylphthalate) de 0,3 µm d'au moins 99,7 %. Les dimensions annoncées par le fabricant pour son filtre à échantillon peuvent être utilisées pour répondre à ce besoin. La matière du filtre sera:

a) Soit de la fibre de verre enduite de chlorofluorocarbone;

b) Soit une membrane de chlorofluorocarbone.

Si la masse nette de MP attendue du filtre dépasse 400 µg, on peut utiliser un filtre ayant une efficacité de collecte initiale de 98 %.

9.3.3.4.2 Taille du filtre

La taille nominale du filtre sera de 46,50 ± 0,6 mm en diamètre.

9.3.3.4.3 Dilution et régulation de la température des échantillons de MP

Les échantillons de MP doivent être dilués au moins une fois en amont des lignes de transfert dans le cas d'un système CVS et en aval en cas de système PFD (voir le paragraphe 9.3.3.2 relatif aux lignes de transfert). La température des échantillons doit être réglée à (47 ± 5) °C mesurée en tout point situé dans les 200 mm en amont ou les 200 mm en aval du support de stockage de MP. En principe, l'échantillon de MP doit être réchauffé ou refroidi préalablement par l'effet des conditions de dilution, comme indiqué au paragraphe 9.2.1 a).

9.3.3.4.4 Vitesse à la surface du filtre

La vitesse à la surface du filtre doit être comprise entre 0,90 et 1,00 m/s avec un total inférieur à 5 % des valeurs de débit enregistrées dépassant cette plage. Si la masse totale de MP dépasse 400 µg, on peut diminuer cette vitesse. Celle-ci doit être mesurée comme étant le débit volumique de l'échantillon à la pression en amont du filtre et la température à la surface du filtre, divisée par la surface exposée du filtre. La pression dans la pipe d'échappement ou dans le tunnel CVS doit être utilisée pour la pression en amont si la chute de pression due au passage dans l'échantillonneur de MP jusqu'au filtre est inférieure à 2 kPa.

9.3.3.4.5 Porte-filtre

Pour réduire autant que possible le dépôt turbulent et pour déposer les MP de manière uniforme sur un filtre, il convient d'utiliser un angle conique divergent de 12,5° (à partir du centre) jusqu'à la transition du diamètre intérieur de la ligne de transfert jusqu'à la partie exposée de la surface du filtre. Pour cette transition on utilise de l'acier inoxydable.

9.3.4 Conditions de stabilisation et de pesage des MP pour l'analyse gravimétrique

9.3.4.1 Contexte pour analyse gravimétrique

La présente section contient la description de deux environnements nécessaires pour stabiliser et peser les MP en vue de l'analyse gravimétrique: les conditions de stabilisation des MP, où sont stockés les filtres avant d'être pesés; et les conditions de pesage et l'endroit où est située la balance. Ces deux environnements peuvent partager un lieu qui leur est commun.

Les environnements de stabilisation et de pesage doivent être maintenus exempts d'éléments contaminants ambiants tels que la poussière, les aérosols ou les matériaux semi volatils qui pourraient contaminer les échantillons de MP.

9.3.4.2 Propreté

La propreté de l'environnement de stabilisation des MP utilisant des filtres de référence doit être vérifiée comme indiqué au paragraphe 8.1.12.1.4.

9.3.4.3 Température de la chambre

La température de la chambre ou de la pièce dans laquelle les filtres à particules sont conditionnés et pesés doit être maintenue à 22 ± 1 °C durant tout le conditionnement et le pesage des filtres. L'humidité doit être maintenue à un point de rosée de 9,5 ± 1 °C et une humidité relative de 45 ± 8 %. Si les environnements de stabilisation et de pesage sont distincts, l'environnement de stabilisation doit être maintenu à une température de 22 ± 3 °C.

9.3.4.4 Vérification des conditions ambiantes

Lorsque l'on utilise des instruments de mesure qui répondent aux spécifications du paragraphe 9.4 il faut respecter les conditions ambiantes suivantes:

a) Il faut prendre note du point de rosée et de la température ambiante. On utilisera ces valeurs pour déterminer si les conditions de stabilisation et de pesage sont restées dans les tolérances spécifiées au paragraphe 9.3.4.3 de la présente section pour 60 min au moins avant le pesage du filtre;

b) Il faut enregistrer en continu la pression atmosphérique ambiante. Une autre solution acceptable consiste à utiliser un baromètre qui mesure la pression atmosphérique à l'extérieur de l'environnement, pour autant que l'on puisse assurer que la pression atmosphérique à la balance est toujours la même, soit ±100 Pa de la pression atmosphérique. On doit pouvoir prendre note de la pression atmosphérique la plus récente à chaque pesage d'un échantillon de MP. Il faut utiliser cette valeur pour calculer la correction de la flottabilité des MP traitée dans le paragraphe 8.1.12.2.

9.3.4.5 Installation de la balance

Une balance doit être installée de la manière suivante:

a) Sur une plate-forme isolée des vibrations afin de l'isoler du bruit et des vibrations extérieures;

b) Protégée contre les flux d'air convectifs au moyen d'un pare-vent antistatique relié à la masse.

9.3.4.6 Charge d'électricité statique

Il faut limiter autant que possible la charge d'électricité statique dans l'environnement de la balance, et cela de la manière suivante:

a) La balance doit être électriquement mise à la terre;

b) Il faut utiliser des pinces en acier inoxydable pour la manipulation éventuelle d'échantillons de MP;

c) Les pinces doivent être mises à la masse ou bien l'opérateur doit mettre un bracelet de mise à la terre de telle sorte que la tresse de mise à la terre soit mise à la masse comme la balance;

d) Il faudra un neutralisateur d'électricité statique électriquement relié à la terre en commun avec la balance pour éliminer les charges d'électricité statique des échantillons de MP.

9.4 *Instruments de mesure*

9.4.1 Introduction

9.4.1.1 Champ d'activité

Le présent paragraphe concerne les instruments de mesure et les systèmes associés qui sont nécessaires pour les mesures sur les émissions. Il s'agit notamment d'instruments de laboratoire pour mesurer les paramètres du moteur, les conditions ambiantes, les paramètres liés aux débits ainsi que les concentrations des émissions (avec ou sans dilution).

9.4.1.2 Types d'instrument

Tout instrument mentionné dans le présent RTM doit être utilisé comme indiqué dans le RTM lui-même (voir le tableau 8.2 au sujet des quantités de mesure fournies par ces instruments). Quand un instrument mentionné dans le présent RTM est utilisé d'une manière autre que celle spécifiée, ou qu'un autre instrument est utilisé à sa place, la nécessité de dispositions d'équivalence s'applique, comme indiqué au paragraphe 5.1.3. Lorsque plusieurs instruments sont spécifiés pour une mesure particulière, l'un de ceux-ci doit être identifié par l'autorité d'homologation ou l'autorité de certification lors de la demande de référence afin de prouver que la procédure de rechange est équivalente à la procédure spécifiée.

9.4.1.3 Systèmes redondants

Les données provenant de multiples instruments pour calculer les résultats des essais pour un même essai doivent être utilisées pour tous les instruments de mesure décrits dans le présent paragraphe, moyennant accord préalable de l'autorité d'homologation de type ou de certification. Les résultats de toutes les mesures sont enregistrés et les données brutes sont conservées, comme indiqué au paragraphe 5.3. Cette condition s'applique indépendamment de l'utilisation des mesures dans les calculs.

9.4.2 Enregistrement et contrôle des données

Le système d'essai doit avoir la capacité de mettre les données à jour, d'enregistrer les données et de gérer les systèmes en rapport avec la demande de l'opérateur, le dynamomètre, les équipements de prélèvement et les instruments de mesure. On utilisera des systèmes d'acquisition et de contrôle des données qui sont capables d'enregistrer les fréquences minimales spécifiées, comme indiqué dans le tableau 9.2 (ce tableau ne s'applique pas aux essais en mode discret).

Section de protocole/ d'essai applicable	*Valeurs mesurées*	*Fréquence minimale de commande*	*Fréquence minimale d'enregistrement*
7.6	Régime et couple pendant une «step-map» du moteur	1 Hz	1 valeur moyenne par étape
7.6	Régime et couple pendant une «sweep-map» du moteur	5 Hz	1 Hz en moyenne
7.8.3	Régimes et couples en cycle d'essai transitoire	5 Hz	1 Hz en moyenne
7.8.2	Cycle d'essai en conditions stationnaires et à modes raccordés − vitesses et couples de référence et réels	1 Hz	1 Hz

Section de protocole/ d'essai applicable	*Valeurs mesurées*	*Fréquence minimale de commande*	*Fréquence minimale d'enregistrement*
7.3	Concentrations continues d'analyseurs de gaz bruts	s.o.	1 Hz
7.3	Concentrations continues d'analyseurs de gaz dilués	s.o.	1 Hz
7.3	Concentrations par lots des analyseurs de gaz bruts ou dilués	s.o.	1 valeur moyenne par intervalle d'essai
7.6 8.2.1	Débit des gaz d'échappement dilués provenant d'un prélèvement à volume constant avec un échangeur de chaleur en amont de la mesure du débit	s.o.	1 Hz
7.6 8.2.1	Débit des gaz d'échappement dilués provenant d'un prélèvement à volume constant sans échangeur de chaleur en amont de la mesure du débit	5 Hz	1 Hz en moyenne
7.6 8.2.1	Débit de l'air d'admission ou du débit d'échappement (pour mesure transitoire sur gaz bruts)	s.o.	1 Hz en moyenne
7.6 8.2.1	Air de dilution si activement contrôlé	5 Hz	1 Hz en moyenne
7.6 8.2.1	Débit d'échantillon d'un CVS avec un échangeur de chaleur	1 Hz	1 Hz
7.6 8.2.1	Débit d'échantillon d'un CVS sans échangeur de chaleur	5 Hz	1 Hz en moyenne

Tableau 9.2
Fréquences minimales d'enregistrement des données et de commande

9.4.3 Spécifications des performances pour les instruments de mesure

9.4.3.1 Aperçu général

L'ensemble du système doit être entièrement conforme aux étalonnages, vérifications et critères de validation des essais spécifiés dans le paragraphe 8.1, y compris les prescriptions en matière de contrôle de linéarité des paragraphes 8.1.4 et 8.2. Les instruments doivent être conformes aux spécifications du tableau 9.2 pour toutes les plages utilisées pour les essais. Par ailleurs, il faut conserver toute documentation reçue du fabricant des instruments prouvant que ceux-ci répondent aux spécifications du tableau 9.2.

9.4.3.2 Conditions s'appliquant à l'équipement

Le tableau 9.3 contient les spécifications des transducteurs de couple, de vitesse et de pression, des capteurs de température et de point de rosée et d'autres instruments. L'ensemble du système nécessaire pour mesurer certaines quantités physiques et/ou chimiques doit satisfaire à la vérification de linéarité du paragraphe 8.1.4. En ce qui concerne les mesures des émissions gazeuses, on peut utiliser des analyseurs qui ont des algorithmes de compensation qui sont fonction d'autres composants gazeux mesurés et des propriétés du carburant pour l'essai spécifique du moteur. Tout algorithme de compensation assurera uniquement la compensation de décalage sans intervenir sur le gain (c'est-à-dire sans distorsion).

Instrument de mesure	*Symbole de la quantité mesurée*	*Temps de montée du système complet*	*Fréquence de mise à jour de l'enregistrement*	*Justesse*[a]	*Répétabilité*[a]
Transducteur du régime moteur	n	1 s	1 Hz en moyenne	2,0 % de pt. ou 0,5 % de max	1,0 % de pt. ou 0,25 % de max
Transducteur du couple moteur	T	1 s	1 Hz en moyenne	2,0 % de pt. ou 1,0 % de max	1,0 % de pt. ou 0,5 % de max
Débitmètre de carburant (totalisateur)		5 s (n.a.)	1 Hz (n.a.)	2,0 % de pt. ou 1,5 % de max	1,0 % de pt. ou 0,75 % de max
Instrument de mesure du total des gaz d'échappement dilués (CVS) (avec échangeur de chaleur avant l'instrument)		1 s (5 s)	1 Hz en moyenne (1 Hz)	2,0 % de pt. ou 1,5 % de max	1,0 % de pt. ou 0,75 % de max
Débitmètre d'air de dilution, d'air d'admission, de gaz d'échappement et de prélèvement		1 s	1 Hz moyenne d'échantillons 5 Hz	2,5 % de pt. ou 1,5 % de max	1,25 % de pt. ou 0,75 % de max
Analyseur de gaz bruts en continu	x	2,5 s	2 Hz	2,0 % de pt. ou 2,0 % de meas	1,0 % de pt. ou 1,0 % de meas
Analyseur de gaz dilués en continu	x	5 s	1 Hz	2,0 % de pt. ou 2,0 % de meas	1,0 % de pt. ou 1,0 % de meas
Analyseur de gaz en continu	x	5 s	1 Hz	2,0 % de pt. ou 2,0 % de meas	1,0 % de pt. ou 1,0 % de meas
Analyseur de gaz par lots	x	n.a.	n.a.	2,0 % de pt. ou 2,0 % de meas	1,0 % de pt. ou 1,0 % de meas
Balance MP gravimétrique	m_{PM}	n.a.	n.a.	Voir 9.4.11	0,5 µg
Balance MP inertielle	m_{PM}	5 s	1 Hz	2,0 % de pt. ou 2,0 % de meas	1,0 % de pt. ou 1,0 % de meas

[a] La précision et la répétabilité sont déterminées à partir des mêmes données rassemblées, comme indiqué au paragraphe 9.4.3, et basées sur des valeurs absolues. Par «pt.» on entend la valeur moyenne globale escomptée à la limite d'émissions; «max» désigne la valeur de crête attendue à la limite d'émissions sur le cycle d'essai, et non la plage totale de l'instrument; «meas» désigne la moyenne réelle mesurée sur le cycle d'essai.

Tableau 9.3
Spécifications des performances recommandées des instruments de mesure

9.4.4 Mesure des paramètres du moteur et des conditions ambiantes

9.4.4.1 Capteurs de régime et de couple

9.4.4.1.1 Application

Les instruments de mesure pour les intrants et les extrants de travail pendant le fonctionnement du moteur doivent être conformes aux spécifications du présent paragraphe. Il est recommandé d'utiliser des capteurs, des transducteurs et des instruments de mesure répondant aux spécifications du tableau 9.3. Les systèmes globaux de mesure des intrants et des extrants de travail doivent être conformes aux vérifications de linéarité du paragraphe 8.1.4.

9.4.4.1.2 Arbre

Le travail et la puissance doivent être calculés à partir des transducteurs de vitesse et de couple conformément au paragraphe 9.4.4.1. Les systèmes globaux de mesure du régime et du couple seront conformes aux étalonnages et aux vérifications des paragraphes 8.1.7 et 8.1.4.

Le couple produit par l'inertie des éléments en accélération et en décélération connectés au volant, par exemple l'arbre d'entraînement du rotor de dynamomètre, doit être compensé.

9.4.4.2 Transducteurs de pression, capteurs de température et capteurs de point de rosée

L'ensemble des systèmes pour mesurer la pression, la température et le point de rosée sera conforme aux étalonnages du paragraphe 8.1.7.

Les transducteurs de pression doivent être situés dans un environnement dont la température est sous contrôle; à défaut, ils compenseront les changements de température sur leur plage de fonctionnement attendue. Les matériaux des transducteurs doivent être compatibles avec le fluide qu'ils sont appelés à mesurer.

9.4.5 Mesures en rapport avec le débit

Pour tout type de débitmètre (pour carburant, air d'admission, gaz d'échappement bruts, gaz d'échappement dilués, échantillons), le débit doit être conditionné selon les besoins pour empêcher les effets de sillage, de turbulence, de contre-courants, de pulsations du débit pouvant affecter la précision ou la répétabilité de l'instrument. Pour certains instruments, on peut satisfaire à cette condition par l'utilisation d'une longueur suffisante de tube droit (par exemple une longueur correspondant à 10 fois le diamètre) ou en utilisant des coudes de tube spécialement étudiés, des ailettes de guidage, des plaques à orifice calibré (ou des amortisseurs de pulsations pneumatiques pour le débitmètre de carburant) afin d'établir un profil de vitesse prévisible et constant en amont de l'instrument.

9.4.5.1 Débitmètre de carburant

L'ensemble du système de mesure du débit de carburant doit être conforme à l'étalonnage du paragraphe 8.1.8.1. Dans toute mesure sur le débit du carburant, on tiendra compte du carburant qui contourne le système ou revient du moteur jusqu'au réservoir de carburant.

9.4.5.2 Débitmètre d'air d'admission

L'ensemble du système de mesure du débit d'air d'admission doit correspondre à l'étalonnage du paragraphe 8.1.8.2.

9.4.5.3 Débitmètre de gaz d'échappement bruts

9.4.5.3.1 Conditions s'appliquant à l'équipement

Le système complet de mesure du débit des gaz d'échappement bruts va répondre aux prescriptions de linéarité du paragraphe 8.1.4. Tout débitmètre de gaz d'échappement bruts doit être conçu pour compenser de manière appropriée les changements intervenant dans les états thermodynamiques, de fluide et de composition des gaz d'échappement bruts.

9.4.5.3.2 Temps de réponse du débitmètre

Pour les besoins de gestion d'un système de dilution du flux partiel en vue d'en extraire un échantillon de gaz d'échappement bruts proportionnel, il faut un temps de réponse du débitmètre plus rapide que celui indiqué dans le tableau 9.2. Dans le cas des systèmes de dilution du flux partiel, avec des commandes en ligne, le temps de réponse du débitmètre doit satisfaire aux prescriptions du paragraphe 8.2.1.2.

9.4.5.3.3 Refroidissement des gaz d'échappement

Il est permis de refroidir les gaz d'échappement en amont du débitmètre avec les restrictions suivantes:

a) Les MP ne devront pas être prélevées en aval du refroidissement;

b) Si le refroidissement est tel que les températures supérieures à 202 °C passent à moins de 180 °C, les HCNM ne devront pas être prélevés en aval du refroidissement;

c) Si le refroidissement cause une condensation aqueuse, il ne faudra pas prélever les NO_x en aval du refroidissement à moins que le refroidisseur ne réponde aux vérifications de performances du paragraphe 8.1.11.4;

d) Si le refroidissement produit une condensation aqueuse avant que le débit n'atteigne le débitmètre, T_{dew} et la pression p_{total} doivent être mesurés à l'entrée du débitmètre. Ces valeurs doivent être utilisées dans les calculs d'émissions conformément aux annexes A.7 et A.8.

9.4.5.4 Air de dilution et débitmètres des gaz d'échappement dilués

9.4.5.4.1 Application

Il convient d'établir les débits des gaz d'échappement dilués instantanés ou le débit total des gaz d'échappement dilués sur un intervalle donné en utilisant un débitmètre de gaz d'échappement dilués. On peut calculer le débit des gaz d'échappement bruts ou le débit des gaz d'échappement bruts totaux sur un intervalle d'essai par la différence entre un débitmètre de gaz d'échappement dilués et un débitmètre d'air de dilution.

9.4.5.4.2 Besoins au niveau des composants

L'ensemble du système de mesure du débit des gaz d'échappement dilués doit satisfaire aux étalonnages et vérifications des paragraphes 8.1.8.4 et 8.1.8.5. On peut utiliser les instruments suivants:

a) Pour un prélèvement à volume constant (CVS) du débit total des gaz d'échappement dilués, un venturi-tuyère en régime critique (CFV) ou plusieurs de ces venturis disposés en parallèle, une pompe volumétrique (PDP), un venturi subsonique (SSV) ou un débitmètre à ultrasons (UFM). En combinaison avec un échangeur de chaleur disposé en amont, un CFV ou une PDP fonctionne également comme un débitmètre passif en maintenant la température des gaz d'échappement dilués constante dans un système CVS;

b) Pour le système de dilution du flux partiel (PFD), on peut utiliser la combinaison d'un débitmètre et d'un système de commande du flux actif afin de conserver le prélèvement proportionnel des éléments constitutifs des gaz d'échappement. Le débit total des gaz d'échappement dilués, ou un ou plusieurs de ces débits échantillons, voire une combinaison de ces débits, peuvent être réglés pour maintenir le prélèvement proportionnel.

Pour tout autre système de dilution, on peut utiliser un élément à flux laminaire, un ou plusieurs venturis à débit critique disposés en parallèle, un compteur volumétrique, un instrument de mesure de la masse thermique, un tube de Pitot calculant la moyenne ou un anémomètre thermique.

9.4.5.4.3 Refroidissement des gaz d'échappement

Le débit de gaz d'échappement dilués d'un débitmètre peut être refroidi à condition de respecter les conditions suivantes:

a) Les MP ne devront pas être prélevées en aval du refroidissement;

b) Si le refroidissement fait en sorte que les températures supérieures à 202 °C descendent au-dessous de 180 °C, les HCNM ne devront pas être prélevés en aval du refroidissement;

c) Si le refroidissement provoque une condensation aqueuse, les NO_x ne devront pas être prélevés en aval du refroidissement à moins que le refroidisseur ne réponde aux vérifications de performances du paragraphe 8.1.11.4;

d) Si le refroidissement produit une condensation aqueuse avant que le flux n'atteigne un débitmètre, le point de rosée, T_{dew} et la pression p_{total} devront être mesurés à l'entrée du débitmètre. Ces valeurs doivent être utilisées dans les calculs d'émissions conformément aux annexes A.7 et A.8.

9.4.5.5 Débitmètre d'échantillon pour le prélèvement composite par lots

Il convient d'utiliser un débitmètre d'échantillon pour déterminer les débits des échantillons ou le débit total prélevé dans un système de prélèvement composite sur la durée d'un intervalle d'essai. La différence entre deux débitmètres peut être utilisée pour calculer le débit échantillon dans le tunnel de dilution, par exemple pour la mesure des MP de dilution du flux partiel et la mesure des MP du flux de dilution secondaire. Les spécifications d'une mesure du débit différentiel pour en tirer un échantillon de gaz d'échappement bruts proportionnel sont données au paragraphe 8.1.8.6.1 et l'étalonnage de la mesure du débit différentiel est donné au paragraphe 8.1.8.6.2.

Le système global pour le débitmètre d'échantillon doit satisfaire à l'étalonnage du paragraphe 8.1.8.

9.4.5.6 Diviseur de gaz d'échappement

On peut utiliser un diviseur de gaz d'échappement pour mélanger différents gaz.

Il convient d'utiliser un diviseur de gaz d'échappement qui mélange les gaz conformément aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et aux concentrations attendues pendant les essais. On peut utiliser les diviseurs de gaz à flux critique, les diviseurs de gaz à tube capillaire ou les diviseurs de gaz mesurant la masse thermique. On appliquera les corrections de viscosité selon les besoins (si cela n'est pas fait par le logiciel interne du diviseur de gaz) pour veiller à une division appropriée du gaz. Le diviseur de gaz doit répondre à la vérification de linéarité du paragraphe 8.1.4.5. Facultativement, le dispositif de mélange peut être vérifié au moyen d'un instrument qui, par nature, est linéaire, qui utilise par exemple un gaz NO avec un CLD. La valeur de sensibilité de l'instrument sera réglée au moyen du gaz de calibrage branché directement sur l'instrument. Le diviseur de gaz doit être contrôlé au réglage utilisé et la valeur nominale doit être comparée aux concentrations mesurées par l'instrument.

9.4.6 Mesures du CO et du CO_2

Un analyseur de gaz infrarouge non dispersif (NDIR) doit être utilisé pour mesurer les concentrations de CO et de CO_2 dans les gaz d'échappement bruts ou dilués en prélèvement par lots ou en prélèvement continu.

Le système basé sur l'analyseur NDIR doit répondre aux prescriptions d'étalonnage et de vérification du paragraphe 8.1.8.1.

9.4.7 Mesure des hydrocarbures

9.4.7.1 Détecteur à ionisation de flamme

9.4.7.1.1 Application

Un analyseur à ionisation de flamme chauffé sert à mesurer les concentrations des hydrocarbures dans les gaz d'échappement bruts ou dilués pour le prélèvement par lots et le prélèvement en continu. Il convient de déterminer les concentrations d'hydrocarbures sur la base d'un nombre de carbone de un, C_1. Les valeurs des hydrocarbures méthaniques et non méthaniques doivent être déterminées comme indiqué au paragraphe 9.4.7.1.4. Les analyseurs FID chauffés doivent maintenir toutes les surfaces qui sont exposées aux émissions à une température de 191 ± 11 °C.

9.4.7.1.2 Exigences concernant les composants

Le système basé sur le FID pour mesurer les HCT ou le CH_4 doit satisfaire à toutes les vérifications pour les mesures des hydrocarbures du paragraphe 8.1.10.

9.4.7.1.3 Carburant et air de combustion du détecteur FID

Le carburant et l'air de combustion du FID doivent satisfaire aux spécifications du paragraphe 9.5.1. Le carburant et l'air ne doivent pas être mélangés avant d'entrer dans l'analyseur FID pour garantir que celui-ci fonctionne avec une flamme de diffusion et non une flamme à prémélange.

9.4.7.1.4 Méthane

Les analyseurs FID mesurent la quantité d'hydrocarbures totaux (HCT). Pour déterminer les hydrocarbures non méthaniques (HCNM), le méthane et le CH_4, doivent être quantifiés soit avec un convertisseur de HCNM et un

détecteur FID comme indiqué au paragraphe 9.4.7.2, soit par une chromatographie gazeuse comme celle décrite au paragraphe 9.4.7.3. En ce qui concerne l'analyseur FID utilisé pour déterminer les HCNM, son facteur de réponse au CH_4, RF_{CH4}, doit être établi comme indiqué au paragraphe 8.1.10.1. Les calculs relatifs aux HCNM sont présentés dans les annexes A.7 et A.8.

9.4.7.1.5 Hypothèse relative au méthane

Au lieu de mesurer le méthane, on peut partir de l'hypothèse que 2 % du total des hydrocarbures sont du méthane, comme indiqué dans les annexes A.7 et A.8.

9.4.7.2 Convertisseur de HCNM

9.4.7.2.1 Application

Un convertisseur de HCNM peut être utilisé pour mesurer le CH_4 avec un analyseur FID. Un convertisseur de HCNM oxyde tous les hydrocarbures non méthaniques en CO_2 et H_2O. Il peut être utilisé pour les gaz d'échappement bruts ou dilués, et pour le prélèvement par lots ou en continu.

9.4.7.2.2 Performances du système

Les performances du convertisseur de HCNM doivent être établies comme indiqué au paragraphe 8.1.10.3 et les résultats doivent être utilisés pour calculer les émissions de HCNM conformément aux annexes A.7 et A.8.

9.4.7.2.3 Configuration

Le convertisseur de HCNM sera configuré avec une canalisation de dérivation pour la vérification décrite en 8.1.10.3.

9.4.7.2.4 Optimisation

Un convertisseur HCNM peut être optimalisé pour rendre maximale la pénétration du CH_4 et de l'oxydation de tous les autres hydrocarbures. Un échantillon peut être humidifié et un autre peut être dilué avec de l'air pur ou de l'oxygène (O_2) en amont des HCNM afin d'optimiser ses performances. On doit tenir compte de toute humidification et dilution de l'échantillon dans les calculs relatifs aux émissions.

9.4.7.3 Chromatographie en phase gazeuse

Application: On peut utiliser une chromatographie en phase gazeuse pour mesurer les concentrations de CH_4 des gaz d'échappement dilués pour le prélèvement par lots. Bien que l'on puisse aussi utiliser un convertisseur de HCNM pour mesurer le CH_4, comme cela est décrit dans le paragraphe 9.4.7.2, on utilise une procédure de référence basée sur la chromatographie en phase gazeuse pour établir la comparaison avec toute procédure de mesure proposée au paragraphe 5.3.

9.4.8 Mesure des NO_x

Deux instruments de mesure sont spécifiés pour la mesure des NO_x, on peut utiliser indifféremment l'un des deux à condition qu'il réponde aux critères spécifiés dans le paragraphe 9.4.8.1 ou 9.4.8.2. Il convient d'utiliser un détecteur de chimiluminescence comme procédure de référence en cas de comparaison avec une procédure de mesure autre proposée au titre du paragraphe 5.3.

9.4.8.1 Détecteur par chimiluminescence

9.4.8.1.1 Application

Un détecteur à chimiluminescence (CLD) couplé à un convertisseur de NO_2-à-NO permet de mesurer la concentration de NO_x dans les gaz d'échappement bruts ou dilués pour le prélèvement par lots ou en continu.

9.4.8.1.2 Éléments nécessaires

Le système basé sur le CLD doit satisfaire à la vérification de la trempe du paragraphe 8.1.11.1. On peut utiliser un CLD chauffé ou non chauffé ainsi qu'un CLD qui fonctionne à la pression atmosphérique ou sous vide.

9.4.8.1.3 Convertisseur NO_2-à-NO

Un convertisseur NO_2-à-NO interne ou externe conforme à la vérification du paragraphe 8.1.11.5 doit être placé en amont du CLD alors que le convertisseur doit être configuré avec une dérivation pour faciliter cette vérification.

9.4.8.1.4 Effets de l'humidité

Toutes les températures CLD doivent être maintenues pour éviter la condensation aqueuse. Pour enlever l'humidité d'un échantillon en amont du CLD, on utilise l'une des configurations suivantes:

a) Un CLD connecté en aval de tout sécheur ou refroidisseur se trouvant en aval d'un convertisseur NO_2-à-NO et qui satisfait à la vérification du paragraphe 8.1.11.5;

b) Un CLD connecté en aval de tout sécheur ou refroidisseur thermique qui satisfait à la vérification du paragraphe 8.1.11.4.

9.4.8.1.5 Temps de réponse

On peut utiliser un CLD chauffé pour améliorer le temps de réponse du CLD.

9.4.8.2 Analyseur non dispersif à absorption dans l'ultraviolet

9.4.8.2.1 Application

Un analyseur non dispersif à absorption dans l'ultraviolet (NDUV) est utilisé pour mesurer la concentration de NO_x dans les gaz d'échappement bruts ou dilués pour le prélèvement par lots ou en continu.

9.4.8.2.2 Exigences concernant l'équipement

Le système basé sur l'analyseur NDUV doit satisfaire aux vérifications du paragraphe 8.1.11.3.

9.4.8.2.3 Convertisseur NO_2-à-NO

Si l'analyseur NDUV mesure uniquement le NO, il convient de placer un convertisseur NO_2-à-NO interne ou externe répondant aux critères du paragraphe 8.1.11.5 en amont de l'analyseur NDUV. Le convertisseur doit être équipé d'une dérivation pour faciliter cette vérification.

9.4.8.2.4 Effets de l'humidité

Il faut maintenir la température du NDUV pour éviter la condensation aqueuse à moins de recourir à l'une des configurations suivantes:

a) Un NDUV doit être connecté en aval de tout sécheur ou refroidisseur qui est en aval d'un convertisseur NO_2-à-NO répondant à la vérification du paragraphe 8.1.11.5;

b) Un NDUV doit être connecté en aval de tout sécheur ou refroidisseur thermique qui satisfait à la vérification du paragraphe 8.1.11.4.

9.4.9 Mesures de O_2

On utilise un analyseur à détection paramagnétique (PMD) ou à détection magnéto-pneumatique (MPD) pour mesurer la concentration de O_2 dans les gaz d'échappement bruts ou dilués pour le prélèvement en continu ou par lots.

9.4.10 Mesures du rapport air à carburant

Un analyseur à sonde au zirconium (ZrO_2) peut être utilisé pour mesurer le rapport air-carburant dans les gaz d'échappement bruts ou un prélèvement en continu. Les mesures de O_2 avec des mesures de l'air d'admission ou de débit de carburant doivent être utilisées pour calculer le débit des gaz d'échappement conformément aux annexes A.7 et A.8.

9.4.11 Mesure des MP avec une balance gravimétrique

On utilise une balance pour établir le poids net des particules prélevées sur les filtres-échantillons.

La condition minimale relative à la précision de la balance doit être égale ou inférieure à la valeur de répétabilité de 0,5 mg recommandée dans le tableau 9.3. Si la balance comporte des poids d'étalonnage internes pour les réglages et les vérifications de routine, les poids d'étalonnage doivent satisfaire aux prescriptions du paragraphe 9.5.2.

Les gaz d'analyse doivent satisfaire aux spécifications de précision et de pureté de la présente section.

9.5 *Gaz d'analyse et normes de masse*

9.5.1 Gaz d'analyse

Les gaz d'analyse doivent satisfaire aux spécifications de précision et de pureté de la présente section.

9.5.1.1 Prescriptions concernant les gaz

Les prescriptions suivantes s'appliquent aux gaz:

a) Il convient d'utiliser des gaz purifiés pour la mise à zéro des instruments de mesure et pour le mélange avec les gaz d'étalonnage. On utilise des gaz dont la contamination n'est pas supérieure à la plus élevée des valeurs suivantes dans le cylindre à gaz ou à la sortie d'un générateur de gaz de zéro:

i) Contamination de 2 %, mesurée par rapport à la concentration moyenne attendue pour la norme. Par exemple, si l'on prévoit une concentration de CO de 100,0 µmol/mol, il serait permis d'utiliser un gaz de zéro dont la contamination du CO est inférieure ou égale à 2,000 µmol/mol;

ii) La contamination telle que spécifiée dans le tableau 9.4, applicable aux mesures brutes ou diluées;

iii) La contamination telle que définie dans le tableau 9.5, applicable aux mesures brutes;

Constituant	*Air synthétique purifié*[a]	*N_2 purifié*[a]
HCT (équivalent C_1)	<0,05 µmol/mol	<0,05 µmol/mol
CO	<1 µmol/mol	<1 µmol/mol
CO_2	<10 µmol/mol	<10 µmol/mol
O_2	0,205 à 0,215 mol/mol	<2 µmol/mol
NO_x	<0,02 µmol/mol	<0,02 µmol/mol

[a] Il n'est pas nécessaire que ces niveaux de pureté soient reconnus au plan international et/ou national comme des normes étalonnées.

Tableau 9.4
Limites de contamination applicables aux mesures brutes ou diluées [µmol/mol = ppm (3.2)]

Constituant	*Air synthétique purifié*[a]	*N_2 purifié*[a]
HCT (équivalent C_1)	≤1 µmol/mol	≤1 µmol/mol
CO	≤1 µmol/mol	≤1 µmol/mol
CO_2	≤400 µmol/mol	≤400 µmol/mol
O_2	0,18 à 0,21 mol/mol	–
NO_x	≤0,1 µmol/mol	≤0,1 µmol/mol

[a] Il n'est pas nécessaire que ces niveaux de pureté soient reconnus au plan international et/ou national comme des normes étalonnées.

Tableau 9.5
Limites de contamination applicables aux mesures brutes [µmol/mol = ppm (3.2)]

b) On doit utiliser les gaz suivants avec un analyseur FID:

i) Le combustible du FID doit être utilisé avec une concentration de H_2 de (0,39 à 0,41) mol/mol. Le mélange ne doit pas contenir plus de 0,05 µmol/mol d'hydrocarbures totaux;

ii) Il convient d'utiliser, pour le détecteur FID, de l'air qui réponde aux prescriptions relatives à l'air purifié énoncées sous a) ci-dessus;

iii) Gaz de zéro du détecteur FID. Les détecteurs à ionisation de flamme doivent être mis à zéro avec un gaz purifié qui satisfait aux prescriptions du paragraphe a) ci-dessus, à cela près que la concentration en O_2 du gaz purifié peut prendre n'importe quelle valeur;

iv) Gaz d'étalonnage propane pour le détecteur FID. Le détecteur FID de l'analyseur des hydrocarbures totaux doit être étalonné et calibré avec des concentrations de réglage de propane, C_3H_8. Il doit être étalonné sur la base d'un nombre carbone de un (C_1);

v) Gaz de calibrage méthanique du FID. Si un détecteur FID de CH_4 est toujours étalonné et calibré avec un convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques, le FID sera calibré et étalonné avec des concentrations

d'étalonnage de méthane, CH_4. Il sera étalonné sur la base d'un nombre carbone de un (C_1);

c) On doit utiliser les mélanges de gaz suivants, gaz qui doivent être traçables à ±1,0 % près de la valeur réelle selon des normes internationalement et/ou nationalement reconnues ou d'autres normes relatives aux gaz qui sont approuvées:

i) CH_4, complément air synthétique purifié et/ou N_2 (selon le cas);

ii) C_2H_6, complément air synthétique purifié et/ou N_2 (selon le cas);

iii) C_3H_8, complément air synthétique purifié et/ou N_2 (selon le cas);

iv) CO, complément N_2 purifié;

v) CO_2, complément N_2 purifié;

vi) NO, complément N_2 purifié;

vii) NO_2, complément air synthétique purifié;

viii) O_2, complément N_2 purifié;

ix) C_3H_8, CO, CO_2, NO, complément N_2 purifié;

x) C_3H_8, CH_4, CO, CO_2, NO, complément N_2 purifié;

d) Des gaz pour des espèces autres que celles énumérées dans le paragraphe c) ci-dessus peuvent aussi être utilisés (tels que du méthanol dans l'air pour déterminer les facteurs de réponse), aussi longtemps qu'ils sont traçables à ±3,0 % près de la valeur réelle selon des normes internationales et/ou nationales reconnues et conformes aux exigences de stabilité du paragraphe 9.5.1.2;

e) On peut produire ses propres gaz d'étalonnage au moyen d'un dispositif de mélange de précision, un diviseur de gaz par exemple, pour diluer les gaz avec de l'azote purifié ou de l'air synthétique purifié. Si les diviseurs de gaz satisfont aux spécifications du paragraphe 9.4.5.6 et que les gaz en cours de mélange satisfont aux prescriptions des paragraphes a) et c) ci-dessus, on considère que les mélanges qui en résultent sont conformes aux prescriptions du présent paragraphe 9.5.1.1.

9.5.1.2 Concentration et date d'expiration

On prendra note de la concentration de tout gaz d'étalonnage normalisé et sa date d'expiration indiquée par le fournisseur:

a) Aucun gaz d'étalonnage standard ne peut être utilisé après sa date d'expiration, sauf dans les limites du paragraphe b) ci-dessous;

b) Les gaz d'étalonnage peuvent être réétiquetés et utilisés après leur date d'expiration si cela est préalablement approuvé par l'autorité d'homologation de type ou de certification.

9.5.1.3 Transfert des gaz

Les gaz sont transférés de leur source aux analyseurs au moyen de dispositifs qui sont spécialement destinés au contrôle et au transfert de ces gaz.

Les dates limites d'utilisation de tous les gaz d'étalonnage doivent être respectées. La date d'expiration déclarée par le fabricant doit être enregistrée.

9.5.2 Normes en matière de poids

Il convient d'utiliser pour la balance MP des poids d'étalonnage qui sont certifiés et internationalement et/ou nationalement reconnus et traçables avec une incertitude inférieure à 0,1 %. Les poids d'étalonnage peuvent être certifiés par un laboratoire spécialisé au plan international et/ou national. On s'assure que le poids d'étalonnage le plus faible ne dépasse pas 10 fois celui d'un support d'échantillon de MP inutilisé. Le rapport d'étalonnage doit également préciser la densité des poids.

Annexe A.1

Cycles d'essai

A.1.1 *Essai en conditions stationnaires à modes discrets*

a) Dans le cas des moteurs à régime variable, on respecte le cycle à 8 modes[4] suivant pour le fonctionnement du moteur sur le dynamomètre:

Numéro de mode	*Régime du moteur*	*Couple [%]*	*Coefficient de pondération*
1	Nominal	100	0,15
2	Nominal	75	0,15
3	Nominal	50	0,15
4	Nominal	10	0,10
5	Intermédiaire	100	0,10
6	Intermédiaire	75	0,10
7	Intermédiaire	50	0,10
8	Ralenti	–	0,15

b) Dans le cas des moteurs à régime constant, on suit le cycle à 5 modes[5] suivant pour le fonctionnement du moteur sur le dynamomètre:

Numéro de mode	*Régime du moteur*	*Couple [%]*	*Coefficient de pondération*
1	Nominal	100	0,05
2	Nominal	75	0,25
3	Nominal	50	0,30
4	Nominal	25	0,30
5	Nominal	10	0,10

Les chiffres relatifs à la charge sont des valeurs en pourcentage du couple correspondant à la puissance nominale[6] définie comme étant la puissance maximale disponible au cours d'une séquence à puissance variable, qui peut être utilisée pendant un nombre illimité d'heures par an, l'entretien étant assuré comme prescrit par le fabricant.

A.1.2 *Cycle d'essai en conditions stationnaires à modes raccordés*

a) Pour les moteurs à régime variable, le cycle d'essai à 9 modes suivant s'applique en cas d'essai à modes raccordés:

[4] Identique au cycle C1 du paragraphe 8.3 de la norme ISO 8178-4:2007.
[5] Identique au cycle D2 du paragraphe 8.4 de la norme ISO 8178-4:2007.
[6] On trouvera une meilleure définition de la puissance immédiatement disponible dans la figure 2 de la norme ISO 8528-1:1993(E).

Mode RMC		*Temps sur ce mode [s]*	*Régime moteur*[a, c]	*Couple (%)*[b, c]
1a	Conditions stationnaires	126	Ralenti à chaud	0
1b	Transition	20	Transition linéaire (2)	Transition linéaire
2a	Conditions stationnaires	159	Intermédiaire	100
2b	Transition	20	Intermédiaire	Transition linéaire
3a	Conditions stationnaires	160	Intermédiaire	50
3b	Transition	20	Intermédiaire	Transition linéaire
4a	Conditions stationnaires	162	Intermédiaire	75
4b	Transition	20	Transition linéaire	Transition linéaire
5a	Conditions stationnaires	246	Nominal	100
5b	Transition	20	Nominal	Transition linéaire
6a	Conditions stationnaires	164	Nominal	10
6b	Transition	20	Nominal	Transition linéaire
7a	Conditions stationnaires	248	Nominal	75
7b	Transition	20	Nominal	Transition linéaire
8a	Conditions stationnaires	247	Nominal	50
8b	Transition	20	Transition linéaire	Transition linéaire
9	Conditions stationnaires	128	Ralenti à chaud	0

[a] Régime comme indiqué dans la note pour le mode d'essai discret en conditions stationnaires.
[b] Le pourcentage de couple est relatif au couple maximum au régime moteur commandé.
[c] Progression d'un mode au suivant dans les 20 s de la phase de transition. Pendant celle-ci, commande d'une progression linéaire du réglage de couple du mode en cours, réglage de couple du mode suivant et commande simultanée de progression linéaire similaire pour le régime moteur s'il y a un changement du réglage du régime.

b) Pour les moteurs à régime constant, on applique le cycle d'essai à 5 modes suivant en cas d'essai à modes raccordés:

Mode RMC		*Temps sur ce mode [s]*	*Régime moteur*[a, c]	*Couple (%)*[b, c]
1a	Conditions stationnaires	53	Réglé par le moteur	100
1b	Transition	20	Réglé par le moteur	Transition linéaire
2a	Conditions stationnaires	101	Réglé par le moteur	10
2b	Transition	20	Réglé par le moteur	Transition linéaire
3a	Conditions stationnaires	277	Réglé par le moteur	75
3b	Transition	20	Réglé par le moteur	Transition linéaire
4a	Conditions stationnaires	339	Réglé par le moteur	25
4b	Transition	20	Réglé par le moteur	Transition linéaire
5	Conditions stationnaires	350	Réglé par le moteur	50

[a] Le pourcentage de couple est relatif au couple d'essai maximal.
[b] Progression d'un mode au suivant dans les 20 s de la phase de transition. Pendant celle-ci, commande d'une progression linéaire du réglage de couple du mode en cours, réglage de couple du mode suivant.

A.1.3 *Cycle transitoire*

a) Pour les moteurs à régime variable, le programme suivant entièrement transitoire (régime et charge variables) s'applique:

Temps	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*
s	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*
1	0	0	52	102	46	103	74	24
2	0	0	53	102	41	104	77	6
3	0	0	54	102	31	105	76	12
4	0	0	55	89	2	106	74	39
5	0	0	56	82	0	107	72	30
6	0	0	57	47	1	108	75	22
7	0	0	58	23	1	109	78	64
8	0	0	59	1	3	110	102	34
9	0	0	60	1	8	111	103	28
10	0	0	61	1	3	112	103	28
11	0	0	62	1	5	113	103	19
12	0	0	63	1	6	114	103	32
13	0	0	64	1	4	115	104	25
14	0	0	65	1	4	116	103	38
15	0	0	66	0	6	117	103	39
16	0	0	67	1	4	118	103	34
17	0	0	68	9	21	119	102	44
18	0	0	69	25	56	120	103	38
19	0	0	70	64	26	121	102	43
20	0	0	71	60	31	122	103	34
21	0	0	72	63	20	123	102	41
22	0	0	73	62	24	124	103	44
23	0	0	74	64	8	125	103	37
24	1	3	75	58	44	126	103	27
25	1	3	76	65	10	127	104	13
26	1	3	77	65	12	128	104	30
27	1	3	78	68	23	129	104	19
28	1	3	79	69	30	130	103	28
29	1	3	80	71	30	131	104	40
30	1	6	81	74	15	132	104	32
31	1	6	82	71	23	133	101	63
32	2	1	83	73	20	134	102	54
33	4	13	84	73	21	135	102	52
34	7	18	85	73	19	136	102	51
35	9	21	86	70	33	137	103	40
36	17	20	87	70	34	138	104	34
37	33	42	88	65	47	139	102	36
38	57	46	89	66	47	140	104	44
39	44	33	90	64	53	141	103	44
40	31	0	91	65	45	142	104	33
41	22	27	92	66	38	143	102	27
42	33	43	93	67	49	144	103	26
43	80	49	94	69	39	145	79	53
44	105	47	95	69	39	146	51	37
45	98	70	96	66	42	147	24	23

Temps	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*
s	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*
46	104	36	97	71	29	148	13	33
47	104	65	98	75	29	149	19	55
48	96	71	99	72	23	150	45	30
49	101	62	100	74	22	151	34	7
50	102	51	101	75	24	152	14	4
51	102	50	102	73	30	153	8	16
154	15	6	205	20	18	256	102	84
155	39	47	206	27	34	257	58	66
156	39	4	207	32	33	258	64	97
157	35	26	208	41	31	259	56	80
158	27	38	209	43	31	260	51	67
159	43	40	210	37	33	261	52	96
160	14	23	211	26	18	262	63	62
161	10	10	212	18	29	263	71	6
162	15	33	213	14	51	264	33	16
163	35	72	214	13	11	265	47	45
164	60	39	215	12	9	266	43	56
165	55	31	216	15	33	267	42	27
166	47	30	217	20	25	268	42	64
167	16	7	218	25	17	269	75	74
168	0	6	219	31	29	270	68	96
169	0	8	220	36	66	271	86	61
170	0	8	221	66	40	272	66	0
171	0	2	222	50	13	273	37	0
172	2	17	223	16	24	274	45	37
173	10	28	224	26	50	275	68	96
174	28	31	225	64	23	276	80	97
175	33	30	226	81	20	277	92	96
176	36	0	227	83	11	278	90	97
177	19	10	228	79	23	279	82	96
178	1	18	229	76	31	280	94	81
179	0	16	230	68	24	281	90	85
180	1	3	231	59	33	282	96	65
181	1	4	232	59	3	283	70	96
182	1	5	233	25	7	284	55	95
183	1	6	234	21	10	285	70	96
184	1	5	235	20	19	286	79	96
185	1	3	236	4	10	287	81	71
186	1	4	237	5	7	288	71	60
187	1	4	238	4	5	289	92	65
188	1	6	239	4	6	290	82	63
189	8	18	240	4	6	291	61	47
190	20	51	241	4	5	292	52	37
191	49	19	242	7	5	293	24	0
192	41	13	243	16	28	294	20	7
193	31	16	244	28	25	295	39	48
194	28	21	245	52	53	296	39	54
195	21	17	246	50	8	297	63	58
196	31	21	247	26	40	298	53	31

Temps	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*
s	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*
197	21	8	248	48	29	299	51	24
198	0	14	249	54	39	300	48	40
199	0	12	250	60	42	301	39	0
200	3	8	251	48	18	302	35	18
201	3	22	252	54	51	303	36	16
202	12	20	253	88	90	304	29	17
203	14	20	254	103	84	305	28	21
204	16	17	255	103	85	306	31	15
307	31	10	358	29	0	409	34	43
308	43	19	359	18	13	410	68	83
309	49	63	360	25	11	411	102	48
310	78	61	361	28	24	412	62	0
311	78	46	362	34	53	413	41	39
312	66	65	363	65	83	414	71	86
313	78	97	364	80	44	415	91	52
314	84	63	365	77	46	416	89	55
315	57	26	366	76	50	417	89	56
316	36	22	367	45	52	418	88	58
317	20	34	368	61	98	419	78	69
318	19	8	369	61	69	420	98	39
319	9	10	370	63	49	421	64	61
320	5	5	371	32	0	422	90	34
321	7	11	372	10	8	423	88	38
322	15	15	373	17	7	424	97	62
323	12	9	374	16	13	425	100	53
324	13	27	375	11	6	426	81	58
325	15	28	376	9	5	427	74	51
326	16	28	377	9	12	428	76	57
327	16	31	378	12	46	429	76	72
328	15	20	379	15	30	430	85	72
329	17	0	380	26	28	431	84	60
330	20	34	381	13	9	432	83	72
331	21	25	382	16	21	433	83	72
332	20	0	383	24	4	434	86	72
333	23	25	384	36	43	435	89	72
334	30	58	385	65	85	436	86	72
335	63	96	386	78	66	437	87	72
336	83	60	387	63	39	438	88	72
337	61	0	388	32	34	439	88	71
338	26	0	389	46	55	440	87	72
339	29	44	390	47	42	441	85	71
340	68	97	391	42	39	442	88	72
341	80	97	392	27	0	443	88	72
342	88	97	393	14	5	444	84	72
343	99	88	394	14	14	445	83	73
344	102	86	395	24	54	446	77	73
345	100	82	396	60	90	447	74	73
346	74	79	397	53	66	448	76	72
347	57	79	398	70	48	449	46	77

Temps	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*
s	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*
348	76	97	399	77	93	450	78	62
349	84	97	400	79	67	451	79	35
350	86	97	401	46	65	452	82	38
351	81	98	402	69	98	453	81	41
352	83	83	403	80	97	454	79	37
353	65	96	404	74	97	455	78	35
354	93	72	405	75	98	456	78	38
355	63	60	406	56	61	457	78	46
356	72	49	407	42	0	458	75	49
357	56	27	408	36	32	459	73	50
460	79	58	511	85	73	562	43	25
461	79	71	512	84	73	563	30	60
462	83	44	513	85	73	564	40	45
463	53	48	514	86	73	565	37	32
464	40	48	515	85	73	566	37	32
465	51	75	516	85	73	567	43	70
466	75	72	517	85	72	568	70	54
467	89	67	518	85	73	569	77	47
468	93	60	519	83	73	570	79	66
469	89	73	520	79	73	571	85	53
470	86	73	521	78	73	572	83	57
471	81	73	522	81	73	573	86	52
472	78	73	523	82	72	574	85	51
473	78	73	524	94	56	575	70	39
474	76	73	525	66	48	576	50	5
475	79	73	526	35	71	577	38	36
476	82	73	527	51	44	578	30	71
477	86	73	528	60	23	579	75	53
478	88	72	529	64	10	580	84	40
479	92	71	530	63	14	581	85	42
480	97	54	531	70	37	582	86	49
481	73	43	532	76	45	583	86	57
482	36	64	533	78	18	584	89	68
483	63	31	534	76	51	585	99	61
484	78	1	535	75	33	586	77	29
485	69	27	536	81	17	587	81	72
486	67	28	537	76	45	588	89	69
487	72	9	538	76	30	589	49	56
488	71	9	539	80	14	590	79	70
489	78	36	540	71	18	591	104	59
490	81	56	541	71	14	592	103	54
491	75	53	542	71	11	593	102	56
492	60	45	543	65	2	594	102	56
493	50	37	544	31	26	595	103	61
494	66	41	545	24	72	596	102	64
495	51	61	546	64	70	597	103	60
496	68	47	547	77	62	598	93	72
497	29	42	548	80	68	599	86	73
498	24	73	549	83	53	600	76	73

Temps	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*
s	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*
499	64	71	550	83	50	601	59	49
500	90	71	551	83	50	602	46	22
501	100	61	552	85	43	603	40	65
502	94	73	553	86	45	604	72	31
503	84	73	554	89	35	605	72	27
504	79	73	555	82	61	606	67	44
505	75	72	556	87	50	607	68	37
506	78	73	557	85	55	608	67	42
507	80	73	558	89	49	609	68	50
508	81	73	559	87	70	610	77	43
509	81	73	560	91	39	611	58	4
510	83	73	561	72	3	612	22	37
613	57	69	664	92	72	715	102	64
614	68	38	665	91	72	716	102	69
615	73	2	666	90	71	717	102	68
616	40	14	667	90	71	718	102	70
617	42	38	668	91	71	719	102	69
618	64	69	669	90	70	720	102	70
619	64	74	670	90	72	721	102	70
620	67	73	671	91	71	722	102	62
621	65	73	672	90	71	723	104	38
622	68	73	673	90	71	724	104	15
623	65	49	674	92	72	725	102	24
624	81	0	675	93	69	726	102	45
625	37	25	676	90	70	727	102	47
626	24	69	677	93	72	728	104	40
627	68	71	678	91	70	729	101	52
628	70	71	679	89	71	730	103	32
629	76	70	680	91	71	731	102	50
630	71	72	681	90	71	732	103	30
631	73	69	682	90	71	733	103	44
632	76	70	683	92	71	734	102	40
633	77	72	684	91	71	735	103	43
634	77	72	685	93	71	736	103	41
635	77	72	686	93	68	737	102	46
636	77	70	687	98	68	738	103	39
637	76	71	688	98	67	739	102	41
638	76	71	689	100	69	740	103	41
639	77	71	690	99	68	741	102	38
640	77	71	691	100	71	742	103	39
641	78	70	692	99	68	743	102	46
642	77	70	693	100	69	744	104	46
643	77	71	694	102	72	745	103	49
644	79	72	695	101	69	746	102	45
645	78	70	696	100	69	747	103	42
646	80	70	697	102	71	748	103	46
647	82	71	698	102	71	749	103	38
648	84	71	699	102	69	750	102	48
649	83	71	700	102	71	751	103	35

Temps	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*
s	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*
650	83	73	701	102	68	752	102	48
651	81	70	702	100	69	753	103	49
652	80	71	703	102	70	754	102	48
653	78	71	704	102	68	755	102	46
654	76	70	705	102	70	756	103	47
655	76	70	706	102	72	757	102	49
656	76	71	707	102	68	758	102	42
657	79	71	708	102	69	759	102	52
658	78	71	709	100	68	760	102	57
659	81	70	710	102	71	761	102	55
660	83	72	711	101	64	762	102	61
661	84	71	712	102	69	763	102	61
662	86	71	713	102	69	764	102	58
663	87	71	714	101	69	765	103	58
766	102	59	817	81	46	868	83	16
767	102	54	818	80	39	869	83	12
768	102	63	819	80	32	870	83	9
769	102	61	820	81	28	871	83	8
770	103	55	821	80	26	872	83	7
771	102	60	822	80	23	873	83	6
772	102	72	823	80	23	874	83	6
773	103	56	824	80	20	875	83	6
774	102	55	825	81	19	876	83	6
775	102	67	826	80	18	877	83	6
776	103	56	827	81	17	878	59	4
777	84	42	828	80	20	879	50	5
778	48	7	829	81	24	880	51	5
779	48	6	830	81	21	881	51	5
780	48	6	831	80	26	882	51	5
781	48	7	832	80	24	883	50	5
782	48	6	833	80	23	884	50	5
783	48	7	834	80	22	885	50	5
784	67	21	835	81	21	886	50	5
785	105	59	836	81	24	887	50	5
786	105	96	837	81	24	888	51	5
787	105	74	838	81	22	889	51	5
788	105	66	839	81	22	890	51	5
789	105	62	840	81	21	891	63	50
790	105	66	841	81	31	892	81	34
791	89	41	842	81	27	893	81	25
792	52	5	843	80	26	894	81	29
793	48	5	844	80	26	895	81	23
794	48	7	845	81	25	896	80	24
795	48	5	846	80	21	897	81	24
796	48	6	847	81	20	898	81	28
797	48	4	848	83	21	899	81	27
798	52	6	849	83	15	900	81	22
799	51	5	850	83	12	901	81	19
800	51	6	851	83	9	902	81	17

Temps	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*
s	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*
801	51	6	852	83	8	903	81	17
802	52	5	853	83	7	904	81	17
803	52	5	854	83	6	905	81	15
804	57	44	855	83	6	906	80	15
805	98	90	856	83	6	907	80	28
806	105	94	857	83	6	908	81	22
807	105	100	858	83	6	909	81	24
808	105	98	859	76	5	910	81	19
809	105	95	860	49	8	911	81	21
810	105	96	861	51	7	912	81	20
811	105	92	862	51	20	913	83	26
812	104	97	863	78	52	914	80	63
813	100	85	864	80	38	915	80	59
814	94	74	865	81	33	916	83	100
815	87	62	866	83	29	917	81	73
816	81	50	867	83	22	918	83	53
919	80	76	970	81	39	1 021	82	35
920	81	61	971	81	38	1 022	79	53
921	80	50	972	80	41	1 023	82	30
922	81	37	973	81	30	1 024	83	29
923	82	49	974	81	23	1 025	83	32
924	83	37	975	81	19	1 026	83	28
925	83	25	976	81	25	1 027	76	60
926	83	17	977	81	29	1 028	79	51
927	83	13	978	83	47	1 029	86	26
928	83	10	979	81	90	1 030	82	34
929	83	8	980	81	75	1 031	84	25
930	83	7	981	80	60	1 032	86	23
931	83	7	982	81	48	1 033	85	22
932	83	6	983	81	41	1 034	83	26
933	83	6	984	81	30	1 035	83	25
934	83	6	985	80	24	1 036	83	37
935	71	5	986	81	20	1 037	84	14
936	49	24	987	81	21	1 038	83	39
937	69	64	988	81	29	1 039	76	70
938	81	50	989	81	29	1 040	78	81
939	81	43	990	81	27	1 041	75	71
940	81	42	991	81	23	1 042	86	47
941	81	31	992	81	25	1 043	83	35
942	81	30	993	81	26	1 044	81	43
943	81	35	994	81	22	1 045	81	41
944	81	28	995	81	20	1 046	79	46
945	81	27	996	81	17	1 047	80	44
946	80	27	997	81	23	1 048	84	20
947	81	31	998	83	65	1 049	79	31
948	81	41	999	81	54	1 050	87	29
949	81	41	1 000	81	50	1 051	82	49
950	81	37	1 001	81	41	1 052	84	21
951	81	43	1 002	81	35	1 053	82	56

Temps	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*
s	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*
952	81	34	1 003	81	37	1 054	81	30
953	81	31	1 004	81	29	1 055	85	21
954	81	26	1 005	81	28	1 056	86	16
955	81	23	1 006	81	24	1 057	79	52
956	81	27	1 007	81	19	1 058	78	60
957	81	38	1 008	81	16	1 059	74	55
958	81	40	1 009	80	16	1 060	78	84
959	81	39	1 010	83	23	1 061	80	54
960	81	27	1 011	83	17	1 062	80	35
961	81	33	1 012	83	13	1 063	82	24
962	80	28	1 013	83	27	1 064	83	43
963	81	34	1 014	81	58	1 065	79	49
964	83	72	1 015	81	60	1 066	83	50
965	81	49	1 016	81	46	1 067	86	12
966	81	51	1 017	80	41	1 068	64	14
967	80	55	1 018	80	36	1 069	24	14
968	81	48	1 019	81	26	1 070	49	21
969	81	36	1 020	86	18	1 071	77	48
1 072	103	11	1 123	66	62	1 174	76	8
1 073	98	48	1 124	74	29	1 175	76	7
1 074	101	34	1 125	64	74	1 176	67	45
1 075	99	39	1 126	69	40	1 177	75	13
1 076	103	11	1 127	76	2	1 178	75	12
1 077	103	19	1 128	72	29	1 179	73	21
1 078	103	7	1 129	66	65	1 180	68	46
1 079	103	13	1 130	54	69	1 181	74	8
1 080	103	10	1 131	69	56	1 182	76	11
1 081	102	13	1 132	69	40	1 183	76	14
1 082	101	29	1 133	73	54	1 184	74	11
1 083	102	25	1 134	63	92	1 185	74	18
1 084	102	20	1 135	61	67	1 186	73	22
1 085	96	60	1 136	72	42	1 187	74	20
1 086	99	38	1 137	78	2	1 188	74	19
1 087	102	24	1 138	76	34	1 189	70	22
1 088	100	31	1 139	67	80	1 190	71	23
1 089	100	28	1 140	70	67	1 191	73	19
1 090	98	3	1 141	53	70	1 192	73	19
1 091	102	26	1 142	72	65	1 193	72	20
1 092	95	64	1 143	60	57	1 194	64	60
1 093	102	23	1 144	74	29	1 195	70	39
1 094	102	25	1 145	69	31	1 196	66	56
1 095	98	42	1 146	76	1	1 197	68	64
1 096	93	68	1 147	74	22	1 198	30	68
1 097	101	25	1 148	72	52	1 199	70	38
1 098	95	64	1 149	62	96	1 200	66	47
1 099	101	35	1 150	54	72	1 201	76	14
1 100	94	59	1 151	72	28	1 202	74	18
1 101	97	37	1 152	72	35	1 203	69	46
1 102	97	60	1 153	64	68	1 204	68	62

Temps	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*	*Temps*	*Régime normalisé*	*Couple normalisé*
s	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*	*s*	*%*	*%*
1 103	93	98	1 154	74	27	1 205	68	62
1 104	98	53	1 155	76	14	1 206	68	62
1 105	103	13	1 156	69	38	1 207	68	62
1 106	103	11	1 157	66	59	1 208	68	62
1 107	103	11	1 158	64	99	1 209	68	62
1 108	103	13	1 159	51	86	1 210	54	50
1 109	103	10	1 160	70	53	1 211	41	37
1 110	103	10	1 161	72	36	1 212	27	25
1 111	103	11	1 162	71	47	1 213	14	12
1 112	103	10	1 163	70	42	1 214	0	0
1 113	103	10	1 164	67	34	1 215	0	0
1 114	102	18	1 165	74	2	1 216	0	0
1 115	102	31	1 166	75	21	1 217	0	0
1 116	101	24	1 167	74	15	1 218	0	0
1 117	102	19	1 168	75	13	1 219	0	0
1 118	103	10	1 169	76	10	1 220	0	0
1 119	102	12	1 170	75	13	1 221	0	0
1 120	99	56	1 171	75	10	1 222	0	0
1 121	96	59	1 172	75	7	1 223	0	0
1 122	74	28	1 173	75	13	1 224	0	0
1 225	0	0						
1 226	0	0						
1 227	0	0						
1 228	0	0						
1 229	0	0						
1 230	0	0						
1 231	0	0						
1 232	0	0						
1 233	0	0						
1 234	0	0						
1 235	0	0						
1 236	0	0						
1 237	0	0						
1 238	0	0						

Annexe A.2

Statistiques

A.2.1 *Moyenne arithmétique*

La moyenne arithmétique, $\bar{y}$, doit être calculée de la manière suivante:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{10} y_i}{\mathrm{N}} \qquad \text{(A.2-1)}$$

A.2.2 *Écart type*

L'écart type pour un échantillon non biaisé (c'est-à-dire N–1), σ, doit être calculé de la manière suivante:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{\mathrm{N}} (y_1 - \bar{y})^2}{(\mathrm{N}-1)}} \qquad \text{(A.2-2)}$$

A.2.3 *Valeur quadratique moyenne*

La valeur quadratique moyenne, rms_y, doit être calculée de la manière suivante:

$$rms_{\mathrm{y}} = \sqrt{\frac{1}{\mathrm{N}} \sum_{i=1}^{\mathrm{N}} y_i^2} \qquad \text{(A.2-3)}$$

A.2.4 *Test t*

Il conviendra de déterminer si les données passent un test *t* en utilisant les équations et tableaux suivants:

a) Pour un test *t* non apparié, la statistique *t* et son nombre de degrés de liberté, *v*, sont calculés de la manière suivante:

$$t = \frac{\left|\bar{y}_{\mathrm{ref}} - \bar{y}\right|}{\sqrt{\frac{\sigma_{\mathrm{ref}}^2}{\mathrm{N}_{\mathrm{ref}}} + \frac{\sigma_y^2}{\mathrm{N}}}} \qquad \text{(A.2-4)}$$

$$v = \frac{\left(\frac{\sigma_{\mathrm{ref}}^2}{\mathrm{N}_{\mathrm{ref}}} + \frac{\sigma_y^2}{\mathrm{N}}\right)^2}{\frac{\left(\sigma_{\mathrm{ref}}^2/\mathrm{N}_{\mathrm{ref}}\right)^2}{\mathrm{N}_{\mathrm{ref}}-1} + \frac{\left(\sigma_y^2/\mathrm{N}\right)^2}{\mathrm{N}-1}} \qquad \text{(A.2-5)}$$

b) Pour un test *t* apparié, la statistique *t* et son nombre de degrés de liberté, *v*, doivent être calculés de la manière suivante en notant que ε_i sont les erreurs (autrement dit les différences) entre chaque paire de $y_{\mathrm{ref}i}$ et y_i:

$$t = \frac{\left|\bar{\varepsilon}\right| \cdot \sqrt{\mathrm{N}}}{\sigma_\varepsilon} \qquad v = \mathrm{N}-1 \qquad \text{(A.2-6)}$$

c) On utilise le tableau A.2.1 du présent paragraphe pour comparer *t* aux valeurs de t_{crit} du tableau par rapport au nombre de degrés de liberté. Si les valeurs sont inférieures à t_{crit}, *t* satisfait au test *t*.

	Confiance	
v	*90 %*	*95 %*
1	6,314	12,706
2	2,920	4,303
3	2,353	3,182
4	2,132	2,776
5	2,015	2,571
6	1,943	2,447
7	1,895	2,365
8	1,860	2,306
9	1,833	2,262
10	1,812	2,228
11	1,796	2,201
12	1,782	2,179
13	1,771	2,160
14	1,761	2,145
15	1,753	2,131
16	1,746	2,120
18	1,734	2,101
20	1,725	2,086
22	1,717	2,074
24	1,711	2,064
26	1,706	2,056
28	1,701	2,048
30	1,697	2,042
35	1,690	2,030
40	1,684	2,021
50	1,676	2,009
70	1,667	1,994
100	1,660	1,984
1 000+	1,645	1,960

Tableau A.2.1
Valeurs t critiques et nombre de degrés de liberté, *v*

On utilise une interpolation pour établir des valeurs qui ne sont pas représentées dans ce tableau.

A.2.5 *Test F*

La statistique F doit être calculée de la manière suivante:

$$F_y = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{\text{ref}}^2} \tag{A.2-7}$$

a) Pour un test F de confiance de 90 %, on utilise le tableau 2 du présent paragraphe pour comparer F aux valeurs de F_{crit90} totalisées par rapport à $(N-1)$ et $(N_{\text{ref}}-1)$. Si F est inférieur à F_{crit90}, F satisfait au test F à 90 % de confiance;

b) Pour un test F de confiance de 95 %, on utilise le tableau 3 du présent paragraphe pour comparer F aux valeurs de F_{crit95} totalisées par rapport à $(N-1)$ et $(N_{\text{ref}}-1)$. Si F est inférieur à F_{crit95}, F satisfait au test F à 95 % de confiance.

N-1	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*12*	*15*	*20*	*24*	*30*	*40*	*60*	*120*	*1 000+*
N_{ref}-1																			
1	39,86	49,50	53,59	55,83	57,24	58,20	58,90	59,43	59,85	60,19	60,70	61,22	61,74	62,00	62,26	62,52	62,79	63,06	63,32
2	8,526	9,000	9,162	9,243	9,293	9,326	9,349	9,367	9,381	9,392	9,408	9,425	9,441	9,450	9,458	9,466	9,475	9,483	9,491
3	5,538	5,462	5,391	5,343	5,309	5,285	5,266	5,252	5,240	5,230	5,216	5,200	5,184	5,176	5,168	5,160	5,151	5,143	5,134
4	4,545	4,325	4,191	4,107	4,051	4,010	3,979	3,955	3,936	3,920	3,896	3,870	3,844	3,831	3,817	3,804	3,790	3,775	3,761
5	4,060	3,780	3,619	3,520	3,453	3,405	3,368	3,339	3,316	3,297	3,268	3,238	3,207	3,191	3,174	3,157	3,140	3,123	3,105
6	3,776	3,463	3,289	3,181	3,108	3,055	3,014	2,983	2,958	2,937	2,905	2,871	2,836	2,818	2,800	2,781	2,762	2,742	2,722
7	3,589	3,257	3,074	2,961	2,883	2,827	2,785	2,752	2,725	2,703	2,668	2,632	2,595	2,575	2,555	2,535	2,514	2,493	2,471
8	3,458	3,113	2,924	2,806	2,726	2,668	2,624	2,589	2,561	2,538	2,502	2,464	2,425	2,404	2,383	2,361	2,339	2,316	2,293
9	3,360	3,006	2,813	2,693	2,611	2,551	2,505	2,469	2,440	2,416	2,379	2,340	2,298	2,277	2,255	2,232	2,208	2,184	2,159
10	3,285	2,924	2,728	2,605	2,522	2,461	2,414	2,377	2,347	2,323	2,284	2,244	2,201	2,178	2,155	2,132	2,107	2,082	2,055
11	3,225	2,860	2,660	2,536	2,451	2,389	2,342	2,304	2,274	2,248	2,209	2,167	2,123	2,100	2,076	2,052	2,026	2,000	1,972
12	3,177	2,807	2,606	2,480	2,394	2,331	2,283	2,245	2,214	2,188	2,147	2,105	2,060	2,036	2,011	1,986	1,960	1,932	1,904
13	3,136	2,763	2,560	2,434	2,347	2,283	2,234	2,195	2,164	2,138	2,097	2,053	2,007	1,983	1,958	1,931	1,904	1,876	1,846
14	3,102	2,726	2,522	2,395	2,307	2,243	2,193	2,154	2,122	2,095	2,054	2,010	1,962	1,938	1,912	1,885	1,857	1,828	1,797
15	3,073	2,695	2,490	2,361	2,273	2,208	2,158	2,119	2,086	2,059	2,017	1,972	1,924	1,899	1,873	1,845	1,817	1,787	1,755
16	3,048	2,668	2,462	2,333	2,244	2,178	2,128	2,088	2,055	2,028	1,985	1,940	1,891	1,866	1,839	1,811	1,782	1,751	1,718
17	3,026	2,645	2,437	2,308	2,218	2,152	2,102	2,061	2,028	2,001	1,958	1,912	1,862	1,836	1,809	1,781	1,751	1,719	1,686
18	3,007	2,624	2,416	2,286	2,196	2,130	2,079	2,038	2,005	1,977	1,933	1,887	1,837	1,810	1,783	1,754	1,723	1,691	1,657
19	2,990	2,606	2,397	2,266	2,176	2,109	2,058	2,017	1,984	1,956	1,912	1,865	1,814	1,787	1,759	1,730	1,699	1,666	1,631
20	2,975	2,589	2,380	2,249	2,158	2,091	2,040	1,999	1,965	1,937	1,892	1,845	1,794	1,767	1,738	1,708	1,677	1,643	1,607
21	2,961	2,575	2,365	2,233	2,142	2,075	2,023	1,982	1,948	1,920	1,875	1,827	1,776	1,748	1,719	1,689	1,657	1,623	1,586
20	2,949	2,561	2,351	2,219	2,128	2,061	2,008	1,967	1,933	1,904	1,859	1,811	1,759	1,731	1,702	1,671	1,639	1,604	1,567
23	2,937	2,549	2,339	2,207	2,115	2,047	1,995	1,953	1,919	1,890	1,845	1,796	1,744	1,716	1,686	1,655	1,622	1,587	1,549
24	2,927	2,538	2,327	2,195	2,103	2,035	1,983	1,941	1,906	1,877	1,832	1,783	1,730	1,702	1,672	1,641	1,607	1,571	1,533
25	2,918	2,528	2,317	2,184	2,092	2,024	1,971	1,929	1,895	1,866	1,820	1,771	1,718	1,689	1,659	1,627	1,593	1,557	1,518
26	2,909	2,519	2,307	2,174	2,082	2,014	1,961	1,919	1,884	1,855	1,809	1,760	1,706	1,677	1,647	1,615	1,581	1,544	1,504
27	2,901	2,511	2,299	2,165	2,073	2,005	1,952	1,909	1,874	1,845	1,799	1,749	1,695	1,666	1,636	1,603	1,569	1,531	1,491
28	2,894	2,503	2,291	2,157	2,064	1,996	1,943	1,900	1,865	1,836	1,790	1,740	1,685	1,656	1,625	1,593	1,558	1,520	1,478
29	2,887	2,495	2,283	2,149	2,057	1,988	1,935	1,892	1,857	1,827	1,781	1,731	1,676	1,647	1,616	1,583	1,547	1,509	1,467
30	2,881	2,489	2,276	2,142	2,049	1,980	1,927	1,884	1,849	1,819	1,773	1,722	1,667	1,638	1,606	1,573	1,538	1,499	1,456
40	2,835	2,440	2,226	2,091	1,997	1,927	1,873	1,829	1,793	1,763	1,715	1,662	1,605	1,574	1,541	1,506	1,467	1,425	1,377
60	2,791	2,393	2,177	2,041	1,946	1,875	1,819	1,775	1,738	1,707	1,657	1,603	1,543	1,511	1,476	1,437	1,395	1,348	1,291
120	2,748	2,347	2,130	1,992	1,896	1,824	1,767	1,722	1,684	1,652	1,601	1,545	1,482	1,447	1,409	1,368	1,320	1,265	1,193
1 000+	2,706	2,303	2,084	1,945	1,847	1,774	1,717	1,670	1,632	1,599	1,546	1,487	1,421	1,383	1,342	1,295	1,240	1,169	1,000

Tableau A.2.2

Valeurs critiques de F, F_{crit90}, par rapport à $N-1$ et $N_{ref}-1$ à 90 % de confiance

N-1	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*12*	*15*	*20*	*24*	*30*	*40*	*60*	*120*	*1 000+*
N_{ref}-1																			
1	161,4	199,5	215,7	224,5	230,1	233,9	236,7	238,8	240,5	241,8	243,9	245,9	248,0	249,0	250,1	251,1	252,2	253,2	254,3
2	18,51	19,00	19,16	19,24	19,29	19,33	19,35	19,37	19,38	19,39	19,41	19,42	19,44	19,45	19,46	19,47	19,47	19,48	19,49
3	10,12	9,552	9,277	9,117	9,014	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,745	8,703	8,660	8,639	8,617	8,594	8,572	8,549	8,526
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,912	5,858	5,803	5,774	5,746	5,717	5,688	5,658	5,628
5	6,608	5,786	5,410	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,773	4,735	4,678	4,619	4,558	4,527	4,496	4,464	4,431	4,399	4,365
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,000	3,938	3,874	3,842	3,808	3,774	3,740	3,705	3,669
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,575	3,511	3,445	3,411	3,376	3,340	3,304	3,267	3,230
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,688	3,581	3,501	3,438	3,388	3,347	3,284	3,218	3,150	3,115	3,079	3,043	3,005	2,967	2,928
9	5,117	4,257	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,073	3,006	2,937	2,901	2,864	2,826	2,787	2,748	2,707
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,136	3,072	3,020	2,978	2,913	2,845	2,774	2,737	2,700	2,661	2,621	2,580	2,538
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,788	2,719	2,646	2,609	2,571	2,531	2,490	2,448	2,405
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,687	2,617	2,544	2,506	2,466	2,426	2,384	2,341	2,296
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,604	2,533	2,459	2,420	2,380	2,339	2,297	2,252	2,206
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,534	2,463	2,388	2,349	2,308	2,266	2,223	2,178	2,131
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,791	2,707	2,641	2,588	2,544	2,475	2,403	2,328	2,288	2,247	2,204	2,160	2,114	2,066
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,425	2,352	2,276	2,235	2,194	2,151	2,106	2,059	2,010
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,381	2,308	2,230	2,190	2,148	2,104	2,058	2,011	1,960
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,342	2,269	2,191	2,150	2,107	2,063	2,017	1,968	1,917
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,308	2,234	2,156	2,114	2,071	2,026	1,980	1,930	1,878
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,278	2,203	2,124	2,083	2,039	1,994	1,946	1,896	1,843
21	4,325	3,467	3,073	2,840	2,685	2,573	2,488	2,421	2,366	2,321	2,250	2,176	2,096	2,054	2,010	1,965	1,917	1,866	1,812
22	4,301	3,443	3,049	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,226	2,151	2,071	2,028	1,984	1,938	1,889	1,838	1,783
23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,204	2,128	2,048	2,005	1,961	1,914	1,865	1,813	1,757
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,621	2,508	2,423	2,355	2,300	2,255	2,183	2,108	2,027	1,984	1,939	1,892	1,842	1,790	1,733
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,237	2,165	2,089	2,008	1,964	1,919	1,872	1,822	1,768	1,711
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,266	2,220	2,148	2,072	1,990	1,946	1,901	1,853	1,803	1,749	1,691
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,132	2,056	1,974	1,930	1,884	1,836	1,785	1,731	1,672
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,118	2,041	1,959	1,915	1,869	1,820	1,769	1,714	1,654
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,105	2,028	1,945	1,901	1,854	1,806	1,754	1,698	1,638
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211	2,165	2,092	2,015	1,932	1,887	1,841	1,792	1,740	1,684	1,622
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,450	2,336	2,249	2,180	2,124	2,077	2,004	1,925	1,839	1,793	1,744	1,693	1,637	1,577	1,509
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,167	2,097	2,040	1,993	1,917	1,836	1,748	1,700	1,649	1,594	1,534	1,467	1,389
120	3,920	3,072	2,680	2,447	2,290	2,175	2,087	2,016	1,959	1,911	1,834	1,751	1,659	1,608	1,554	1,495	1,429	1,352	1,254
1 000+	3,842	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,010	1,938	1,880	1,831	1,752	1,666	1,571	1,517	1,459	1,394	1,318	1,221	1,000

Tableau A.2.3

Valeurs critiques F, F_{crit95}, par rapport à $N-1$ et $N_{ref}-1$ à 95 % de confiance

A.2.6 *Pente*

La pente de régression des moindres carrés, a_{1y}, doit être calculée de la manière suivante:

$$a_{1y} = \frac{\sum_{i=1}^{N} (y_1 - \bar{y}) \cdot (y_{\text{refi}} - \bar{y}_{\text{ref}})}{\sum_{i=1}^{N} (y_{\text{refi}} - \bar{y}_{\text{ref}})^2} \qquad \text{(A.2-8)}$$

A.2.7 *Ordonnée à l'origine*

L'ordonnée à l'origine de la régression des moindres carrés, a_{0y}, doit être calculée de la manière suivante:

$$a_{0y} = \bar{y} - \left(a_{1y} \cdot \bar{y}_{\text{ref}}\right) \qquad \text{(A.2-9)}$$

A.2.8 *Estimation type de l'erreur*

L'estimation type de l'erreur, *SEE*, doit être calculée de la manière suivante:

$$SEE_y = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} \left[y_i - a_{0y} - \left(a_{1y} \cdot y_{\text{refi}}\right)\right]^2}}{\text{N} - 2} \qquad \text{(A.2-10)}$$

A.2.9 *Coefficient de détermination*

Le coefficient de détermination, r^2, doit être calculé de la manière suivante:

$$r_y^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} \left[y_i - a_{0y} - \left(a_{1y} \cdot y_{\text{refi}}\right)\right]^2}{\sum_{i=1}^{N} \left[y_i - \bar{y}\right]^2} \qquad \text{(A.2-11)}$$

Annexe A.3

Formule gravimétrique internationale 1980

L'accélération de la gravité de la Terre, a_g, varie selon l'emplacement. On calcule a_g pour une latitude correspondante de la manière suivante:

$$a_g = 9{,}7803267715[1 + 5{,}2790414 \times 10^{-3} \sin^2 \theta + 2{,}32718 \times 10^{-5} \sin^4 \theta + 1{,}262 \times 10^{-7} \sin^6 \theta + 7 \times 10^{-10} \sin^8 \theta] \quad \text{(A.3-1)}$$

Où:

θ = degrés de latitude nord ou sud.

Annexe A.4

Contrôle du flux de carbone

A.4.1 *Introduction*

Pratiquement tout le carbone qui se trouve dans les gaz d'échappement provient du carburant et se présente dans les gaz d'échappement sous la forme de CO_2. C'est la raison pour laquelle la vérification du système est fondée sur les mesures de celui-ci.

Le flux du carbone dans le système de mesure des gaz d'échappement est déterminé par le débit de carburant. Le flux de carbone aux divers points du système de prélèvement des émissions et de prélèvement de particules est déterminé à partir des concentrations de CO_2 et des débits de gaz en ces points.

Le moteur est donc un fournisseur connu de flux de carbone, et le fait d'observer le même débit de carbone dans la tubulure d'échappement et à la sortie du système de prélèvement permet de vérifier l'étanchéité et la précision de la mesure du débit. Ce contrôle a pour avantage que les composants fonctionnent dans des conditions réelles de température et de débit.

La figure A.4.1 représente les points de prélèvement où les débits de carbone seront contrôlés. Les équations spécifiques pour les débits de carbone de chaque point de prélèvement sont montrées ci-dessous.

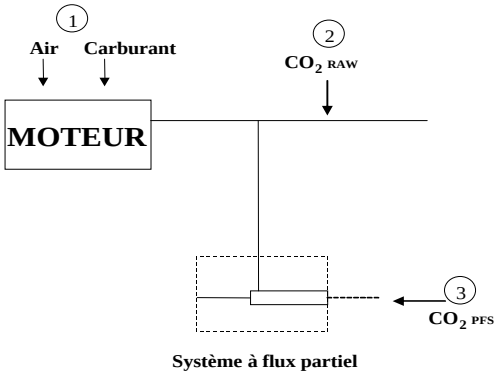


Figure A.4.1
Points de mesure du débit de carbone

A.4.2 *Flux de carbone dans le moteur (emplacement 1)*

Le débit massique du carbone dans le moteur $q_{m\mathrm{Cf}}$ [kg/s] pour un carburant $CH_{\alpha}O_{\varepsilon}$ est donné par:

$$q_{m\mathrm{Cf}} = \frac{12{,}011}{12{,}011 + a + 15{,}9994 \cdot \varepsilon} \cdot q_{m\mathrm{f}} \qquad \text{(A.4-1)}$$

Où:

q_{mf} = débit massique du carburant [kg/s].

A.4.3 *Débit de carbone dans les gaz d'échappement bruts (emplacement 2)*

Le débit massique $q_{m\mathrm{Ce}}$ [kg/s] de carbone dans la tubulure d'échappement du moteur doit être déterminé à partir de la concentration de CO_2 et du débit massique des gaz d'échappement:

$$q_{m\mathrm{Ce}} = \left(\frac{c_{\mathrm{CO2,r}} - c_{\mathrm{CO2,a}}}{100} \right) \cdot q_{m\mathrm{ew}} \cdot \frac{12{,}011}{M_{\mathrm{e}}} \qquad \text{(A.4-2)}$$

Où:

$c_{\mathrm{CO2,r}}$ = concentration de CO_2 en conditions humides dans les gaz d'échappement bruts [%]

$c_{\mathrm{CO2,a}}$ = concentration de CO_2 en conditions humides dans l'air ambiant [%]

$q_{m\mathrm{ew}}$ = débit massique de gaz d'échappement en conditions humides [kg/s]

M_{e} = masse molaire des gaz d'échappement [g/mol].

Si le CO_2 est mesuré en conditions sèches on le convertit en conditions humides conformément au paragraphe A.8.2.2.

A.4.4 *Débit de carbone dans le système de dilution (emplacement 3)*

Pour le système de dilution du flux partiel il faut aussi tenir compte du taux de fractionnement. Le débit de carbone dans un système de dilution équivalent $q_{m\mathrm{Cp}}$ [kg/s] (par équivalent on entend un système équivalent à un système fonctionnant à plein débit où le flux total est dilué) doit être déterminé à partir de la concentration de CO_2 diluée, du débit massique des gaz d'échappement et du débit d'échantillon; la nouvelle équation est identique à l'équation (A.4-2), étant seulement complétée par le facteur de dilution $q_{m\mathrm{dew}} / q_{m\mathrm{p}}$.

$$q_{m\mathrm{Cp}} = \left(\frac{c_{\mathrm{CO2,d}} - c_{\mathrm{CO2,a}}}{100} \right) \cdot q_{m\mathrm{ew}} \cdot \frac{12{,}011}{M_{\mathrm{e}}} \cdot \frac{q_{m\mathrm{dew}}}{q_{m\mathrm{p}}} \qquad \text{(A.4-3)}$$

Où:

$c_{\mathrm{CO2,d}}$ = concentration de CO_2 en conditions humides dans les gaz d'échappement dilués à la sortie du tunnel de dilution [%]

$c_{\mathrm{CO2,a}}$ = concentration de CO_2 en conditions humides dans l'air ambiant [%]

$q_{m\mathrm{dew}}$ = débit d'un échantillon dilué dans le système de dilution du flux partiel [kg/s]

$q_{m\mathrm{ew}}$ = débit massique de gaz d'échappement en conditions humides [kg/s]

$q_{m\mathrm{p}}$ = débit d'échantillon de gaz d'échappement dans le système de dilution partielle du flux [kg/s]

M_{e} = masse molaire de gaz d'échappement [g/mol].

Si le CO_2 est mesuré en conditions sèches on le convertira en conditions humides conformément au paragraphe A.8.2.2.

A.4.5 *Calcul de la masse molaire des gaz d'échappement*

La masse molaire des gaz d'échappement doit être calculée selon l'équation (A.8-15) (voir le paragraphe A.8.2.4.1).

Au besoin on peut appliquer la masse molaire suivante des gaz d'échappement:

M_e (diesel) = 28,9 g/mol.

Annexe A.5

Prescriptions d'installation pour les équipements et les accessoires

Numéro	*Équipement et accessoires*	*Monté pour l'essai d'émissions*
1	Système d'admission	
	Collecteur d'admission	Oui
	Système de contrôle des émissions de carter	Oui
	Débitmètre d'air	Oui
	Filtre à air	Oui[a]
	Silencieux d'admission	Oui[a]
2	Système d'échappement	
	Traitement aval des gaz d'échappement	Oui
	Collecteur d'échappement	Oui
	Tubes de raccordement	Oui[b]
	Silencieux	Oui[b]
	Tuyau arrière	Oui[b]
	Frein sur échappement	Non[c]
	Dispositif de surpression	Oui
3	Pompe d'alimentation en carburant	Oui[d]
4	Équipement d'injection de carburant	
	Préfiltre	Oui
	Filtre	Oui
	Pompe	Oui
5	Rampe haute pression	Oui
	Injecteur	Oui
	Commande électronique, capteurs, etc.	Oui
	Régulateur/système de commande	Oui
	Butée automatique de pleine charge pour crémaillère de commande selon les conditions atmosphériques	Oui
6	Système de refroidissement (au moyen d'un liquide)	
	Radiateur	Non
	Ventilateur	Non
	Carter de soufflante	Non

Numéro	*Équipement et accessoires*	*Monté pour l'essai d'émissions*
	Pompe à eau	Oui[e]
	Thermostat	Oui[f]
7	Refroidissement par air	
	Capot	Non[g]
	Ventilateur ou soufflante	Non[g]
	Dispositif de régulation de la température	Non
8	Équipement de surpression	
	Compresseur entraîné directement par le moteur et/ou par les gaz d'échappement	Oui
	Refroidisseur d'admission	Oui [g, h]
	Pompe de réfrigérant ou ventilateur (entraîné(e) par le moteur)	Non[g]
	Dispositif de réglage du débit du réfrigérant	Oui
9	Ventilateur de banc d'essai auxiliaire	Oui, si nécessaire
10	Dispositif antipollution	Oui
11	Équipement de démarrage	Oui ou équipement de banc d'essai[i]
12	Pompe de lubrification du moteur	Oui
13	Certains équipements auxiliaires dont la fonction est liée au fonctionnement de l'engin et qui peuvent être montés sur le moteur doivent être enlevés pour l'essai.	Non
	La liste suivante, non exhaustive, est donnée à titre d'exemple:	
	i) Compresseur d'air de freins;	
	ii) Compresseur de direction assistée;	
	iii) Compresseur de suspension;	
	iv) Système de climatisation.	

[a] Le système d'admission complet doit être équipé pour l'application à laquelle il est destiné:

i) Lorsqu'il y a un risque d'effet appréciable sur la puissance du moteur;

ii) Lorsque le fabricant demande de le faire.

Dans d'autres cas, on peut utiliser un système équivalent et faire un contrôle pour assurer que la pression d'admission ne diffère pas de plus de 100 Pa de la limite supérieure fixée par le fabricant pour un filtre à air propre.

[b] Le système d'échappement complet doit être monté pour l'application à laquelle il est destiné:

i) Lorsqu'il y a un risque d'effet appréciable sur la puissance du moteur;

ii) Lorsque le fabricant demande de le faire.

Dans d'autres cas, on peut utiliser un système équivalent et faire un contrôle pour assurer que la pression d'admission ne diffère pas de plus de 1 000 Pa de la limite supérieure fixée par le fabricant.

[c] Si un frein sur échappement est intégré au moteur, le papillon des gaz doit être en position entièrement ouverte.

[d] La pression d'alimentation du carburant peut être réglée, si nécessaire, pour reproduire la pression existant dans l'application particulière de ce moteur (surtout lorsqu'on fait appel à un système à «retour de carburant»).

[e] La circulation du liquide de refroidissement doit être assurée par la pompe à eau du moteur seulement. Le refroidissement de ce liquide peut être fait dans un circuit extérieur de telle manière que la perte de pression de ce circuit et la pression à l'entrée de la pompe soient essentiellement les mêmes que celles du système de refroidissement du moteur.

[f] Le thermostat peut être mis en position d'ouverture totale.

[g] Lorsque le ventilateur de refroidissement ou la soufflante est prévu(e) pour l'essai, la puissance absorbée est ajoutée aux résultats, sauf dans le cas des ventilateurs de refroidissement de moteurs refroidis par air directement fixés sur le vilebrequin. La puissance du ventilateur ou de la soufflante doit être déterminée aux régimes utilisés pour l'essai, soit par calcul à partir des caractéristiques standard, soit par des essais pratiques.

[h] Les moteurs à refroidissement d'admission doivent être essayés avec le refroidissement d'admission, qu'il soit liquide ou par air, mais si le fabricant le préfère, un système faisant partie du banc d'essai peut remplacer le refroidisseur d'air. Dans chaque cas, la mesure de la puissance à chaque régime est effectuée avec le maximum de chute de pression et le minimum de perte de température de l'air traversant le refroidisseur de suralimentation sur le banc d'essai déclarés par le fabricant.

[i] L'énergie pour le système de démarrage électrique ou autre doit être fournie par le banc d'essai.

Annexe A.6

Carburants de référence pour moteurs diesel

A.6.1 *Carburants de référence pour moteurs diesel dans l'Union européenne*

		Limites[a]		
Paramètre	*Unité*	*Minimum*	*Maximum*	*Méthode d'essai*
Indice de cétane		52	54	ISO 5165
Densité à 15 °C	kg/m^3	833	837	ISO 3675
Distillation:				
• 50 % vol.	°C	245		ISO 3405
• 95 % vol.	°C	345	350	
• point d'ébullition final	°C		370	
Point éclair	°C	55		ISO 2719
Point de colmatage du filtre froid	°C		-5	EN 116
Viscosité cinématique à 40 °C	mm^2/s	2,3	3,3	ISO 3104
Hydrocarbures polycycliques aromatiques	% m/m	2,0	6,0	EN 12916
Résidu de carbone Conradson (10 % DR)	% m/m		0,2	ISO 10370
Teneur en cendres	% m/m		0,01	EN-ISO 6245
Teneur en eau	% m/m		0,02	EN-ISO 12937
Teneur en soufre	mg/kg		10	EN-ISO 14596
Corrosion sur lame de cuivre à 50 °C			1	EN-ISO 2160
Pouvoir lubrifiant (HFRR à 60 °C)	µm		400	CEC F-06-A-96
Numéro de neutralisation	mg KOH/g		0,02	
Stabilité à l'oxydation	mg/ml		0,025	EN-ISO 12205

[a] Les valeurs indiquées sont des «valeurs vraies». Dans l'établissement des valeurs limites, les valeurs limites de la norme ISO 4259 «Produits pétroliers − Détermination et application des valeurs de fidélité relatives aux méthodes d'essai» ont été appliquées, et pour l'établissement d'une valeur minimale, on a pris en compte une différence minimale de 2R au-dessus de zéro; en fixant une valeur minimale et une valeur maximale, la différence minimale est de 4R (R = reproductibilité).

Nonobstant cette mesure, qui est nécessaire pour des raisons statistiques, le fabricant du carburant doit néanmoins viser une valeur zéro lorsque la valeur stipulée est 2R et une valeur moyenne en cas de précision des limites supérieure et inférieure. Pour savoir si un carburant est conforme aux exigences, il faut appliquer les principes de la norme ISO 4259.

A.6.2 *Carburants pour moteurs diesel 2-Ddes États-Unis*

Paramètre	*Unité*	*Méthode d'essai*	*Limites*	
			Minimum	*Maximum*
Nombre cétane	1	ASTM D 613	40	50
Indice de cétane	1	ASTM D 976	40	50
Densité à 15 °C	kg/m^3	ASTM D 1298	840	865
Distillation:		ASTM D 86		
• point d'ébullition initial	°C		171	204
• 10 % vol.	°C		204	238
• 50 % vol.	°C		243	282
• 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
Fraction en masse de soufre	ppm	ASTM D 2785	7	15
Fraction en volume d'aromatiques	% v/v	ASTM D 1319 40CFR 80.520		35

A.6.3 *Carburant de référence pour moteurs diesel japonais*

Paramètre	*Unité*	*Limites*[a]		*Méthode d'essai*
		Minimum	*Maximum*	
Indice de cétane		53	60	JIS K 2280
Densité	g/cm^3	0,815	0,840	JIS K 2249
Distillation:				JIS K 2254
• 50 % vol.		255	295	
• 90 % vol.	°C	300	345	
• point final d'ébullition	°C	–	370	
Point d'éclair	°C	58		JIS K 2265-3
Viscosité cinématique à 30 °C	mm^2/s	3,0	4,5	JIS K 2283
Total aromatiques	vol. %	–	25	JPI HPLC
Aromatiques polycycliques	vol. %	–	5,0	JPI HPLC
Teneur en soufre	pds-ppm	–	10	JIS K 2541-1, JIS K 2541-2 JIS K 2541-6, JIS K 2541-7
FAME	%	–	0,1	Notification du Ministère de l'économie, du commerce et de l'industrie (METI) n° 78 de 2007
Triglycérides	%	–	0,01	

Annexe A.7

Calcul des émissions sur base molaire

A.7.0 *Conversion des symboles*

A.7.0.1 Symboles généraux

Annexe 7[1]	*Annexe 8*	*Unité*	*Quantité*
A		m^2	Superficie
A_t		m^2	Superficie de la section transversale du col de venturi
a_0	b, D_0	a.d.[7]	Ordonnée à l'origine de la droite de régression, point d'ordonnée à l'origine d'étalonnage PDP
a_1	m	a.d.[7]	Pente de la droite de régression
β	r_D	m/m	Rapport des diamètres
C		−	Coefficient
C_d	C_d	−	Coefficient de décharge
C_f		−	Coefficient de débit
d	d	m	Diamètre
DR	r_d	−	Taux de dilution[2]
e	e	g/kWh	Base spécifique du banc
e_{gas}	e_{gas}	g/kWh	Émissions spécifiques de gaz
e_{PM}	e_{PM}	g/kWh	Émissions spécifiques de particules
f		Hz	Fréquence
f_n	n	min^{-1}, s^{-1}	Fréquence de rotation (arbre de transmission)
γ		−	Rapport des chaleurs spécifiques
K			Facteur de correction
K_s	X_0	s/tr	Facteur de correction pour le glissement de la PDP
k_{Dr}	k_{Dr}	−	Facteur d'ajustement vers le bas
	k_h		Facteur de correction d'humidité pour NO_x
k_r	k_r	−	Facteur de régénération multiplicative
k_{Ur}	k_{Ur}	−	Facteur d'ajustement vers le haut
μ	μ	Pa·s	Viscosité dynamique
M	M	g/mol	Masse molaire[3]
M_{gas}[4]	M_{gas}	g/mol	Masse molaire des composants gazeux
m	m	kg	Masse
$\dot{m}$	q_m	kg/s	Débit massique
ν		m^2/s	Viscosité cinématique
N			Nombre total en série
n		mol	Quantité de substance
$\dot{n}$		mol/s	Taux de quantité de substance
P	P	kW	Puissance
p	p	kPa	Pression

Annexe 7[1]	*Annexe 8*	*Unité*	*Quantité*
p_{abs}	p_p	kPa	Pression absolue
p_{H2O}	p_r	kPa	Pression de vapeur d'eau
PF	$1 - E$	%	Fraction de pénétration (*E* = efficacité de conversion)
$\dot{V}$	q_V	m³/s	Débit volumique
ρ	ρ	kg/m³	Masse volumique
r		−	Rapport de pression
Ra		µm	Rugosité moyenne de surface
Re[#]	*Re*	−	Nombre de Reynolds
RH%	*RH*	%	Humidité relative
σ	σ	−	Écart type
S		K	Constante de Sutherland
T	T_a	K	Température absolue
T	*T*	°C	Température
T		N·m	Couple moteur
t	*t*	s	Temps
Δt	Δt	s	Intervalle temporel
V	*V*	m^3	Volume
$\dot{V}$	q_V	m^3/s	Débit volumique
W	*W*	kWh	Travail
W_{act}	W_{act}	kWh	Travail réel au cours du cycle d'essai
WF	*WF*	−	Facteur de pondération
w	*w*	g/g	Fraction de masse
x[5]	*c*	mol/mol, % vol	Quantité de fraction molaire de substance[6]/ concentration (également en µmol/mol = ppm)
$\overline{x}$		mol/mol	Concentration moyenne pondérée par le débit
y		−	Variable générique
$\overline{y}$		−	Moyenne arithmétique
Z		−	Facteur de compressibilité

[1] Voir les indices; par exemple: $\dot{m}_{air}$ pour le débit massique d'air sec ou $\dot{m}_{fuel}$ pour le débit massique de carburant.

[2] Taux de dilution r_d dans l'annexe 8 et *DR* dans l'annexe 7: symboles différents mais même sens et mêmes équations. Facteur de dilution *D* dans l'annexe 8 et $x_{dil/exh}$ dans l'annexe 7: symboles différents mais même sens physique; l'équation (A.7-47) représente la relation entre $x_{dil/exh}$ et *DR*.

[3] Voir le paragraphe A.7.1.1 de la présente section en ce qui concerne les valeurs à utiliser pour les masses molaires. Dans les cas des NO_x et HC, le règlement prescrit des masses molaires effectives basées sur la spécification la plus hypothétique plutôt que la spécification réelle.

[4] Voir les symboles et abréviations des constituants chimiques.

[5] Voir les symboles spécifiques du tableau du bilan chimique.

[6] Les fractions molaires pour les HCT et les HCNM sont exprimées sur une base équivalant à C1.

[7] a.d. = à définir.

A.7.0.2 Indices

Annexe 7	*Annexe 8*[1]	*Quantité*
abs		Quantité absolue
act	act	Quantité réelle
air		Air sec
atmos		Atmosphérique
bkgnd		Ambiant
C		Carbone
cal		Quantité d'étalonnage
CFV		Venturi-tuyère en régime critique
cor		Quantité corrigée
dil		Air de dilution
dexh		Gaz d'échappement dilués
dry		Quantité en conditions sèches
exh		Gaz d'échappement bruts
exp		Quantité escomptée
eq		Quantité équivalente
fuel		Carburant
	i	Mesure instantanée (par exemple: 1 Hz)
i		Un d'une série
idle		État au ralenti
in		Quantité dans
init		Quantité initiale, typiquement avant un essai d'émissions
max		Valeur maximale (c'est-à-dire de crête)
meas		Quantité mesurée
min		Valeur minimale
mix		Masse molaire de l'air
out		Quantité sortie
part		Quantité partielle
PDP		Pompe à déplacement direct
raw		Gaz d'échappement bruts
ref		Quantité de référence
tr		Tour
sat		État saturé
slip		Glissement PDP
smpl		Prélèvement
span		Quantité de calibrage
SSV		Venturi subsonique
std		Quantité standard
test		Quantité d'essai

Annexe 7	*Annexe 8*[1]	*Quantité*
total		Quantité totale
uncor		Quantité non corrigée
vac		Degré de vide
weight		Poids d'étalonnage
wet		Quantité en conditions humides
zero		Quantité zéro

[1] Dans l'annexe 8, le sens de l'indice est déterminé par la quantité associée; par exemple, l'indice «d» peut indiquer «à sec», comme indiqué dans «c_d = concentration à sec», l'air de dilution comme dans «p_d = pression d'évaporation de saturation de l'air de dilution» ou «$k_{w,d}$ = facteur de correction sec à humide pour l'air de dilution», le taux de dilution comme dans «r_d». C'est la raison pour laquelle la colonne de l'annexe 8 est pratiquement vide.

A.7.0.3 Symboles et abréviations pour les éléments chimiques (également utilisés comme indices)

Annexe 7	*Annexe 8*	*Quantité*
Ar	Ar	Argon
C1	C1	Hydrocarbures équivalent carbone 1
CH_4	CH_4	Méthane
C_2H_6	C_2H_6	Éthane
C_3H_8	C_3H_8	Propane
CO	CO	Monoxyde de carbone
CO_2	CO_2	Dioxyde de carbone
DOP	DOP	Di-octylphthalate
H		Hydrogène atomique
H_2		Hydrogène moléculaire
HC	HC	Hydrocarbures
H_2O	H_2O	Eau
He		Hélium
N		Azote atomique
N_2		Azote moléculaire
HCNM	HCNM	Hydrocarbures non méthaniques
NO_x	NO_x	Oxyde d'azote
NO	NO	Oxyde nitrique
NO_2	NO_2	Dioxyde d'azote
O		Oxygène atomique
MP	MP	Particules
S		Soufre

A.7.0.4 Symboles et abréviations pour la composition du carburant

Annexe 7[1]	*Annexe 8*[2]	*Quantité*
w_C[4]	w_C[4]	Teneur en carbone du carburant, fraction en masse [g/g] ou [pourcentage de masse]
w_H	w_H	Teneur en hydrogène du carburant, fraction en masse [g/g] ou [pourcentage de masse]
w_N	w_N	Teneur en azote du carburant, fraction en masse [g/g] ou [pourcentage de masse]
w_O	w_O	Teneur en oxygène du carburant, fraction en masse [g/g] ou [pourcentage de masse]
w_S	w_S	Teneur en soufre du carburant, fraction en masse [g/g] ou [pourcentage de masse]
α	α	Rapport hydrogène atomique/carbone (H/C)
β	ε	Rapport oxygène atomique/carbone (O/C)[3]
γ	γ	Rapport soufre atomique/carbone (S/C)
δ	δ	Rapport azote atomique/carbone (N/C)

[1] Se réfère à un carburant ayant comme formule chimique $CH_\alpha O_\beta S_\gamma N_\delta$.
[2] Par rapport à un carburant ayant comme formule chimique $CH_\alpha O_\varepsilon N_\delta S_\gamma$.
[3] Il convient de prêter attention aux divers sens du symbole β dans les deux annexes du calcul des émissions: dans l'annexe 8 il se réfère à un carburant ayant une formule chimique $CH_\alpha S_\gamma N_\delta O_\varepsilon$ (c'est-à-dire la formule $C_\beta H_\alpha S_\gamma N_\delta O_\varepsilon$ où $\beta = 1$, en partant de l'hypothèse d'un atome de carbone par molécule), alors que dans l'annexe 7 il se réfère au rapport oxygène/carbone avec $CH_\alpha O_\beta S_\gamma N_\delta$. Dans ce cas, β de l'annexe 7 correspond à ε de l'annexe 8.
[4] La fraction en masse *w* est accompagnée du symbole de l'élément chimique sous forme d'indice.

A.7.0.5 Symboles pour le bilan chimique utilisés dans l'annexe 7

$x_{dil/exh}$ = Quantité de gaz de dilution ou excès d'air par mole de gaz d'échappement

x_{H2Oexh} = Quantité d'eau par mole de gaz d'échappement

$x_{Ccombdry}$ = Quantité de carbone en provenance du carburant présent dans chaque mole de gaz d'échappement secs

$x_{H2Oexhdry}$ = Quantité d'eau dans le gaz d'échappement par mole sèche de gaz d'échappement secs

$x_{prod/intdry}$ = Quantité de produits stœchiométriques par mole d'air d'admission sec

$x_{dil/exhdry}$ = Quantité de gaz de dilution et/ou excès d'air par mole de gaz d'échappement secs

$x_{int/exhdry}$ = Quantité d'air d'admission nécessaire pour produire les produits de combustion proprement dits par mole de gaz d'échappement secs (bruts ou dilués)

$x_{raw/exhdry}$ = Quantité de gaz d'échappement non dilué, sans excès d'air, par mole de gaz d'échappement secs (bruts ou dilués)

$x_{O2intdry}$ = Quantité d'air d'admission O_2 par mole d'air d'admission sec

$x_{CO2intdry}$ = Quantité de CO_2 dans l'air d'admission par mole d'air d'admission sec

$x_{H2Ointdry}$ = Quantité de H_2O dans l'air d'admission par mole d'air d'admission sec

x_{CO2int} = Quantité de CO_2 dans l'air d'admission par mole d'air d'admission

x_{CO2dil} = Quantité de gaz de dilution CO_2 par mole de gaz de dilution

$x_{CO2dildry}$ = Quantité de gaz de dilution CO_2 par mole de gaz de dilution sec

$x_{H2Odildry}$ = Quantité de gaz de dilution H_2O par mole de gaz de dilution sec

x_{H2Odil} = Quantité de gaz de dilution H_2O par mole de gaz de dilution

$x_{[emission]meas}$ = Quantité d'émissions mesurées dans l'échantillon par les analyseurs de gaz respectifs

$x_{[emission]dry}$ = Quantité d'émissions par mole sec d'échantillon sec

$x_{H2O[emission]meas}$ = Quantité d'eau dans l'échantillon à l'emplacement de détection des émissions

x_{H2Oint} = Quantité d'eau dans l'air d'admission basée sur la mesure de l'humidité de cet air d'admission.

A.7.1 *Paramètres et relations élémentaires*

A.7.1.1 Air sec et espèces chimiques

La présente annexe utilise les valeurs suivantes pour la composition de l'air sec:

$x_{O2airdry}$ = 0,209445 mol/mol

$x_{CO2airdry}$ = 0,000375 mol/mol.

La présente annexe utilise les masses molaires ou les masses molaires effectives suivantes des espèces chimiques:

M_{air} = 28,96559 g/mol (air sec)

M_{Ar} = 39,948 g/mol (argon)

M_{C} = 12,0107 g/mol (carbone)

M_{CO} = 28,0101 g/mol (monoxyde de carbone)

M_{CO2} = 44,0095 g/mol (dioxyde de carbone)

M_{H} = 1,00794 g/mol (hydrogène atomique)

M_{H2} = 2,01588 g/mol (hydrogène moléculaire)

M_{H2O} = 18,01528 g/mol (eau)

M_{He} = 4,002602 g/mol (hélium)

M_{N} = 14,0067 g/mol (azote atomique)

M_{N2} = 28,0134 g/mol (azote moléculaire)

M_{NMHC} = 13,875389 g/mol (hydrocarbures non méthaniques[1])

M_{NOx} = 46,0055 g/mol (oxydes d'azote[2])

M_{O} = 15,9994 g/mol (oxygène atomique)

M_{O2} = 31,9988 g/mol (oxygène moléculaire)

M_{C3H8} = 44,09562 g/mol (propane)

M_{S} = 32,065 g/mol (soufre)

M_{THC} = 13,875389 g/mol (hydrocarbures totaux[2]).

a) Les masses molaires effectives des HCT et des HCNM sont définies par un rapport d'hydrogène atomique à carbone, α, de 1,85;

b) La masse molaire effective de NO_x est définie par la masse molaire du dioxyde d'azote, NO_2.

La présente annexe utilise la constante de gaz molaire *R* suivante pour les gaz parfaits:

R = 8,314472 J/(mol K).

La présente annexe utilise les rapports suivants des chaleurs spécifiques γ $[\mathrm{J}/(\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K})]/[\mathrm{J}/(\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K})]$ pour l'air de dilution et les gaz d'échappement dilués:

γ_{air} = 1,399 (rapport des chaleurs spécifiques de l'air d'admission ou de l'air de dilution)

γ_{dil} = 1,399 (rapport des chaleurs spécifiques des gaz d'échappement dilués)

γ_{dil} = 1,385 (rapport des chaleurs spécifiques des gaz d'échappement bruts).

A.7.1.2 Air humide

La présente section décrit la manière de déterminer la quantité d'eau dans un gaz idéal:

A.7.1.2.1 Pression de vapeur de l'eau

La pression de vapeur de l'eau p_{H2O} [kPa] pour une situation de température de saturation donnée, T_{sat} [K], doit être calculée de la manière suivante:

a) Pour les mesures d'humidité faites à des températures ambiantes comprises entre 0 et 100 °C ou pour des mesures de l'humidité faites au-dessus d'eau surrefroidie à des températures ambiantes de -50 à 0 °C:

$$\log_{10}(p_{H2O}) = 10{,}79574 \cdot \left(1 - \frac{273{,}16}{T_{sat}}\right) - 5{,}02800 \,.\log_{10}\left(\frac{T_{sat}}{273{,}16}\right) +$$

$$+ 1{,}50475 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - 10^{-8{,}2969 \cdot \left(\frac{T_{sat}}{273{,}16}\right) - 1}\right) + 0{,}42873 \cdot 10^{-3} \cdot \left(10^{4{,}76955 \cdot \left(1 - \frac{273{,}16}{T_{sat}}\right)} - 1\right) - 0{,}2138602$$

(A.7-1)

Où:

p_{H2O} = pression de la vapeur de l'eau en conditions de température de saturation [kPa]

T_{sat} = température de saturation de l'eau aux conditions mesurées [K];

b) Pour les mesures de l'humidité faites sur de la glace à des températures ambiantes de (-100 à 0) °C:

$$\log_{10}(p_{sat}) = -9{,}096853 \cdot \left(\frac{273{,}16}{T_{sat}} - 1\right) - 3{,}566506 \cdot \log_{10}\left(\frac{276{,}16}{T_{sat}}\right)$$

$$+ 0{,}876812\left(1 - \frac{T_{sat}}{273{,}16}\right) - 0{,}218602 \qquad \text{(A.7-2)}$$

Où:

T_{sat}= température de saturation de l'eau aux conditions mesurées [K].

A.7.1.2.2 Point de rosée

Si l'humidité est mesurée en tant que point de rosée, la quantité d'eau dans un gaz idéal x_{H2O} [mol/mol] doit être obtenue de la manière suivante:

$$x_{H_2O} = \frac{p_{H2O}}{p_{abs}} \qquad \text{(A.7-3)}$$

Où:

x_{H2O} = quantité d'eau dans un gaz idéal [mol/mol]

p_{H2O} = pression de vapeur de l'eau au point de rosée mesuré, $T_{sat} = T_{dew}$ [kPa]

p_{abs} = pression absolue statique à l'emplacement de mesure du point de rosée [kPa].

A.7.1.2.3 Humidité relative

Si l'on mesure l'humidité en tant que humidité relative *RH*%, la quantité d'eau d'un gaz idéal x_{H2O} [mol/mol] se calcule de la manière suivante:

$$x_{H2O} = \frac{RH\%}{100} \cdot \frac{p_{H2O}}{p_{abs}} \qquad \text{(A.7-4)}$$

Où:

RH% = humidité relative [%]

p_{H2O} = pression de vapeur de l'eau à 100 % d'humidité relative à l'emplacement de la mesure de l'humidité relative, $T_{sat} = T_{amb}$ [kPa]

p_{abs} = pression absolue statique humide à l'emplacement de la mesure de l'humidité relative [kPa].

A.7.1.3 Propriétés du carburant

La formule générale chimique du carburant est $CH_{\alpha}O_{\beta}S_{\gamma}N_{\delta}$ avec un rapport atomique hydrogène-à-carbone (H/C), un rapport oxygène-à-carbone β (O/C), un rapport γ atomique soufre-à-carbone de (S/C) et un rapport δ d'azote

atomique-à-carbone (N/C). Compte tenu de cette formule on peut mesurer la fraction de la masse de carbone w_C du carburant. En cas de carburant pour moteurs diesel, on peut utiliser la formule simple $CH_\alpha O_\beta$. On peut tirer du tableau A.7.1 les valeurs par défaut pour la composition du carburant:

Carburant	*Rapports d'hydrogène atomique et d'oxygène-à-carbone* $CH_\alpha O_\beta$	*Concentration en masse de carbone,* w_C *[g/g]*
N. 2 pour moteurs diesel	$CH_{1,80}O_0$	0,869
N. 1 pour moteurs diesel	$CH_{1,93}O_0$	0,861

Tableau A.7.1
Valeurs par défaut du rapport hydrogène atomique-à-carbone, α, oxygène atomique-à-carbone, β, et fraction de la masse de carbone de carburant, w_C pour carburants pour moteurs diesel

A.7.1.4 HCT et concentration des HC non méthaniques

A.7.1.4.1 Détermination des HCT et corrections de la contamination initiale HCT/CH_4

a) S'il est nécessaire de déterminer les émissions de HCT, $x_{THC[THC\text{-}FID]}$ est calculé au moyen de la concentration de la contamination HCT initiale $x_{THC[THC\text{-}FID]init}$ du paragraphe 7.3.3, de la manière suivante:

$$x_{THC[THC\text{-}FID]cor} = x_{THC[THC\text{-}FID]uncorr} - x_{THC[THC\text{-}FID]init} \quad \text{(A.7-5)}$$

Où:

$x_{THC[THC\text{-}FID]cor}$ = concentration de HCT corrigée pour la contamination [mol/mol]

$x_{THC[THC\text{-}FID]uncorr}$ = concentration de HCT non corrigée [mol/mol]

$x_{THC[THC\text{-}FID]init}$ = concentration de contamination par les HCT initiale [mol/mol].

b) Pour la détermination des HCNM comme décrit au paragraphe A.7.1.4.2, $x_{THC[THC\text{-}FID]}$ doit être corrigé en fonction de la contamination HC initiale au moyen de l'équation (A.7-5). La contamination initiale du train d'échantillons CH_4 peut être corrigée au moyen de l'équation (A.7-5), en substituant dans CH_4 les concentrations pour les HCT.

A.7.1.4.2 Détermination des HCNM

Pour déterminer la concentration de HCNM, x_{HCNM}, on utilise l'une des méthodes suivantes:

a) Si le CH_4 n'a pas été mesuré, on peut déterminer les concentrations de HCNM de la manière suivante: La masse des HCNM corrigée des concentrations ambiantes doit être comparée à la masse également corrigée des concentrations ambiantes de HCT. Si la première est supérieure de plus de 0,98 fois à la masse de HCT, la masse corrigée des HCNM doit être considérée comme étant de 0,98 fois la masse corrigée de HCT. Si les calculs de HCNM ont été omis comme indiqué au paragraphe A.7.1.4 c), la masse corrigée des HCNM doit être considérée comme étant de 0,98 fois la masse corrigée de HCT;

b) Pour les convertisseurs de HCNM, il faut calculer x_{NMHC} sur la base des fractions de pénétration du convertisseur (*PF*) du CH_4 et du C_2H_6 du paragraphe 8.1.10.3 et de la contamination HC et de la concentration de HCT corrigée de humide à sec $x_{THC[THC\text{-}FID]cor}$ comme déterminé au paragraphe a) ci-dessus:

i) On utilise l'équation suivante pour les fractions de pénétration déterminées utilisant une configuration de convertisseur NMC comme celle décrite au paragraphe 8.1.10.3.4:

$$x_{NMHC} = \frac{x_{THC[THC\text{-}FID]cor} - x_{THC[THC\text{-}FID]} \cdot RF_{CH4[THC\text{-}FID]}}{1 - RFPF_{C2H6[NMC\text{-}FID]} \cdot RF_{CH4[THC\text{-}FID]}} \qquad \text{(A.7-6)}$$

Où:

x_{NMHC} = concentration de HCNM

$x_{THC[THC\text{-}FID]cor}$ = concentration de HCT, contamination HC avec correction de sec à humide, telle que mesurée par l'analyseur FID/HCT au cours du prélèvement avec contournement du convertisseur NMC

$x_{THC[NMC\text{-}FID]}$ = concentration de HCT, contamination HC (facultative) avec correction sec à humide, telle que mesurée par le FID/HCT pendant le prélèvement à travers le convertisseur NMC

$RF_{CH4[THC\text{-}FID]}$ = facteur de réponse du FID/HCT à CH_4, conformément au paragraphe 8.1.10.3.4

$RFPF_{C2H6[NMC\text{-}FID]}$ = facteur de réponse à l'éthane combiné et fraction de pénétration du convertisseur de HCNM, conformément au paragraphe 8.1.10.3.4;

ii) Pour les fractions de pénétration déterminées au moyen d'une configuration de NMC telle que celle exposée au paragraphe 8.1.10.3.4.2, on utilisera l'équation suivante:

$$x_{NMHC} = \frac{x_{THC[THC\text{-}FID]cor} \cdot PF_{CH4[NMC\text{-}FID]} - x_{THC[NMC\text{-}FID]}}{PF_{CH4[NMC\text{-}FID]} - PF_{C2H6[NMC\text{-}FID]}} \qquad \text{(A.7-7)}$$

Où:

x_{NMHC} = concentration de HCNM

$x_{THC[THC\text{-}FID]cor}$ = concentration de HCT, contamination HC et les corrections sec à humide, telles que mesurées par le HCT/FID pendant le prélèvement avec contournement du convertisseur NMC

$PF_{CH4[NMC\text{-}FID]}$ = fraction de pénétration du convertisseur de HCNM dans le CH_4 conformément au paragraphe 8.1.10.3.5

$x_{THC[NMC\text{-}FID]}$ = concentration de HCT, contamination HC (facultative) avec corrections sec à humide, telles que mesurées par l'analyseur FID/HCT au cours du prélèvement à travers le convertisseur NMC

$PF_{C2H6[NMC\text{-}FID]}$ = fraction de pénétration du convertisseur de HCNM dans l'éthane, conformément au paragraphe 8.1.10.3.5;

iii) Pour les fractions de pénétration déterminées en utilisant une configuration du convertisseur NMC telle que celle présentée dans le paragraphe 8.1.10.3.4.3, on utilisera l'équation suivante:

$$x_{\mathrm{NMHC}} = \frac{x_{\mathrm{THC[THC\text{-}FID]cor}} \cdot PF_{\mathrm{CH4[NMC\text{-}FID]}} - x_{\mathrm{THC[NMC\text{-}FID]}} \cdot RF_{\mathrm{CH4[THC\text{-}FID]}}}{PF_{\mathrm{CH4[NMC\text{-}FID]}} - RFPF_{\mathrm{C2H6[NMC\text{-}FID]}} \cdot RF_{\mathrm{CH4[THC\text{-}FID]}}} \qquad \text{(A.7-8)}$$

Où:

x_{NMHC} = concentration de HCNM

$x_{\mathrm{THC[THC\text{-}FID]cor}}$ = concentration de HCT, contamination HC avec corrections sec à humide, telles que mesurées par l'analyseur FID/HCT au cours du prélèvement avec contournement du convertisseur NMC

$PF_{\mathrm{CH4[NMC\text{-}FID]}}$ = fraction de pénétration du CH_4 dans le convertisseur de HCNM, conformément au paragraphe 8.1.10.3.6

$x_{\mathrm{THC[NMC\text{-}FID]}}$ = concentration de HCT, contamination HC (facultative) avec corrections sec à humide, telles que mesurées par l'analyseur FID/HCT pendant le prélèvement à travers le convertisseur NMC

$RFPF_{\mathrm{C2H6[NMC\text{-}FID]}}$ = facteur combiné de réponse à l'éthane et fraction de pénétration du convertisseur de HCNM du CH_4, conformément au paragraphe 8.1.10.3.6

$RF_{\mathrm{CH4[THC\text{-}FID]}}$ = facteur de réponse de l'analyseur FID/HCT au CH_4, conformément au paragraphe 8.1.10.3.4;

c) Pour une chromatographie en phase gazeuse, on calculera x_{NMHC} au moyen du facteur de réponse de l'analyseur de HCT (*RF*) pour CH_4, à partir du paragraphe 8.1.10.3, et de la contamination HC ainsi que la concentration de HCT initiale corrigées de sec à humide $x_{\mathrm{THC[THC\text{-}FID]cor}}$ comme déterminé dans le paragraphe a) ci-dessus de la manière suivante:

$$x_{\mathrm{NMHC}} = x_{\mathrm{THC[THC\text{-}FID]cor}} - RF_{\mathrm{CH4[THC\text{-}FID]}} \cdot x_{\mathrm{CH4}} \qquad \text{(A.7-9)}$$

Où:

x_{NMHC} = concentration de HCNM

$x_{\mathrm{THC[THC\text{-}FID]cor}}$ = concentration de HCT, contamination HC corrigée de sec à humide telles que mesurées par l'analyseur FID/HCT

x_{CH4} = concentration de CH_4, contamination HC (facultative) avec correction de sec à humide, telle que mesurée à l'analyseur FID en chromatographie gazeuse

$RF_{\mathrm{CH4[THC\text{-}FID]}}$ = facteur de réponse de l'analyseur FID/HCT au CH_4.

A.7.1.4.3 Approximation des HCNM à partir des HCT

Les émissions de HCNM (hydrocarbures non méthaniques) sont approximativement de 98 % des HCT (hydrocarbures totaux).

A.7.1.5 Concentration moyenne pondérée en fonction du débit

Dans certains paragraphes de la présente annexe, il est parfois nécessaire de calculer une concentration moyenne pondérée en fonction du débit pour déterminer l'applicabilité de certaines dispositions. Une moyenne pondérée en fonction du débit est la moyenne d'une quantité après qu'elle ait été pondérée proportionnellement à un débit correspondant. Si, par exemple, on mesure en continu une concentration de gaz provenant des gaz d'échappement bruts d'un moteur, sa concentration moyenne pondérée en fonction du débit est la somme des produits de chaque durée de concentration enregistrée par le débit molaire de l'échappement respectif, divisée par la somme des valeurs du débit. Autre exemple, la concentration dans le sac d'un système CVS est la même que la concentration pondérée étant donné que le système CVS lui-même pondère la concentration dans le sac. Une certaine concentration moyenne pondérée d'émissions types peut déjà être prévue sur la base d'essais préliminaires avec des moteurs analogues ou essais avec des équipements et des instruments analogues.

A.7.2 *Bilans chimiques du carburant, de l'air d'admission et des gaz d'échappement*

A.7.2.1 Considérations générales

On peut calculer les bilans chimiques du carburant, de l'air d'admission et des gaz d'échappement pour calculer les débits, la quantité d'eau contenue dans ces débits ainsi que la concentration humide des constituants dans leurs débits. Avec le débit du carburant, de l'air d'admission ou de l'échappement, on peut utiliser les bilans chimiques pour déterminer le débit des deux autres. Par exemple, on peut utiliser les bilans chimiques avec l'air d'admission ou avec le débit du carburant pour déterminer le débit des gaz d'échappement.

A.7.2.2 Procédures nécessitant des bilans chimiques

Les bilans chimiques sont nécessaires pour déterminer ce qui suit:

a) La quantité d'eau contenue dans un débit de gaz d'échappement bruts ou dilués, x_{H2Oexh}, lorsque la quantité d'eau nécessaire pour corriger la quantité d'eau enlevée par le système de prélèvement n'a pas été mesurée;

b) La fraction moyenne pondérée de l'air de dilution dans les gaz d'échappement, $x_{dil/exh,}$ lorsque le débit d'air de dilution n'est pas mesuré pour corriger les émissions ambiantes. Il convient de noter que si les bilans chimiques sont utilisés à cet effet, on part de l'hypothèse que les gaz d'échappement sont stœchiométriques, même s'ils ne le sont pas.

A.7.2.3 Procédure de bilan chimique

Les calculs d'un bilan chimique font intervenir un système d'équations qui nécessite une itération. On part de l'hypothèse pour les valeurs initiales d'un maximum de trois quantités: la quantité d'eau dans le débit mesuré, x_{H2Oexh}, la fraction d'air de dilution dans les gaz d'échappement dilués (ou l'excès d'air dans les gaz d'échappement bruts), $x_{dil/exh}$, ainsi que la quantité de produits sur une base C1 par mole sec ou de débit mesuré sec, $x_{Ccombdry}$. Les valeurs moyennes pondérées de l'humidité de l'air de combustion et de l'humidité de l'air de dilution dans le bilan chimique sont utilisables tant que l'humidité de l'air de combustion et de l'air de dilution restent dans les tolérances de

± 0,0025 mol/mol de leurs valeurs moyennes respectives sur la durée de l'essai. Pour chaque concentration d'émissions x, et quantité d'eau x_{H2Oexh}, il faut déterminer les concentrations pour un état parfaitement sec, x_{dry} et $x_{H2Oexhdry}$. Il faut également utiliser le rapport atomique hydrogène-à-carbone du carburant, α, le rapport oxygène-à-carbone, β et la fraction en masse carbone du carburant, w_C. Pour l'essai du carburant, on peut utiliser α et β ou les valeurs par défaut du tableau 7.1.

On procède de la manière suivante pour obtenir le bilan chimique:

a) Les concentrations mesurées telles que $x_{CO2meas}$, x_{NOmeas} *et* x_{H2Oint} doivent être converties en concentrations sèches en les divisant par un moins de la quantité d'eau présente au cours de leurs mesures respectives; par exemple: $x_{H2OxCO2meas}$, $x_{H2OxNOmeas}$ et x_{H2Oint}. Si la quantité d'eau présente au cours d'une mesure «humide» est la même que la quantité d'eau inconnue dans le débit des gaz d'échappement, x_{H2Oexh}, elle doit être résolue itérativement pour cette valeur dans le système d'équations. Si uniquement les NO_x sont mesurés et non pas NO et NO_2 séparément, il faudra suivre les règles du bon sens technique pour faire une distinction dans la concentration de NO_x totaux entre NO et NO_2 pour les bilans chimiques. La concentration molaire de NO_x, x_{NOx}, peut être estimée à 75 % de NO et 25 % de NO_2. Pour les systèmes de traitement aval à stockage de NO_2, on peut prendre pour hypothèse que x_{NOx} est de 25 % NO et 75 % NO_2. Pour calculer la masse des émissions de NO_x on utilise la masse molaire de NO_2 pour la masse molaire effective de toutes les espèces de NO_x indépendamment de la fraction de NO_2 exacte de NO_x;

b) Les équations du paragraphe c) 4) doivent être introduites dans le programme informatique pour résoudre de manière itérative x_{H2Oexh}, $x_{Ccombdry}$ et $x_{dil/exh}$. Il faudra faire preuve de bon sens technique pour estimer les valeurs initiales de x_{H2Oexh}, $x_{Ccombdry}$ et $x_{dil/exh}$. Il est recommandé de partir de l'hypothèse d'une quantité initiale d'eau qui est d'environ deux fois la quantité d'eau dans l'air d'admission ou de dilution. Il est recommandé d'estimer une valeur initiale de $x_{Ccombdry}$ comme étant la somme des valeurs mesurées de CO_2, CO et HCT. Il est également recommandé de partir d'une estimation initiale de x_{dil} située entre 0,75 et 0,95 ($0{,}75 < x_{dil} < 0{,}95$), par exemple 0,8. Les valeurs du système d'équations seront utilisées itérativement jusqu'à ce que les estimations à jour les plus récentes soient toutes à ± 1 % près de leurs valeurs calculées respectives les plus récemment calculées;

c) On utilise les symboles et les indices suivants dans le système d'équations du paragraphe c) où l'unité x est mol/mol:

Symbole	*Description*
$x_{dil/exh}$	Quantité de gaz de dilution ou d'excès d'air par mole de gaz d'échappement
x_{H2Oexh}	Quantité de H_2O par mole de gaz d'échappement
$x_{Ccombdry}$	Quantité de carbone du carburant dans les gaz d'échappement par mole des gaz d'échappement secs

Symbole	*Description*
$x_{H2Oexhdry}$	Quantité d'eau dans les gaz d'échappement par mole sèche des gaz d'échappement secs
$x_{prod/intdry}$	Quantité de produits stœchiométriques secs par mole sèche d'air d'admission
$x_{dil/exhdry}$	Quantité de gaz de dilution et/ou d'excès d'air par mole de gaz d'échappement secs
$x_{int/exhdry}$	Quantité d'air d'admission nécessaire pour produire des produits de combustion par mole de gaz d'échappements secs (bruts ou dilués)
$x_{raw/exhdry}$	Quantité de gaz d'échappement non dilués, sans air en excès, par mole de gaz d'échappement secs (bruts ou dilués)
$x_{O2intdry}$	Quantité de O_2 dans l'air d'admission par mole d'air d'admission sec; $x_{O2intdry}$ = 0,209445 mol/mol est une bonne hypothèse
$x_{CO2intdry}$	Quantité de CO_2 par mole d'air d'admission sec. $x_{CO2intdry}$ = 375 µmol/mol peut être utilisé, mais il est recommandé de mesurer la concentration réelle dans l'air d'admission
$x_{H2Ointdry}$	Quantité de H_2O dans l'air d'admission par mole d'air d'admission sec
x_{CO2int}	Quantité de CO_2 dans l'air d'admission par mole d'air d'admission
x_{CO2dil}	Quantité de gaz de dilution CO_2 par mole de gaz de dilution
$x_{CO2dildry}$	Quantité de gaz de dilution CO_2 par mole de gaz de dilution sec. Si l'on utilise de l'air comme diluant, on peut utiliser $x_{CO2dildry}$ = 375 µmol/mol, mais il est recommandé de mesurer la concentration réelle dans l'air d'admission
$x_{H2Odildry}$	Quantité de gaz de dilution H_2O par mole de gaz de dilution sec
x_{H2Odil}	Quantité de gaz de dilution H_2O par mole de gaz de dilution
$x_{[emission]meas}$	Quantité d'émissions mesurée dans l'échantillon par les analyseurs de gaz respectifs
$x_{[emission]dry}$	Quantité d'émissions par mole sèche d'échantillon
$x_{H2O[emission]meas}$	Quantité d'eau dans l'échantillon à l'emplacement de la détection des émissions. Ces valeurs doivent être mesurées ou estimées conformément au paragraphe 9.3.2.3.1
x_{H2Oint}	Quantité d'eau dans l'air d'admission, sur la base de mesure d'humidité de l'air d'admission
α	Rapport atomique hydrogène-à-carbone du mélange de carburant(s) ($CH_\alpha O_\beta$) étant brûlé, pondéré par la consommation molaire
β	Rapport atomique oxygène-à-carbone du mélange de carburant(s) ($CH_\alpha O_\beta$) étant brûlé, pondéré par la consommation molaire

d) On utilise les équations suivantes pour résoudre itérativement $x_{\text{dil/exh}}$, x_{H2Oexh} et x_{Ccombdry}:

$$x_{\text{dil/exh}} = 1 - \frac{x_{\text{raw/exhdry}}}{1 + x_{\text{H2Oexhdry}}} \tag{A.7-10}$$

$$x_{\text{H2Oexh}} = \frac{x_{\text{H2Oexhdry}}}{1 + x_{\text{H2Oexhdry}}} \tag{A.7-11}$$

$$x_{\text{Ccombdry}} = x_{\text{CO2dry}} + x_{\text{COdry}} + x_{\text{THCdry}} - x_{\text{CO2dil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}} - x_{\text{CO2int}} \cdot x_{\text{int/exhdry}} \tag{A.7-12}$$

$$x_{\text{H2Oexhdry}} = \frac{\alpha}{2}\left(x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}\right) + x_{\text{H2Odil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}} + x_{\text{H2Oint}} \cdot x_{\text{int/exhdry}} \tag{A.7-13}$$

$$x_{\text{dil/exhdry}} = \frac{x_{\text{dil/exh}}}{1 - x_{\text{H2Oexh}}} \tag{A.7-14}$$

$$x_{\text{int/exhdry}} = \frac{1}{2 \cdot x_{\text{O2int}}}\left[\left(\frac{\alpha}{2} - \beta + 2\right)\left(x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}\right) - \left(x_{\text{COdry}} - x_{\text{NOdry}} - 2x_{\text{NO2dry}}\right)\right] \tag{A.7-15}$$

$$x_{\text{raw/exhdry}} = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{\alpha}{2} + \beta\right)\left(x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}\right) + \left(2x_{\text{THCdry}} + x_{\text{COdry}} - x_{\text{NO2dry}}\right)\right] + x_{\text{int/exhdry}} \tag{A.7-16}$$

$$x_{\text{O2int}} = \frac{0{,}209820 - x_{\text{CO2intdry}}}{1 + x_{\text{H2Ointdry}}} \tag{A.7-17}$$

$$x_{\text{CO2int}} = \frac{x_{\text{CO2intdry}}}{1 + x_{\text{H2Ointdry}}} \tag{A.7-18}$$

$$x_{\text{H2Ointdry}} = \frac{x_{\text{H2Oint}}}{1 - x_{\text{H2Oint}}} \tag{A.7-19}$$

$$x_{\text{CO2dil}} = \frac{x_{\text{CO2dildry}}}{1 + x_{\text{H2Odildry}}} \tag{A.7-20}$$

$$x_{\text{H2Odildry}} = \frac{x_{\text{H2Odil}}}{1 - x_{\text{H2Odil}}} \tag{A.7-21}$$

$$x_{\text{COdry}} = \frac{x_{\text{COmeas}}}{1 - x_{\text{H2OCOmeas}}} \tag{A.7-22}$$

$$x_{\text{CO2dry}} = \frac{x_{\text{CO2meas}}}{1 - x_{\text{H2OCO2meas}}} \tag{A.7-23}$$

$$x_{\mathrm{NOdry}} = \frac{x_{\mathrm{NOmeas}}}{1 - x_{\mathrm{H2ONOmeas}}} \qquad \text{(A.7-24)}$$

$$x_{\mathrm{NO2dry}} = \frac{x_{\mathrm{NO2meas}}}{1 - x_{\mathrm{H2ONO2meas}}} \qquad \text{(A.7-25)}$$

$$x_{\mathrm{THCdry}} = \frac{x_{\mathrm{THCmeas}}}{1 - x_{\mathrm{H2OTHCmeas}}} \qquad \text{(A.7-26)}$$

À la fin du bilan chimique, le débit molaire $\dot{n}_{\mathrm{exh}}$ est calculé comme indiqué dans les paragraphes A.7.3.2 et A.7.4.2.

A.7.2.4 Correction des NO_x pour l'humidité

Toutes les concentrations de NO_x, y compris les concentrations ambiantes d'air de dilution, doivent être corrigées de l'humidité de l'air d'admission au moyen de l'équation suivante:

$$x_{\mathrm{NOxcor}} = x_{\mathrm{NOxuncor}} \cdot (9{,}953 \cdot x_{H20} + 0{,}832) \qquad \text{(A.7-27)}$$

Où:

x_{NOxuncor} = concentration molaire de NO_x non corrigée dans le gaz d'échappement [µmol/mol]

x_{H2O} = quantité d'eau dans l'air d'admission [mol/mol].

A.7.3 *Émissions de gaz bruts*

A.7.3.1 Masse des émissions gazeuses

Pour calculer la masse totale par essai d'émissions gazeuses m_{gas} [g/essai], il faut multiplier la concentration molaire par le débit molaire respectif et par la masse molaire des gaz d'échappement; ensuite on fait l'intégration sur le cycle d'essai:

$$m_{\mathrm{gas}} = M_{\mathrm{gas}} \cdot \int \dot{n}_{\mathrm{exh}} \cdot x_{\mathrm{gas}} \cdot \mathrm{d}t \qquad \text{(A.7-28)}$$

Où:

M_{gas} = masse molaire des émissions gazeuses génériques [g/mol]

$\dot{n}_{\mathrm{exh}}$ = débit molaire instantané des gaz d'échappement sur une base humide [mol/s]

x_{gas} = concentration molaire de gaz générique instantanée sur une base humide [mol/mol]

t = temps [s].

Étant donné que l'équation (A.7-28) doit être résolue par intégration numérique, elle est transformée en:

$$m_{\mathrm{gas}} = M_{\mathrm{gas}} \cdot \int \dot{n}_{\mathrm{exh}} \cdot x_{\mathrm{gas}} \cdot \mathrm{d}t \Rightarrow m_{\mathrm{gas}} = \frac{1}{\int} \cdot M_{\mathrm{gas}} \cdot \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{N}} \dot{n}_{\mathrm{exh},i} \cdot x_{\mathrm{gas},i} \qquad \text{(A.7-29)}$$

Où:

M_{gas} = masse molaire des émissions de gaz génériques [g/mol]

$\dot{n}_{exh,i}$ = débit molaire instantané de gaz d'échappement sur une base humide [mol/s]

$x_{gas,i}$ = concentration molaire de gaz générique instantanée sur une base humide [mol/mol]

f = taux d'échantillonnage des données [Hz]

N = nombre de mesures [-].

La formule générale peut être modifiée selon le système de mesure utilisé, le prélèvement par lots ou en continu, et s'il s'agit d'un débit plutôt variable que constant.

a) Après le prélèvement en continu, dans le cas habituel du débit variable, la masse des émissions gazeuses m_{gas} [g/essai] doit être calculée au moyen de la formule suivante:

$$m_{gas} = \frac{1}{f} \cdot M_{gas} \cdot \sum_{i=1}^{N} \dot{n}_{exhi} \cdot x_{gasi} \qquad \text{(A.7-30)}$$

Où:

M_{gas} = masse molaire d'émissions génériques [g/mol]

$\dot{n}_{exh,i}$ = débit molaire instantané de gaz d'échappement sur une base humide [mol/s]

$x_{gas,i}$ = fraction molaire instantanée d'émissions gazeuses sur une base humide [mol/mol]

f = taux d'échantillonnage des données [Hz]

N = nombre de mesures [-];

b) Toujours pour le prélèvement en continu, mais dans le cas particulier du débit constant, on calcule la masse des émissions gazeuses m_{gas} [g/essai] au moyen de la formule suivante:

$$m_{gas} = M_{gas} \cdot \dot{n}_{exh} \cdot x_{gas} \cdot \Delta t \qquad \text{(A.7-31)}$$

Où:

M_{gas} = masse molaire d'émissions génériques [g/mol]

$\dot{n}_{exh}$ = débit molaire moyen de gaz d'échappement sur une base humide [mol/s]

$\overline{x}_{gas}$ = fraction molaire moyenne des émissions gazeuses sur une base humide [mol/mol]

Δt = durée de l'intervalle d'essai;

c) Dans le cas du prélèvement par lots, et indépendamment du fait que le débit soit variable ou constant, on peut simplifier la formule (A.7-30) de la manière suivante:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \bar{x}_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^{\text{N}} \dot{n}_{\text{exh},i} \qquad \text{(A.7-32)}$$

Où:

M_{gas} = masse molaire d'émissions génériques [g/mol]

$n_{\text{exh},i}$ = débit molaire instantané de gaz d'échappement sur une base humide [mol/s]

$\bar{x}_{\text{gas}}$ = fraction molaire moyenne des émissions gazeuses sur une base humide [mol/mol]

f = taux d'échantillonnage des données [Hz]

N = nombre de mesures [-].

A.7.3.2 Conversion de la concentration de sec à humide

Les paramètres du présent paragraphe sont obtenus à partir des résultats du bilan chimique calculé au paragraphe A.7.2. La relation suivante existe entre les concentrations de gaz molaires dans le débit x_{gasdry} mesuré et x_{gaswet} [mol/mol] exprimé respectivement sur une base sèche et sur une base humide:

$$x_{\text{gasdry}} = \frac{x_{\text{gas}}}{1\text{-}x_{\text{H2O}}} \qquad \text{(A.7-33)}$$

$$x_{\text{gas}} = \frac{x_{\text{gasdry}}}{1 + x_{\text{H2Odry}}} \qquad \text{(A.7-34)}$$

Où:

x_{H2O} = fraction molaire de l'eau dans le débit mesuré sur une base humide [mol/mol]

x_{H2Odry} = fraction molaire de l'eau dans le débit mesuré sur une base sèche [mol/mol].

Dans le cas des émissions gazeuses, une correction de l'eau éliminée doit être apportée à la concentration générique x [mol/mol], de la manière suivante:

$$x = x_{[\text{emission}]\text{meas}} \left[\frac{\left(1 - x_{\text{H2Oexh}}\right)}{1 - x_{\text{H2O}[\text{emission}]\text{meas}}} \right] \qquad \text{(A.7-35)}$$

Où:

$x_{[\text{emission}]\text{meas}}$ = fraction molaire des émissions dans le débit mesuré à l'emplacement de mesure [mol/mol]

$x_{\text{H2O}[\text{emission}]\text{meas}}$ = quantité d'eau dans le débit mesuré à la concentration de mesure [mol/mol]

x_{H2Oexh} = quantité d'eau au débitmètre [mol/mol].

A.7.3.3 Débit molaire des gaz d'échappement

On peut mesurer directement le débit des gaz d'échappement bruts ou bien le calculer compte tenu du bilan chimique énoncé au paragraphe A.7.2. Le calcul du débit molaire de gaz d'échappement bruts est obtenu à partir du débit molaire de l'air d'admission ou du débit de carburant. Le débit molaire des gaz d'échappement bruts peut être calculé à partir des échantillons prélevés, $\dot{n}_{exh}$, compte tenu du débit molaire de l'air d'admission mesuré, $\dot{n}_{int}$, ou du débit molaire de la masse de carburant mesuré, $\dot{m}_{fuel}$, ainsi que les valeurs calculées au moyen du bilan chimique du paragraphe A.7.2. On le conserve pour le bilan chimique du paragraphe A.7.2 c) à la même fréquence que $\dot{n}_{int}$ ou $\dot{m}_{fuel}$ de mise à jour et d'enregistrement.

a) Débit de gaz de carter. Le débit de gaz d'échappement bruts doit être calculé sur la base de $\dot{n}_{int}$ ou $\dot{m}_{fuel}$ seulement si l'une des conditions ci-après est vérifiée en ce qui concerne le débit d'émissions de gaz du carter:

i) Le moteur soumis à l'essai dispose de série d'un dispositif antipollution à carter fermé qui achemine les gaz du carter dans l'air d'admission, en aval du débitmètre d'air;

ii) Pendant les essais de contrôle des émissions, les débits de gaz du carter ouvert sont acheminés vers l'échappement conformément au paragraphe 6.10;

iii) Les émissions et le débit du carter à système ouvert sont mesurés et ajoutés aux calculs des émissions spécifiques au frein;

iv) Sur la base des données relatives aux émissions ou d'une analyse technique, on peut démontrer que le fait de négliger le débit des émissions de carter à système ouvert ne nuit pas à la conformité aux normes applicables;

b) Calcul du débit molaire basé sur l'air d'admission

Sur la base de $\dot{n}_{int}$, le débit molaire de gaz d'échappement $\dot{n}_{exh}$ [mol/s] doit être calculé de la manière suivante:

$$\dot{n}_{exh} = \frac{\dot{n}_{int}}{\left[1 + \frac{\left(x_{int/exhdry} - x_{raw/exhdry}\right)}{\left(1 + x_{H2Oexhdry}\right)}\right]} \qquad \text{(A.7-36)}$$

Où:

$\dot{n}_{exh}$ = gaz du débit molaire de gaz d'échappement bruts à partir duquel sont mesurées les émissions [mol/s]

$\dot{n}_{int}$ = débit molaire de l'air d'admission y compris l'humidité dans l'air d'admission [mol/s]

$x_{int/exhdry}$ = quantité d'air d'admission nécessaire pour produire les produits de combustion proprement dits par mole de gaz d'échappement dilués ou bruts [mol/mol]

$x_{raw/exhdry}$ = quantité de gaz d'échappement non dilués, sans excès d'air, par mole de gaz d'échappement secs (bruts ou dilués) [mol/mol]

$x_{H2Oexhdry}$ = quantité d'eau dans les gaz d'échappement, par mole de gaz d'échappement secs [mol/mol];

c) Le débit molaire basé sur le débit massique sur la base $\dot{m}_{fuel}$, $\dot{n}_{exh}$ [mol/s] doit être calculé de la manière suivante:

$$\dot{n}_{exh} = \frac{\dot{m}_{fuel} \cdot w_C \cdot \left(1 + x_{H2Oexhdry}\right)}{M_C \cdot x_{Ccombdry}} \qquad \text{(A.7-37)}$$

Où:

$\dot{n}_{exh}$ = débit molaire de gaz d'échappement bruts à partir duquel sont mesurées les émissions gazeuses

$\dot{m}_{fuel}$ = débit de carburant y compris l'humidité dans l'air d'admission [g/s]

w_C = fraction massique du carbone pour le carburant donné [g/g]

$x_{H2Oexhdry}$ = quantité de H_2O par mole sèche de débit mesuré [mol/mol]

M_C = masse moléculaire du carbone 12,0107 g/mol

$x_{Ccombdry}$ = quantité de carbone provenant du carburant dans les gaz d'échappement, par mole de gaz d'échappement secs [mol/mol].

A.7.4 *Émissions de gaz diluées*

A.7.4.1 Calcul de la masse des émissions de gaz et correction pour émissions ambiantes

Les équations pour le calcul de la masse d'émissions de gaz m_{gas} [g/essai] en fonction des débits d'émissions molaires sont les suivantes:

a) Prélèvement en continu, débit variable

$$m_{gas} = \frac{1}{f} \cdot M_{gas} \cdot \sum_{i=1}^{N} \dot{n}_{exhi} \cdot x_{gasi} \qquad \text{(voir A.7-29)}$$

Prélèvement en continu, débit constant

$$m_{gas} = M_{gas} \cdot \dot{n}_{exh} \cdot \overline{x}_{gas} \cdot t_{cycle} \qquad \text{(voir A.7-31)}$$

b) Dans le cas du prélèvement par lots, que le débit soit variable ou constant, on utilise la formule suivante:

$$m_{gas} = \frac{1}{f} \cdot M_{gas} \cdot \overline{x}_{gas} \cdot \sum_{i=1}^{N} \dot{n}_{exhi} \qquad \text{(voir A.7-32)}$$

c) Dans le cas de gaz d'échappement dilués, les valeurs calculées pour la masse des polluants doivent être corrigées par soustraction de la masse des émissions ambiantes pour tenir compte de l'air de dilution:

i) En premier lieu, on détermine le débit molaire de l'air de dilution $\dot{n}_{\text{airdil}}$ [mol/s] sur l'ensemble de l'intervalle d'essai. Il peut s'agir d'une quantité mesurée ou d'une quantité calculée depuis la fraction moyenne pondérée par le débit de l'air de dilution dans les gaz d'échappement dilués, $\overline{x}_{\text{dil/exh}}$;

ii) Le débit total d'air de dilution n_{airdil} [mol] doit être multiplié par la concentration moyenne d'émissions ambiantes. Il peut s'agir d'une moyenne pondérée par le temps ou d'une moyenne pondérée par le débit (c'est-à-dire un échantillon proportionnel des émissions ambiantes). Le produit de n_{airdil} et de la concentration moyenne d'émissions ambiantes est la quantité totale d'émissions ambiantes;

iii) Si le résultat est une quantité molaire, il doit être converti en masse d'émissions ambiantes m_{bkgnd} [g] en le multipliant par la masse molaire d'émissions, M_{gas} [g/mol];

iv) La masse totale d'émissions ambiantes doit être soustraite de la masse totale pour corriger les émissions ambiantes;

v) On peut déterminer le débit total d'air de dilution par une mesure directe du débit. Dans ce cas, la masse totale d'émissions ambiantes est calculée au moyen du débit d'air de dilution, n_{airdil}. La masse d'émissions ambiantes doit être soustraite de la masse totale. Le résultat est utilisé dans les calculs des émissions spécifiques au frein;

vi) Le débit total d'air de dilution peut être déterminé à partir du débit total de gaz d'échappement dilués et un bilan chimique de carburant, d'air d'admission et de gaz d'échappement, comme indiqué dans le paragraphe A.7.2. Dans ce cas, on calcule la masse totale d'émissions ambiantes, en utilisant le débit total de gaz d'échappement dilués, n_{dexh}. Ensuite, ce résultat doit être multiplié par la fraction moyenne pondérée d'air de dilution dans les gaz d'échappement dilués, $\overline{x}_{\text{dil/exh}}$.

Étant donné les deux cas v) et vi), on utilise les formules suivantes:

$$m_{\text{bkgnd}} = M_{\text{gas}} \cdot x_{\text{gasdil}} \cdot n_{\text{airdil}} \quad \text{ou} \quad m_{\text{bkgnd}} = M_{\text{gas}} \cdot \overline{x}_{\text{dil/exh}} \cdot \overline{x}_{\text{bkgnd}} \cdot n_{\text{dexh}} \qquad \text{(A.7-38)}$$

$$m_{\text{gascor}} = m_{\text{gas}} - m_{\text{bkgnd}} \qquad \text{(A.7-39)}$$

Où:

m_{gas} = masse totale des émissions gazeuses [g]

m_{bkgnd} = masse totale des émissions ambiantes [g]

m_{gascor} = masse de gaz corrigée en fonction des émissions ambiantes [g]

M_{gas} = masse moléculaire des émissions gazeuses génériques [g/mol]

x_{gasdil} = concentration des émissions gazeuses dans l'air de dilution [mol/mol]

n_{airdil} = débit molaire de l'air de dilution [mol]

$\overline{x}_{\text{dil/exh}}$ = fraction moyenne pondérée en fonction du débit de l'air de dilution dans les gaz d'échappement dilués [mol/mol]

$\overline{x}_{bkgnd}$ = fraction gazeuse des émissions ambiantes [mol/mol]

n_{dexh} = débit total de gaz d'échappement dilués [mol].

A.7.4.2 Conversion de la concentration de sec à humide

On utilisera celle des gaz bruts (par. A.7.3.2) pour la conversion sec à humide des échantillons dilués. Pour l'air de dilution, on effectue une mesure de l'humidité dans le but de calculer sa fraction de vapeur d'eau $x_{H2Odildry}$ [mol/mol]:

$$x_{H2Odildry} = \frac{x_{H2Odil}}{1 - x_{H2Odil}} \qquad \text{(voir A.7-21)}$$

Où:

x_{H2Odil} = fraction molaire d'eau dans le débit d'air de dilution [mol/mol].

A.7.4.3 Débit molaire des gaz d'échappement

a) Calcul au moyen du bilan chimique

Le débit molaire $\dot{n}_{exh}$ [mol/s] peut être calculé sur la base du débit massique de carburant $\dot{m}_{fuel}$:

$$\dot{n}_{exh} = \frac{\dot{m}_{fuel} \cdot w_C \cdot \left(1 + x_{H2Oexhdry}\right)}{M_C \cdot x_{Ccombdry}} \qquad \text{(voir A.7-37)}$$

Où:

$\dot{n}_{exh}$ = débit molaire des gaz d'échappement bruts à partir duquel sont mesurées les émissions gazeuses

$\dot{m}_{fuel}$ = débit de carburant, y compris l'humidité de l'air d'admission [g/s]

w_C = fraction de masse de carbone pour le carburant en question [g/g]

$x_{H2Oexhdry}$ = quantité de H_2O par mole à sec du débit mesuré [mol/mol]

M_C = masse moléculaire de la masse de carbone 12,0107 g/mol

$x_{Ccombdry}$ = quantité de carbone du carburant présent dans les gaz d'échappement par mole de gaz d'échappement secs [mol/mol];

b) Mesure

Le débit molaire des gaz d'échappement peut être mesuré de trois manières:

i) Méthode PDP. Sur la base de la vitesse de rotation à laquelle la pompe volumétrique fonctionne pour un intervalle d'essai, la pente correspondante a_1, et l'ordonnée à l'origine, a_0 [-], telles que calculées avec la procédure d'étalonnage de l'appendice 1 à la présente annexe, permettent de calculer le débit molaire $\dot{n}$ [mol/s] de la manière suivante:

$$\dot{n} = f_{\mathrm{n,PDP}} \cdot \frac{p_{\mathrm{in}} \cdot V_{\mathrm{rev}}}{R \cdot T_{\mathrm{in}}} \qquad \text{(A.7-40)}$$

Où:

$$V_{\mathrm{rev}} = \frac{a_1}{f_{\mathrm{n,PDP}}} \cdot \sqrt{\frac{p_{\mathrm{out}} - p_{\mathrm{in}}}{p_{\mathrm{in}}}} + a_0 \qquad \text{(A.7-41)}$$

Où:

a_1 = coefficient d'étalonnage [m^3/s]

a_0 = coefficient d'étalonnage [m^3/tr]

p_{in}, p_{out} = pression d'entrée et de sortie [Pa]

R = constante de gaz molaire [J/(mol K)]

T_{in} = température à l'entrée [K]

V_{rev} = volume pompé par la PDP [m^3/tr]

$f_{\mathrm{n,PDP}}$ = vitesse de la pompe PDP [min^{-1}];

ii) Méthode du SSV. Sur la base de C_{d} par rapport à $R_e^{\#}$ déterminé conformément à l'appendice 1 de la présente annexe, le débit molaire du venturi subsonique (SSV) pendant un essai d'émissions $\dot{n}$ [mol/s] doit être calculé de la manière suivante:

$$\dot{n} = C_{\mathrm{d}} \cdot C_{\mathrm{f}} \cdot \frac{A_{\mathrm{t}} \cdot p_{\mathrm{in}}}{\sqrt{Z \cdot M_{\mathrm{mix}} \cdot R \cdot T_{\mathrm{in}}}} \qquad \text{(A.7-42)}$$

Où:

p_{in} = pression à l'entrée [Pa]

A_{t} = section transversale du col du venturi [m^2]

R = constante de gaz molaire [J/(mol K)]

T_{in} = température à l'entrée [K]

Z = facteur de compressibilité

M_{mix} = masse molaire des gaz d'échappement dilués [kg/mol]

C_{d} = coefficient de décharge du venturi SSV [-]

C_{f} = coefficient de débit du SSV [-];

iii) Méthode du venturi CFV. Pour calculer le débit molaire traversant un venturi ou une combinaison de venturis, on utilise leur moyenne respective C_{d} et d'autres constantes déterminées conformément à l'appendice 1 de la présente annexe. Le calcul de ce débit molaire $\dot{n}$ [mol/s] pendant un essai d'émissions se présente de la manière suivante:

$$\dot{n} = C_{\mathrm{d}} \cdot C_{\mathrm{f}} \cdot \frac{A_{\mathrm{t}} \cdot p_{\mathrm{in}}}{\sqrt{Z \cdot M_{\mathrm{mix}} \cdot R \cdot T_{\mathrm{in}}}} \qquad \text{(A.7-43)}$$

Où:

p_{in} = pression à l'entrée [Pa]

A_t = section transversale du col du venturi [m^2]

R = constante de gaz molaire [J/(mol K)]

T_{in} = température à l'entrée [K]

Z = facteur de compressibilité

M_{mix} = masse molaire des gaz d'échappement dilués [kg/mol]

C_d = coefficient de décharge du venturi CFV [-]

C_f = coefficient de débit du CFV [-].

A.7.4.4 Détermination de la quantité de particules

A.7.4.4.1 Prélèvement

a) Prélèvement à partir d'un débit variable

Si l'on effectue un prélèvement par lots à partir d'un débit de gaz d'échappement variable, l'échantillon prélevé doit être proportionnel au débit variable. Le débit doit être intégré sur un intervalle d'essai pour déterminer le débit total. La concentration en MP moyenne, $\overline{M}_{PM}$ (qui est déjà exprimée en unités de masse par mole d'échantillon) doit être multipliée par le débit total pour obtenir la masse totale de MP m_{PM} [g]:

$$m_{PM} = \overline{M}_{PM} \cdot \sum_{i=1}^{N} \left(\dot{n}_i \cdot \Delta t_i \right) \qquad \text{(A.7-44)}$$

Où:

$\dot{n}_i$ = débit molaire instantané de gaz d'échappement [mol/s]

$\overline{M}_{PM}$ = concentration moyenne de MP [g/mol]

Δt_i = intervalle de prélèvement [s];

b) Prélèvement à partir d'un débit constant

Si l'on prélève un échantillon dans un débit de gaz d'échappement constant, on déterminera le débit molaire moyen duquel est prélevé l'échantillon. La concentration moyenne de particules doit être multipliée par le débit total pour obtenir la masse totale de MP m_{PM} [g]:

$$m_{PM} = \overline{M}_{PM} \cdot \dot{n} \cdot \Delta t \qquad \text{(A.7-45)}$$

Où:

$\dot{n}$ = débit molaire de gaz d'échappement [mol/s]

$\overline{M}_{PM}$ = concentration moyenne des MP [g/mol]

Δt = durée de l'intervalle de prélèvement [s].

Pour le prélèvement avec un taux de dilution constant (DR), on calcule m_{PM} [g] au moyen de la formule suivante:

$$m_{\mathrm{PM}} = m_{\mathrm{PMdil}} \cdot DR \tag{A.7-46}$$

Où:

m_{PMdil} = masse de MP dans l'air de dilution [g]

DR = taux de dilution [-] défini comme étant le rapport entre la masse des émissions m et la masse de gaz d'échappement dilués $m_{\mathrm{dil/exh}}$ ($DR = m/m_{\mathrm{dil/exh}}$). Le taux de dilution DR peut être exprimé comme une fonction de $x_{\mathrm{dil/exh}}$:

$$DR = \frac{1}{1 - x_{\mathrm{dil/exh}}} \tag{A.7-47}$$

A.7.4.4.2 Correction d'émissions ambiantes

On utilise la même approche que celle du paragraphe A.7.4.1 pour corriger la masse de MP en fonction des émissions ambiantes. En multipliant $\overline{M}_{\mathrm{PMbkgnd}}$ par le débit total d'air de dilution, on obtient la masse totale d'émissions ambiantes de MP (m_{PMbkgnd} [g]). Par soustraction de la masse d'émissions ambiantes totale de la masse totale de gaz, on obtient la masse corrigée de matières particulaires m_{PMcor} [g]:

$$m_{\mathrm{PMcor}} = m_{\mathrm{PMuncor}} - \overline{M}_{\mathrm{PMbkgnd}} \cdot n_{\mathrm{airdil}} \tag{A.7-48}$$

Où:

m_{PMuncor} = masse des MP non corrigée [g]

$\overline{M}_{\mathrm{PMbkgnd}}$ = concentration moyenne de MP dans l'air de dilution [g/mol]

n_{airdil} = débit molaire de l'air de dilution [mol].

A.7.5 *Travail au cours du cycle d'essai et émissions spécifiques*

A.7.5.1 Émissions de gaz

A.7.5.1.1 Cycle transitoire et cycle à modes raccordés

On se référera aux paragraphes A.7.3.1 et A.7.4.1 pour les gaz d'échappement bruts et dilués respectivement. Les valeurs qui en résultent pour la puissance P_i [kW] doivent être intégrées sur un intervalle d'essai. Le travail total W_{act} [kWh] est calculé de la manière suivante:

$$W_{\mathrm{act}} = \sum_{i=1}^{N} P_i \cdot \Delta t_i = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{3\,600} \cdot \frac{1}{10^3} \frac{2 \cdot \pi}{60} \sum_{i=1}^{N} (n_i \cdot T_i) \tag{A.7-49}$$

Où:

P_i = puissance instantanée du moteur [kW]

n_i = régime instantané du moteur [rpm]

T_i = couple instantané du moteur [N·m]

W_{act} = travail effectif au cours du cycle d'essai [kWh]

f = taux d'échantillonnage des données [Hz]

N = nombre de mesures [-].

Les émissions spécifiques e_{gas} [g/kWh] doivent être calculées selon les indications ci-après et en fonction du type de cycle d'essai:

$$e_{gas} = \frac{m_{gas}}{W_{act}} \qquad \text{(A.7-50)}$$

Où:

m_{gas} = masse totale des émissions [g/essai]

W_{act} = travail effectif au cours du cycle d'essai [kWh].

Dans le cas d'un cycle transitoire, le résultat final de l'essai doit être une moyenne pondérée de l'essai de démarrage à froid et de l'essai de démarrage à chaud, en utilisant le e_{gas} [g/kWh] de la manière suivante:

$$e_{gas} = \frac{(0{,}1 \cdot m_{cold}) + (0{,}9 \cdot m_{hot})}{(0{,}1 \cdot W_{actcold}) + (0{,}9 \cdot W_{acthot})} \qquad \text{(A.7-51)}$$

En cas de régénération périodique des gaz d'échappement (par. 6.6.2), les émissions spécifiques doivent être corrigées avec le facteur d'ajustement multiplicateur k_r (équation (6-4)) ou avec les deux paires distinctes des facteurs d'ajustement additifs k_{Ur} (facteur ascendant de l'équation (6-5)) et k_{Dr} (facteur descendant de l'équation (6-6)).

A.7.5.1.2 Cycle en conditions stationnaires à modes discrets

Les émissions spécifiques e_{gas} [g/kWh] sont calculées de la manière suivante:

$$e_{gas} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{mode}} \left(\dot{m}_{gas\,i} \cdot WF_i \right)}{\sum_{i=1}^{N_{mode}} \left(P_i \cdot WF_i \right)} \qquad \text{(A.7-52)}$$

Où:

$\dot{m}_{gas,i}$ = débit massique moyen d'émissions pour le mode i [g/h]

P_i = puissance du moteur pour le mode i [kW] avec $P_i = P_{max\,i} + P_{aux\,i}$ (voir par. 7.7.1.2 et 6.3)

WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-].

A.7.5.2 Émissions de particules

A.7.5.2.1 Cycle transitoire et cycle à modes raccordés

Les émissions spécifiques de particules doivent être calculées avec la formule (A.7-50), où e_{gas} [g/kWh] et m_{gas} [g/essai] sont remplacés respectivement par e_{PM} [g/kWh] et m_{PM} [g/essai]:

$$e_{PM} = \frac{m_{PM}}{W_{act}} \qquad \text{(A.7-53)}$$

Où:

m_{PM} = masse totale des émissions de particules calculée suivant le paragraphe A.8.3.4 [g/essai]

W_{act} = travail effectif au cours du cycle d'essai [kWh].

Les émissions sur le cycle transitoire composite (c'est-à-dire phase froide et phase chaude) doivent être calculées comme indiqué au paragraphe A.7.5.1.

A.7.5.2.2 Cycle en conditions stationnaires à modes discrets

Les émissions spécifiques de particules e_{PM} [g/kWh] doivent être calculées de la manière suivante:

A.7.5.2.2.1 Pour la méthode à filtre unique

$$e_{PM} = \frac{\dot{m}_{PM}}{\sum_{i=1}^{N}\left(P_i \cdot WF_i\right)} \qquad \text{(A.7-54)}$$

Où:

P_i = puissance du moteur pour le mode i [kW] avec $P_i = P_{max\,i} + P_{aux\,i}$ (voir par. 7.7.1.2 et 6.3)

WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-]

$\dot{m}_{PM}$ = débit massique de particules [g/h].

A.7.5.2.2.2 Pour la méthode à filtres multiples

$$e_{PM} = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(\dot{m}_{PM\,i} \cdot WF_i\right)}{\sum_{i=1}^{N}\left(P_i \cdot WF_i\right)} \qquad \text{(A.7-55)}$$

Où:

P_i = puissance du moteur pour le mode i [kW] avec $P_i = P_{max\,i} + P_{aux\,i}$ (voir par. 7.7.1.2 et 6.3)

WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-]

$\dot{m}_{PM\,i}$ = débit massique de particules en mode i [g/h].

Pour la méthode à filtre unique, le facteur de pondération effective, WF_{effi}, doit être calculé pour chaque mode de la manière suivante:

$$WF_{effi} = \frac{m_{smpldexhi} \cdot \overline{\dot{m}_{eqdexhwet}}}{m_{smpldex} \cdot \dot{m}_{eqdexhwet\,i}} \qquad \text{(A.7-56)}$$

Où:

$m_{smpldexhi}$ = masse de l'échantillon de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte de particules en mode i [kg]

$m_{smpldexh}$ = masse de l'échantillon de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte de particules [kg]

$\dot{m}_{\mathrm{eqdexhwet}i}$ = débit massique équivalent de gaz d'échappement dilués en mode *i* [kg/s]

$\overline{\dot{m}_{\mathrm{eqdexhwet}}}$ = débit massique moyen équivalent de gaz d'échappement dilués [kg/s].

La valeur des facteurs de pondération effectifs doit être conforme à ±0,005 près (valeur absolue) aux facteurs de pondération indiqués dans l'annexe A.1.

Annexe A.7 − Appendice 1

Étalonnage du débit des gaz d'échappement dilués

A.7.6 La présente section traite des calculs d'étalonnage des divers débitmètres. Le paragraphe a) de la section traite de la manière de convertir les lectures du débitmètre de référence en vue de leur utilisation dans les formules d'étalonnage, qui sont présentées sur une base molaire. Les paragraphes restants traitent des calculs d'étalonnage qui sont spécifiques à certains types de débitmètres.

A.7.6.1 Conversions du mètre de référence

Les équations d'étalonnage contenues dans la présente section utilisent le débit molaire, $\dot{n}_{\mathrm{ref}}$, comme quantité de référence. Si elles utilisaient une quantité différente, telle qu'un débit standard, $\dot{V}_{\mathrm{stdref}}$, le débit réel, $\dot{V}_{\mathrm{actdref}}$, ou du débit massique, $\dot{m}_{\mathrm{ref}}$, la valeur annoncée par le mètre de référence doit être convertie en débit molaire au moyen de l'une des équations ci-après, en tenant compte du fait que si les valeurs du débit volume, du débit massique, de la pression, de la température et de la masse molaire peuvent changer au cours d'un essai d'émissions, il convient néanmoins de les maintenir aussi constantes que cela est pratiquement possible pour chaque point de réglage individuel au cours de l'étalonnage du débitmètre:

$$\dot{n}_{\mathrm{ref}} = \frac{\dot{V}_{\mathrm{stdref}} \cdot p_{\mathrm{std}}}{T_{\mathrm{std}} \cdot R} = \frac{\dot{V}_{\mathrm{actref}} \cdot p_{\mathrm{act}}}{T_{\mathrm{act}} \cdot R} = \frac{\dot{m}_{\mathrm{ref}}}{M_{\mathrm{mix}}} \qquad \text{(A.7-57)}$$

Où:

$\dot{n}_{\mathrm{ref}}$ = débit molaire de référence [mol/s]

$\dot{V}_{\mathrm{stdref}}$ = débit du volume de référence, corrigé pour une pression et une température [m^3/s] normalisées

$\dot{V}_{\mathrm{actref}}$ = débit du volume de référence à la pression et à la température réelles [m^3/s]

$\dot{m}_{\mathrm{ref}}$ = débit massique de référence [g/s]

p_{std} = pression normale [Pa]

p_{act} = pression réelle du gaz [Pa]

T_{std} = température normale [K]

T_{act} = température réelle du gaz [K]

R = constante molaire du gaz $\left[\mathrm{J/(mol \cdot K)}\right]$

M_{mix} = masse molaire du gaz [g/mol].

A.7.6.2 Calculs d'étalonnage du système PDP. Pour chaque position du restricteur variable, on calculera une valeur suivante à partir des valeurs moyennes déterminées au paragraphe 8.1.8.4, et cela de la manière suivante:

a) Volume de PDP pompé par tour, V_{rev} (m^3/tr):

$$V_{rev} = \frac{\overline{\dot{n}}_{ref} \cdot R \cdot \overline{T}_{in}}{\overline{p}_{in} \cdot \overline{f}_{nPDP}} \qquad \text{(A.7-58)}$$

Où:

$\overline{\dot{n}}_{ref}$ = valeur moyenne du débit molaire de référence [mol/s]

R = *constante* molaire du gaz $[\mathrm{J/(mol \cdot K)}]$

$\overline{T}_{in}$ = température moyenne d'entrée [K]

$\overline{p}_{in}$ = pression *moyenne* d'entrée [Pa]

$\overline{f}_{nPDP}$ = vitesse de rotation moyenne [tr/s];

b) Facteur de correction du glissement de la PDP, K_s [s/tr]:

$$K_s = \frac{1}{\overline{f}_{nPDP}} \cdot \sqrt{\frac{\overline{p}_{out} - \overline{p}_{in}}{\overline{p}_{out}}} \qquad \text{(A.7-59)}$$

Où:

$\overline{\dot{n}}_{ref}$ = débit molaire de référence moyen [mol/s]

$\overline{T}_{in}$ = température moyenne d'entrée [K]

$\overline{p}_{in}$ = pression moyenne d'entrée [Pa]

$\overline{p}_{out}$ = pression moyenne de sortie [Pa]

$\overline{f}_{nPDP}$ = vitesse de rotation moyenne PDP [$\mathrm{min^{-1}}$]

R = constante molaire du gaz $[\mathrm{J/(mol \cdot K)}]$;

c) On effectue une régression des moindres carrés du volume PDP pompé par tour, V_{rev}, par rapport au facteur de correction de glissement PDP, K_s, en calculant la pente, a_1, et l'ordonnée à l'origine, a_0, comme indiqué à l'annexe A.2;

d) La procédure des paragraphes b) 1) à 3) de la présente section doit être répétée pour chaque régime auquel la pompe PDP est utilisée;

e) Le tableau suivant illustre ces calculs pour différentes valeurs de $\overline{f}_{nPDP}$:

$\overline{f}_{n\mathrm{PDP}}$ [tr/min]	$\overline{f}_{n\mathrm{PDP}}$ [tr/s]	a_1 [m³/min]	a_1 [m³/s]	a_0 [m³/tr]
755,0	12,58	50,43	0,8405	0,056
987,6	16,46	49,86	0,831	-0,013
1 254,5	20,9	48,54	0,809	0,028
1 401,3	23,355	47,30	0,7883	-0,061

Tableau A.7.2
Exemple de données d'étalonnage PDP

f) Pour chaque régime auquel la pompe PDP est utilisée, la pente correspondante a_1, et l'ordonnée à l'origine a_0, doivent être utilisées pour le calcul du débit au cours de l'essai d'émissions, comme indiqué au paragraphe A.7.4.3 b).

A.7.6.3 Équations régissant le fonctionnement du venturi et hypothèses acceptables

La présente section contient la description des formules et les hypothèses acceptables régissant l'étalonnage du venturi et le calcul du débit au moyen de cet instrument. Étant donné qu'un venturi subsonique (SSV) et un venturi à débit critique (CFV) fonctionnent d'une manière analogue, les équations qui les régissent sont pratiquement les mêmes, sauf pour l'équation qui décrit leur rapport de pression, r (c'est-à-dire r_{SSV} contre r_{CFV}). Ces équations partent de l'hypothèse d'un débit compressible exempt de viscosité isentropique d'un gaz idéal. Au paragraphe c) 4) de la présente section sont décrites d'autres hypothèses pouvant être faites. Si l'hypothèse d'un gaz idéal pour le débit mesuré n'est pas admissible, les équations fondamentales comportent une correction du premier ordre pour le comportement d'un gaz réel; à savoir, le facteur de compressibilité, Z. Si le bon sens technique suggère l'emploi d'une valeur autre que $Z = 1$, on peut utiliser une équation d'état appropriée pour déterminer des valeurs de Z en fonction des pressions et des températures mesurées, ou on peut mettre au point des formules d'étalonnage spécifiques en suivant les règles du bon sens technique. Il convient de noter que l'équation pour le coefficient de débit, C_{f}, est basée sur l'hypothèse d'un gaz idéal selon laquelle l'exposant isentropique, γ, est égal au rapport des chaleurs spécifiques, c_p/c_V. Si le bon sens technique impose d'utiliser un exposant isentropique de gaz réel, on peut appliquer une équation d'état appropriée pour déterminer les valeurs de γ en fonction des pressions et températures mesurées, ou on peut mettre au point des équations d'étalonnage spécifiques. Le débit molaire, $\dot{n}$ [mol/s], doit être calculé de la manière suivante:

$$\dot{n} = C_{\mathrm{d}} \cdot C_{\mathrm{f}} \cdot \frac{A_{\mathrm{t}} \cdot p_{\mathrm{in}}}{\sqrt{Z \cdot M_{\mathrm{mix}} \cdot R \cdot T_{\mathrm{in}}}} \qquad \text{(A.7-60)}$$

Où:

C_{d} = coefficient de décharge, tel que déterminé au paragraphe c) 1) de la présente section [-]

C_{f} = coefficient de débit, tel que déterminé au paragraphe c) 2) de la présente section [-]

A_{t} = section transversale du col du venturi [m²]

p_{in} = pression statique absolue à l'entrée du venturi [Pa]

Z = facteur de compressibilité [-]

M_{mix} = masse molaire du mélange gazeux [kg/mol]

R = constante molaire du gaz $[J/(mol \cdot K)]$

T_{in} = température absolue à l'entrée du venturi [K].

a) À l'aide des données rassemblées au paragraphe 8.1.8.4, on calcule C_d au moyen de la formule suivante:

$$C_d = \dot{n}_{ref} \cdot \frac{\sqrt{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}}}{C_f \cdot A_t \cdot p_{in}} \qquad \text{(A.7-61)}$$

Où:

$\dot{n}_{ref}$ = débit molaire de référence [mol/s];

Les autres symboles sont les mêmes que ceux de la formule (A.7-60);

b) On déterminera C_f par l'une des méthodes suivantes:

i) Pour les débitmètres CFV seulement, C_{fCFV} est tiré du tableau suivant sur la base des valeurs de β (rapport des diamètres du col et de l'entrée du venturi) et γ (rapport des chaleurs spécifiques du mélange gazeux), au moyen d'une interpolation linéaire pour déterminer les valeurs intermédiaires:

	C_{fCFV}	
β	γ_{exh} = 1,385	γ_{dexh} =γ_{air} = 1,399
0,000	0,6822	0,6846
0,400	0,6857	0,6881
0,500	0,6910	0,6934
0,550	0,6953	0,6977
0,600	0,7011	0,7036
0,625	0,7047	0,7072
0,650	0,7089	0,7114
0,675	0,7137	0,7163
0,700	0,7193	0,7219
0,720	0,7245	0,7271
0,740	0,7303	0,7329
0,760	0,7368	0,7395
0,770	0,7404	0,7431
0,780	0,7442	0,7470
0,790	0,7483	0,7511
0,800	0,7527	0,7555
0,810	0,7573	0,7602
0,820	0,7624	0,7652
0,830	0,7677	0,7707
0,840	0,7735	0,7765
0,850	0,7798	0,7828

Tableau A.7.3

C_{fCFV} en fonction de β et de γ pour les débitmètres CFV

ii) Pour tout débitmètre CFV ou SSV, on peut utiliser la formule suivante pour calculer C_f:

$$C_f = \left[\frac{2 \cdot \gamma \cdot \left(r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \cdot}{(\gamma - 1) \cdot \left(\beta^4 - r^{\frac{-2}{\gamma}} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \qquad \text{(A.7-62)}$$

Où:

γ= exposant isentropique [-]. Pour un gaz idéal, il s'agit du rapport des chaleurs spécifiques du mélange gazeux, c_p/c_V

r = rapport de pression, comme déterminé au paragraphe c) 3) de la présente section

β = rapport entre les diamètres du col du venturi et de l'entrée;

c) Le rapport de pression r doit être calculé de la manière suivante:

i) Pour les systèmes SSV seulement, r_{SSV} est calculé au moyen de la formule suivante:

$$r_{SSV} = 1 - \frac{\Delta p_{SSV}}{p_{in}} \qquad \text{(A.7-63)}$$

Où:

Δp_{SSV} = pression statique différentielle entre l'entrée et le col du venturi [Pa];

ii) Pour les systèmes CFV seulement, r_{CFV} doit être calculé itérativement au moyen de la formule suivante:

$$r_{CFV}^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} + \left(\frac{\gamma - 1}{2} \right) \cdot \beta^4 \cdot r_{CFV}^{\frac{2}{\gamma}} = \frac{\gamma + 1}{2} \qquad \text{(A.7-64)}$$

d) On peut appliquer l'une quelconque des hypothèses de simplification suivantes des formules, ou suivre les règles du bon sens technique et mettre au point des valeurs plus appropriées pour les essais:

i) Pour les essais d'émissions sur la plage complète des gaz d'échappement bruts, des gaz d'échappement dilués et de l'air de dilution, on peut supposer que le mélange gazeux se comporte comme un gaz idéal: $Z = 1$;

ii) Pour l'ensemble de la plage des gaz d'échappement bruts, on peut supposer un rapport constant des chaleurs spécifiques de $\gamma = 1{,}385$;

iii) Pour la plage complète des gaz d'échappement dilués et d'air (air d'étalonnage ou air de dilution), on peut partir de l'hypothèse d'un rapport constant des chaleurs spécifiques de $\gamma = 1{,}399$;

iv) Pour la plage complète des gaz d'échappement et de l'air dilué, la masse molaire du mélange, M_{mix} [g/mol] peut être considérée comme une fonction seulement de la quantité d'eau dans l'air de dilution ou d'étalonnage, x_{H2O}, établie comme indiqué au paragraphe A.7.1.2, de la manière suivante:

$$M_{\text{mix}} = M_{\text{air}} \cdot (1 - x_{\text{H2O}}) + M_{\text{H2O}} \cdot (x_{\text{H2O}}) \quad \text{(A.7-65)}$$

Où:

M_{air} = 28,96559 g/mol

M_{H2O} = 18,01528 g/mol

x_{H2O} = quantité d'eau dans l'air de dilution ou d'étalonnage [mol/mol];

v) On peut partir de l'hypothèse, pour la plage complète des gaz d'échappement dilués et d'air, une masse molaire constante de mélange, M_{mix}, pour tous les étalonnages et les essais pour autant que la masse molaire supposée ne s'écarte pas de ±1 % de la masse molaire minimum et maximum estimée pendant l'étalonnage et les essais. On peut partir de cette hypothèse si l'on est certain de maîtriser suffisamment la quantité d'eau dans l'air d'étalonnage et dans l'air de dilution, ou si une quantité suffisante d'eau est éliminée de l'air d'étalonnage et de l'air de dilution. Le tableau suivant donne des exemples de plages possibles de point de rosée de l'air de dilution par rapport au point de rosée de l'air d'étalonnage:

Si étalonnage T_{dew} (°C) est ...	On part de l'hypothèse M_{mix} (g/mol) suivante	Pour les plages suivantes de T_{dew} (°C) pendant les essais d'émissions[a]
Sec	28,96559	sec à 18
0	28,89263	sec à 21
5	28,86148	sec à 22
10	28,81911	sec à 24
15	28,76224	sec à 26
20	28,68685	-8 à 28
25	28,58806	12 à 31
30	28,46005	23 à 34

[a] Gain valable pour tous les essais d'étalonnage et d'émissions sur la plage de pression atmosphérique (80,000 à 103,325) kPa.

Tableau A.7.4
Exemples de points de rosée de l'air de dilution et de l'air d'étalonnage pour lesquels on peut partir de l'hypothèse de M_{mix} constant

A.7.6.4 Étalonnage d'un débitmètre SSV

a) Méthode molaire. Pour étalonner un débitmètre SSV, on procède de la manière suivante:

i) Le nombre de Reynolds, $Re^{\#}$, doit être calculé pour chaque débit molaire de référence en utilisant le diamètre du col du venturi d_{t}. Étant donné que la viscosité dynamique μ est nécessaire pour calculer $Re^{\#}$, on peut utiliser un modèle de viscosité spécifique pour déterminer μ pour le gaz d'étalonnage (généralement de l'air), en faisant preuve de bon sens technique. On peut aussi utiliser le modèle de viscosité à trois coefficients de Sutherland pour déterminer approximativement μ:

$$Re^{\#} = \frac{4 \cdot M_{\text{mix}} \cdot \dot{n}_{\text{ref}}}{\pi \cdot d_{\text{t}} \cdot \mu} \quad \text{(A.7-66)}$$

Où:

d_t = diamètre du col du SSV [m]

M_{mix} = masse molaire du mélange [kg/mol]

$\dot{n}_{ref}$ = débit molaire de référence [mol/s];

et, au moyen du modèle de viscosité à trois coefficients de Sutherland:

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T_{in}}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{T_0 + S}{T_{in} + S} \right) \qquad \text{(A.7-67)}$$

Où:

μ = viscosité dynamique du gaz d'étalonnage [kg /(m·s)]

μ_0 = viscosité de référence de Sutherland [kg /(m·s)]

S = constante de Sutherland [K]

T_0 = température de référence de Sutherland [K]

T_{in}= température absolue à l'entrée du venturi [K]:

	μ_0	T_0	S	*Plage de température avec erreur de ±2 %*	*Limite de pression*
Gaz[a]	*kg /(m·s)*	*K*	*K*	*K*	*kPa*
Air	$1{,}716 \times 10^{-5}$	273	111	170 à 1 900	≤1 800
CO_2	$1{,}370 \times 10^{-5}$	273	222	190 à 1 700	≤3 600
H_2O	$1{,}12 \times 10^{-5}$	350	1,064	360 à 1 500	≤10 000
O_2	$1{,}919 \times 10^{-5}$	273	139	190 à 2 000	≤2 500
N_2	$1{,}663 \times 10^{-5}$	273	107	100 à 1 500	≤1 600

[a] On utilisera uniquement des paramètres du tableau pour les gaz purs, tels qu'énumérés. On ne combinera pas les paramètres de calcul de viscosité des mélanges gazeux.

Tableau A.7.5
Paramètres du modèle de viscosité à trois coefficients de Sutherland

ii) On établit une formule pour C_d en fonction de $Re^{\#}$ en utilisant des valeurs appariées de ($Re^{\#}$, C_d). C_d est calculé au moyen de la formule (A.7-61), avec C_f obtenu par la formule (A.7-62), ou toute expression mathématique, y compris un polynôme ou une série de puissances. L'équation suivante est un exemple de l'expression mathématique couramment utilisée pour établir la relation entre C_d et $Re^{\#}$:

$$C_d = a_0 - a_1 \cdot \sqrt{\frac{10^6}{Re^{\#}}} \qquad \text{(A.7-68)}$$

iii) On effectue une analyse par régression des moindres carrés pour déterminer les coefficients de meilleur ajustage à la formule et on calcule les statistiques de régression de la formule, l'erreur d'estimation standard *SEE* et le coefficient de détermination r^2, conformément à l'annexe A.2;

iv) Si l'équation satisfait aux critères de $SEE < 0.5\% \cdot \dot{n}_{\text{ref max}}$ (ou $\dot{m}_{\text{refmax}}$) et $r^2 \geq 0{,}995$, on peut utiliser la formule pour déterminer C_d pour les essais d'émissions, comme indiqué dans A.7.4.3 b);

v) Si les critères *SEE* et r^2 ne sont pas satisfaits, on peut, en suivant les règles de bon sens technique, omettre des points d'étalonnage pour satisfaire aux statistiques de régression. On doit utiliser au moins sept points de données d'étalonnage pour satisfaire aux critères;

vi) Si le fait d'omettre des points n'élimine pas les valeurs aberrantes, il faut prendre des mesures pour remédier à la situation. Par exemple, on doit utiliser une expression mathématique autre pour l'équation de C_d en fonction de $Re^{\#}$, on doit rechercher la présence de fuites ou on répète le processus d'étalonnage. Si le processus doit être recommencé, on doit appliquer des tolérances plus serrées pour les mesures et laisser un délai plus long pour la stabilisation des débits;

vii) Lorsque l'équation répond aux critères de régression, elle peut être utilisée uniquement pour déterminer les débits qui sont dans la plage des débits de référence à appliquer pour satisfaire aux critères de régression de l'équation de C_d en fonction de $Re^{\#}$.

A.7.6.5 Étalonnage du CFV (venturi-tuyère en régime critique)

a) Méthode molaire. Certains débitmètres CFV sont constitués d'un venturi unique et d'autres de venturis multiples, où les différentes combinaisons de venturis servent à mesurer des débits différents. Dans le cas de certains débitmètres CFV, formés de plusieurs venturis, on peut soit étalonner chaque venturi indépendamment pour déterminer un coefficient de décharge distinct, C_d, pour chaque venturi ou bien on peut étalonner une combinaison de venturis en une seule opération. Lors de l'étalonnage d'une combinaison de venturis, on prend la somme des surfaces actives des cols comme A_t, la racine carrée de la somme des carrés des diamètres actifs des cols des venturis comme d_t, et le rapport des diamètres du col et de l'entrée des venturis en tant que rapport de la racine carrée de la somme des diamètres actifs des cols des venturis (d_t) au diamètre de l'entrée commune de tous les venturis (D). Pour déterminer le C_d d'un venturi unique ou d'une combinaison unique de venturis, on procède de la manière suivante:

i) Avec les données rassemblées à chaque point d'étalonnage, on calcule un C_d individuel pour chaque point au moyen de l'équation (A.7-60);

ii) La moyenne et l'écart type de toutes les valeurs C_d doivent être calculés conformément aux équations (A.2-1) et (A.2-2);

iii) Si l'écart type de toutes les valeurs C_d est inférieur ou égal à 0,3 % de la valeur moyenne C_d, on utilise la moyenne C_d dans l'équation (A.7-43), et on utilise le CFV uniquement jusqu'à la valeur r la plus basse mesurée pendant l'étalonnage;

$$r = 1 - \left(\Delta p / p_{in}\right) \qquad \text{(A.7-69)}$$

iv) Si l'écart type de toutes les valeurs C_d dépasse 0,3 % du C_d moyen, les valeurs C_d correspondantes à ce point de données à la valeur r la plus basse mesurée pendant l'étalonnage doivent être omises;

v) Si le nombre de points de données restant est inférieur à sept, on y remédie en vérifiant les données d'étalonnage ou en répétant le processus d'étalonnage. Si le processus d'étalonnage est répété, il est recommandé de rechercher la présence de fuites, d'appliquer des tolérances plus serrées pour les mesures et de laisser un délai plus long pour la stabilisation des débits;

vi) Si le nombre de valeurs C_d restantes est égal ou supérieur à sept, il faut recalculer la moyenne et l'écart type des valeurs C_d restantes;

vii) Si l'écart type des valeurs C_d restantes est inférieur ou égal à 0,3 % de la moyenne des valeurs C_d, restantes, on doit utiliser cette valeur C_d dans l'équation (A.7-43) et on doit utiliser uniquement les valeurs de CFV jusqu'à la valeur r la plus basse associée au C_d restant;

viii) Si l'écart type des C_d restants est toujours supérieur à 0,3 % de la moyenne des valeurs C_d restantes, il faut répéter les opérations des paragraphes e) 4) à 8) de la présente section.

Annexe A.7 − Appendice 2

Correction de la dérive

A.7.7.1 Étendue et fréquence

Les calculs de la présente section sont effectués pour déterminer si la dérive de l'analyseur de gaz invalide les résultats d'un intervalle d'essai. Si les résultats d'un intervalle d'essai ne sont pas invalidés par la dérive, les réponses de l'analyseur de gaz de l'intervalle d'essai doivent être corrigées pour la dérive, conformément à la présente section. Les résultats des analyseurs de gaz corrigés pour la dérive doivent être utilisés dans tous les calculs d'émissions suivants. Le seuil acceptable pour la dérive d'un analyseur de gaz sur un intervalle d'essai est précisé au paragraphe 8.2.2.2.

A.7.7.2 Principes de correction

Les calculs de la présente section utilisent les réponses d'un analyseur de gaz à des concentrations zéro et des concentrations de calibrage des gaz analytiques, tels qu'ils sont parfois déterminés avant et après un intervalle d'essai. Les calculs corrigent les réponses de l'analyseur de gaz qui ont été enregistrées au cours d'un intervalle d'essai. La correction est fondée sur les principales réponses de l'analyseur et des gaz de référence zéro ainsi que des gaz de calibrage et elle est fondée sur les concentrations de référence de ces gaz. La validation et la correction de la dérive s'effectuent de la manière décrite ci-après.

A.7.7.3 Validation de la dérive

Après avoir appliqué toutes les autres corrections − sauf les corrections de la dérive − à tous les signaux d'analyseur de gaz, on calcule les émissions spécifiques au frein conformément à A.7.5. Ensuite tous les signaux de l'analyseur de gaz doivent être corrigés de la dérive, conformément à cette section. Des émissions spécifiques au frein doivent ensuite être recalculées à l'aide des signaux d'analyseur de gaz corrigés de la dérive. Les résultats des émissions spécifiques au frein doivent être validés et signalés avant et après la correction de la dérive, conformément au paragraphe 8.2.2.2.

A.7.7.4 Correction de la dérive

Tous les signaux d'analyseur de gaz doivent être corrigés de manière suivante:

a) Chaque concentration enregistrée, x_i, doit être corrigée pour le prélèvement continu ou par lots, $\overline{x}$;

b) La correction pour la dérive doit être faite au moyen de la formule suivante:

$$x_{i\mathrm{driftcor}} = x_{\mathrm{refzero}} + \left(x_{\mathrm{refspan}} - x_{\mathrm{refzero}}\right)\frac{2x_i - \left(x_{\mathrm{prezero}} + x_{\mathrm{postzero}}\right)}{\left(x_{\mathrm{prespan}} + x_{\mathrm{postspan}}\right) - \left(x_{\mathrm{prezero}} + x_{\mathrm{postzero}}\right)} \qquad \text{(A.7-70)}$$

Où:

$x_{i\mathrm{driftcor}}$ = concentration corrigée de la dérive [µmol/mol]

$x_{refzero}$ = concentration de référence du gaz de zéro, qui est généralement zéro sauf autre valeur connue [µmol/mol]

$x_{refspan}$ = concentration de référence du gaz de calibrage [µmol/mol]

$x_{prespan}$ = réponse de l'analyseur de gaz de l'intervalle préessai à la concentration de gaz de calibrage [µmol/mol]

$x_{postspan}$ = réponse de l'analyseur de gaz de l'intervalle postessai à la concentration de gaz de calibrage [µmol/mol]

x_i ou $\overline{x}$ = concentration enregistrée, c'est-à-dire mesurée pendant l'essai, avant la correction de la dérive [µmol/mol]

$x_{prezero}$ = réponse de l'analyseur de gaz de l'intervalle préessai à la concentration de gaz zéro [µmol/mol]

$x_{postzero}$ = réponse de l'analyseur de gaz de l'intervalle postessai à la concentration de gaz de zéro [µmol/mol];

c) Pour toute concentration de l'intervalle préessai, il faut utiliser les concentrations déterminées le plus récemment avant l'intervalle d'essai. Pour certains intervalles d'essai, la concentration postzéro ou postcalibrage la plus récente peut avoir été obtenue avant un ou plusieurs intervalles d'essai antérieurs;

d) Pour toute concentration de l'intervalle préessai, il faut utiliser les concentrations déterminées le plus récemment avant l'intervalle d'essai. Pour certains intervalles d'essai, la concentration postzéro ou postcalibrage la plus récente peut avoir été obtenue après un ou plusieurs intervalles d'essai ultérieurs;

e) Si l'on n'a pas enregistré une réponse de l'analyseur lors d'un intervalle quelconque préessai, $x_{prespan}$, est pris comme égal à la concentration de référence du gaz de calibrage: $x_{prespan} = x_{refspan}$;

f) Si l'on n'a pas enregistré une réponse de l'analyseur lors d'un intervalle quelconque préessai, $x_{prezero}$, est pris comme égal à la concentration de référence du gaz de zéro: $x_{prezero} = x_{refzero}$;

g) Généralement la concentration de référence du gaz de zéro, $x_{refzero}$, est zéro: $x_{refzero}$ = 0 µmol/mol. Toutefois, dans certains cas, il est possible que $x_{refzero}$ n'ait pas une concentration nulle. Par exemple, si un analyseur de CO_2 est mis à zéro au moyen d'air ambiant, la concentration par défaut de CO_2 dans l'air ambiant, qui est de 375 µmol/mol, peut être utilisée. Dans ce cas, $x_{refzero}$ = 375 µmol/mol. Lorsqu'un analyseur est mis à zéro au moyen de $x_{refzero}$, l'analyseur doit être calibré de manière à afficher la concentration $x_{refzero}$ réelle. Par exemple, si $x_{refzero}$ = 375 µmol/mol, l'analyseur doit être réglé pour indiquer une valeur de 375 µmol/mol lorsque le gaz de zéro passe dans l'analyseur.

Annexe A.8

Calculs des émissions sur la base de la masse

A.8.0 *Conversion des symboles*

A.8.0.1 Symboles généraux

Annexe 8	*Annexe 7*	*Unité*	*Quantité*
b, D_0	a_0	à définir[3]	Ordonnée à l'origine de la droite de régression avec y
m	a_1	à définir[3]	Pente de la droite de régression
A/F_{st}		–	Rapport air/carburant stœchiométrique
C_d	C_d	–	Coefficient de décharge
c	x	ppm, % vol.	Concentration (µmol/mol = ppm)
c_d	[1]	ppm, % vol.	Concentration à l'état sec
c_w	[1]	ppm, % vol.	Concentration à l'état humide
c_b	[1]	ppm, % vol.	Concentration ambiante
D	x_{dil}	–	Facteur de dilution[2]
D_0		m^3/tr	Ordonnée à l'origine étalonnage PDP
d	d	m	Diamètre
d_V		m	Diamètre du col du venturi
e	e	g/kWh	Spécifique au frein
e_{gas}	e_{gas}	g/kWh	Émissions spécifiques de constituants gazeux
e_{PM}	e_{PM}	g/kWh	Émissions spécifiques de matières particulaires
E	$1 - PF$	%	Efficacité de conversion (PF = Fraction de pénétration)
F_s		–	Facteur stœchiométrique
f_c		–	Facteur carbone
H		g/kg	Humidité absolue
K_V		$\left[\left(\sqrt{K} \cdot m^4 \cdot s\right)/kg\right]$	Fonction d'étalonnage du CFV
k_f		m^3/kg carburant	Facteur spécifique du carburant
k_h		–	Facteur de correction de l'humidité pour NO_x, moteurs diesel
k_{Dr}	k_{Dr}	–	Facteur de réglage vers le bas
k_r	k_r	–	Facteur de régénération multiplicative
k_{Ur}	k_{Ur}	–	Facteur d'ajustement vers le haut

Annexe 8	*Annexe 7*	*Unité*	*Quantité*
$k_{w,a}$		–	Facteur de correction sec à humide pour l'air d'admission
$k_{w,d}$		–	Facteur de correction sec à humide pour l'air de dilution
$k_{w,e}$		–	Facteur de correction sec à humide pour les gaz d'échappement dilués
$k_{w,r}$		–	Facteur de correction sec à humide pour les gaz d'échappement bruts
μ	μ	Pa·s	Viscosité dynamique
M	M	g/mol	Masse molaire[3]
M_a	[1]	g/mol	Masse molaire de l'air d'admission
M_e	[1]	g/mol	Masse molaire des gaz d'échappement
M_{gas}	M_{gas}	g/mol	Masse molaire des constituants gazeux
m	m	kg	Masse
q_m	$\dot{m}$	kg/s	Débit massique
m_d	[1]	kg	Masse de l'échantillon d'air de dilution traversant les filtres de collecte des particules
m_{ed}	[1]	kg	Masse totale de gaz d'échappement dilués sur l'ensemble du cycle
m_{edf}	[1]	kg	Masse de gaz d'échappement dilués équivalente sur l'ensemble du cycle
m_{ew}	[1]	kg	Masse totale de gaz d'échappement sur l'ensemble du cycle
m_f	[1]	mg	Masse des échantillons de particules collectés
$m_{f,d}$	[1]	mg	Masse des échantillons de particules de l'air de dilution collectés
m_{gas}	m_{gas}	g	Masse des émissions gazeuses sur l'ensemble du cycle d'essai
m_{PM}	m_{PM}	g	Masse des émissions de particules sur l'ensemble du cycle d'essai
m_{se}	[1]	kg	Masse d'échantillons d'échappement sur le cycle d'essai
m_{sed}	[1]	kg	Masse de gaz d'échappement dilués traversant le tunnel de dilution
m_{sep}	[1]	kg	Masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte des particules
m_{ssd}		kg	Masse d'air de dilution secondaire
n	f_n	min^{-1}	Régime du moteur
n_p		tr/s	Vitesse de rotation de la pompe PDP
P	P	kW	Puissance

Annexe 8	*Annexe 7*	*Unité*	*Quantité*
p	p	kPa	Pression
p_a		kPa	Pression atmosphérique en conditions sèches
p_b		kPa	Pression atmosphérique totale
p_d		kPa	Pression de vapeur de saturation de l'air de dilution
p_p	p_{abs}	kPa	Pression absolue
p_r	p_{H2O}	kPa	Pression de vapeur d'eau
p_s		kPa	Pression atmosphérique en conditions sèches
$1 - E$	PF	%	Fraction de pénétration
q_{mad}	$\dot{m}$ [1]	kg/s	Débit massique d'air d'admission sur base sèche
q_{maw}	[1]	kg/s	Débit massique d'air d'admission sur base humide
q_{mCe}	[1]	kg/s	Débit massique de carbone dans les gaz d'échappement bruts
q_{mCf}	[1]	kg/s	Débit massique de carbone dans le moteur
q_{mCp}	[1]	kg/s	Débit massique de carbone dans le système de dilution du flux partiel
q_{mdew}	[1]	kg/s	Débit massique de gaz d'échappement dilués sur base humide
q_{mdw}	[1]	kg/s	Débit d'air d'admission dilué sur base humide
q_{medf}	[1]	kg/s	Débit massique de gaz d'échappement dilués équivalente à l'état humide
q_{mew}	[1]	kg/s	Débit massique de gaz d'échappement à l'état humide
q_{mex}	[1]	kg/s	Débit massique d'échantillons extraits du tunnel de dilution
q_{mf}	[1]	kg/s	Débit massique de carburant
q_{mp}	[1]	kg/s	Débit échantillon de gaz d'échappement dans le système de dilution du flux partiel
q_V	$\dot{V}$	m³/s	Débit volumique
q_{VCVS}	[1]	m³/s	Débit du prélèvement CVS
q_{Vs}	[1]	dm³/min	Débit du système d'analyseur des gaz d'échappement
q_{Vt}	[1]	cm³/min	Débit du gaz témoin
ρ	ρ	kg/m³	Masse volumique
ρ_e		kg/m³	Masse volumique des gaz d'échappement
r_d	DR	–	Taux de dilution[2]
RH		%	Humidité relative
r_D	β	m/m	Rapport des diamètres (systèmes CVS)

Annexe 8	*Annexe 7*	*Unité*	*Quantité*
r_p		−	Rapport de pression du SSV
Re	*Re*[#]	−	Nombre de Reynolds
σ	σ	−	Écart type
T	*T*	°C	Température
T_a		K	Température absolue
t	*t*	s	Temps
Δt	Δt	s	Intervalle de temps
u		−	Rapport entre les densités du constituant gazeux et des gaz d'échappement
V	*V*	m^3	Volume
q_V	$\dot{V}$	m^3/s	Débit volumique
V_0		m^3/tr	Volume de gaz pompé par tour de la pompe PDP
W	*W*	kWh	Travail
W_{act}	W_{act}	kWh	Travail réel au cours du cycle
WF	*WF*	−	Facteur de pondération
w	*w*	g/g	Fraction massique
X_0	K_s	s/tr	Fonction d'étalonnage de la pompe volumétrique
$\overline{y}$	$\overline{y}$		Moyenne arithmétique

[1] Voir les indices; par exemple: $\dot{m}_{air}$ pour le taux massique de l'air sec, $\dot{m}_{fuel}$ pour le débit massique du carburant, etc.

[2] Le taux de dilution r_d de l'annexe 8 et *DR* de l'annexe 7: symboles différents mais ayant le même sens et les mêmes formules. Facteur de dilution *D* de l'annexe 8 et x_{dil} de l'annexe 7: symboles différents mais même sens physique; l'équation (A.7-47) représente la relation entre x_{dil} et *DR*.

[3] t.b.d. = à définir.

A.8.0.2 Indices

Annexe 8[1]	*Annexe 7*	*Quantité*
act	act	Quantité réelle
i		Mesure instantanée (par exemple 1 Hz)
	i	Un d'une série

[1] Dans l'annexe 8 le sens de l'indice est déterminé par la quantité associée; par exemple, l'indice «d» peut indiquer un état sec comme dans «c_d = concentration à l'état sec», l'air de dilution comme dans «p_d = pression de vapeur de saturation de l'air de dilution» ou «$k_{w,d}$ = facteur de correction de sec à humide pour l'air de dilution», taux de dilution comme dans «r_d».

A.8.0.3 Symboles et abréviations pour les constituants chimiques (également utilisés comme indices)

Annexe 8	*Annexe 7*	*Quantité*
Ar	Ar	Argon
C1	C1	Hydrocarbures équivalent carbone 1
CH_4	CH_4	Méthane
C_2H_6	C_2H_6	Éthane
C_3H_8	C_3H_8	Propane
CO	CO	Monoxyde de carbone
CO_2	CO_2	Dioxyde de carbone
DOP	DOP	Di-octylphthalate
HC	HC	Hydrocarbures
H_2O	H_2O	Eau
HCNM	HCNM	Hydrocarbures non méthaniques
NO_x	NO_x	Oxyde d'azote
NO	NO	Oxyde nitrique
NO_2	NO_2	Dioxyde d'azote
MP	MP	Particules
S	S	Soufre

A.8.0.4 Symboles et abréviations relatifs à la composition du carburant

Annexe 8[1]	Annexe 7[2]	Quantité
w_C[4]	w_C[4]	Teneur en carbone du carburant, fraction massique [g/g] ou [% masse]
w_H	w_H	Teneur en hydrogène du carburant, fraction massique [g/g] ou [% masse]
w_N	w_N	Teneur en azote du carburant, fraction massique [g/g] ou [% masse]
w_O	w_O	Teneur en oxygène du carburant, fraction massique [g/g] ou [% masse]
w_S	w_S	Teneur en soufre du carburant, fraction massique [g/g] ou [% masse]
α	a	Rapport atomique hydrogène à carbone (H/C)

Annexe 8[1]	Annexe 7[2]	Quantité
ε	β	Rapport atomique oxygène à carbone (O/C)[3]
γ	γ	Rapport atomique soufre à carbone (S/C)
δ	δ	Rapport atomique azote à carbone (N/C)

[1] Se réfère à un carburant de formule chimique $CH_{\alpha}O_{\varepsilon}N_{\delta}S_{\gamma}$.

[2] Se réfère à un carburant de formule chimique CHαOβSγNδ.

[3] Il faut faire attention au sens différent du symbole β dans les annexes de calcul des deux émissions: dans l'annexe 8 il se réfère à un carburant de formule chimique $CH_{\alpha}S_{\gamma}N_{\delta}O_{\varepsilon}$ (c'est-à-dire la formule $C_{\beta}H_{\alpha}S_{\gamma}N_{\delta}O_{\varepsilon}$ où $\beta = 1$, et où on part de l'hypothèse d'un atome de carbone par molécule), alors que dans l'annexe 7 il se réfère au rapport oxygène-à-carbone avec $CH_{\alpha}O_{\beta}S_{\gamma}N_{\delta}$. Dans ces conditions β de l'annexe 7 correspond à ε de l'annexe 8.

[4] Fraction massique *w* accompagnée du symbole de la composante chimique en indice.

A.8.1 *Paramètres de base*

A.8.1.1 Détermination des concentrations de HC méthaniques et non méthaniques

Le calcul des HCNM et du CH_4 dépend de la méthode d'étalonnage utilisée. L'analyseur FID utilisé pour la mesure sans convertisseur NMC doit être étalonné au propane. Pour l'étalonnage d'un analyseur FID utilisé en série avec un convertisseur NMC, les méthodes suivantes sont autorisées.

a) Gaz d'étalonnage − propane; le propane contourne le convertisseur NMC;

b) Gaz d'étalonnage − méthane; le méthane passe à travers le convertisseur NMC.

La concentration de HCNM (c_{NMHC} [-]) et de CH_4 (c_{CH4} [-]) doit être calculée de la manière suivante pour a):

$$c_{\mathrm{NMHC}} = \frac{c_{\mathrm{HC(w/NMC)}} - c_{\mathrm{HC(w/oNMC)}} \cdot \left(1 - E_{\mathrm{C2H6}}\right)}{RF_{\mathrm{CH4[THC\text{-}FID]}} \cdot \left(E_{\mathrm{C2H6}} - E_{\mathrm{CH4}}\right)} \qquad \text{(A.8-1a)}$$

$$c_{\mathrm{CH4}} = \frac{c_{\mathrm{HC(w/oNMC)}} \cdot \left(1 - E_{\mathrm{CH4}}\right) - c_{\mathrm{HC(w/NMC)}}}{E_{\mathrm{C2H6}} - E_{\mathrm{CH4}}} \qquad \text{(A.8-2a)}$$

La concentration de HCNM et de CH_4 doit être calculée de la manière suivante pour b):

$$c_{\mathrm{NMHC}} = \frac{c_{\mathrm{HC(w/oNMC)}} \cdot \left(1 - E_{\mathrm{CH4}}\right) - c_{\mathrm{HC(w/NMC)}} \cdot RF_{\mathrm{CH4[THC\text{-}FID]}} \cdot \left(1 - E_{\mathrm{CH4}}\right)}{E_{\mathrm{C2H6}} - E_{\mathrm{CH4}}} \qquad \text{(A.8-1b)}$$

$$c_{\mathrm{CH4}} = \frac{c_{\mathrm{HC(w/NMC)}} \cdot RF_{\mathrm{CH4[THC\text{-}FID]}} \cdot \left(1 - E_{\mathrm{CH4}}\right) - c_{\mathrm{HC(w/oNMC)}} \cdot \left(1 - E_{\mathrm{C2H6}}\right)}{RF_{\mathrm{CH4[THC\text{-}FID]}} \cdot \left(E_{\mathrm{C2H6}} - E_{\mathrm{CH4}}\right)} \qquad \text{(A.8-2b)}$$

Où:

$c_{\mathrm{HC(w/NMC)}}$ = concentration de HC avec échantillon de gaz traversant le convertisseur NMC [ppm]

$c_{\mathrm{HC(w/oNMC)}}$ = concentration de HC avec échantillon de gaz contournant le convertisseur NMC [ppm]

$RF_{CH4[THC-FID]}$ = facteur de réponse au méthane, tel que déterminé au paragraphe 8.1.10.1.4 [-]

E_{CH4} = efficacité à l'égard du méthane, telle que déterminée au paragraphe 8.1.10.3 [-]

E_{C2H6} = efficacité à l'égard de l'éthane, telle que déterminée au paragraphe 8.1.10.3 [-].

Si $RF_{CH4[THC-FID]}$ <1,05, il peut être omis dans les équations A.8-1a, A.8-1b et A.8-2b.

Les émissions de HCNM (hydrocarbures non méthaniques) peuvent être fixées par approximation à 98 % des HCT (hydrocarbures totaux).

A.8.2 *Émissions dans les gaz d'échappement bruts*

A.8.2.1 Émissions de gaz

A.8.2.1.1 Essais en conditions stationnaires

Il conviendra de calculer le taux des émissions de gaz $q_{mgas,i}$ pour chaque mode *i* de l'essai en conditions stationnaires. La concentration des émissions de gaz doit être multipliée par son débit respectif:

$$q_{mgas,i} = k_h \cdot k \cdot u_{gas} \cdot q_{mew,i} \cdot c_{gas,i} \cdot 3\,600 \qquad \text{(A.8-3)}$$

Où:

$q_{mgas,i}$ = taux d'émissions sur le mode *i* de l'essai en conditions stationnaires [g/h]

k = 1 pour $c_{gasr,w,i}$ en [ppm] et k = 10,000 pour $c_{gasr,w,i}$ en [% volume]

k_h = facteur de correction NO_x [-], qui ne doit être appliqué que pour le calcul des émissions de NO_x (voir le paragraphe A.8.2.2)

u_{gas} = facteur spécifique du constituant ou rapport des densités du constituant gazeux et des gaz d'échappement [-]; à calculer avec les équations (A.8-12) ou (A.8-13)

$q_{mew,i}$ = débit massique de gaz d'échappement sur le mode *i* à l'état humide [kg/s]

$c_{gas,i}$ = concentration des émissions dans les gaz d'échappement bruts sur le mode *i*, à l'état humide [ppm] ou [% volume].

A.8.2.1.2 Cycle transitoire et cycle à modes raccordés

Il convient de calculer la masse totale par essai d'une émission gazeuse m_{gas} [g/essai] en multipliant les concentrations instantanées au même instant et les débits de gaz d'échappement avec intégration sur le cycle d'essai, conformément à la formule suivante:

$$m_{gas} = \frac{1}{f} \cdot k_h \cdot k \cdot u_{gas} \cdot \sum_{i=1}^{N} \left(q_{mew,i} \cdot c_{gas,i} \right) \qquad \text{(A.8-4)}$$

Où:

f = taux d'échantillonnage des données [Hz]

k_h = facteur de correction NO_x [-], qui ne doit être appliqué qu'au calcul des émissions de NO_x

k = 1 pour $c_{gasr,w,i}$ en [ppm] et k = 10,000 pour $c_{gasr,w,i}$ en [% volume]

u_{gas} = facteur spécifique des constituants (voir le paragraphe A.8.2.4)

N = nombre de mesures [-]

$q_{mew,i}$ = débit massique instantané de gaz d'échappement en conditions humides [kg/s]

$c_{gas,i}$ = concentration instantanée d'émissions dans les gaz d'échappement bruts en conditions humides [ppm] ou [% volume].

On trouvera dans les chapitres qui suivent la méthode de calcul des quantités nécessaires ($c_{gas,i}$, u_{gas} et $q_{mew,i}$).

A.8.2.2 Conversion de la concentration de sec à humide

Si les émissions sont mesurées en conditions sèches, la concentration mesurée c_d doit être convertie en concentration c_w en conditions humides au moyen de la formule générale suivante:

$$c_w = k_w \cdot c_d \qquad \text{(A.8-5)}$$

Où:

k_w = facteur de conversion de sec à humide [-]

c_d = concentration des émissions en conditions sèches [ppm] ou [% volume].

Pour une combustion complète, le facteur de conversion de sec à humide pour les gaz d'échappement bruts s'écrit $k_{w,a}$ [-] et doit être calculé de la manière suivante:

$$k_{w,a} = \frac{\left(1 - \frac{1{,}2442 \cdot H_a + 111{,}19 \cdot w_H \cdot \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}}}{773{,}4 + 1{,}2442 \cdot H_a + \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}} \cdot k_f \cdot 1\,000}\right)}{\left(1 - \frac{p_r}{p_b}\right)} \qquad \text{(A.8-6)}$$

Où:

H_a = humidité de l'air d'admission [g H_2O/kg air sec]

$q_{mf,i}$ = débit instantané de carburant [kg/s]

$q_{mad,i}$ = débit instantané d'air d'admission sec [kg/s]

p_r = pression de l'eau du refroidisseur [kPa]

p_b = pression barométrique totale [kPa]

w_H = teneur en hydrogène du carburant [% masse]

k_f = volume additionnel de combustion [m^3/kg carburant]

avec:

$$k_f = 0{,}055594 \cdot w_H + 0{,}0080021 \cdot w_N + 0{,}0070046 \cdot w_O \qquad \text{(A.8-7)}$$

Où:

w_H = *teneur* en hydrogène du carburant [% masse]

w_N = teneur en azote du carburant [% masse]

w_O = teneur en *oxygène* du carburant [% masse].

Dans la formule (A.8-6), on peut prendre pour hypothèse le rapport p_r / p_b :

$$\frac{1}{\left(1-\frac{p_r}{P_b}\right)} = 1{,}008 \qquad \text{(A.8-8)}$$

Pour une combustion incomplète (mélange air/carburant riche) ainsi que pour les essais d'émissions sans la mesure directe du débit d'air, on préfère une autre méthode de calcul de $k_{w,a}$:

$$k_{w,a} = \frac{\frac{1}{1+a\cdot 0{,}005\cdot(c_{CO2}+c_{CO})} - k_{w1}}{1-\frac{p_r}{P_b}} \qquad \text{(A.8-9)}$$

Où:

c_{CO2} = concentration de CO_2 dans les gaz d'échappement bruts en conditions sèches [% volume]

c_{CO} = concentration de CO dans les gaz d'échappement bruts en conditions sèches [ppm]

p_r = pression d'eau après le refroidisseur [kPa] (voir l'équation (A.8-9))

p_b = pression barométrique totale [kPa] (voir l'équation (A.8-9))

α = rapport molaire hydrogène/carbone [-]

k_{w1} = humidité de l'air d'admission [-]

$$k_{w1} = \frac{1{,}608 \cdot H_a}{1\,000 + 1{,}608 \cdot H_a} \qquad \text{(A.8-10)}$$

A.8.2.3 Correction des NO_x pour l'humidité et la température

Étant donné que les émissions de NO_x dépendent des conditions de l'air ambiant, les concentrations de NO_x doivent être corrigées pour la température et l'humidité de l'air ambiant avec des facteurs k_h [-] donnés dans l'équation ci-après. Ce facteur est valable pour une plage d'humidité comprise entre 0 et 25 g_{H2O}/kg air sec.

$$k_h = \frac{15{,}698 \cdot H_a}{1\,000} + 0{,}832 \qquad \text{(A.8-11)}$$

Où:

H_a = humidité de l'air d'admission [g H_2O/kg air sec].

A.8.2.4 Facteur *u* spécifique au constituant

A.8.2.4.1 Valeurs sous forme tabulaire

Si l'on applique quelques simplifications (évaluation de la valeur λ et des conditions d'air d'admission comme indiqué dans le tableau ci-dessous) aux équations du paragraphe A.8.2.4.2, on peut calculer les valeurs de u_{gas}, (voir le paragraphe A.8.2.1). Les valeurs u_{gas} sont données dans le tableau A.8.1.

Gaz		NO_x	CO	HC	CO_2	O_2	CH_4
ρ_{gas} [kg/m^3]		2,053	1,250	0,621	1,9636	1,4277	0,716
Carburant	ρ_e	Coefficient u_{gas} à λ = 2, air sec, 273 K, 101,3 kPa					
Pour moteurs diesel	1,2939	0,001587	0,000966	0,000479	0,001518	0,001103	0,000553

Tableau A.8.1
Valeurs *u* des gaz d'échappement bruts et densités des constituants (les valeurs *u* sont calculées pour une concentration des émissions exprimée en ppm)

A.8.2.4.2 Valeurs calculées

Le facteur spécifique au constituant, $u_{gas,i}$, peut être calculé au moyen du taux de densité du constituant et des gaz d'échappement ou par le rapport correspondant des masses molaires:

$$u_{gas,i} = M_{gas} / (M_{e,i} \cdot 1\,000) \qquad \text{(A.8-12)}$$

ou

$$u_{gas,i} = \rho_{gas} / (\rho_{e,i} \cdot 1\,000) \qquad \text{(A.8-13)}$$

Où:

M_{gas} = masse molaire du constituant gazeux [g/mol]

$M_{e,i}$ = masse molaire instantanée des gaz d'échappement bruts en conditions humides [g/mol]

ρ_{gas} = densité du constituant gazeux [kg/m^3]

$\rho_{e,i}$ = densité instantanée des gaz d'échappement bruts en conditions humides [kg/m^3].

La masse molaire des gaz d'échappement, $M_{e,i}$ doit être calculée pour une composition de carburant générale $CH_\alpha O_\varepsilon N_\delta S_\gamma$ selon l'hypothèse d'une combustion complète, de la manière suivante:

$$M_{e,i} = \frac{1 + \dfrac{q_{mf,i}}{q_{maw,i}}}{\dfrac{q_{mf,i}}{q_{maw,i}} \cdot \dfrac{\dfrac{a}{4} + \dfrac{\varepsilon}{2} + \dfrac{\delta}{2}}{12{,}001 + 1{,}00794 \cdot a + 15{,}9994 \cdot \varepsilon + 14{,}0067 \cdot \delta + 32{,}0065 \cdot \gamma} + \dfrac{\dfrac{H_a \cdot 10^{-3}}{2 \times 1{,}00794 + 15{,}9994} + \dfrac{1}{M_a}}{1 + H_a \cdot 10^{-3}}}$$

(A.8-14)

Où:

$q_{mf,i}$ = débit massique instantané de carburant en conditions humides [kg/s]

$q_{maw,i}$ = débit massique instantané d'air d'admission en conditions humides [kg/s]

α = rapport molaire hydrogène-à-carbone [-]

δ = rapport molaire azote-à-carbone [-]

ε = rapport molaire oxygène-à-carbone [-]

γ = rapport atomique soufre-à-carbone [-]

H_a = humidité de l'air d'admission [g H_2O/kg air sec]

M_a = masse moléculaire de l'air d'admission sec = 28,965 g/mol.

La densité instantanée des gaz d'échappement bruts $\rho_{e,i}$ [kg/m^3] doit être calculée de la manière suivante:

$$\rho_{e,i} = \frac{1000 + H_a + 1000 \cdot (q_{mf,i} / q_{mad,i})}{773{,}4 + 1{,}2434 \cdot H_a + k_f \cdot 1000 \cdot (q_{mf,i} / q_{mad,i})} \qquad \text{(A.8-15)}$$

Où:

$q_{mf,i}$ = débit massique instantané de carburant [kg/s]

$q_{mad,i}$ = débit instantané d'air d'admission sec [kg/s]

H_a = humidité de l'air d'admission [g H_2O/kg air sec]

k_f = volume additionnel de combustion [m^3/kg carburant] (voir la formule A.8-7).

A.8.2.5 Débit massique de gaz d'échappement

A.8.2.5.1 Méthode par mesure de l'air et du carburant

La méthode fait intervenir la mesure du débit d'air et du débit de carburant avec des débitmètres appropriés. Le calcul du débit instantané de gaz d'échappement $q_{mew,i}$ [kg/s] s'établit comme suit:

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} + q_{mf,i} \qquad \text{(A.8-16)}$$

Où:

$q_{maw,i}$ = débit instantané massique d'air d'admission [kg/s]

$q_{mf,i}$ = débit instantané massique de carburant [kg/s].

A.8.2.5.2 Méthode de mesure avec gaz témoin

Celle-ci fait intervenir la mesure de la concentration d'un gaz témoin dans les gaz d'échappement. Le calcul du débit instantané de gaz d'échappement $q_{mew,i}$ [kg/s] se fait de la manière suivante:

$$q_{mew,i} = \frac{q_{Vt} \cdot \rho_e}{10^{-6} \cdot \left(c_{mix,i} - c_b\right)} \qquad \text{(A.8-17)}$$

Où:

q_{Vt} = débit du gaz témoin [m³/s]

$c_{mix,i}$ = concentration instantanée du gaz témoin après mélange [ppm]

ρ_e = densité des gaz d'échappement bruts [kg/m³]

c_b = concentration ambiante du gaz témoin dans l'air d'admission [ppm].

La concentration ambiante du gaz témoin c_b peut être déterminée en faisant la moyenne de la concentration ambiante mesurée immédiatement avant et après le cycle d'essai. Lorsque la concentration ambiante est inférieure à 1 % de la concentration du gaz témoin après le mélange $c_{mix,i}$ au débit d'échappement maximum, la concentration ambiante peut être négligée.

A.8.2.5.3 Méthode de mesure basée sur le débit d'air et le rapport air/carburant

Celle-ci fait intervenir le calcul de la masse de gaz d'échappement à partir du débit d'air et du rapport air/carburant. Le calcul du débit massique instantané de gaz d'échappement $q_{mew,i}$ [kg/s] se présente de la manière suivante:

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} \cdot \left(1 + \frac{1}{A/F_{st} \cdot \lambda_i}\right) \qquad \text{(A.8-18)}$$

avec:

$$A/F_{st} = \frac{138{,}0 \cdot \left(1 + \frac{a}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma\right)}{12{,}011 + 1{,}00794 \cdot a + 15{,}9994 \cdot \varepsilon + 14{,}0067 \cdot \delta + 32{,}065 \cdot \gamma} \qquad \text{(A.8-19)}$$

$$\lambda_f = \frac{\left(100 - \frac{c_{COd} \cdot 10^{-4}}{2} - c_{HCw} \cdot 10^{-4}\right) + \left(\frac{a}{4} \cdot \frac{1 - \frac{2 \cdot c_{COd} \cdot 10^{-4}}{3{,}5 \cdot c_{CO2d}}}{1 + \frac{c_{COd} \cdot 10^{-4}}{3{,}5 \cdot c_{CO2d}}} - \frac{\varepsilon}{2} - \frac{\delta}{2}\right) \cdot (c_{CO2d} + c_{COd} \cdot 10^{-4})}{4{,}764 \cdot \left(1 + \frac{a}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma\right) \cdot (c_{CO2d} + c_{COd} \cdot 10^{-4} + c_{HCw} \cdot 10^{-4})}$$

(A.8-20)

Où:

$q_{maw,i}$ = débit massique d'air d'admission à l'état humide [kg/s]

A/F_{st} = rapport air-à-carburant stœchiométrique [-]

λ_i = taux d'excès d'air instantané [-]

c_{COd} = concentration de CO dans les gaz d'échappement bruts en conditions sèches [ppm]

c_{CO2d} = concentration de CO_2 dans les gaz d'échappement bruts en conditions sèches [%]

c_{HCw} = concentration de HC dans les gaz d'échappement bruts en conditions humides [ppm C1]

α = rapport molaire hydrogène-à-carbone [-]

δ = rapport molaire azote-à-carbone [-]

ε = rapport molaire oxygène-à-carbone [-]

γ = rapport atomique soufre-à-carbone [-].

A.8.2.5.4 Méthode du bilan carbone, procédure en une étape

On peut utiliser la formule suivante pour le calcul du débit du gaz d'échappement à l'état humide $q_{mew,i}$ [kg/s]:

$$q_{mew,i} = q_{mf,i} \cdot \left[\frac{1{,}4 \cdot w_C^2}{(1{,}0828 \cdot w_C + k_{fd} \cdot f_c) f_c} \left(1 + \frac{H_a}{1\,000} \right) + 1 \right] \quad \text{(A.8-21)}$$

le facteur carbone f_c [-] étant donné par:

$$f_c = 0{,}5441 \cdot (c_{CO2d} - c_{CO2d,a}) + \frac{c_{COd}}{18{,}522} + \frac{c_{HCw}}{17{,}355} \quad \text{(A.8-22)}$$

Où:

$q_{mf,i}$ = débit massique de carburant instantané [kg/s]

w_C = teneur en carbone du carburant [% masse]

H_a = humidité de l'air d'admission [g H_2O/kg air sec]

k_{fd} = volume additionnel de combustion en conditions sèches [m^3/kg carburant]

c_{CO2d} = concentration de CO_2 dans les gaz d'échappement bruts en conditions sèches [%]

$c_{CO2d,a}$ = concentration de CO_2 dans l'air ambiant en conditions sèches [%]

c_{COd} = concentration de CO dans les gaz d'échappement bruts en conditions sèches [ppm]

c_{HCw} = concentration de HC dans les gaz d'échappement bruts en conditions humides [ppm]

et le facteur k_{fd} [m^3/kg carburant] qui est calculé sur une base sèche par soustraction de l'eau formée par la combustion de k_f:

$$k_{fd} = k_f - 0{,}11118 \cdot w_H \quad \text{(A.8-23)}$$

Où:

k_f = facteur spécifique au carburant de l'équation (A.8-7) [m^3/kg carburant]

w_H = teneur en hydrogène du carburant [% masse].

A.8.3 *Émissions dans les gaz d'échappement dilués*

A.8.3.1 Masse des émissions de gaz

A.8.3.1.1 Mesure avec système à dilution du flux total (CVS)

Le débit massique des gaz d'échappement doit être mesuré avec un système de prélèvement en volume constant (CVS), utilisant une pompe volumétrique (PDP), ou un venturi-tuyère en régime critique (CFV) ou un venturi subsonique (SSV).

Pour les systèmes ayant un débit massique constant (c'est-à-dire avec échangeur de chaleur), la masse des polluants m_{gas} [g/essai] doit être déterminée au moyen de la formule suivante:

$$m_{gas} = k_h \cdot k \cdot u_{gas} \cdot c_{gas} \cdot m_{ed} \qquad \text{(A.8-24)}$$

Où:

u_{gas} = *rapport* entre la densité du constituant des gaz d'échappement et la densité de l'air, comme indiqué au tableau A.8.2 ou calculé avec la formule (A.8-35) [-]

c_{gas} = concentration moyenne corrigée des concentrations ambiantes du constituant en conditions humides respectivement [ppm] ou [% volume]

k_h = facteur *de* correction NO_x [-], qui doit être appliqué uniquement au calcul des émissions de NO_x

k = 1 pour $c_{gasr,w,i}$ en [ppm], k = 10,000 pour $c_{gasr,w,i}$ en [% volume]

m_{ed} = masse de *gaz* d'échappement dilués totale sur l'ensemble du cycle [kg/essai].

Pour les systèmes à compensation de débit (sans échangeur de chaleur), la masse des polluants m_{gas} [g/essai] doit être déterminée par calcul des émissions massiques instantanées, par intégration et par correction pour concentrations ambiantes suivant la formule suivante:

$$m_{gas} = k_h \cdot k \cdot \left\{ \sum_{i=1}^{N} \left[\left(m_{ed,i} \cdot c_e \cdot u_{gas} \right) \right] - \left[\left(m_{ed} \cdot c_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) \cdot u_{gas} \right) \right] \right\} \qquad \text{(A.8-25)}$$

Où:

c_e = concentration des émissions dans les gaz d'échappement dilués, à l'état humide [ppm] ou [% volume]

c_d = concentration des émissions dans l'air de dilution, à l'état humide [ppm] ou [% volume]

$m_{ed,i}$ = masse des gaz d'échappement dilués pendant l'intervalle de temps i [kg]

m_{ed} = masse totale des gaz d'échappement dilués sur l'ensemble du cycle [kg]

u_{gas} = valeur tirée du tableau A.8.2 [-]

D = facteur de dilution (voir l'équation A.8-29 du paragraphe A.8.3.2.2) [-]

k_h = facteur de correction des NO_x [-], qui doit être appliqué uniquement au calcul des émissions de NO_x

k = 1 pour c en [ppm], k = 10,000 pour c en [% volume].

Les concentrations c_{gas}, c_e et c_d peuvent être soit des valeurs mesurées dans un échantillon de prélèvement par lots (c'est-à-dire dans un sac, mais cette méthode n'est pas autorisée pour les NO_x et HC), soit des valeurs moyennées à partir d'une intégration continue. Par ailleurs, $m_{ed,i}$ doit être moyenné par intégration sur le cycle d'essai.

Les équations suivantes montrent comment les quantités nécessaires (c_e, u_{gas} et m_{ed}) seront calculées.

A.8.3.2 Conversion de concentration de sec à humide

Toutes les concentrations de la section A.8.3.2 doivent être converties au moyen de l'équation (A.8-5) ($c_w = k_w \cdot c_d$).

A.8.3.2.1 Gaz d'échappement dilués

Toutes les concentrations mesurées sur base sèche doivent être converties en concentrations sur base humide par une des deux formules suivantes:

$$k_{w,e} = \left[\left(1 - \frac{a \cdot c_{CO2w}}{200}\right) - k_{w2}\right] \cdot 1{,}008 \qquad \text{(A.8-26)}$$

ou

$$k_{w,e} = \left(\frac{(1 - k_{w2}}{1 + \frac{a \cdot c_{CO2d}}{200}}\right) \cdot 1{,}008 \qquad \text{(A.8-27)}$$

Où:

$k_{w,e}$ = facteur de conversion de sec à humide pour les gaz d'échappement dilués [-]

α = rapport molaire hydrogène à carbone du carburant [-]

c_{CO2w} = concentration de CO_2 dans les gaz d'échappement dilués à l'état humide [% volume]

c_{CO2d} = concentration de CO_2 dans les gaz d'échappement dilués à l'état sec [% volume].

Le facteur de correction de sec à humide k_{w2} prend en considération la teneur en eau de l'air d'admission et de l'air de dilution:

$$k_{w2} = \frac{1{,}608 \cdot \left[H_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D}\right) + H_a \cdot \left(\frac{1}{D}\right)\right]}{1\,000 + \left\{1{,}608 \cdot \left[H_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D}\right) + H_a \cdot \left(\frac{1}{D}\right)\right]\right\}} \qquad \text{(A.8-28)}$$

Où:

H_a = humidité de l'air d'admission [g H_2O/kg air sec]

H_d = humidité de l'air de dilution [g H_2O/kg air sec]

D = facteur de dilution (voir l'équation (A.8-29) du paragraphe A.8.3.2.2) [-].

A.8.3.2.2 Facteur de dilution

Le facteur de dilution D [-] (qui est nécessaire pour la correction pour concentrations ambiantes et le calcul de k_{w2}) doit être calculé de la manière suivante:

$$D = \frac{F_S}{c_{CO2,e} + \left(c_{HC,e} + c_{CO,e}\right) \cdot 10^{-4}} \qquad \text{(A.8-29)}$$

Où:

F_S = facteur stœchiométrique [-]

$c_{CO2,e}$ = concentration de CO_2 dans les gaz d'échappement dilués à l'état humide [% volume]

$c_{HC,e}$ = concentration de HC dans les gaz d'échappement dilués à l'état humide [ppm C1]

$c_{CO,e}$ = concentration de CO dans les gaz d'échappement dilués à l'état humide [ppm].

Le facteur stœchiométrique doit être calculé de la manière suivante:

$$F_s = 100 \cdot \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{2} + 3{,}76 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4}\right)} \qquad \text{(A.8-30)}$$

Où:

α = rapport molaire de l'hydrogène au carbone dans le carburant [-].

On peut aussi utiliser les facteurs stœchiométriques suivants si la composition du carburant n'est pas connue: F_S (carburant pour moteurs diesel) = 13,4.

Si une mesure directe est faite du débit de gaz d'échappement, on peut calculer le facteur de dilution D [-] de la manière suivante:

$$D = \frac{q_{VCVS}}{q_{Vew}} \qquad \text{(A.8-31)}$$

Où:

q_{VCVS} = débit volumique des gaz d'échappement dilués [m^3/s]

q_{Vew} = débit volumique des gaz d'échappement bruts [m^3/s].

A.8.3.2.3 Air de dilution

$$k_{w,d} = (1 - k_{w3}) \cdot 1{,}008 \qquad \text{(A.8-32)}$$

avec

$$k_{w3} = \frac{1{,}608 \cdot H_d}{1\,000 + 1{,}608 \cdot H_d} \qquad \text{(A.8-33)}$$

Où:

H_d = humidité de l'air de dilution [g H_2O/kg air sec].

A.8.3.2.4 Détermination de la concentration corrigée des concentrations ambiantes

La concentration moyenne ambiante des polluants gazeux dans l'air de dilution doit être soustraite des concentrations mesurées pour obtenir les concentrations nettes des polluants. Les valeurs moyennes des concentrations ambiantes peuvent être déterminées par la méthode du sac de prélèvement ou par des mesures continues avec intégration. On utilise la formule suivante:

$$c_{gas} = c_{gas,e} - c_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D}\right) \qquad \text{(A.8-34)}$$

Où:

c_{gas} = concentration nette de polluants gazeux [ppm] ou [% volume]

$c_{gas,e}$ = concentration des émissions dans les gaz d'échappement dilués sur une base humide [ppm] ou [% volume]

c_d = concentration des émissions dans l'air de dilution, sur une base humide [ppm] ou [% volume]

D = facteur de dilution (voir l'équation (A.8-29) du paragraphe A.8.3.2.2) [-].

A.8.3.3 Facteur *u* spécifique au constituant

Le facteur u_{gas} spécifique au constituant des gaz dilués est calculé par l'équation suivante ou peut être tiré du tableau A.8.2; dans celui-ci, pour la densité des gaz d'échappement dilués on part de l'hypothèse qu'elle est égale à la densité de l'air.

$$u = \frac{M_{gas}}{M_{d,w} \cdot 1000} = \frac{M_{gas}}{\left[M_{da,w} \cdot \left(1 - \frac{1}{D}\right) + M_{r,w} \cdot \left(\frac{1}{D}\right)\right] \cdot 1000} \qquad \text{(A.8-35)}$$

Où:

M_{gas} = masse molaire du constituant gazeux [g/mol]

$M_{d,w}$ = masse molaire des gaz d'échappement dilués [g/mol]

$M_{da,w}$ = masse molaire de l'air de dilution [g/mol]

$M_{r,w}$ = masse molaire des gaz d'échappement bruts [g/mol]

D = facteur de dilution (voir l'équation (A.8-29) du paragraphe A.8.3.2.2) [-].

Carburant	ρ_{de}	*Gaz*					
		NO_x	*CO*	*HC*	CO_2	O_2	CH_4
		ρ_{gas} [kg/m^3]					
		2,053	1,250	0,621	1,9636	1,4277	0,716
		Coefficient u_{gas} à λ = 2, air sec, 273 K, 101,3 kPa					
Diesel	1,293	0,001588	0,000967	0,000480	0,001519	0,001104	0,000553

Tableau A.8.2
Valeurs *u* des gaz d'échappement dilués et densités des constituants (les chiffres *u* sont calculés pour des concentrations d'émissions exprimées en ppm)

A.8.3.4 Calcul du débit massique de gaz d'échappement

A.8.3.4.1 Système PDP-CVS

Le calcul de la masse de gaz d'échappement dilués [kg/essai] sur l'ensemble du cycle se présente de la manière suivante, si la température des gaz d'échappement m_{ed} est maintenue à ±6 K sur l'ensemble du cycle par l'emploi d'un échangeur de chaleur:

$$m_{ed} = 1{,}293 \cdot V_0 \cdot n_p \cdot \frac{p_p}{101{,}3} \cdot \frac{273}{T} \qquad \text{(A.8-36)}$$

Où:

V_0 = volume de gaz pompé par tour aux conditions d'essai [m³/tr]

n_p = nombre total de tours de la pompe par essai [tr/essai]

p_p = pression absolue à l'entrée de la pompe [kPa]

T = température moyenne des gaz d'échappement dilués à l'entrée de la pompe [K]

1,293 = densité de l'air [kg/m^3] à 273,15 K et 101,325 kPa.

Si l'on utilise un système à compensation de débit (c'est-à-dire sans échangeur de chaleur), on calcule la masse de gaz d'échappement dilués $m_{ed,i}$ [kg] pendant l'intervalle de temps de la manière suivante:

$$m_{ed,i} = 1{,}293 \cdot V_0 \cdot n_{P,i} \cdot \frac{p_p}{101{,}3} \cdot \frac{273}{\overline{T}} \qquad \text{(A.8-37)}$$

Où:

V_0 = volume de gaz pompé par tour aux conditions d'essai [m³/tr]

p_p = pression absolue à l'entrée de la pompe [kPa]

$n_{P,i}$ = nombre total de tours de la pompe par intervalle de temps i [tr/Δt]

$\overline{T}$ = température moyenne des gaz d'échappement dilués à l'entrée de la pompe [K]

1,293 = densité de l'air [kg/m^3] à 273,15 K et 101,325 kPa.

A.8.3.4.2 Système CFV-CVS

Le calcul du débit massique sur tout le cycle m_{ed} [g/essai] se présente de la manière suivante, si la température des gaz d'échappement dilués est maintenue à ±11 K pendant toute la durée du cycle par l'emploi d'un échangeur de chaleur:

$$m_{ed} = \frac{1{,}293 \cdot t \cdot K_V \cdot p_p}{T^{0,5}} \qquad \text{(A.8-38)}$$

Où:

t = durée du cycle [s]

K_V = coefficient d'étalonnage du venturi-tuyère en régime critique pour des conditions normales $\left[\left(\sqrt{\mathrm{K}} \cdot \mathrm{m}^4 \cdot \mathrm{s}\right)/\mathrm{kg}\right]$

p_p = pression absolue à l'entrée du venturi [kPa]

T = température absolue à l'entrée du venturi [K]

1,293 = densité de l'air [kg/m^3] à 273,15 K et 101,325 kPa.

Si l'on utilise un système à compensation de débit (c'est-à-dire sans échangeur de chaleur), la masse de gaz d'échappement dilués $m_{ed,i}$ [kg] pendant l'intervalle de temps est calculée de la manière suivante:

$$m_{ed,i} = \frac{1{,}293 \cdot \Delta t_i \cdot K_V \cdot p_p}{T^{0,5}} \qquad \text{(A.8-39)}$$

Où:

Δt_i = intervalle de temps de l'essai [s]

K_V = coefficient d'étalonnage du venturi-tuyère en régime critique pour des conditions normales $\left[\left(\sqrt{\mathrm{K}}\cdot \mathrm{m}^4\cdot \mathrm{s}\right)/\mathrm{kg}\right]$

p_p = pression absolue à l'entrée du venturi [kPa]

T = température absolue à l'entrée du venturi [K]

1,293 = densité de l'air [kg/m^3] à 273,15 K et 101,325 kPa.

A.8.3.4.3 Système SSV-CVS

Le calcul de la masse de gaz d'échappement dilués sur tout le cycle m_{ed} [kg/essai] se fera de la manière suivante si la température des gaz d'échappement dilués est maintenue à ±11 K sur tout le cycle par l'emploi d'un échangeur de chaleur:

$$m_{ed} = 1{,}293 \cdot q_{VSSV} \cdot \Delta t \qquad \text{(A.8-40)}$$

Où:

1,293 kg/m^3 = densité de l'air à 273,15 K et 101,325 kPa

Δt = durée du cycle [s]

avec

$$q_{VSSV} = A_0 d_V{}^2 C_d p_p \sqrt{\left[\frac{1}{T}\left(r_p{}^{1,4286} - r_p{}^{1,7143}\right)\cdot\left(\frac{1}{1 - r_D{}^4 r_p{}^{1,4286}}\right)\right]} \qquad \text{(A.8-41)}$$

Où:

A_0 = 0,0056940 constante de conversion pour $\left[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{min}}\cdot\frac{\mathrm{K}^{\frac{1}{2}}}{\mathrm{kPa}}\cdot\frac{1}{\mathrm{mm}^2}\right]$

d_V = diamètre du col du SSV [mm]

C_d = coefficient de décharge du SSV [-]

p_p = pression absolue à l'entrée du venturi [kPa]

T_{in} = température à l'entrée du venturi [K]

r_p = rapport de la pression statique absolue au col et à l'entrée du SSV, $\left(1 - \frac{\Delta p}{p_a}\right)$ [-]

r_D = rapport du diamètre du col du SSV à celui de la tuyauterie d'entrée $\frac{d}{D}$ [-].

Si l'on utilise un système avec compensation de débit (c'est-à-dire sans échangeur de chaleur), la masse de gaz d'échappement dilués $m_{ed,i}$ [kg] pendant l'intervalle de temps est calculée de la manière suivante:

$$m_{ed,i} = 1{,}293 \cdot q_{VSSV} \cdot \Delta t_i \qquad \text{(A.8-42)}$$

Où:

1,293 kg/m^3 = densité de l'air à 273,15 K et 101,325 kPa

Δt_i = intervalle de temps [s]

q_{VSSV} = débit volumique du SSV [m^3/s].

A.8.3.5 Calcul des émissions de particules

A.8.3.5.1 Cycle transitoire et cycle à modes raccordés

La masse de particules doit être calculée après une correction de la flottabilité de la masse de l'échantillon de particules conformément au paragraphe 8.1.12.2.5.

A.8.3.5.1.1 Système à dilution du flux partiel

Le calcul pour le système de dilution double est présenté dans le paragraphe A.8.3.5.1.2.

A.8.3.5.1.1.1 Calcul basé sur le taux de prélèvement

Les émissions de particules sur tout le cycle m_{PM} [g] doivent être calculées avec l'équation suivante:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{r_s \cdot 1000} \qquad \text{(A.8-43)}$$

Où:

m_f = masse de particules prélevée sur tout le cycle [mg]

r_s = taux de prélèvement moyen sur tout le cycle d'essai [-]

avec:

$$r_s = \frac{m_{se}}{m_{ew}} \cdot \frac{m_{sep}}{m_{sed}} \qquad \text{(A.8-44)}$$

Où:

m_{se} = masse de l'échantillon de gaz d'échappement bruts sur l'ensemble du cycle [kg]

m_{ew} = masse totale des gaz d'échappement bruts sur l'ensemble du cycle [kg]

m_{sep} = masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte de particules [kg]

m_{sed} = masse de gaz d'échappement dilués traversant le tunnel de dilution [kg].

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

A.8.3.5.1.1.2 Calcul basé sur le taux de dilution

Les émissions de particules sur le cycle m_{PM} [g] doivent être calculées à l'aide de la formule suivante:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot \frac{m_{edf}}{1000} \qquad \text{(A.8-45)}$$

Où:

m_f = masse des particules prélevées sur le cycle [mg]

m_{sep} = masse des gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte des particules [kg]

m_{edf} = masse des gaz d'échappement dilués équivalente sur le cycle [kg].

La masse totale de gaz d'échappement dilués équivalente sur le cycle m_{edf} [kg] doit être déterminée de la manière suivante:

$$m_{edf} = \frac{1}{f} \cdot \sum_{i=1}^{N} q_{medf,i} \qquad \text{(A.8-46)}$$

$$q_{medf,i} = q_{mew,i} \cdot r_{d,i} \qquad \text{(A.8-47)}$$

$$r_{d,i} = \frac{q_{mdew,i}}{q_{mdew,i} - q_{mdw,i}} \qquad \text{(A.8-48)}$$

Où:

$q_{medf,i}$ = débit massique équivalent instantané de gaz d'échappement dilués [kg/s]

$q_{mew,i}$ = débit massique de gaz d'échappement en conditions humides [kg/s]

$r_{d,i}$ = taux de dilution instantané [-]

$q_{mdew,i}$ = débit massique instantané de gaz d'échappement dilués en conditions humides [kg/s]

$q_{mdw,i}$ = taux de débit massique instantané d'air de dilution [kg/s]

f = taux d'échantillonnage des données [Hz]

N = nombre de mesures [-].

A.8.3.5.1.2 Système à dilution du flux total

La masse d'émissions doit être calculée de la manière suivante:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot \frac{m_{ed}}{1\,000} \qquad \text{(A.8-49)}$$

Où:

m_f = masse des particules collectées sur le cycle [mg]

m_{sep} = masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte des particules [kg]

m_{ed} = masse de gaz d'échappement dilués sur l'ensemble du cycle [kg]

avec

$$m_{sep} = m_{set} - m_{ssd} \qquad \text{(A.8-50)}$$

Où:

m_{set} = masse de gaz d'échappement doublement dilués traversant les filtres à particules [kg]

m_{ssd} = masse d'air de dilution secondaire [kg].

A.8.3.5.1.3 Correction pour concentrations ambiantes

La masse de particules $m_{PM,c}$ [g] peut être corrigée des concentrations ambiantes de la manière suivante:

$$m_{PM,c} = \left\{ \frac{m_f}{m_{sep}} - \left[\frac{m_b}{m_{sd}} \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) \right] \right\} \cdot \frac{m_{ed}}{1\,000} \qquad \text{(A.8-51)}$$

Où:

m_f = masse de particules collectées sur le cycle [mg]

m_{sep} = masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte des particules [kg]

m_{sd} = masse d'air de dilution prélevée par l'échantillonneur de particules ambiantes [kg]

m_b = masse de particules ambiantes collectées provenant de l'air de dilution [mg]

m_{ed} = masse de gaz d'échappement dilués sur l'ensemble du cycle [kg]

D = facteur de dilution (voir l'équation (A.8-29) du paragraphe A.8.3.2.2) [-].

A.8.3.5.2 Calcul pour les cycles en conditions stationnaires à modes discrets

A.8.3.5.2.1 Système de dilution

Tous les calculs seront fondés sur les valeurs moyennes des modes individuels *i* pendant la période de prélèvement.

a) Pour la dilution du flux partiel, le débit massique équivalent des gaz d'échappement doit être déterminé au moyen du système de mesure du débit montré à la figure 9.2:

$$q_{medf} = q_{mew} \cdot r_d \qquad \text{(A.8-52)}$$

$$r_d = \frac{q_{mdew}}{q_{mdew} - q_{mdw}} \qquad \text{(A.8-53)}$$

Où:

q_{medf} = débit massique équivalent de gaz d'échappement dilués [kg/s]

q_{mew} = débit massique de gaz d'échappement en conditions humides [kg/s]

r_d = taux de dilution [-]

q_{mdew} = débit massique de gaz d'échappement dilués en conditions humides [kg/s]

q_{mdw} = débit massique d'air de dilution [kg/s];

b) Pour les systèmes de dilution du flux total q_{mdew} est utilisé en tant que q_{medf}.

A.8.3.5.2.2 Calcul du débit massique de particules

Le débit massique d'émissions de particules sur l'ensemble du cycle q_{mPM} [g/h] est calculé de la manière suivante:

a) Pour la méthode à filtre unique

$$q_{m\mathrm{PM}} = \frac{m_{\mathrm{f}}}{m_{\mathrm{sep}}} \cdot \overline{q_{m\mathrm{edf}}} \cdot \frac{3\,600}{1\,000} \qquad \text{(A.8-54)}$$

$$\overline{q_{m\mathrm{edf}}} = \sum_{i=1}^{\mathrm{N}} q_{m\mathrm{edf}i} \cdot WF_i \qquad \text{(A.8-55)}$$

$$m_{\mathrm{sep}} = \sum_{i=1}^{N} m_{\mathrm{sep}i} \qquad \text{(A.8-56)}$$

Où:

$q_{m\mathrm{PM}}$ = débit massique de particules [g/h]

m_{f} = masse des particules prélevées sur le cycle [mg]

$\overline{q_{m\mathrm{edf}}}$ = débit massique moyen équivalent de gaz d'échappement dilués en conditions humides [kg/s]

$q_{m\mathrm{edf}i}$ = débit massique équivalent de gaz d'échappement dilués en conditions humides au mode *i* [kg/s]

WF_i = facteur de pondération pour le mode *i* [-]

m_{sep} = masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte de particules [kg]

$m_{\mathrm{sep}i}$ = masse d'échantillon de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte de particules sur le mode *i* [kg]

N = nombre de mesures [-];

b) Pour la méthode à filtres multiples

$$q_{m\mathrm{PM}i} = \frac{m_{\mathrm{f}i}}{m_{\mathrm{sep}i}} \cdot \overline{q_{m\mathrm{edf}i}} \cdot \frac{3\,600}{1\,000} \qquad \text{(A.8-57)}$$

Où:

$q_{m\mathrm{PM}i}$ = débit massique de particules pour le mode *i* [g/s]

$m_{\mathrm{f}i}$ = masse des particules collectées sur le mode *i* [mg]

$q_{m\mathrm{edf}i}$ = débit massique équivalent de gaz d'échappement dilués en conditions humides sur le mode *i* [kg/s]

$m_{\mathrm{sep}i}$ = masse d'échantillon de gaz d'échappement dilués ayant traversé le filtre à particules sur le mode *i* [kg];

La masse MP est déterminée sur l'ensemble du cycle par sommation des valeurs moyennes des modes individuels *i* pendant la période de prélèvement.

Le débit massique $q_{m\mathrm{PM}}$ [g/h] de particules peut être corrigé des concentrations ambiantes de la manière suivante:

c) Pour la méthode à filtre unique

$$q_{m\mathrm{PM}} = \left\{ \frac{m_{\mathrm{f}}}{m_{\mathrm{sep}}} - \left[\frac{m_{\mathrm{f,d}}}{m_{\mathrm{d}}} \cdot \sum_{i=1}^{N} \left(1 - \frac{1}{D_i} \right) \cdot WF_i \right] \right\} \cdot \frac{q_{m\mathrm{edf}}}{1\,000} \qquad \text{(A.8-58)}$$

d) Pour la méthode à filtres multiples

$$q_{m\mathrm{PM}} = \left\{ \frac{m_{\mathrm{f}i}}{m_{\mathrm{sep}i}} - \left[\frac{m_{\mathrm{f,d}}}{m_{\mathrm{d}}} \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) \right] \right\} \cdot \frac{q_{m\mathrm{edf}i}}{1\,000} \qquad \text{(A.8-59)}$$

Où:

$q_{m\mathrm{PM}}$ = débit massique de particules [g/h]

WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-]

m_{f} = masse de particules collectées [mg]

$m_{\mathrm{f}i}$ = masse de particules collectées au mode i [mg]

$m_{\mathrm{f,d}}$ = masse de particules collectées dans l'air de dilution [mg]

$q_{m\mathrm{edf}i}$ = débit massique équivalent de gaz d'échappement dilués en conditions humides sur le mode i [kg/h]

m_{sep} = masse de gaz d'échappement dilués ayant traversé le filtre de collecte de particules [kg]

$m_{\mathrm{sep}i}$ = masse de gaz d'échappement dilués ayant traversé le filtre de collecte de particules sur le mode i [kg]

m_{d} = masse de gaz d'échappement dilués ayant traversé les filtres de collecte de particules [kg]

D = facteur de dilution (voir l'équation (A.8-29) du paragraphe A.8.3.2.2) [-].

Si l'on fait plus d'une mesure, $m_{\mathrm{f,d}}/m_{\mathrm{d}}$ sera remplacé par $\overline{m_{\mathrm{f,d}}/m_{\mathrm{d}}}$.

A.8.4 *Travail au cours des cycles et émissions spécifiques*

A.8.4.1 Émissions gazeuses

A.8.4.1.1 Cycle transitoire et cycle à modes raccordés

On se référera aux paragraphes A.8.2.1 et A.8.3.1 respectivement pour les gaz d'échappement bruts et dilués. Les valeurs résultantes pour la puissance P [kW] doivent être intégrées sur un intervalle d'essai. Le travail total W_{act} [kWh] se calcule de la manière suivante:

$$W_{\mathrm{act}} = \sum_{i=1}^{\mathrm{N}} P_i \cdot \Delta t_i = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{3\,600} \cdot \frac{1}{10^3} \frac{2 \cdot \pi}{60} \sum_{i=1}^{\mathrm{N}} (n_i \cdot T_i) \qquad \text{(A.8-60)}$$

Où:

P_i = puissance instantanée du moteur [kW]

n_i = régime instantané du moteur [rpm]

T_i = couple instantané du moteur [Nm]

W_{act} = travail réel au cours du cycle [kWh]

f = taux d'échantillonnage des données [Hz]

N = nombre de mesures [-].

Les émissions spécifiques e_{gas} [g/kWh] doivent être calculées de la manière suivante selon le type du cycle d'essai:

$$e_{\text{gas}} = \frac{m_{\text{gas}}}{W_{\text{act}}} \qquad \text{(A.8-61)}$$

Où:

m_{gas} = masse totale d'émissions [g/essai]

W_{act} = travail réel au cours du cycle [kWh].

Dans le cas d'un cycle transitoire, le résultat de l'essai final e_{gas} [g/kWh] doit être une moyenne pondérée entre l'essai avec départ à froid et l'essai avec départ à chaud en utilisant:

$$e_{\text{gas}} = \frac{(0{,}1 \cdot m_{\text{cold}}) + (0{,}9 \cdot m_{\text{hot}})}{(0{,}1 \cdot W_{\text{act,cold}}) + (0{,}9 \cdot W_{\text{act,hot}})} \qquad \text{(A.8-62)}$$

En cas de régénération périodique (peu fréquente) (par. 6.6.2), les émissions spécifiques doivent être corrigées avec le facteur d'ajustement k_{r} (équation (6-4)) ou avec deux paires distinctes de facteurs additifs d'ajustement k_{Ur} (facteur vers le haut pour l'équation (6-5)) et k_{Dr} (facteur vers le bas pour l'équation (6-6)).

A.8.4.1.2 Cycle en conditions stationnaires à modes discrets

Les émissions spécifiques e_{gas} [g/kWh] se calculent de la manière suivante:

$$e_{\text{gas}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} \left(\dot{q}_{m\text{gas}i} \cdot WF_i \right)}{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} \left(P_i \cdot WF_i \right)} \qquad \text{(A.8-63)}$$

Où:

$q_{m\text{gas},i}$ = débit massique moyen d'émissions pour le mode i [g/h]

P_i = puissance du moteur pour le mode i [kW] avec $P_i = P_{\text{max}i} + P_{\text{aux}i}$ (voir les paragraphes 7.7.1.2 et 6.3)

WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-].

A.8.4.2 Émissions de particules

A.8.4.2.1 Cycle transitoire et cycle à modes raccordés

Les émissions spécifiques particulaires doivent être calculées avec la formule (A.8-61) où e_{gas} [g/kWh] et m_{gas} [g/essai] sont remplacés respectivement par e_{PM} [g/kWh] et m_{PM} [g/essai]:

$$e_{\text{PM}} = \frac{m_{\text{PM}}}{W_{\text{act}}} \qquad \text{(A.8-64)}$$

Où:

m_{PM} = masse totale d'émissions de particules, calculée conformément au paragraphe A.8.3.4 [g/essai]

W_{act} = travail réel au cours du cycle [kWh].

Les émissions sur le cycle transitoire composite (c'est-à-dire avec phase froide et phase chaude) doivent être calculées comme indiqué au paragraphe A.8.4.1.

A.8.4.2.2 Cycle en conditions stationnaires à modes discrets

Les émissions spécifiques de particules e_{PM} [g/kWh] doivent être calculées de la manière suivante:

a) Pour la méthode à filtre unique

$$e_{PM} = \frac{q_{mPM}}{\sum_{i=1}^{N}\left(P_i \cdot WF_i\right)} \qquad \text{(A.8-65)}$$

Où:

P_i = puissance du moteur pour le mode i [kW] avec $P_i = P_{maxi} + P_{auxi}$ (voir les paragraphes 7.7.1.2 et 6.3)

WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-]

q_{mPM} = débit massique de particules [g/h];

b) Pour la méthode à filtres multiples

$$e_{PM} = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(q_{mPMi} \cdot WF_i\right)}{\sum_{i=1}^{N}\left(P_i \cdot WF_i\right)} \qquad \text{(A.8-66)}$$

Où:

P_i = puissance du moteur pour le mode i [kW] avec $P_i = P_{maxi} + P_{auxi}$ (voir les paragraphes 7.7.1.2 et 6.3)

WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-]

q_{mPMi} = débit massique de particules au mode i [g/h].

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

$$WF_{ei} = \frac{m_{sepi} \cdot \overline{q_{medf}}}{m_{sep} \cdot q_{medfi}} \qquad \text{(A.8-67)}$$

Où:

m_{sepi} = masse de gaz d'échappement dilués ayant traversé les filtres de collecte des particules au mode i [kg]

$\overline{q_{medf}}$ = débit massique moyen équivalent de gaz d'échappement dilués [kg/s]

q_{medfi} = débit équivalent de gaz d'échappement dilués au mode i [kg/s]

m_{sep} = masse des gaz d'échappement dilués ayant traversé les filtres de collecte des particules [kg].

La valeur des facteurs de pondération effectifs ne doit pas s'écarter de plus de ±0,005 (valeur absolue) des facteurs de pondération indiqués dans l'annexe A.1.

Annexe A.8 − Appendice 1

Étalonnage du débit de gaz d'échappement dilués (CVS)

A.8.5 Le système CVS doit être étalonné au moyen d'un débitmètre précis et d'un dispositif restricteur. Le débit traversant le système doit être mesuré à différents réglages de restriction et les paramètres de contrôle du système mesurés et mis en relation avec le débit.

On peut utiliser divers types de débitmètre, par exemple un venturi étalonné, un débitmètre laminaire étalonné ou un débitmètre à turbine.

A.8.5.1 Pompe volumétrique (PDP)

Tous les paramètres relatifs à la pompe doivent être mesurés simultanément, en même temps que les paramètres en rapport avec un venturi d'étalonnage qui est branché en série avec la pompe. Le débit calculé (en m^3/s à l'entrée de la pompe, à la pression et la température absolues) doit être tracé en fonction d'une fonction de corrélation qui est la valeur d'une combinaison spécifique de paramètres de la pompe. Il faut déterminer l'équation linéaire qui met en relation le débit de la pompe et la fonction de corrélation. Si un système CVS a plusieurs gammes de vitesse, l'étalonnage doit être effectué pour chaque gamme utilisée.

La température doit être stable pendant toute la durée de l'étalonnage.

On doit veiller à maintenir les fuites dans les raccords et les conduites entre le venturi d'étalonnage et la pompe CVS à moins de 0,3 % du point de débit le plus bas (restriction la plus élevée et point de vitesse PDP la plus basse).

Le débit d'air (q_{VCVS}) à chaque réglage de restriction (6 réglages au moins) doit être calculé en m^3/s normaux à partir des données du débitmètre selon la méthode prescrite par le fabricant. Le débit d'air doit ensuite être converti en débit de la pompe (V_0) en m^3/tr à la température et la pression absolues à l'entrée de la pompe, et cela de la manière suivante:

$$V_0 = \frac{q_{VCVS}}{n} \cdot \frac{T}{273} \cdot \frac{101{,}3}{p_p} \qquad \text{(A.8-68)}$$

Où:

q_{VCVS} = débit d'air aux conditions normales (101,3 kPa, 273 K) [m^3/s]

T = température à l'entrée de la pompe [K]

p_p = pression absolue à l'entrée de la pompe [kPa]

n = vitesse de rotation de la pompe [tr/s].

Pour tenir compte de l'interaction des variations de pression à la pompe et du taux de glissement de celle-ci, il convient de calculer la fonction de corrélation (X_0) [s/tr] entre la vitesse de la pompe, le différentiel de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe et la pression de sortie absolue de la pompe en procédant de la manière suivante:

$$X_0 = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_p}{p_p}} \qquad \text{(A.8-69)}$$

Où:

Δp_p = différence de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe [kPa]

p_p = pression de sortie absolue à la sortie de la pompe [kPa]

n = vitesse de rotation de la pompe [tr/s].

Il convient d'effectuer un ajustement linéaire par les moindres carrés pour établir l'équation d'étalonnage, de la manière suivante:

$$V_0 = D_0 - m \cdot X_0 \qquad \text{(A.8-70)}$$

avec D_0 [m^3/tr] et m [m^3/s] respectivement comme ordonnée à l'origine et comme pente définissant la droite de régression.

Pour un système CVS à plusieurs vitesses, les courbes d'étalonnage obtenues pour les différentes gammes de débit des pompes sont à peu près parallèles, et les valeurs d'ordonnée à l'origine (D_0) doivent augmenter à mesure que la gamme de débit de la pompe diminue.

Les valeurs calculées à partir de l'équation doivent rester dans les limites de ±0,5 % de la valeur mesurée de V_0. Les valeurs de m varieront d'une pompe à une autre. La présence de particules après un certain temps cause une diminution du taux de glissement de la pompe, comme le montrent les valeurs plus faibles de m. Pour cette raison, on devra faire l'étalonnage au démarrage de la pompe, après une maintenance majeure ou si une vérification de l'ensemble du système fait apparaître un changement du taux de glissement.

A.8.5.2 Venturi à débit critique (CFV)

L'étalonnage du CFV est fondé sur l'équation du débit pour un venturi critique. Le débit de gaz est une fonction de la pression et de la température d'entrée du venturi. Pour déterminer la plage de débit critique, on trace la courbe de K_V en fonction de la pression d'entrée du venturi. Pour un débit critique (bloqué), K_V doit avoir une valeur relativement constante. À mesure que la pression diminue (la dépression augmente), le venturi cesse d'être «bloqué» et K_V diminue, ce qui indique que le CFV est utilisé hors de la plage permise.

Le débit d'air (q_{VCVS}) à chaque réglage de restriction (minimum 8) doit être calculé en m^3/s normaux à partir des données du débitmètre selon la méthode prescrite par le fabricant. Le coefficient d'étalonnage K_V $\left[\left(\sqrt{\mathrm{K}} \cdot \mathrm{m}^4 \cdot \mathrm{s}\right)/\mathrm{kg}\right]$ est calculé à partir des données d'étalonnage pour chaque réglage, de la manière suivante:

$$K_V = \frac{q_{VCVS} \cdot \sqrt{T}}{p_p} \qquad \text{(A.8-71)}$$

Où:

q_{VCVS} = débit d'air en conditions normales (101,3 kPa, 273 K) [m^3/s]

T = température à l'entrée du venturi [K]

p_p = pression absolue à l'entrée du venturi [kPa].

La valeur K_V moyenne et l'écart type doivent être calculés. L'écart type ne doit pas dépasser ±0,3 % de la moyenne de K_V.

A.8.5.3 Venturi subsonique (SSV)

L'étalonnage du SSV est basé sur l'équation du débit d'un venturi subsonique. Le débit de gaz est fonction de la pression à l'entrée et de la température et de la perte de pression entre l'entrée du SSV et le col, comme le montre l'équation (A.8-41).

Le débit d'air (q_{VSSV}) à chaque réglage de restriction (minimum 16 réglages) doit être calculé en m^3/s normaux à partir des données du débitmètre avec la méthode préconisée par le fabricant. Le coefficient de décharge doit être calculé à partir des données d'étalonnage pour chaque réglage, et cela de la manière suivante:

$$C_d = \frac{q_{VSSV}}{d_V^{\,2}\, p_p \sqrt{\left[\frac{1}{T_{in,V}}\left(r_p^{\,1,4286} - r_p^{\,1,7143}\right)\left(\frac{1}{1 - r_D^{\,4} r_p^{\,1,4286}}\right)\right]}} \qquad \text{(A.8-72)}$$

Où:

q_{VSSV} = débit d'air en conditions normales (101,3 kPa, 273 K) [m^3/s]

$T_{in,V}$ = température à l'entrée du venturi [K]

d_V = diamètre du col du SSV [mm]

r_p = rapport de la pression statique absolue entre le col et l'entrée du SSV = $1 - \Delta p / p_p$ [-]

r_D = rapport du diamètre du col du SSV, d_V, à celui de la tuyauterie d'entrée D [-].

Pour déterminer la plage de débit subsonique, on tracera C_d comme une fonction du nombre de Reynolds, *Re*, au col du SSV. Le *Re* au col du SSV est calculé au moyen de l'équation suivante:

$$Re = A_1 \cdot \frac{q_{VSSV}}{d_V \cdot \mu} \qquad \text{(A.8-73)}$$

avec

$$\mu = \frac{b \times T^{1,5}}{S + T} \qquad \text{(A.8-74)}$$

Où:

A_1 = 27,43831 constante de conversion pour $\left(\frac{1}{m^3}\right)\left(\frac{min}{s}\right)\left(\frac{mm}{m}\right)$

q_{VSSV} = débit d'air en conditions normales (101,3 kPa, 273 K) [m^3/s]

d_V = diamètre du col du SSV [mm]

μ = viscosité absolue ou dynamique du gaz [kg/ms]

b = $1,458 \times 10^6$ (constante empirique) [$kg/msK^{0,5}$]

S = 110,4 (constante empirique) [K].

Étant donné que q_{VSSV} est un facteur d'entrée dans l'équation *Re*, on doit commencer les calculs par une approximation initiale pour la valeur q_{VSSV} ou C_d du venturi d'étalonnage, et procéder par itération jusqu'à ce que q_{VSSV} converge. La méthode de convergence doit être précise à 0,1 % de point ou mieux.

Pour un minimum de 16 points dans la région du débit subsonique, les valeurs calculées de C_d à partir de l'équation d'ajustement de la courbe d'étalonnage résultante ne doivent pas s'écarter de plus de ±0,5 % de la valeur C_d mesurée pour chaque point d'étalonnage.

Annexe A.8 − Appendice 2

Correction de la dérive

A.8.6 Les calculs du présent appendice sont à effectuer conformément aux descriptions données dans l'appendice 2 à l'annexe A.7.

$$c_{i\text{driftcor}} = c_{\text{refzero}} + \left(c_{\text{refspan}} - c_{\text{refzero}}\right)\frac{2c_i - \left(c_{\text{prezero}} + c_{\text{postzero}}\right)}{\left(c_{\text{prespan}} + c_{\text{postspan}}\right) - \left(c_{\text{prezero}} + c_{\text{postzero}}\right)} \quad \text{(A.8-75)}$$

Où:

$c_{i\text{driftcor}}$ = concentration corrigée pour la dérive [ppm]

c_{refzero} = concentration de référence pour le gaz zéro, qui est généralement nulle sauf autre valeur connue [ppm]

c_{refspan} = concentration de référence du gaz de calibrage [ppm]

c_{prespan} = réponse de l'analyseur de gaz dans l'intervalle préessai à la concentration de gaz de calibrage [ppm]

c_{postspan} = réponse de l'analyseur de gaz dans l'intervalle postessai à la concentration de gaz de calibrage [ppm]

c_i ou $\overline{c}$ = concentration enregistrée, c'est-à-dire mesurée pendant l'essai, avant correction de la dérive [ppm]

c_{prezero} = réponse de l'analyseur de gaz dans l'intervalle préessai à la concentration de gaz de zéro [ppm]

c_{postzero} = réponse de l'analyseur de gaz dans l'intervalle postessai à la concentration de gaz de zéro [ppm]].