



Commission économique pour l'Europe**Comité des transports intérieurs****Forum mondial de l'harmonisation des Règlements
concernant les véhicules****Cent quarante-neuvième session**

Genève, 10-13 novembre 2009

Point 14.1 de l'ordre du jour provisoire

**Examen et mise aux voix de projets de règlements techniques
mondiaux et/ou de projets d'amendements à des règlements
techniques mondiaux existants****Proposition de règlement technique mondial concernant les
engins mobiles non routiers****Document d'accompagnement complétant le règlement technique
mondial concernant la procédure d'essai applicable aux moteurs à
allumage par compression destinés aux tracteurs agricoles et forestiers,
ainsi qu'aux engins mobiles non routiers, en ce qui concerne les
émissions de polluants provenant du moteur****Communication du Groupe de travail de la pollution et de l'énergie***

Le texte reproduit ci-dessous a été adopté par le Groupe de travail de la pollution et de l'énergie (GRPE) à sa cinquante-huitième session. Il est basé sur le document informel n° GRPE-58-04 et reprend en très grande partie le texte du projet de règlement technique mondial (ECE/TRANS/WP.29/2009/118), mais il le complète par des commentaires et informations de base, qui sont présentés en caractères gras. Ce document est soumis au Forum mondial de l'harmonisation des Règlements concernant les véhicules (WP.29) et au Comité exécutif (AC.3) pour examen (ECE/TRANS/WP.29/GRPE/58, par. 24).

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

I. Raisons de l'établissement d'un document d'accompagnement

1. Le présent document d'accompagnement est destiné à compléter le Règlement technique mondial (RTM) sur les émissions des engins mobiles non routiers (EMNR). Il rassemble le texte légal du RTM et les commentaires et instructions formulés à ce sujet par les experts du Comité de rédaction du RTM sur les EMNR. Il a pour objet de mieux faire comprendre le Règlement et de répondre aux questions qui seront vraisemblablement posées par les utilisateurs du RTM. Dans ce document on explique et on commente certains des aspects ayant trait à l'application de la procédure d'essai. Afin de faciliter la lecture, on a regroupé dans le document d'accompagnement le texte légal et les recommandations s'y appliquant (présentées en texte gras), de manière à former un document autonome.
2. Les motivations ayant incité à établir un document d'accompagnement et le format appliqué s'inspirent du Guide relatif à la mise en application des directives européennes conformes à la nouvelle approche. De fait, c'est la Commission européenne elle-même qui avait lancé l'idée d'un tel document lors de la réunion de septembre 2005 à Ann Arbor, idée qui avait été acceptée par le Comité de rédaction. Les propositions concernant la formulation d'un tel type de document et le format à lui donner ont par la suite été soumises et approuvées par le GRPE et, en juin 2007, par l'AC.3 (ECE/TRANS/WP.29/2007/43).
3. Il importe de noter que seul le texte du RTM a valeur légale. Le document d'accompagnement par contre n'en a pas, mais son objet est de faciliter l'utilisation du RTM et d'aider toutes les parties intéressées à l'appliquer. Comme il a été décidé par le GRPE en janvier 2009, le document d'accompagnement n'a pas à être soumis à la procédure administrative s'appliquant au texte légal.
4. Le présent document sera disponible sur le site Web du WP.29 dans le «Registre des règlements techniques mondiaux» sous la rubrique «Additifs au registre mondial (règlements techniques mondiaux)» sous le titre «Règlement technique mondial n° xx (EMNR)» en tant que «appendice au RTM n° xx – document d'accompagnement» comme proposé et adopté par l'AC.3 en juin 2007.

II. Document d'accompagnement complétant le 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 d'une manière 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. Champ d'application

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 T¹;
- 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 absolue statique en conditions humides. 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»;

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).

- 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 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 post-traitement 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 % ($E_{\text{CH}_4} = 0$) et pour les autres hydrocarbures représentés par l'éthane elle est de 100 % ($E_{\text{C}_2\text{H}_6} = 100$ %). Pour mesurer efficacement les HCNM, il convient de déterminer les deux efficacités et de les utiliser pour le calcul du débit massique d'émissions pour le méthane et l'éthane. Voir aussi sous «fraction de pénétration»;
- 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 (t_{10}), la sonde de prélèvement étant par définition le point de référence. Pour les constituants gazeux, il s'agit du temps de transport du constituant mesuré entre la sonde de prélèvement et le détecteur (voir fig. 3.1);
- 3.1.13 Par «système réducteur de NO_x» on entend un système de post-traitement 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 spécifié 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 calibré 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 toute 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 au niveau des 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 diesel), le méthane et les oxydes d'azote (exprimés sous la forme de leurs équivalents de dioxyde d'azote (NO₂));

- 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 fondées 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 (plus grande que ou égale à zéro) lorsqu'un régulateur gère le régime moteur. Pour les moteurs qui en sont dépourvus, le ralenti est le régime annoncé par le constructeur comme étant le régime minimal possible en charge minimale. Par ralenti à chaud on entend le régime de ralenti du moteur à chaud;
- 3.1.32 Par «régime d'essai intermédiaire» on entend celui qui satisfait aux conditions suivantes:
- Dans le cas des moteurs conçus pour fonctionner sur une plage de régimes couvrant la courbe de couple à pleine charge, le régime intermédiaire sera considéré comme étant le régime de couple maximal annoncé s'il se situe entre 60 et 75 % du régime nominal;
 - Si le régime de couple maximal annoncé est inférieur à 60 % du régime nominal, le régime intermédiaire sera 60 % du régime nominal;
 - Si le régime de couple maximal annoncé est supérieur à 75 % du régime nominal, le régime intermédiaire sera 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. **Ainsi par exemple, si une concentration de gaz est mesurée en continu à partir des gaz d'échappement bruts d'un moteur, la concentration moyenne pondérée en fonction du débit est la somme des produits de chaque concentration**

enregistrée par le débit respectif de gaz d'échappement, divisée par la somme des débits enregistrés. À titre d'autre exemple, la concentration dans un sac provenant d'un système CVS est identique à la concentration moyenne pondérée en fonction du débit parce que le système CVS en lui-même applique une pondération en fonction du débit à la concentration dans le sac;

- 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 d'émissions de gaz de carter» on entend tout flux de gaz provenant du carter qui est envoyé directement dans l'atmosphère. **Les émissions de gaz de carter ne sont pas des «rejets d'émissions de gaz de carter» si le moteur est conçu pour que toutes les émissions provenant du carter soient toujours renvoyées dans le moteur (par exemple dans le système d'admission du moteur ou dans un système de traitement aval) de telle manière que les émissions du carter, ou leurs produits, ne parviennent à l'environnement qu'après être toutes passées par le système d'échappement du moteur;**
- 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 un signal d'un régulateur. **La puissance du moteur P est le produit du régime du moteur, n , et du couple du moteur, T ;**
- 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 NO₂, de telle sorte qu'on utilise une masse molaire effective pour tous les oxydes d'azote équivalents à celui du NO₂;
- 3.1.42 Par «moteur-parent» 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 post-traitement 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 en flux partiel» on entend une méthode consistant 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 collecte des particules;

- 3.1.46 Par «matières particulaires (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_{CH_4} , de 1 000 (autrement dit une efficacité de conversion du méthane E_{CH_4} de 0), et un facteur de pénétration pour tous les autres hydrocarbures de 0,000, comme représenté par $PF_{C_2H_6}$ (c'est-à-dire une efficacité de conversion de l'éthane $E_{C_2H_6}$ de 1). La relation est: $PF_{CH_4} = 1 - E_{CH_4}$ et $PF_{C_2H_6} = 1 - E_E$;
- 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 post-traitement des gaz d'échappement qui survient périodiquement après moins de 100 h 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 en tant que 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 post-traitement 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 un 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 de réponse 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. Ces 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 organe soit physiquement séparé;
- 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 à modes discrets, soit des essais à modes raccordés (avec rampe de transition);
- 3.1.64 Par «stechiométrique» 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 spécifiés 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 un intervalle de temps pendant lequel sont déterminées les émissions spécifiques au frein. Si plusieurs intervalles d'essai surviennent sur un cycle d'essai, la régulation peut spécifier des calculs additionnels qui pondèrent et combinent les résultats pour aboutir à des valeurs composites permettant des comparaisons avec les limites d'émission 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;

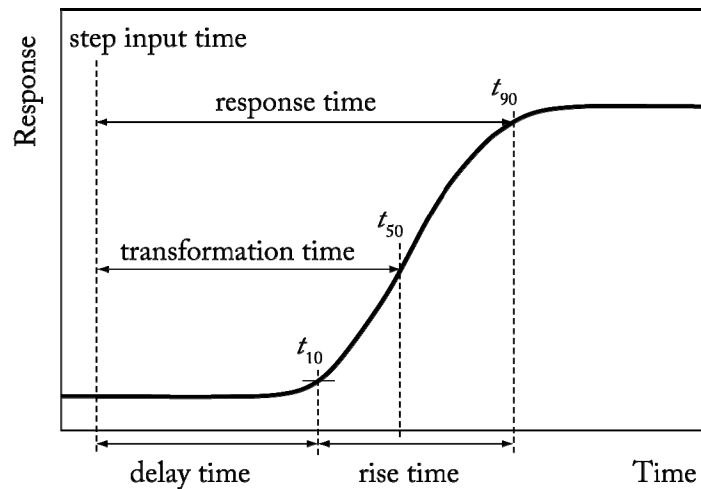


Figure 3.1

Définitions des temps de réponse: temps de retard (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 gazeuses 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.

Par «changement de gamme automatique», une fonction qui commande automatiquement le passage de la résolution numérique de l'analyseur à une échelle supérieure de concentration lorsque la concentration approche de la valeur 100 % de l'échelle momentanée de l'analyseur. Par changement de gamme automatique on n'entend pas la modification du gain d'un amplificateur analogique dans un analyseur;

Par «dispositif auxiliaire antipollution», on entend tout élément du véhicule qui détecte la température, la vitesse du véhicule, le régime du moteur, le rapport de transmission ou tout autre paramètre afin d'activer, de moduler, de retarder ou de désactiver le fonctionnement de toute partie du système antipollution;

Par «norme reconnue internationalement traçable», on entend une norme internationale qui inclut, mais non limitativement, la liste de normes présentée dans le tableau ci-après:

*Normes internationalement
reconnues*

Adresses pour l'obtention d'exemplaires

American Society for Testing and Materials (ASTM)	American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Dr., P.O. Box C700, West Conshohocken, PA 19428 or www.astm.com
Organisation internationale de normalisation (ISO)	Organisation internationale de normalisation, case postale 56, CH-1211 Genève 20, Suisse, ou www.iso.org
National Institute of Standards and Technology (NIST)	Government Printing Office, Washington, DC 20402 or download them free from the Internet at www.nist.gov
Society of Automotive Engineering (SAE)	Society of Automotive Engineers, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096 or www.sae.org
Institute of Petroleum	Energy Institute, 61 New Cavendish Street, London, W1G 7AR, UK, +44 (0)20 7467 7100 or www.energyinst.org.uk
The National Metrology Institute of Japan (NMIJ)	AIST Tsukuba Headquarters, 1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-8568, Japan or http://www.nmij.jp/english/info/
Japanese Industrial Standards (JIS)	Japanese Standards Association (JSA), 4-1-12 Akasaka, Minato-ku, 107-8440, Japan or http://www.jsa.or.jp/default_english.asp

Par «**procédures**» on entend tous les aspects des essais des moteurs, y compris les spécifications de l'équipement, les étalonnages, les calculs et autres protocoles et spécifications nécessaires pour mesurer les émissions, sauf autre mention.

3.2

Symboles généraux²

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 $\mu\text{mol/mol} = \text{ppm}$)
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 l'événement de régénération en termes de fraction des essais au cours desquels se produit la régénération
f_a	-	Facteur atmosphérique de laboratoire
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

² Des symboles spécifiques figurent dans les annexes.

Symbole	Unité	Terme
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 (spécifiées 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
RF	-	Facteur de réponse
r_d	-	Taux de dilution
r^2	-	Coefficient de détermination
ρ	kg/m ³	Densité
σ	-	Écart type
S	kW	Réglage du dynamomètre

Symbole	Unité	Terme
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>i</i>	Un 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 ₂ H ₆	Éthane
C ₃ H ₈	Propane
CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	Dioxyde de carbone
DOP	Di-octylphthalate
H	Hydrogène atomique
H ₂	Hydrogène moléculaire
HC	Hydrocarbures
H ₂ O	Eau
He	Hélium

MP	Particules
N ₂	Azote moléculaire
NMHC	Hydrocarbures non méthaniques
NO _x	Oxydes d'azote
NO	Oxyde nitrique
NO ₂	Dioxyde d'azote
S	Soufre
THC	Hydrocarbures totaux

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
DeNO _x	Système de traitement aval des NO _x
DF	Facteur de détérioration
ECM	Module électronique de commande
EFC	Régulation électronique de débit
EGR	Recirculation des gaz d'échappement
FID	Détecteur à ionisation de flamme
GC	Chromatographie en phase gazeuse
HCLD	Détecteur à chimiluminescence chauffé
HFID	Détecteur à ionisation de flamme chauffé
IBP	Point d'ébullition initial
ISO	Organisation internationale de normalisation
LPG	Gaz de pétrole liquéfié
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 du 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, sur 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 particuliers

Les polluants sont représentés par:

- a) Les oxydes d'azote (NO_x);
- b) Les hydrocarbures, qui peuvent être exprimés de la manière suivante:
 - i) hydrocarbures totaux, HC ou HCT;
 - ii) hydrocarbures non méthaniques, HCNM;
- c) Les matières particulaires MP;
- d) Le monoxyde de carbone CO.

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

Les émissions doivent être déterminées en fonction des cycles d'utilisation (conditions stationnaires et/ou régime transitoire), comme indiqué au paragraphe 7. Les systèmes de mesure satisferont aux essais d'étalonnage et d'efficacité du paragraphe 8, avec les équipements de mesure prescrits au paragraphe 9. **L'annexe 9 décrit les systèmes d'analyse recommandés pour les polluants gazeux et les systèmes de prélèvement recommandés pour les particules.**

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 influencer sur les émissions. Ce facteur doit être pris en considération pour garantir que seuls les moteurs ayant des caractéristiques semblables en matière d'émissions d'échappement soient compris dans la même famille. Ces cas doivent être identifiés par le constructeur et notifiés à l'autorité

d'homologation de type 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) Autre (en F, en W, etc.).

5.2.3.2.2 Entraxe entre cylindres

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

5.2.3.3 Mode principal de refroidissement:

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

5.2.3.4 Cylindrée unitaire

Dans des limites de 85 % et 100 % pour des moteurs ayant une cylindrée unitaire $\geq 0,75 \text{ dm}^3$ de la plus forte cylindrée unitaire dans la famille.

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

- 5.2.3.5 Modes d'aspiration:
- a) Aspiration naturelle;
 - b) Suralimentation;
 - c) Suralimentation avec refroidisseur intermédiaire.
- 5.2.3.6 Types 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 recirculation 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 de moteurs à gestion électronique, le constructeur doit exposer les arguments techniques justifiant de regrouper ces moteurs dans une même famille, c'est-à-dire les raisons pour lesquelles il est prévisible que ces moteurs satisfassent aux mêmes exigences en matière d'émissions. **Ces éléments de décision peuvent être des calculs, des simulations, des estimations, une description des paramètres d'injection, des résultats d'essais, etc.**

Des exemples de paramètres commandés par la gestion électronique sont:

- a) **Point d'injection ou point d'allumage;**
- b) **Pression d'injection;**
- c) **Injections multiples;**
- d) **Pression de suralimentation;**

- e) **Géométrie variable de la turbine;**
- f) **Recyclage des gaz d'échappement (RGE).**

Si un moteur est équipé d'une régulation électronique de vitesse il n'est pas forcément nécessaire de le classer dans une autre famille que des moteurs à régulation mécanique. Ce classement séparé sera seulement justifié 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 individuelle ou combinée des dispositifs ci-après est considérée comme un critère d'appartenance à une famille de moteurs:

- a) Catalyseur d'oxydation;
- b) Système 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 parent 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 parent ou en tant que membre d'une famille dont le moteur parent est équipé du même système de traitement aval, ce moteur, lorsqu'il n'est pas équipé du système de traitement aval, ne doit pas être inclus dans la même famille.

5.2.4 Choix du moteur parent

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

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 identifiées et prises en compte dans le choix du moteur parent.

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

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:

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

Moteurs à turbocompresseur avec ou sans refroidisseur intermédiaire:

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

Les valeurs recommandées pour la pression atmosphérique sont comprises entre 80,000 et 103,325 kPa.

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 $\pm 0,5$ °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'émission. 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 spécifiées par le constructeur, le débit de réfrigérant doit être réglé de manière à obtenir une température d'air se situant à $\pm 0,5$ °C de la valeur prévue par le constructeur à la sortie du refroidisseur intermédiaire. La température doit être mesurée à l'emplacement spécifié 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 spécifie 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 spécifiés 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 une perte de pression de l'air d'admission se situant à ± 300 Pa de la valeur maximale spécifiée 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 spécifiés par le fabricant. Si le fabricant ne spécifie 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 spécifie 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 spécifiée par le fabricant en fonction de l'état du système de traitement aval (rodage/vieillessement et régénération/encrassement). Le système d'échappement doit être conforme aux prescriptions en ce qui concerne le prélèvement des gaz d'échappement énoncées au paragraphe 9.3. Il doit être

utilisé un système d'échappement du moteur ou un système de laboratoire produisant une contre-pression statique d'échappement se situant entre 80 et 100 % de la contre-pression maximale d'échappement aux valeurs de régime et de couple spécifiées par le fabricant. Si la contre-pression maximale est de 5 kPa ou moins, le point de consigne ne doit pas être inférieur à 1,0 kPa du maximum. **Ainsi par exemple, si la contre-pression maximale est de 4,5 kPa, le point de consigne ne doit pas être fixé à moins de 3,5 kPa. En outre, pour les dispositifs de traitement aval à perte de charge variable la perte de charge maximale à l'échappement doit être fixée en fonction de l'état du système de traitement aval (rodage/vieillessement et régénération/encrassage) spécifié par le fabricant.** Si le fabricant ne spécifie pas de valeurs de régime et de couple, cette 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, tels qu'ils 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 $\pm 15\%$. 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.

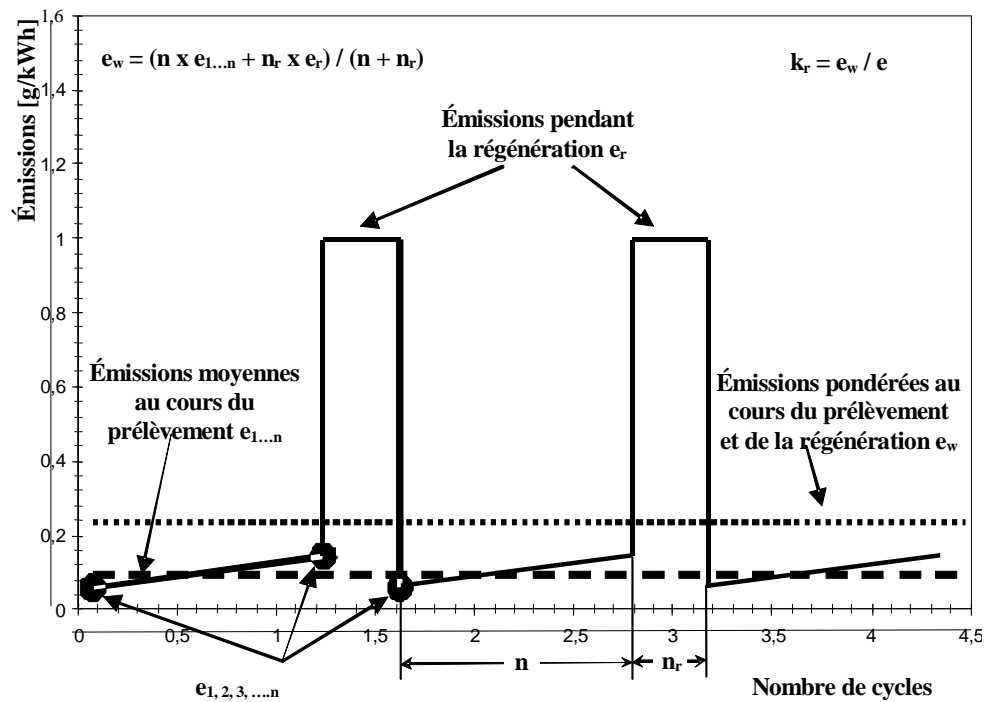


Figure 6.1

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 \bar{e}_w [g/kWh] doivent être pondérés comme suit (voir fig. 6.1):

$$\bar{e}_w = \bar{e}_r \cdot F + (1 - F) \cdot \bar{e} \quad (6-3)$$

Où:

F = fréquence de l'événement de régénération en termes de fraction des essais au cours desquels se produit la régénération [-]

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

\bar{e}_r = émissions spécifiques moyennes dans un essai dans 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:

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

Où

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

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

Les facteurs d'ajustement vers le haut sont 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 dans 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.

Exemple

Si \bar{e} est = 0,10 g/(kWh), $\bar{e}_r = 0,50$ g/(kWh) et $F = 0,1$ (c'est-à-dire que la régénération se produit une fois tous les 10 essais), on a :

$$\bar{e}_w = 0,1 \times 0,5 \text{ g/(kWh)} + (1 - 0,1) \times 0,1 \text{ g/(kWh)} = 0,14 \text{ g/(kWh)}$$

$$k_r = \frac{0,14 \text{ g/(kWh)}}{0,10 \text{ g/(kWh)}} = 1,4$$

$$k_{Ur} = 0,14 \text{ g/(kWh)} - 0,10 \text{ g/(kWh)} = 0,04 \text{ g/(kWh)}$$

$$k_{Dr} = 0,14 \text{ g/(kWh)} - 0,50 \text{ g/(kWh)} = -0,36 \text{ g/(kWh)}$$

En référence aux annexes A.7-8 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 le 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 moteur;
- 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.

Liquide de refroidissement

- a) **Les mélanges d'antigel disponibles sur le marché ou d'autres liquides de refroidissement prévus pour le moteur peuvent être employés pour l'essai;**
- b) **Pour les essais en laboratoire de moteurs à refroidissement par liquide, de l'eau avec ou sans inhibiteurs de corrosion peut être utilisée;**
- c) **Pour le liquide de refroidissement autorisé aux paragraphes a) et b) de la présente section, il peut être utilisé des inhibiteurs de corrosion et des additifs augmentant le pouvoir lubrifiant, jusqu'aux concentrations recommandées par le fabricant d'additifs.**

6.8 *Huile de graissage*

Le fabricant doit spécifier l'huile de graissage à utiliser, qui doit être représentative de l'huile de graissage disponible sur le marché; les caractéristiques de l'huile de graissage utilisée pour l'essai seront consignées 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 post-traitement 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'émission, 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 post-traitement, 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 moteur, 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.

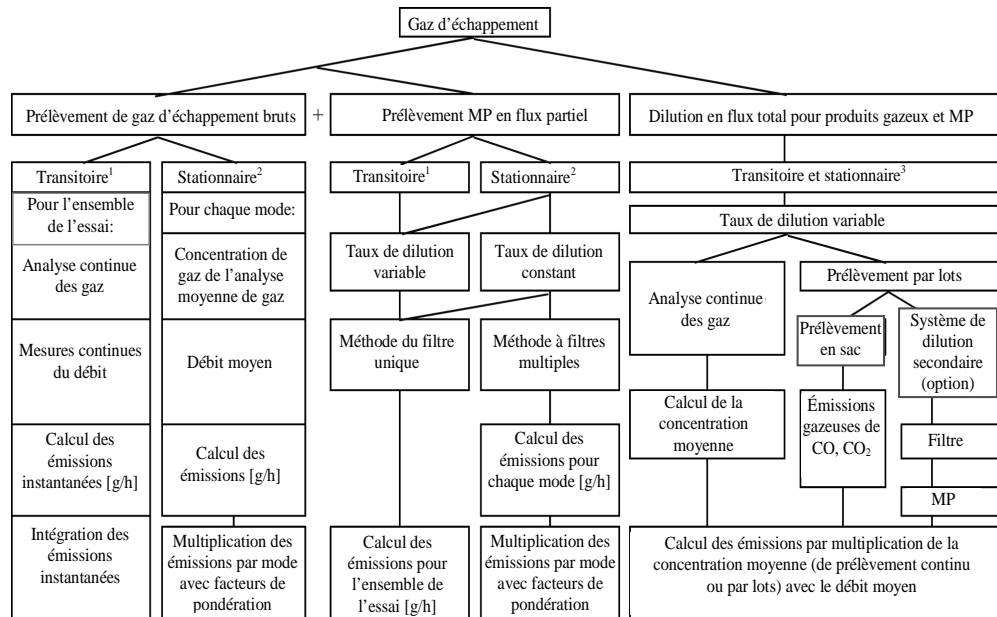
7.2.1.2 Prélèvement par lots

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 particulaires sur un filtre. En principe la méthode de calcul des émissions se fait de la manière suivante: les concentrations des échantillons par lots sont multipliées par la masse totale ou le débit 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 matières particulaires, on divise les matières particulaires 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 matières particulaires avec un prélèvement par lots et émissions gazeuses 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 à la figure 7.1: Les termes «prélèvement MP en flux partiel» s'appliquent à 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 sera 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 preconditionnés avant le départ d'une séquence d'essai, comme cela est spécifié dans les paragraphes 7.3 et 7.4. Le preconditionnement destiné à refroidir le moteur en vue d'un essai transitoire de démarrage à froid est particulièrement indiqué dans le paragraphe 7.4.2.

Exemple:

- a) **On démarre le moteur et, conformément aux règles de bonne pratique, on le fait tourner à tout régime à 100 % du couple au-dessus du couple maximum;**
- b) **Tout système de dilution doit fonctionner aux débits prévus au cours des essais. Il est recommandé de prendre des mesures pour prévenir la condensation aqueuse dans les systèmes de dilution;**
- c) **Les systèmes de prélèvement des particules doivent fonctionner aux débits prévus au cours des essais;**
- d) **Les MP doivent être prélevées pendant au moins 10 min sur un support de prélèvement quelconque;**
- e) **La séquence d'essai doit être suivie conformément aux indications du paragraphe 7.5.**

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 h suivant le lancement de chaque cycle d'essai. Les valeurs doivent être enregistrées pour correction ultérieure. Avant cette vérification, il est nécessaire de faire un contrôle des fuites et d'étalonner l'analyseur FID (détecteur à ionisation de flamme).

Le niveau de contamination dans le système de prélèvement des gaz d'échappement et des concentrations ambiantes de HC peut être vérifié conformément aux instructions qui suivent dans les 8 h suivant le lancement de chaque séquence d'essai en laboratoire. La contamination d'un système de prélèvement des émissions ambiantes de HC peut être contrôlée par mesure du contenu du dernier sac et par purge avec un gaz de zéro. Pour tout système de mesure des HCNM qui comporte une mesure séparée du méthane et une soustraction de celui-ci d'une mesure des HC, il est recommandé de contrôler le niveau de contamination en se fondant seulement sur la réponse de l'analyseur HC. Il n'est pas nécessaire de faire fonctionner un analyseur de méthane séparé pour ce contrôle, mais il est possible de mesurer la contamination par les HC dans le train d'échantillons CH₄ pour les cas où les HCNM sont déterminés par soustraction du CH₄ des HC, en utilisant un convertisseur NMC configuré comme indiqué au paragraphe 8.1.10.3.

Il est recommandé d'effectuer ce contrôle comme suit:

- a) On sélectionne la gamme de l'analyseur de HC pour la mesure de la concentration moyenne prévue à la valeur de HC de la norme;
- b) L'analyseur de HC doit être mis à zéro à l'entrée zéro de l'analyseur ou à l'entrée échantillon. Les gaz de zéro et gaz de calibration de complément pour le FID peuvent être toute combinaison d'air purifié ou d'azote purifié qui répond aux spécifications du paragraphe 9.5.1. Il devrait être utilisé des gaz de zéro et de calibration pour l'analyse FID contenant approximativement la concentration moyenne de O₂ prévue lors des essais;
- c) L'analyseur de HC devrait être calibré avec du gaz de calibration introduit à l'entrée de calibration de l'analyseur ou à son entrée échantillon. Le calibration devrait se faire à un nombre de carbone de un (C₁). Par exemple s'il est utilisé un gaz de calibration C₃H₈ d'une concentration de 200 µmol/mol ou ppm, l'analyseur FID doit être calibré sur une réponse de 600 µmol/mol ou ppm;
- d) Le surdébit de gaz zéro devrait contourner la sonde de HC ou être acheminé vers un raccord situé entre la sonde de HC et sa ligne de transfert;
- e) La concentration de THC dans les systèmes de collecte des gaz d'échappement et des émissions ambiantes devrait être déterminée comme suit:
 - i) pour le prélèvement continu, la concentration moyenne de HCT enregistrée en tant que débit d'air au sur débit zéro;
 - ii) pour le système de mesure des concentrations ambiantes, la concentration moyenne de HCT obtenue lors du dernier remplissage et de la dernière purge devrait être enregistrée;
- f) Cette valeur devrait être enregistrée comme concentration initiale de HCT, $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]_{\text{init}}}$, et utilisée pour corriger les valeurs mesurées comme indiqué dans les annexes A.7 et A.8;
- g) Si l'une quelconque des valeurs de $x_{\text{HC}[\text{HC-FID}]_{\text{init}}}$ dépasse la plus grande des valeurs ci-après, la source de contamination doit être déterminée et des mesures correctives devraient être prises, telles que la purge du système lors d'un cycle de préconditionnement supplémentaire ou le remplacement de portions contaminées:
 - i) 2 % de la concentration nette moyenne pondérée en fonction du débit en conditions humides prévue à la norme HC ou HCNM;
 - ii) 2 % de la concentration nette moyenne en conditions humides pondérée en fonction du débit de HC ou HCNM mesuré au cours des essais;
 - iii) 2 µmol/mol.

7.3.1.3 Préparation des instruments de mesure en vue du prélèvement

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

- a) Le contrôle des fuites doit être effectué dans les 8 h précédant le prélèvement de mesure des émissions conformément aux indications du paragraphe 8.1.8.7;
- b) En cas de prélèvement par lots, on utilisera du matériel de stockage propre tels 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 conformément à la procédure du paragraphe 7.3.1.4 ci-dessous;
- k) 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). **Par exemple s'il est utilisé un gaz de calibration C_3H_8 d'une concentration de 200 $\mu\text{mol/mol}$ ou ppm, l'analyseur FID doit être calibré sur une réponse de 600 $\mu\text{mol/mol}$ ou ppm.**

- 7.3.1.5 Préconditionnement du filtre MP 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 unique et le cycle d'essai en conditions stationnaires à modes discrets il convient de calculer le facteur de pondération MP effectif. Tout échantillon qui ne répond pas entièrement aux prescriptions du paragraphe 8.2.1 sera refusé.
- 7.3.2.2 Conditionnement et pesage des MP 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 lot 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 gazeux 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 de mise à zéro dans l'analyseur et attendu la stabilisation. 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 stabilisation de la réponse au gaz de calibrage de l'analyseur. La stabilisation peut englober le temps nécessaire pour purger l'analyseur de tout gaz 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 selon le cycle à modes discrets ou le 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

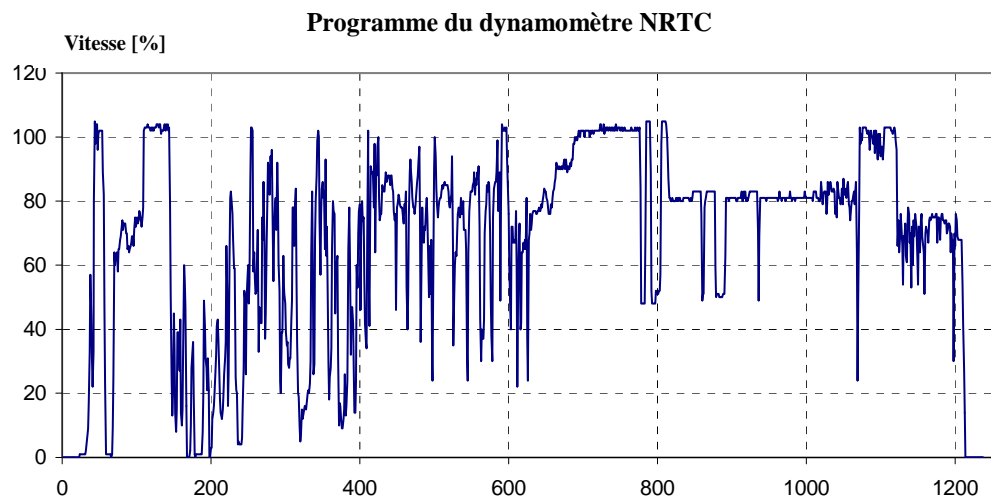
Les cycles d'essai en conditions stationnaires à modes raccordés (RMC) sont des cycles de fonctionnement à chaud dans lesquels la mesure des émissions commencera après le démarrage du moteur, sa montée en température et lorsqu'il fonctionne comme spécifié au paragraphe 7.8.2.1. Le moteur est sous contrôle permanent de l'unité de contrôle des bancs d'essai pendant le cycle d'essai RMC. Les émissions gazeuses et particulières 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 post-traitement. 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 défini dans l'annexe A.1, sous la forme d'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 des valeurs spécifiques de vitesse et de couple identifiées dans la courbe de conversion du moteur. La conversion est appelée dénormalisation et le cycle d'essai qui en résulte est le cycle d'essai NRTC de référence du moteur à soumettre aux essais (voir le paragraphe 7.7).

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



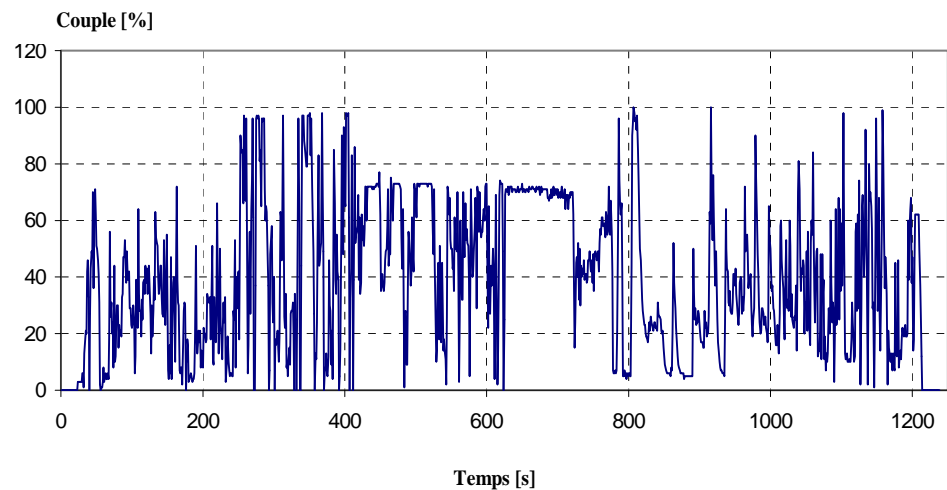


Figure 7.2

Programme de 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 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 des départs à chaud de 90 %, comme indiqué en détail dans les annexes A.7-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 suivant(s) (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 cycle NRTC et un cycle en conditions stationnaires à modes raccordés) pendant tout le cycle d'essai;
- g) Les procédures faisant suite aux essais doivent être effectuées pour vérifier le fonctionnement correct de certains équipements et analyseurs;
- h) Le ou les filtres à MP 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 mesures des émissions d'échappement du moteur.

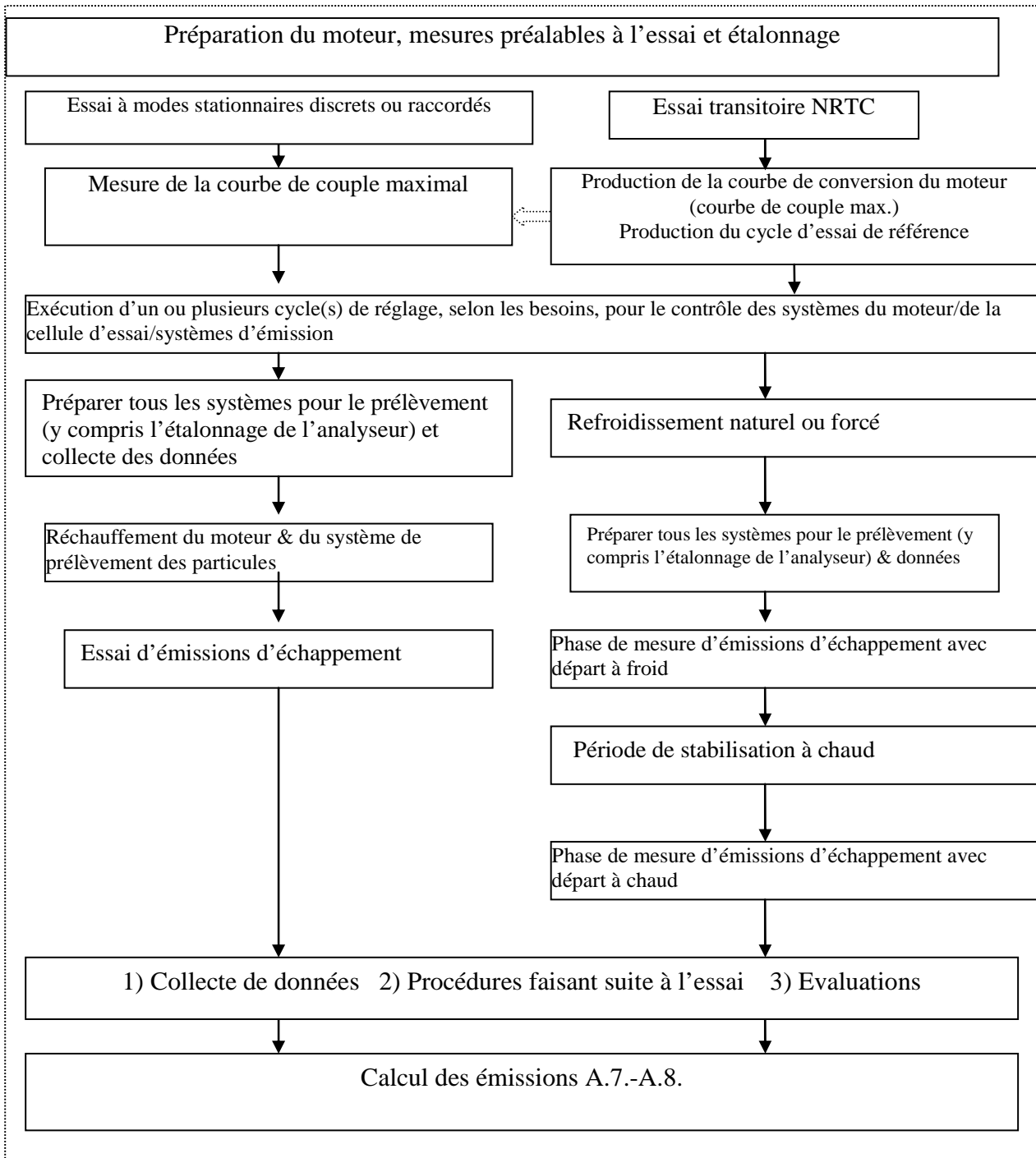


Figure 7.3
Séquence d'essai

7.5.1 Démarrage du moteur et redémarrage

7.5.1.1 Démarrage du moteur

Le moteur doit être démarré:

- a) Suivant les recommandations du constructeur, qui figurent dans le manuel d'utilisation, au moyen du démarreur de série et d'une batterie correctement chargée, d'une alimentation électrique appropriée ou d'une source d'air comprimé appropriée; ou
- b) Au moyen d'un dynamomètre qui entraîne le moteur jusqu'à ce qu'il démarre. 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 règles de bonne pratique 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 = $n_{hi} \times 1,02$ 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 de bonne pratique 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 $\pm 2,5$ % 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 NRTC de conversion du moteur permettra de déterminer les régimes 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 on laissera celui-ci réguler le régime. Le régime de ralenti à chaud sera mesuré;
 - 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 sur le maximum et le régime moteur doit être réglé entre le ralenti à chaud et 95 % du régime à chaud. Dans le cas des moteurs ayant des cycles de référence dont le régime le plus bas est supérieur au régime de ralenti 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 $8 \pm 1 \text{ min}^{-1}/\text{s}$ 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 $\pm 5 \text{ kPa}$ 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 utilisera 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 fonctionnera à un régime régulé sans charge (régime haut, pas de ralenti) pour au moins 15 s;
 - c) On utilisera le dynamomètre pour augmenter le couple à un rythme constant. La conversion sera 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 qui sera 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 bonne pratique 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 des 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 calculera 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}) est de $\pm 2,5$ % 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 pris comme régime nominal.

Dans le cas des moteurs qui ne sont pas soumis au programme d'essai en conditions transitoires, le régime nominal des tableaux de l'annexe 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 Établissement du cycle d'essai en conditions stationnaires à 8 modes (modes discrets et modes raccordés)

Le régime intermédiaire sera 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:

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

Où:

- S = réglage du dynamomètre en kW
- P_{\max} = puissance maximale observée ou annoncée au régime d'essai dans les conditions d'essai (spécifiées par le fabricant), en kW
- P_{AUX} = puissance totale déclarée absorbée par les éléments accessoires mis en place pour l'essai (voir le paragraphe 6.3) au régime d'essai, en kW
- L = couple en pourcentage

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 spécifiées 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 $\pm 2,5$ %. À défaut, il convient d'utiliser les couples mesurés obtenus d'après la courbe de conversion du moteur.

7.7.1.3 Établissement 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 raccordé 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 d'au moins 95 à 100 % de cette valeur mesurée.

Les chiffres annoncés sont des valeurs en pourcentage du couple correspondant à la puissance immédiatement disponible³. 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

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

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 conformément aux conventions suivantes:

- Le régime normalisé doit être transformé en une séquence de régimes de référence, n_{ref} , conformément aux dispositions du paragraphe 7.7.2.2;
- Le couple normalisé est exprimé en tant que pourcentage du couple relevé au régime de référence correspondant. Ces valeurs normalisées doivent être transformées en une séquence de couples de référence, T_{ref} , conformément aux dispositions du paragraphe 7.7.2.3;
- 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:

$$a) \quad n_{denorm} = n_{lo} + 0,95 \times (n_{hi} - n_{lo}) \quad (7-2)$$

Où:

n_{denorm} = régime de dénormalisation

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

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

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

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

Où:

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

n_{normi} = un régime moteur normalisé en le divisant par n_{Pmax} .

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.

Exemple:

$$\begin{aligned} (n_{norm1} = 1,002, P_{norm1} = 0,978, n_1 = 2359,71) \\ (n_{norm2} = 1,004, P_{norm2} = 0,977, n_2 = 2364,42) \\ (n_{norm3} = 1,006, P_{norm3} = 0,974, n_3 = 2369,13) \\ (n_{norm1}^2 + P_{norm1}^2) = (1,002^2 + 0,978^2) = 1,960 \\ (n_{norm2}^2 + P_{norm2}^2) = (1,004^2 + 0,977^2) = 1,963 \\ (n_{norm3}^2 + P_{norm3}^2) = (1,006^2 + 0,974^2) = 1,961 \text{ maximum} = 1,963 \text{ à } i = 2 \\ n_{test} = 2364,42 \text{ min}^{-1} \end{aligned}$$

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:

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

Où:

n_{ref} = régime de référence

n_{denorm} = régime de dénormalisation

n_{idle} = régime de ralenti

$\%speed$ = régime normalisé NRTC inscrit au tableau

7.7.2.3 Dénormalisation des valeurs de couple

Les valeurs de couple dans la 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:

$$T_{ref} = \frac{\%torque \cdot max.torque}{100} \quad (7-5)$$

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:

$$\% \text{ régime} = 43 \%$$

$$\% \text{ couple} = 82 \%$$

Sur la base des valeurs suivantes:

$$n_{\text{denorm}} = 2\,200 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{\text{idle}} = 600 \text{ min}^{-1}$$

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 aux règles de bonne pratique. 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 MP.

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 MP soit à moins de $\pm 0,003$ du facteur de pondération du mode en question.

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

- 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 MP 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 mn^{-1} , selon le plus élevé, 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 $\pm 2 \%$ 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 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 MP.

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.

Tableau 7.1

Tolérances s'appliquant à la droite de régression RMC

	<i>Régime</i>	<i>Couple</i>	<i>Puissance</i>
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 retenue	± 4 kW ou 2 % de la puissance maximale, la plus élevée étant retenue

Si le cycle RMC ne s'effectue pas sur un banc pour essai transitoire, et donc que les valeurs de régime et de couple ne sont pas connues seconde par seconde, on utilisera 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 spécifié 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 post-traitement. 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'émission 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, refroidir le réfrigérant au moyen du système de refroidissement du moteur et évacuer la chaleur d'un éventuel système de post-traitement de l'échappement. En cas de refroidissement forcé après traitement, on n'appliquera pas l'air de refroidissement avant que le système de post-traitement 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 préessai, 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 suivante:

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 suivra 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 réel au cours du cycle 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 réel au cours du cycle 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 ayant la forme:

$$y = a_1x + a_0 \quad (7-6)$$

Où:

y = la valeur réelle du régime (min^{-1}), du couple (Nm), ou de la puissance (kW)

a_1 = la pente de la droite de régression

x = la valeur de référence du régime (min^{-1}), du couple (Nm) ou de la puissance (kW)

a_0 = 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.

Tableau 7.2

Tolérances de la droite de régression

	<i>Régime</i>	<i>Couple</i>	<i>Puissance</i>
Erreur type d'estimation (SEE) de y sur x	$\leq 5,0$ % du régime maximal de l'essai	$\leq 10,0$ % du couple maximal reconnu	$\leq 10,0$ % de la puissance maximale reconnue
Pente de la droite de régression, a_1	0,95 à 1,03	0,83 - 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

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.

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

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

Le tableau 7.3 est aligné sur les règlements les plus récents. On a simplifié la formulation des conditions par une présentation graphique.

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. **Ainsi, par exemple, on procédera en général à une évaluation des instruments sur la base des valeurs enregistrées avec le système complet utilisé pour l'enregistrement des données d'essai, y compris les convertisseurs analogiques-numériques. Pour certains étalonnages et certains contrôles, il pourra être recommandé de déconnecter la partie en cause du système de mesure pour introduire un signal de simulation.**

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 aux règles de bonne pratique.

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

8.1.2 Résumé de l'étalonnage et de la vérification

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

Tableau 8.1

Résumé des étalonnages et vérifications

<i>Type d'étalonnage ou de vérification</i>	<i>Fréquence minimale^a</i>
8.1.3: Précision, répétabilité et bruit	<p>Précision: non requise mais recommandée à l'installation initiale</p> <p>Répétabilité: non requise mais recommandée à l'installation initiale</p> <p>Bruit: non requis mais recommandé à l'installation initiale</p>
8.1.4: Linéarité	<p>Régime: à l'installation initiale, dans les 370 jours suivant les essais et après un entretien majeur</p> <p>Couple: à l'installation initiale, dans les 370 jours suivant les essais et après un entretien majeur</p> <p>Débit de gaz propre et de gaz d'échappement dilué: à l'installation initiale, dans les 370 jours avant les essais et après un entretien majeur, à moins que le débit ne soit vérifié par un contrôle au propane ou par le bilan carbone ou oxygène</p> <p>Débit d'échappement brut: à l'installation initiale, dans les 185 jours avant les essais et après un entretien majeur, à moins que le débit ne soit vérifié par un contrôle au propane ou par un bilan du carbone ou de l'oxygène</p> <p>Analyseurs de gaz: à l'installation initiale, dans les 35 jours avant les essais et après un entretien majeur</p> <p>Bilan de MP: à l'installation initiale, dans les 370 jours avant les essais et après un entretien majeur</p> <p>Pression et température autonomes: à l'installation initiale, dans les 370 jours avant les essais et après un entretien majeur</p>

<i>Type d'étalonnage ou de vérification</i>	<i>Fréquence minimale^a</i>
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 réaction
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 modifierait la réaction
8.1.7.1: Couple	À l'installation initiale et après un entretien majeur
8.1.7.2: Pression, température, point de rosée	À l'installation initiale et après un entretien majeur
8.1.8.1: Débit de carburant	À l'installation initiale et après un entretien majeur
8.1.8.2: Débit d'admission	À l'installation initiale et après un entretien majeur
8.1.8.3: Débit d'échappement	À l'installation initiale et après un entretien majeur
8.1.8.4: Débit d'échappement dilué (CVS et PFD)	À l'installation initiale et après un entretien majeur
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 entretien majeur (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 ₂ O avec le NDIR	À l'installation initiale et après un entretien majeur
8.1.9.2: Interférence de CO ₂ et H ₂ O avec le NDIR/CO	À l'installation initiale et après un entretien majeur
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 entretien majeur Vérification de la réaction au CH ₄ : à l'installation initiale, dans les 185 jours avant l'essai et après un entretien majeur

Type d'étalonnage ou de vérification	Fréquence minimale ^a
8.1.10.2: Interférence de O ₂ avec le FID/gaz d'échappement bruts	Pour tous les analyseurs FID: à l'installation initiale et après un entretien majeur 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 dans le NMC	À l'installation initiale, dans les 185 jours avant les essais et après un entretien majeur
8.1.11.1: Extinction par CO ₂ et H ₂ O du CLD	À l'installation initiale et après un entretien majeur
8.1.11.3: Interférence de H ₂ O avec le NDUV/HC	À l'installation initiale et après un entretien majeur
8.1.11.4: Pénétration de NO ₂ dans le bain de refroidissement (refroidisseur)	À l'installation initiale et après un entretien majeur
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 entretien majeur
8.1.12.1: Balance des MP et pesage	Vérification indépendante: à l'installation initiale, dans les 370 jours avant les essais et après un entretien majeur Vérifications des échantillons zéro, de portée et de référence: dans les 12 h suivant la pesée et après un entretien majeur

^a Effectuer les étalonnages et les vérifications plus fréquemment, conformément aux instructions du fabricant du système de mesure et aux règles de bonne pratique.

^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.

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.

Dans cette section, le symbole «y» est utilisé pour désigner une quantité mesurée générique, la barre en dessus pour désigner une moyenne arithmétique (par exemple, \bar{y}), et l'indice «_{ref}» pour désigner une quantité de référence qu'il s'agit de mesurer.

Si elles sont exécutées, il est recommandé d'effectuer ces opérations comme suit:

- a) L'instrument devrait être conditionné de manière à fonctionner à ses valeurs spécifiées de température de pression et de débit. Toute procédure de linéarisation ou d'étalonnage d'un instrument prescrite par le fabricant de l'instrument devrait être exécutée;
- b) L'instrument devrait être mis à zéro comme il le serait avant un essai d'émissions par introduction d'un signal zéro. Selon l'instrument, il peut s'agir d'un gaz de concentration zéro, d'un signal de référence, d'un ensemble de conditions thermodynamiques de référence, ou d'une combinaison de ces facteurs. Pour les analyseurs de gaz, doit être utilisé un gaz de zéro qui répond aux spécifications du paragraphe 9.5.1;
- c) L'instrument devrait être calibré comme il le serait avant un essai d'émissions par introduction d'un signal de calibrage. Selon l'instrument, il peut s'agir d'un gaz de concentration calibrage, d'un signal de référence, d'un ensemble de conditions thermodynamiques de référence ou d'une combinaison de ces facteurs. Pour les analyses de gaz, il est recommandé d'utiliser un gaz de calibrage qui satisfait aux spécifications du paragraphe 9.5.1;
- d) L'instrument devrait être utilisé pour quantifier une quantité de référence internationalement traçable, y_{ref} . Pour les analyseurs de gaz, le gaz de référence doit satisfaire aux spécifications du paragraphe 9.5.1. La quantité de référence choisie devrait être proche de la valeur moyenne prévue lors de l'essai. Pour tous les analyseurs de gaz, il devrait être utilisé une quantité proche de la concentration moyenne prévue lors des essais. Pour un contrôle du bruit, le même gaz de zéro que prescrit dans le paragraphe b) de la présente section comme quantité de référence devrait être utilisé. Dans tous les cas, il est recommandé de respecter un délai pour la stabilisation de l'instrument pendant qu'il mesure la quantité de référence. Le délai de stabilisation peut inclure le délai de purge de l'instrument et le délai de traitement de sa réponse;
- e) Les valeurs devraient être enregistrées sur une durée de 30 s; la moyenne arithmétique \bar{y}_i et l'écart type σ_i des valeurs enregistrées devraient être enregistrées. On trouvera à l'annexe A.2 un exemple de calcul de la moyenne arithmétique et de l'écart type;
- f) En outre, si la quantité de référence n'est pas absolument constante, ce qui peut être le cas pour un débit de référence, les valeurs de y_{ref} devraient être échantillonnées et enregistrées pendant 30 s et la moyenne arithmétique des valeurs y_{ref} devrait être enregistrée. On se reportera à l'annexe A.2 pour un exemple de calcul de la moyenne arithmétique;
- g) La valeur de référence y_{ref} (ou y_{ref}) devrait être soustraite de la moyenne arithmétique y_i . La valeur résultante devrait être enregistrée comme étant l'erreur ε_i ;

- h) Les étapes décrites au paragraphe d) 2) à 6) de la présente section devraient être répétées jusqu'à ce que 10 valeurs de la moyenne arithmétique ($\bar{y}_1, \bar{y}_2, \bar{y}_i, \dots, \bar{y}_{10}$), de l'écart type ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_i, \dots, \sigma_{10}$) et de l'erreur ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_i, \dots, \varepsilon_{10}$) aient été recueillies;
- i) Les valeurs ci-après devraient être utilisées pour quantifier les mesures:
- i) la justesse de l'instrument est la différence absolue entre la quantité de référence y_{ref} (ou y_{ref}) et la moyenne arithmétique de 10 valeurs y_i, y . On se reportera à l'annexe A.2 pour un exemple de calcul de justesse. La justesse de l'instrument devrait être conforme aux spécifications du tableau 9.3;
 - ii) la répétabilité est égale à deux fois l'écart type des 10 valeurs d'erreur (c'est-à-dire répétabilité = $2 \sigma\varepsilon$). On se reportera à l'annexe A.2 pour un exemple de calcul de l'écart type. La répétabilité de l'instrument devrait être conforme aux spécifications du tableau 9.3;
 - iii) le bruit est égal à deux fois la valeur moyenne quadratique des 10 écarts types (c'est-à-dire bruit = $2 \text{ rms}\sigma$) lorsque le signal de référence est un signal de quantité zéro. On se reportera à l'annexe A.2 pour un exemple de calcul de la valeur moyenne quadratique. Le bruit de l'instrument devrait être conforme aux spécifications du tableau 9.3.

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 de bonne pratique. 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. **Ainsi, il pourra être nécessaire d'effectuer des réglages ou un étalonnage périodique du système de mesure conformément aux instructions données;**
- b) L'instrument doit être mis à zéro comme il le serait avant un essai d'émissions par l'introduction d'un signal zéro. **Selon l'instrument, il peut s'agir d'un gaz de concentration zéro, d'un signal de référence, d'un ensemble de conditions thermodynamiques de référence ou d'une combinaison de ces éléments.** 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 à l'entrée de l'analyseur;
- c) L'instrument doit être étalonné avant un essai d'émissions par l'introduction d'un signal de calibrage. **Selon l'instrument, il peut s'agir d'un gaz de concentration zéro, d'un signal de référence, d'un ensemble de conditions thermodynamiques de référence ou d'une combinaison de ces éléments.** Dans le cas des analyseurs de gaz, on utilisera un gaz de calibrage répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1; ce gaz sera introduit directement à l'entrée de l'analyseur;
- d) Après le réglage de l'instrument, le zéro sera vérifié avec le même signal que celui utilisé au point b) du présent paragraphe. Sur la base de l'indication zéro et des règles de bonne pratique, on déterminera 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 référera aux recommandations du fabricant et on suivra les règles de bonne pratique pour sélectionner les valeurs de référence, y_{refi} , qui contrôlent la gamme complète de valeurs escomptées pendant l'essai d'émissions et d'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 retiendra au moins trois valeurs de référence. Pour toutes les autres vérifications de linéarité, on en retiendra 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 les règles de bonne pratique. **Ainsi par exemple, les valeurs de référence peuvent être choisies au hasard pour éviter toute corrélation avec les mesures antérieures, les valeurs de référence peuvent être choisies en ordre ascendant ou descendant pour éviter les délais de stabilisation des signaux de référence, ou encore les valeurs peuvent être choisies dans l'ordre d'abord ascendant puis descendant de manière à neutraliser les effets éventuels d'hystérésis de l'instrument sur le contrôle de la linéarité;**

- 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 utilisera 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 délai nécessaire pour se stabiliser pendant la mesure de la valeur de référence. **Le délai de stabilisation peut comprendre le délai de purge d'un instrument et le délai de traitement de la réponse;**
- i) À la fréquence d'enregistrement minimale, comme spécifié dans le tableau 9.2, la valeur de référence doit être mesurée pendant 30 s et la moyenne arithmétique des valeurs enregistrées, \bar{y}_i , doit être notée.
On se reportera à l'annexe A.2 pour un exemple de calcul de la moyenne arithmétique;
- 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 utilisera les moyennes arithmétiques \bar{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 utilisera 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 utilisera 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 traçables. **Les quantités de référence d'étalonnage utilisées devraient être internationalement traçables avec une incertitude de moins de 0,5 %, sauf autre information donnée dans d'autres sections du présent RTM. Les méthodes ci-après devraient être appliquées pour établir des valeurs de référence, ou les règles de bonne pratique devraient être suivies pour le choix d'une référence différente:**

- a) **Régime moteur.** Le moteur ou le dynamomètre devrait effectuer une série de phases à vitesse constante, et il devrait être utilisé un stroboscope, un photo-tachymètre, ou un tachymètre laser pour enregistrer les vitesses de référence;
- b) **Couple moteur.** Il est recommandé d'utiliser une série de poids d'étalonnage et un bras de levier d'étalonnage pour simuler le couple moteur. Il est aussi possible d'utiliser le moteur ou le dynamomètre lui-même pour produire un couple nominal qui est mesuré par une cellule dynamométrique de référence ou un cadre dynamométrique en série avec le système de mesure du couple. Dans ce cas, la valeur de mesure de la cellule dynamométrique de référence devrait être utilisée comme valeur de référence. Voir le paragraphe 8.1.7.1 pour une procédure d'étalonnage du couple

semblable à la procédure de contrôle de la linéarité décrite dans la présente section;

- c) **Travail électrique.** Il est recommandé d'utiliser une source de courant réglée et un watt-heure mètre de référence standard. Des systèmes complets d'étalonnage comportant à la fois la source de courant et un watt-heure mètre de référence sont couramment utilisés dans l'industrie de distribution du courant électrique et sont donc disponibles sur le marché;
- d) **Débit de carburant.** On devrait faire fonctionner le moteur à une série de débits constants de carburant, ou recycler le carburant vers un réservoir en le faisant passer à travers le débitmètre à des valeurs différentes de débit. L'emploi d'un système de mesure gravimétrique de référence (tel qu'une balance, un instrument de pesage ou un comparateur de masse) est recommandé à l'entrée du système de mesure du carburant. Il devrait être utilisé un chronomètre ou un compteur pour mesurer les intervalles de temps pendant lesquels les masses de référence de carburant sont introduites dans le système de mesure du carburant. La masse de carburant de référence divisée par l'intervalle de temps donne le débit de référence du carburant;
- e) **Débit d'air d'admission, d'air de dilution, de gaz d'échappement dilués, de gaz d'échappement bruts ou d'échantillons de prélèvement.** Il est recommandé d'utiliser un débitmètre de référence avec ventilateur ou pompe pour simuler les débits. Un restricteur variable, une valve de détournement, un ventilateur à vitesse variable, une pompe à vitesse variable devraient être utilisés pour régler la plage de débit. La valeur de réponse du débitmètre de référence devrait être appliquée comme valeur de référence:
 - i) **débitmètres de référence.** Compte tenu des plages de débit très diverses à mesurer, toute une gamme de débitmètres peuvent être utilisés. Ainsi par exemple pour le débit de gaz d'échappement dilués dans le cadre d'un système à dilution du débit total, il devrait être utilisé un débitmètre à venturi subsonique de référence avec restricteur variable et ventilateur pour simuler les débits. Pour l'air d'admission, l'air de dilution, les gaz d'échappement dilués pour la dilution en flux partiel, les gaz d'échappement ou le prélèvement, des débitmètres de référence tels que des ajutages à écoulement critique, des venturis à écoulement critique, des éléments à écoulement laminaire, des compteurs de débit massique pour des compteurs sont autorisés. Il devrait être vérifié que le débitmètre de référence est étalonné par son fabricant et que cet étalonnage est internationalement traçable. Si l'on utilise la différence entre deux mesures de débit pour déterminer un débitmètre, l'une des mesures peut être utilisée comme référence pour l'autre;

- ii) valeurs de débit de référence. Étant donné que le débit de référence n'est pas absolument constant, il est recommandé de mesurer des valeurs de n_{ref} sur une durée de 30 s et de les enregistrer et de prendre comme valeur de référence la moyenne arithmétique des valeurs \bar{n}_{ref} . On se reportera au paragraphe A.2.2 pour un exemple de calcul de la moyenne arithmétique;
- f) Mélangeur de gaz. L'un des deux signaux de référence ci-après devrait être utilisé:
- i) à la sortie du système mélangeur de gaz, un analyseur devrait être raccordé; il devrait satisfaire au contrôle de linéarité décrit dans cette section et ne devrait pas avoir été linéarisé avec le mélangeur-doseur de gaz à vérifier. Ainsi par exemple la linéarité d'un analyseur devrait être vérifiée avec une série de gaz d'analyse de référence directement prélevés dans des bouteilles à gaz comprimé répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1. L'usage d'un analyseur FID ou d'un analyseur PMD/MPD de O₂ est recommandé à cause de leur linéarité intrinsèque. L'analyseur devrait être utilisé comme il le serait lors d'un essai d'émissions. Une source de gaz de calibrage devrait être raccordée à l'entrée du mélangeur de gaz. Le système mélangeur de gaz devrait être utilisé pour mélanger le gaz de calibrage avec de l'air purifié ou de l'azote. Il convient de choisir des mélanges de gaz qui sont couramment utilisés. Il est recommandé d'utiliser un mélange de gaz choisi comme valeur de mesure. La valeur de réponse de l'analyseur divisée par la concentration de gaz de calibrage devrait être utilisée comme valeur de référence de mélange de gaz. Étant donné que la réponse de l'instrument n'est pas absolument constante, des valeurs de x_{ref} sur 30 s devraient être mesurées et enregistrées et la moyenne arithmétique des valeurs x_{ref} devrait être prise comme valeur de référence. On se reportera au paragraphe A.2.2 pour un exemple de calcul de la moyenne arithmétique;
 - ii) compte tenu des règles de bonne pratique et des recommandations du fabricant de mélangeur de gaz, un ou deux ou plus de deux débitmètres devraient être utilisés pour vérifier les débits mesurés du mélangeur de gaz;
- g) Concentration continue d'un constituant. Pour les valeurs de référence il est recommandé d'utiliser une série de bouteilles de gaz de concentration connue ou un système mélangeur de gaz dont on sait qu'il est linéaire avec un gaz de calibrage. Les bouteilles de gaz, systèmes mélangeurs de gaz et gaz de calibrage qui sont utilisés pour les valeurs de référence doivent répondre aux spécifications du paragraphe 9.5.1.

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 enlevant le capteur du système et en le remplaçant par un simulateur. On utilisera 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 meilleure que 0,5 % de T_{\max} comparée à leur courbe d'étalonnage standard.

8.1.4.5 Systèmes de mesure qui requièrent une vérification de la linéarité

Le tableau 8.2 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 les règles de bonne pratique le recommandent;
- 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 mélangeurs-doseurs 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 spécifiée par le fabricant pour le couple le plus élevé qu'il y a lieu d'essayer;
- d) Les plages spécifiées englobent les valeurs extrêmes. Une gamme de 0,98-1,02 pour la pente a_1 signifie une gamme spécifiée 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 post-traitement (pour les moteurs soumis aux essais avec des dispositifs de post-traitement 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 gazeux qui recourent à des refroidisseurs pour sécher les échantillons);
 - ii) ces contrôles de linéarité de la température sont uniquement requis si cela est spécifié 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 moteurs à refroidissement 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 spécifiés 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.

Tableau 8.2
Systèmes de mesure qui requièrent des vérifications de linéarité

Système de mesure	Quantité	Fréquence de vérification minimale	Critères de linéarité			
			$ x_{\min} * (a_1 - 1) + a_0 $	a	SEE	r^2
Régime moteur	n	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 0,05 \% n_{\max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% n_{\max}$	$\geq 0,990$
Couple moteur	T	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% T_{\max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% T_{\max}$	$\geq 0,990$
Débit de carburant	q^m	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% q_{m, \max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% q_{m, \max}$	$\geq 0,990$
Débit d'air d'admission	q^v	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% q_{v, \max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% q_{v, \max}$	$\geq 0,990$
Débit d'air de dilution	q^v	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% q_{v, \max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% q_{v, \max}$	$\geq 0,990$
Débit de gaz d'échappement dilué	q^v	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% q_{v, \max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% q_{v, \max}$	$\geq 0,990$
Débit de gaz d'échappement brut	q^v	Dans les 185 jours avant l'essai	$\leq 1 \% q_{v, \max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% q_{v, \max}$	$\geq 0,990$
Débit de l'échantillonneur	q^v	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% q_{v, \max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% q_{v, \max}$	$\geq 0,990$
Mélangeurs-doseurs de gaz	x/x_{span}	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 0,5 \% x_{\max}$	0,98-1,02	$\leq 2 \% x_{\max}$	$\geq 0,990$
Analyseurs de gaz	x	Dans les 35 jours avant l'essai	$\leq 0,5 \% x_{\max}$	0,99-1,01	$\leq 1 \% x_{\max}$	$\geq 0,998$
Balance des MP	m	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% m_{\max}$	0,99-1,01	$\leq 1 \% m_{\max}$	$\geq 0,998$
Pressions autonomes	p	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% p_{\max}$	0,99-1,01	$\leq 1 \% p_{\max}$	$\geq 0,998$
Conversion analogique/numérique des signaux de température autonomes	T	Dans les 370 jours avant l'essai	$\leq 1 \% T_{\max}$	0,99-1,01	$\leq 1 \% T_{\max}$	$\geq 0,998$

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

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. **Ainsi par exemple elle est recommandée si un volume important a été ajouté aux lignes de transfert par prolongement des lignes ou par adjonction d'un filtre, ou encore si la fréquence à laquelle les concentrations passant par les analyseurs de gaz sont mesurées et enregistrées.** 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 optimisés 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 spécifiés 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 individuel.

8.1.5.3 Configuration nécessaire

- a) Le temps de réponse du système doit être ≤ 10 s avec un temps de montée de $\leq 2,5$ s ou avec un temps de montée et de descente de ≤ 5 s chacun pour chaque composante mesurée (CO, NO_x, CO₂ 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 par leurs temps de réponse mesurés avant d'effectuer les calculs d'émissions des annexes A.7-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 dépassera 10 s;
 - ii) la fréquence à laquelle le système enregistre la concentration sera 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 N₂ avec des gaz de calibrage dilués dans l'air.

Au moyen d'un mélangeur-doseur de gaz, en mélangeant à parts égales un gaz de calibrage NO-CO-CO₂-C₃H₈-CH₄ (complément N₂) avec un gaz de calibrage NO₂, équilibré avec de l'air synthétique purifié. On peut aussi utiliser les gaz de calibrage binaire standard, lorsque cela s'applique, à la place du mélange NO-CO-CO₂-C₃H₈-CH₄; dans ce cas il convient de faire des essais de performances individuels pour chaque analyseur. La sortie du mélangeur-doseur de gaz doit être raccordée à l'autre entrée du distributeur à 3 voies. La sortie du distributeur peut être raccordée 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 fera 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 sera 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 post-traitement et ne s'applique pas à la détermination des HCNM à partir des THC et CH₄ 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 entretien majeur, 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 NO₂) doit être humidifié de la manière suivante:

Il est recommandé d'humidifier le mélange de gaz NO-CO-CO₂-C₃H₈-CH₄ avec complément N₂, en le faisant passer à travers un récipient fermé qui humidifie les gaz par barbotage dans de l'eau distillée puis en le mélangeant avec du gaz NO₂ sec, avec complément d'air synthétique purifié. 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 °C au-dessus du point de rosée local dans la ligne. **Il est recommandé que toutes les lignes de transfert et vannes de gaz situées en aval du vase soient chauffées si nécessaire.** On notera qu'il est possible d'omettre l'un de ces constituants 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 poids mort. Le bon 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.

Procédure recommandée:

- a) **Quantification de la force de référence. Doit être utilisé soit un jeu de contrepoids, soit un instrument de référence tel qu'une jauge de contrainte ou un anneau dynamométrique pour quantifier la force de référence, d'une manière internationalement traçable avec une incertitude maximale de $\pm 0,5$ %;**
- b) **Quantification de la longueur du bras de levier. La longueur du bras de levier doit être quantifiée de manière internationalement traçable avec une incertitude maximale de $\pm 0,5$ %. La longueur du bras de levier doit être mesurée depuis l'axe central du dynamomètre au point où la force de référence est mesurée. Le bras de levier doit être perpendiculaire à la direction de la force de gravité (c'est-à-dire horizontal) et perpendiculaire également à l'axe de rotation du dynamomètre. Il est recommandé que le bras de levier soit équilibré ou que son couple net de déséquilibre soit quantifié de manière internationalement traçable avec une incertitude maximale de ± 1 %, et qu'il soit pris en compte dans le couple de référence.**

8.1.7.1.2 Étalonnage avec contrepoids

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 pour la pression, la température et le point de rosée

Il convient d'étalonner les instruments de mesure de la pression, de la température et du point de rosée avant l'installation initiale. On le fera conformément aux instructions du fabricant et l'on suivra les règles de bonne pratique pour fixer l'intervalle de renouvellement de l'étalonnage:

- a) **Pression. Des appareils d'étalonnage compensés en température, numérique-pneumatique ou de mesure de la pression à poids mort, dotés de capacités d'enregistrement des données pour minimiser les erreurs de transcription sont recommandés. Des quantités de référence d'étalonnage, internationalement traçable avec une incertitude de $\pm 0,5$ % sont recommandées;**
- b) **Température. Des instruments d'étalonnage de la température numérique à bloc chauffant ou à bain liquide, dotés de capacités d'enregistrement des données pour minimiser les erreurs de transcription devraient être utilisés. Des quantités de référence d'étalonnage internationalement traçables avec une incertitude maximale de $\pm 0,5$ % sont recommandées;**

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;

- c) **Point de rosée. Un minimum de trois solutions salines d'étalonnage différentes équilibrées en température et de température réglée dans des récipients fermant hermétiquement autour du capteur de point de rosée devraient être utilisées. Des quantités de référence d'étalonnage internationalement traçables avec une incertitude maximale de $\pm 0,5$ % sont recommandées;**

Des composants du système peuvent être prélevés pour un étalonnage hors site.

- 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 l'on suivra les règles de bonne pratique pour fixer l'intervalle de renouvellement de 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 l'on suivra les règles de bonne pratique pour fixer l'intervalle de renouvellement de l'étalonnage. **Il est recommandé d'utiliser un venturi subsonique, un débitmètre ultrasonique ou un élément à flux laminaire d'étalonnage. Les quantités de référence d'étalonnage utilisées devraient être internationalement traçables, avec une incertitude maximale de $\pm 0,5$ %.**
- Si un venturi subsonique ou un débitmètre ultrasonique est utilisé pour la mesure du débit d'air d'admission, son étalonnage devrait être exécuté comme prescrit au paragraphe 8.1.8.4.**
- 8.1.8.3 Étalonnage du débit de gaz d'échappement
- Les débitmètres de gaz d'échappement doivent être étalonnés à l'installation initiale. On suivra les instructions du fabricant et l'on suivra les règles de bonne pratique pour fixer l'intervalle de renouvellement de l'étalonnage. **Il devrait être utilisé un venturi subsonique ou un débitmètre ultrasonique d'étalonnage; les températures des gaz d'échappement devraient être simulées par interposition d'un échangeur de chaleur entre l'instrument d'étalonnage et le débitmètre de gaz d'échappement. S'il peut-être démontré que le débitmètre à étalonner est insensible aux températures d'échappement, d'autres débitmètres de référence tels que des éléments à flux laminaire, qui ne sont pas couramment conçus pour résister aux températures typiquement atteintes par les gaz d'échappement bruts, peuvent être utilisés. Il est recommandé d'appliquer des quantités de référence d'étalonnage internationalement traçables, offrant une incertitude maximale de $\pm 0,5$ %.**
- Si un venturi subsonique ou un débitmètre ultrasonique est utilisé pour la mesure du débit des gaz d'échappement bruts, il devrait être étalonné comme décrit au paragraphe 8.1.8.4.**
- 8.1.8.4 Étalonnage du débit de gaz d'échappement dilués (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 d'autre cause de restriction qui puisse 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 raccordé 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 \bar{n}_{ref} . **Cette mesure peut comprendre plusieurs mesures de quantités différentes, telles que pressions et températures au débitmètre de référence, pour le calcul de \bar{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 fermé par degrés pour réduire 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-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 C_d 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 raccordé comme indiqué dans la figure 8.1;
- b) Le ventilateur est mis en marche 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, \bar{n}_{ref} . **Cette mesure peut comprendre plusieurs mesures de quantités différentes, telles que pressions et températures au débitmètre de référence, pour le calcul de \bar{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-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-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-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-A.8. Voir ces annexes qui contiennent les instructions pour le calcul du débit.

8.1.8.4.4 Étalonage 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 retiendra la moyenne des 30 s des données échantillonnées de chacune des quantités suivantes:
 - i) le débit moyen du débitmètre de référence, $\bar{q}_{V.ref}$. **Cette mesure peut comprendre plusieurs mesures de quantités différentes, telles que pressions et températures au débitmètre de référence, pour le calcul de $\bar{q}_{V.ref}$;**
 - ii) facultativement, le point de rosée moyen de l'air d'étalonnage, T_{dew} . Voir les annexes A.7-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 dix 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-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 en régime ultrasonique (réservé)

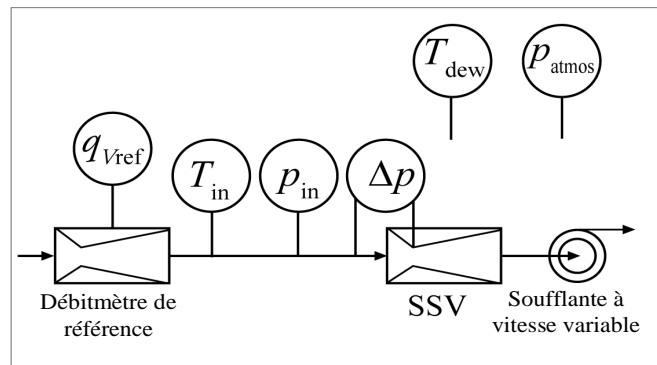
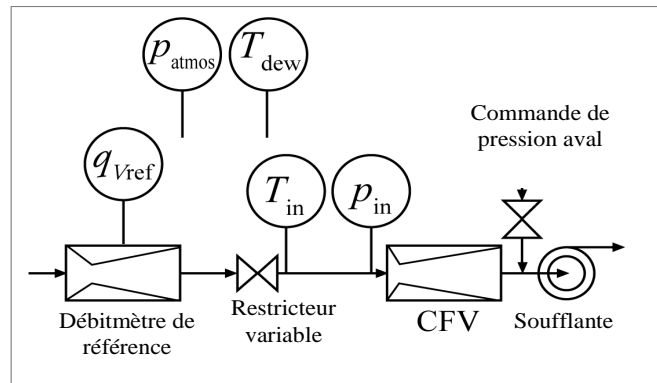
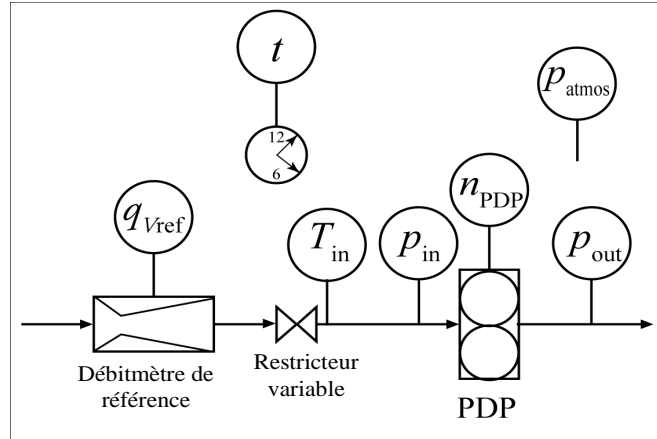


Figure 8.1
Schéma pour l'étalonnage CVS du débit de gaz d'échappement dilués

8.1.8.5 Vérification du système CVS et du système de 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). En appliquant les règles de bonne pratique et des méthodes fiables, on peut faire cette vérification avec un gaz autre que le propane, le CO₂ ou le CO, par exemple. Le résultat négatif 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 C₃H₈ comme gaz témoin dans un CVS. Si l'on utilise le débit de référence, il faut prendre en compte tout comportement de C₃H₈ s'écartant d'un gaz idéal 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 devra appliquer aucune hypothèse de 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 C₃H₈ 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-A.8. On utilisera 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 $\pm 0,01$ g. Pendant 5 à 10 min, on utilisera 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 analysera un échantillon de gaz avec les équipements usuels (cartouche 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 $\pm 0,5$ % 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 choisira 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;

Le système de prélèvement des HC peut être purgé pendant la période de stabilisation;

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

Toutes autres opérations d'étalonnage ou de vérification de l'équipement ou des analyseurs peuvent également être effectuées.

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

La vérification décrite du côté dépression du système de prélèvement HC 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 des HC à zéro, réglé et vérifié au niveau de la contamination, et ce de la manière suivante:

- a) On utilisera la gamme de l'analyseur de 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 calibration 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 récipient de lot (par exemple une cartouche) et mesurer la concentration du surdébit de HC;
- f) Si la concentration de HC de surdébit dépasse $2 \mu\text{mol/mol}$, il ne faut pas poursuivre la procédure tant que la contamination n'est pas éliminée. On déterminera la source de contamination et on prendra les mesures nécessaires, par exemple le nettoyage du système ou le remplacement des parties contaminées;
- g) Lorsque la concentration de HC de surdébit ne dépasse pas $2 \mu\text{mol/mol}$, il faut inscrire cette valeur en tant que $x_{HC\text{init}}$ 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 raccordera 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 les niveaux de 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 par lots des HC, on raccordera le moteur à des supports de stockage non utilisés tels que des sacs sous vide;
 - 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 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-A.8 au moyen de la masse molaire de C_3H_8 , MC_3H_8 , à la place de la masse molaire effective de HC, MHC;
- d) Si l'on utilise une masse de référence (technique gravimétrique), il faut déterminer la masse de propane du cylindre à $\pm 0,5$ % près et déterminer la masse de référence 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 $\pm 3,0$ % de la masse de référence, le CVS satisfait à cette vérification.

8.1.8.5.7 Vérification du système de dilution secondaire des MP

S'il faut recommencer le contrôle au propane pour vérifier le système de dilution secondaire des MP, on utilisera 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 MP). 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 faudra 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 entretien majeur au niveau du refroidisseur. Pour les sécheurs à membrane osmotique, les performances doivent être vérifiées à

l'installation, après un entretien majeur et dans les trente-cinq 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 utilisera 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 °C 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 selon 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 des systèmes de mesure des MP en flux partiel et des gaz d'échappement bruts associés

8.1.8.6.1 Spécifications pour la mesure du débit différentiel

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

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

Où:

q_{mp} = débit 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 dilués 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:

- Les précisions absolues de q_{mdew} et q_{mdw} sont de $\pm 0,2$ %, 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;
- 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;
- La précision de q_{mp} est déterminée indirectement par la précision du taux de dilution tel que déterminé avec un gaz témoin comme le CO₂. Des précisions du même ordre que celles utilisées dans la méthode a) pour q_{mp} sont nécessaires;
- 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 $\pm 0,2$ % 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 raccordé 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 raccordé 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 raccordé 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 raccordé 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 un constituant du gaz d'échappement tel que le CO_2 ou les NO_x . Après dilution dans le tunnel, il faut mesurer le gaz témoin. Cela doit se faire pour au moins 5 taux de dilution compris entre 3 et 15. La précision du débit de l'échantillon doit être déterminée à partir du taux de dilution r_d :

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

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

8.1.8.6.3 Conditions particulières pour la mesure du débit différentiel

Un contrôle du flux de carbone sur les gaz d'échappement réels est fortement recommandé pour détecter les problèmes de mesure et de commande et vérifier le fonctionnement correct du système à flux partiel. Le contrôle du flux de carbone 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 préessai

Un essai préliminaire sera effectué dans les 2 h précédant l'essai, cela de la manière suivante.

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

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

8.1.8.6.3.2 Détermination du temps de transformation

Les réglages du système pour l'évaluation 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 de bonne pratique. 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'échantillonnage d'au moins 10 Hz.

À partir de ces données, on détermine le temps de transformation pour le système de dilution du flux partiel qui est le temps 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_{mp} (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) fournis par le débitmètre d'échappement. 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 h 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 préparera 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 calibration 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 calibration 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 calibration mesuré est inférieure à $\pm 0,5$ % de la concentration de gaz de calibration. 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 calibration ou l'analyseur proprement dit. Une valeur mesurée supérieure à celle prévue 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 perte de dépression doit être effectué de la manière suivante:

- a) L'extrémité sonde du système doit être obturée le plus près possible de l'ouverture de la sonde 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 de fermeture étanche installée en ligne entre la sonde et la ligne de transfert doit être fermée;
- b) Toutes les pompes à dépression doivent être actionnées. On obtiendra 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 laissera 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:

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

Où:

- $q_{V\text{leak}}$ = débit de fuite de perte de vide [mol/s]
 V_{vac} = volume géométrique côté dépression du système de prélèvement [m³]
 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 [s]
 t_1 = instant de départ des essais de vérification des fuites de vide [s]

Exemple:

- $V_{\text{vac}} = 2,0 \text{ l} = 0,002 \text{ m}^3$
 $R = 8,314472 \text{ [J/(mol·K)]}$
 $p_2 = 50,6 \text{ kPa} = 50\,600 \text{ Pa}$
 $T_2 = 293,15 \text{ K}$
 $p_1 = 25,3 \text{ kPa} = 25\,300 \text{ Pa}$
 $T_1 = 293,15 \text{ K}$
 $t_2 = 10:57:35 \text{ AM} = 39\,455 \text{ s}$
 $t_1 = 10:56:25 \text{ AM} = 39\,385 \text{ s}$

$$q_{\text{leak}} = \frac{0,0002 \text{ m}^3}{8,314472 \text{ J/(mol·K)}} \frac{\left(\frac{50\,600 \text{ Pa}}{293,15 \text{ K}} - \frac{25\,300 \text{ Pa}}{293,15 \text{ K}} \right)}{(39\,455 \text{ s} - 39\,385 \text{ s})} = 0,00030 \text{ mol/s}$$

8.1.9 Mesure du CO et du CO₂

8.1.9.1 Vérification de l'interférence par H₂O pour les analyseurs NDIR de CO₂

8.1.9.1.1 Étendue et fréquence

Si on mesure le CO₂ au moyen d'un analyseur NDIR, il convient de vérifier l'importance de l'interférence par H₂O qui doit être mesurée après l'installation initiale de l'analyseur et après une maintenance majeure.

8.1.9.1.2 Principes de mesure

H₂O peut interférer avec la réponse d'un analyseur NDIR au CO₂. 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 faudra 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 Conditions s'appliquant au système

L'analyseur NDIR de CO₂ doit avoir une interférence par H₂O qui est dans les limites de $(0,0 \pm 0,4)$ mmol/mol (de la concentration de CO₂ moyenne attendue). **Une valeur inférieure $(0,0 \pm 0,2)$ mmol/mol est toutefois recommandée.**

8.1.9.1.4 Mode opératoire

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

- a) L'analyseur NDIR de CO₂ doit être mis en marche, utilisé, remis à zéro et subir un calibrage comme 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 fermé. Si l'échantillon n'est pas passé par un sécheur, il faut contrôler la température du récipient afin de produire un niveau de H₂O 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 H₂O qui soit au moins aussi élevé que celui déterminé au paragraphe 9.3.2.3.1;
- c) La température du gaz d'essai humidifié doit être maintenue à 5 °C au moins au-dessus du point de rosée en aval de ce récipient;
- d) Le gaz d'essai humidifié doit être introduit 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, $x_{\text{H}_2\text{O}}$, du gaz d'essai humidifié aussi près que possible de l'entrée de l'analyseur. À titre d'exemple, on mesurera le point de rosée, T_{dew} , et la pression absolue p_{total} , pour calculer $x_{\text{H}_2\text{O}}$;
- f) On suivra les règles de bonne pratique pour prévenir la condensation dans les lignes de transfert, les raccords ou les distributeurs entre le point à mesurer, le $x_{\text{H}_2\text{O}}$ et l'analyseur;
- g) On attendra 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 $(0,0 \pm 0,4)$ mmol/mol.

- 8.1.9.2 Vérification de l'interférence par H₂O et CO₂ pour les analyseurs NDIR de CO
- 8.1.9.2.1 Étendue et fréquence
- Si le CO est analysé au moyen d'un analyseur NDIR, l'importance de l'interférence par H₂O et CO₂ doit être vérifiée après l'installation initiale de l'analyseur et après toute maintenance majeure.
- 8.1.9.2.2 Principes de mesure
- Le H₂O et le CO₂ peuvent interférer positivement avec un analyseur NDIR en produisant une réponse similaire à celle du CO. Si l'analyseur NDIR utilise 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 H₂O et de CO₂ qui est dans les limites de $\pm 2\%$ de la concentration moyenne escomptée de CO. **Une valeur plus basse ($\pm 1\%$) est toutefois recommandée.**
- 8.1.9.2.4 Mode opératoire
- La vérification de l'interférence doit être effectuée comme suit:
- 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;
 - Un gaz d'essai CO₂ humidifié doit être produit par barbotage d'un gaz de calibrage CO₂ dans de l'eau distillée à l'intérieur d'un récipient fermé. Si l'échantillon n'est pas passé par un sécheur, la température du récipient doit être réglée pour produire un niveau de H₂O 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 H₂O au moins aussi élevé que le niveau déterminé au paragraphe 8.1.8.5.8. Une concentration de gaz de calibrage CO₂ doit être utilisée à un niveau au moins aussi élevé que le maximum attendu pendant l'essai;
 - Le gaz d'essai CO₂ humidifié doit être introduit en aval de tout sécheur d'échantillon si un tel appareil est utilisé pendant l'essai;
 - La fraction molaire de l'eau, $x_{\text{H}_2\text{O}}$, 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 $x_{\text{H}_2\text{O}}$;
 - On suivra les règles de bonne pratique pour empêcher la condensation dans les lignes de transfert, les raccords ou les soupapes entre les analyseurs et le point où est mesuré $x_{\text{H}_2\text{O}}$. **Il est recommandé que le système soit conçu de manière que les températures de paroi dans les lignes de transfert, les raccords ou les soupapes entre les analyseurs et le point où est mesuré $x_{\text{H}_2\text{O}}$ soient supérieures d'au moins 5 °C au point de rosée local du gaz prélevé;**

- f) On laissera le délai nécessaire pour que la réponse de l'analyseur se stabilise. **Le délai englobe le temps nécessaire pour purger la canalisation de transfert et pour tenir compte de la réponse de l'analyseur;**
- g) Pendant que l'analyseur mesure la concentration de l'échantillon, ses valeurs mesurées sont enregistrées pendant 30 s. On calcule ensuite la moyenne arithmétique de ces données;
- h) L'analyseur satisfait à la vérification de l'interférence si le résultat du paragraphe g) de la présente section respecte la tolérance indiquée au paragraphe 8.1.9.2.3;
- i) On peut également faire les procédures de contrôle d'interférence du CO₂ et du H₂O séparément. Si les niveaux de CO₂ et de H₂O 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 de contrôle d'interférence avec des concentrations de H₂O (jusqu'à 0,025 mol/mol de contenu de H₂O) qui sont plus basses que les niveaux maximum attendus au cours de l'essai, mais l'interférence observée avec le H₂O doit être ramenée à une échelle plus grande en multipliant l'interférence constatée par le taux de la valeur de concentration de H₂O 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 de l'analyseur FID

8.1.10.1.1 Étendue et fréquence

Pour tous les analyseurs FID, il conviendra d'étalonner le FID lors de l'installation initiale. L'étalonnage doit être répété selon les besoins et les règles de bonne pratique. On suivra les étapes suivantes pour un analyseur 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 (CH₄) du FID devra être déterminé après l'installation initiale de l'analyseur et après une maintenance majeure, comme indiqué au paragraphe 8.1.10.1.4 de la présente section;
- c) La réponse au méthane (CH₄) doit être vérifiée dans les cent quatre-vingt-cinq jours précédant l'essai.

8.1.10.1.2 Étalonnage

On élaborera une procédure d'étalonnage en respectant les règles de bonne pratique, par exemple en suivant une procédure fondée sur les instructions du fabricant de l'analyseur FID et sur la fréquence recommandée pour l'étalonnage du FID. **Il sera aussi autorisé d'enlever des composants pour**

l'étalonnage hors site. 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. **Il est recommandé d'utiliser pour l'analyseur FID des gaz de zéro et de calibrage qui contiennent approximativement la concentration moyenne de O_2 prévue lors des essais. Si un analyseur FID est utilisé pour mesurer le méthane (CH_4) en aval d'un convertisseur NMC, le FID peut être étalonné avec le convertisseur en utilisant un gaz d'étalonnage CH_4 .** Indépendamment de la composition du gaz d'étalonnage, il doit être étalonné sur la base d'un nombre de carbone de un (C_1). **Ainsi, par exemple, si un gaz de calibrage C_3H_8 de concentration de 200 $\mu\text{mol/mol}$ est utilisé, l'analyseur FID devrait être calibré sur une réponse de 600 $\mu\text{mol/mol}$. Autre exemple, s'il est utilisé un gaz de calibrage CH_4 avec une concentration de 200 $\mu\text{mol/mol}$, l'analyseur FID devrait avoir une réponse de 200 $\mu\text{mol/mol}$.**

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 suivra les prescriptions du fabricant de l'instrument et les règles de bonne pratique pour démarrage initial de l'instrument et les réglages de fonctionnement de base par contrôle des débits de combustible FID et d'air de mise à zéro. Les analyseurs FID chauffés seront 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 spécifiée par le fabricant de l'instrument;
- b) Les analyseurs FID chauffés seront dans leurs plages de température de fonctionnement requises. La réponse sera 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 conviendra 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 tracera 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 sera 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 Détermination du facteur de réponse au CH₄ du FID de mesure des HC

Cette procédure s'applique uniquement aux analyseurs FID qui mesurent les HC. Comme les analyseurs FID répondent généralement différemment au CH₄ et au C₃H₈, il faudra déterminer le facteur de réponse au CH₄ $RF_{CH_4[THC-FID]}$ de chaque analyseur FID de THC après l'optimisation du FID. Le facteur $RF_{CH_4[THC-FID]}$ 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 CH₄. On déterminera $RF_{CH_4[THC-FID]}$ de la manière suivante, en notant que $RF_{CH_4[THC-FID]}$ n'est pas déterminé pour les FID qui sont étalonnés et réglés au moyen de CH₄ avec convertisseur NMC:

- a) On choisira une concentration de gaz de calibrage C₃H₈ afin de régler l'analyseur avant l'essai d'émissions. Seuls les gaz de calibrage répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1 doivent être retenus et on prendra note de la concentration de C₃H₈;
- b) On choisira un gaz de calibrage CH₄ répondant aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et on prendra note de la concentration du CH₄;
- 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 C₃H₈. L'étalonnage s'effectue sur la base d'un nombre carbone de un (C₁). **Ainsi par exemple si un gaz d'étalonnage C₃H₈ d'une concentration de 200 µmol/mol est utilisé, le FID devrait être réglé pour avoir une réponse de 600 µmol/mol;**
- 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 C₃H₈ sélectionné;

- g) Le gaz de calibrage CH₄ doit être introduit dans l'orifice pour échantillon de l'analyseur FID; il s'agit du gaz de calibrage CH₄ 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 le traitement de la réponse;
- i) Pendant que l'analyseur mesure la concentration de CH₄, on enregistre 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 CH₄. Le résultat est le facteur de réponse de l'analyseur FID pour CH₄, $RF_{CH_4[THC-FID]}$.

8.1.10.1.5 Vérification de la réponse au méthane (CH₄) du FID de mesure des HC

Cette procédure s'applique uniquement aux analyseurs FID mesurant le HC. Si la valeur de $RF_{CH_4[THC-FID]}$ du paragraphe 8.1.10.1.4 est dans les limites de $\pm 5,0$ % de sa valeur précédente la plus récemment déterminée, le FID HC satisfait à la vérification de la réponse au méthane. **Ainsi par exemple si la valeur antérieure la plus récente pour $RF_{CH_4[THC-FID]}$ était de 1,05 et si elle avait varié de + 0,05 pour passer à 1,10 ou si elle avait varié de - 0,05 pour passer à 1,00, l'un et l'autre cas seraient acceptables car la valeur de + 4,8 % est inférieure à la valeur limite de + 5,0 %.**

- 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 $\pm 0,5$ % 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 conviendra de déterminer un nouveau $RF_{CH_4[THC-FID]}$ comme indiqué au paragraphe 8.1.10.1.4 de la présente section. Il faut s'assurer que la valeur de $RF_{CH_4[THC-FID]}$ déterminée respecte les tolérances spécifiées au paragraphe 8.1.10.1.5;
- b) Si $RF_{CH_4[THC-FID]}$ ne respecte pas cette tolérance, la réponse du FID devra à nouveau être optimisée, comme indiqué au paragraphe 8.1.10.1.5;
- c) Il convient de déterminer un nouveau $RF_{CH_4[THC-FID]}$ conformément aux dispositions du point 8.1.10.1.4 de la présente section. Cette nouvelle valeur de $RF_{CH_4[THC-FID]}$ sera utilisée dans les calculs de détermination des HC comme décrit dans l'annexe A.7 (méthode sur base molaire) ou l'annexe A.8 (méthode sur la base de la masse).

8.1.10.2 Vérification non stœchiométrique de l'interférence de O₂ 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 O₂ sur la réponse du FID et doit être vérifiée après l'installation initiale et après une maintenance majeure.

8.1.10.2.2 Principes de mesure

Des changements de la concentration de O₂ 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 O₂ avec le C et 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 O₂ avec le FID selon la procédure de la présente section.

8.1.10.2.4 Mode opératoire

L'interférence de O₂ avec le FID doit être déterminée selon la méthode décrite ci-après; il est à noter que l'on peut utiliser un ou plusieurs mélangeurs-doseurs de gaz pour produire les concentrations de référence qui sont nécessaires à l'exécution de cette vérification:

- a) Sélectionner trois gaz de référence de calibrage qui répondent aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et qui contiennent une concentration de C₃H₈ 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 CH₄ avec un convertisseur de HCNM. Les trois concentrations de gaz équilibrées doivent être choisies d'une manière telle que les concentrations de O₂ et de N₂ représentent les concentrations minimum, maximum et intermédiaire attendues au cours de l'essai. La nécessité d'utiliser la concentration de O₂ 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 utilisera 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 sera réglée au moyen d'un gaz de calibrage qui est utilisé au cours des essais d'émissions;
- f) La réponse nulle sera 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 $\pm 0,5$ % 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 O₂ attendue au cours de l'essai. La réponse moyenne de 30 s de données échantillonnées stabilisées sera 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 sera effectuée si la réponse zéro moyenne de 30 s de données échantillonnées stabilisées reste dans la limite de $\pm 0,5 \%$ de la valeur de référence du réglage de sensibilité utilisée au point e) ci-dessus; dans le cas contraire, la procédure sera 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 O₂ 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 sera exécutée si la réponse zéro moyenne de 30 s de données échantillonnées stabilisées ne dépasse pas $\pm 0,5 \%$ de la valeur de référence de réglage de sensibilité utilisée au paragraphe e) ci-dessus; à défaut, la procédure sera relancée à partir du point d);
- k) La réponse de l'analyseur doit être vérifiée au moyen du gaz de calibrage ayant la concentration de O₂ 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 sera effectuée si la réponse moyenne nulle à 30 s de données échantillonnées stabilisées ne dépasse pas $\pm 0,5 \%$ 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 calculera la différence en pourcentage entre $x_{O2maxHC}$ et sa concentration de gaz de référence. On calculera la différence de pourcentage entre $x_{O2avgHC}$ et sa concentration de gaz de référence. On calculera la différence de pourcentage entre $x_{O2minHC}$ et sa concentration de gaz de référence. On déterminera la différence de pourcentage maximale des trois paramètres. Ceux-ci correspondent à l'interférence par O₂;
- n) Si l'interférence de O₂ est dans les limites de $\pm 3 \%$, l'analyseur FID satisfait à la vérification de l'interférence par O₂; 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 choisira des gaz de zéro et des gaz de calibrage contenant des concentrations de O₂ 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/THC pour satisfaire à l'interférence de O_2 , le RF_{CH_4} doit être remis à zéro pour la vérification RF_{CH_4} suivante. La vérification de l'interférence par O_2 doit être répétée après l'ajustement et ensuite sera déterminé le RF_{CH_4} ;
- iv) le FID doit être réparé ou remplacé et la vérification de l'interférence par O_2 doit être répétée.

8.1.10.3 Fractions de pénétration du convertisseur de HCNM

8.1.10.3.1 Étendue et fréquence

Si l'on utilise un analyseur FID et un convertisseur NMC pour mesurer le méthane (CH_4), il faudra déterminer les efficacités de conversion du convertisseur pour le méthane, E_{CH_4} , et pour l'éthane, $E_{C_2H_6}$. 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 cent quatre-vingt-cinq 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_{CH_4} [-] de 0 (autrement dit, une fraction de pénétration du méthane, PF_{CH_4} , 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 $E_{C_2H_6}$ [-] de 1 (autrement dit une fraction de pénétration de l'éthane $PF_{C_2H_6}$ [-] de 0). Les calculs d'émissions de l'annexe A.7 ou de l'annexe A.8 utilisent les valeurs mesurées de conversion d'efficacité E_{CH_4} et $E_{C_2H_6}$ du présent paragraphe pour tenir compte d'une efficacité imparfaite 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 $E_{CH_4} < 0,15$ et un $E_{C_2H_6} > 0,98$ ($PF_{CH_4} > 0,85$ et $PF_{C_2H_6} < 0,02$), 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 Mode opératoire

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 calibration CH_4 . Le produit du facteur de réponse du FID au CH_4 et la fraction de pénétration du CH_4 , $RFPF_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]}$, seront mis à 1,0 (c'est-à-dire une efficacité de E_{CH_4} [-] 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 $RFPF_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}$ (et l'efficacité $E_{\text{C}_2\text{H}_6}$ [-]) seront déterminés de la manière suivante:

- a) On choisira 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 retiendra une concentration de CH_4 pour le calibration 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 THC;
- b) Le convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques sera démarré, utilisé et optimisé conformément aux instructions du fabricant, y compris toute optimisation de la température;
- c) Il faudra 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 utilisera un gaz de calibration 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 calibration a une valeur de référence CH_4 de $100 \mu\text{mol/mol}$, la réponse FID correcte à ce gaz de calibration est $100 \mu\text{mol/mol}$ étant donné qu'il y a un atome de carbone par molécule de CH_4 ;
- f) Le mélange de gaz analytique C_2H_6 doit être introduit en amont du convertisseur;
- g) La réponse de l'analyseur doit se stabiliser. Le temps nécessaire à cet effet peut englober le temps requis pour purger le convertisseur et pour tenir compte de la réponse de l'analyseur;
- h) Pendant que l'analyseur mesure une concentration stable, il faut enregistrer 30 s de données échantillonnées pour calculer ensuite la moyenne arithmétique de ces points de données;
- i) La moyenne sera 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, $RFPF_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}$, équivalent à $(1 - E_{\text{C}_2\text{H}_6} [-])$. Ce facteur de réponse combiné et cette fraction de pénétration ainsi que le produit du facteur de réponse CH_4 et la fraction de pénétration CH_4 , $RFPF_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]}$, qui est mise à 1,0, seront utilisés dans les calculs d'émissions, conformément à l'annexe A.7 ou A.8 selon qu'elle s'applique.

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 $PF_{C_2H_6[NMC-FID]}$ et $PF_{CH_4[NMC-FID]}$ 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 (THC) attendue à la norme d'hydrocarbures, ou encore la valeur de réglage de l'analyseur THC;
- 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 mis en marche et 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 sera réglé en contournant le convertisseur et en utilisant un gaz de calibration C_3H_8 . Le réglage se fera sur la base de C_1 . **Ainsi par exemple si le gaz de calibration a une valeur de référence de propane de 100 $\mu\text{mol/mol}$, la réponse correcte de l'analyseur FID à ce gaz devrait être de 300 $\mu\text{mol/mol}$ car la molécule de C_3H_8 comprend trois atomes de carbone;**
- 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 laissera 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 répétera 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 , $PF_{C_2H_6[NMC-FID]}$, qui est équivalente à $(1 - E_{C_2H_6} [-])$. Cette fraction de pénétration doit être utilisée conformément à l'annexe A.7 ou A.8 selon qu'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 est la fraction de pénétration CH_4 , $PF_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]}$ (équivalente à $(1 - E_{\text{CH}_4} [-])$). Cette fraction de pénétration sera utilisée conformément à l'annexe A.7 ou A.8 selon qu'elle s'applique;

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, $RFPF_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}$, ainsi que sa fraction de pénétration CH_4 , $PF_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]}$, de la manière suivante:

- a) On choisira 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 (THC) attendue au niveau standard d'hydrocarbures ou à la valeur de réglage de l'analyseur THC;
- b) Le convertisseur NMC doit être mis en marche 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 calibration a une valeur de référence de méthane de $100 \mu\text{mol/mol}$, la réponse FID correcte à ce gaz de calibration est $100 \mu\text{mol/mol}$ étant donné qu'il y a un atome de carbone par molécule de CH_4 ;
- f) Le mélange de gaz analytique C_2H_6 doit être introduit en amont du convertisseur NMC au même point que celui utilisé pour introduire le gaz de zéro;
- g) On laissera à l'analyseur le délai nécessaire de se stabiliser. Cette durée de stabilisation peut englober le temps nécessaire pour purger le convertisseur et pour le traitement 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 $RFPF_{C_2H_6[NMC-FID]}$. Ce facteur de réponse combiné et la fraction de pénétration seront utilisés conformément à l'annexe A.7 et A.8, selon qu'elles s'appliquent;
- 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 sera le facteur de pénétration du CH_4 , soit $PF_{CH_4[NMC-FID]}$. Cette fraction de pénétration doit être utilisée conformément aux annexes A.7 ou A.8, selon qu'elle s'applique.
- 8.1.11 Mesures 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 conviendra de vérifier l'importance des facteurs d'extinction par H_2O et CO_2 après l'installation de l'analyseur CLD et après une maintenance majeure.
- 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 évaluera l'extinction avec ces instruments actifs et les algorithmes de compensation qui auront 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 $\pm 2\%$. 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 mélangeur-doseur de gaz qui mélange des gaz de calibration 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 utilisera des tubes en PTFE ou en acier inoxydable pour faire les raccordements nécessaires;

- b) Le mélangeur-doseur de gaz doit être configuré de telle manière que des quantités à peu près égales de gaz de calibrage 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 utilisera un gaz de calibrage CO₂ satisfaisant aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et une concentration approximativement double de la concentration de CO₂ maximale attendue pendant l'essai d'émissions;
- e) On utilisera 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 pourra utiliser des concentrations plus élevées conformément aux recommandations du fabricant de l'instrument et en suivant les règles de bonne pratique afin d'obtenir une vérification précise au cas où la concentration de NO attendue est plus basse que la plage minimale de vérification spécifiée 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 mélangeur-doseur de gaz. Le gaz de calibrage NO doit être branché sur l'orifice de réglage du mélangeur-doseur de gaz. Un gaz à la pression atmosphérique doit être raccordé à l'orifice du gaz diluant du mélangeur-doseur de gaz; (on utilisera le même taux de mélange nominal que celui sélectionné au paragraphe b) ci-dessus), et on utilisera la concentration de sortie de NO du mélangeur-doseur de gaz pour régler le détecteur CLD. Des corrections des propriétés du gaz seront appliquées selon les besoins pour garantir une division précise du gaz;
- g) Le gaz de calibrage CO₂ doit être raccordé à l'orifice de réglage du mélangeur-doseur de gaz;
- h) Un gaz de calibrage NO doit être raccordé à l'orifice des gaz diluants du mélangeur-doseur de gaz;
- i) Pendant le flux de NO et de CO₂ à travers le mélangeur-doseur de gaz, il faut stabiliser le débit de ce dernier. On déterminera la concentration de CO₂ à la sortie du mélangeur-doseur de gaz et on appliquera une correction des propriétés du gaz selon les besoins pour aboutir à une division précise. Cette concentration, $x_{\text{CO}_2\text{act}}$, doit être notée et utilisée dans les calculs de vérification d'extinction du paragraphe 8.1.11.2.3. À la place du mélangeur-doseur de gaz, on peut utiliser un autre dispositif simple de mélange. Dans ce cas, on fera appel à un analyseur pour déterminer la concentration de CO₂. Si on utilise un analyseur NDIR avec un dispositif de mélange de gaz simple, il doit satisfaire aux prescriptions de la présente section. Il sera réglé en sensibilité avec le gaz de calibrage CO₂ 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 CO₂ attendue au cours de l'essai;

- j) La concentration de NO doit être mesurée en aval du mélangeur-doseur de gaz au moyen de l'analyseur CLD. Il faudra 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 le traitement 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 calculera 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 mélangeur-doseur de gaz, x_{NOact} , sur la base des concentrations de gaz de calibrage et de 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 de bonne pratique:

- 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 de bonne pratique pour obtenir une vérification précise si la concentration de NO est inférieure à la gamme minimale des valeurs spécifiées 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 calibrage NO doit être humidifié par barbotage à travers de l'eau distillée dans un récipient fermé. Si l'échantillon de gaz de calibrage NO humidifié ne passe pas par un sécheur pour cet essai, la température du récipient doit être réglée de manière à produire un niveau de H_2O approximativement égal à la fraction molaire maximale de H_2O prévue au cours de l'essai d'émissions. Si le gaz de calibrage NO humidifié ne traverse pas le sécheur d'échantillon, les calculs de vérification du paragraphe 8.1.11.2.3 situent l'effet d'extinction par

H₂O à la fraction molaire la plus élevée de H₂O attendue au cours de l'essai d'émissions. Si le gaz de calibrage NO traverse un sécheur, la température du récipient doit être maintenue sous contrôle pour produire un niveau de H₂O 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 H₂O 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 mesurera la fraction molaire de H₂O dans le gaz de calibrage NO humidifié. Si l'on utilise un sécheur d'échantillon, la fraction molaire de H₂O dans le gaz NO humidifié doit être mesurée en aval du sécheur en question, $x_{\text{H}_2\text{O}_{\text{meas}}}$. Il est recommandé de mesurer la valeur de $x_{\text{H}_2\text{O}_{\text{meas}}}$ aussi près que possible de l'entrée de l'analyseur CLD. On peut calculer $x_{\text{H}_2\text{O}_{\text{meas}}}$ à partir des mesures du point de rosée, T_{dew} , et de la pression absolue, p_{total} ;
- h) On suivra les règles de bonne pratique pour empêcher la formation de condensation dans les lignes de transfert, les raccords ou les vannes à partir du point où $x_{\text{H}_2\text{O}_{\text{meas}}}$ 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 mesurées 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 calibrage NO humidifié doit être mesurée au moyen de l'analyseur CLD. On laissera 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, $x_{\text{NO}_{\text{wet}}}$. 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 seront 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, $x_{\text{H}_2\text{O}_{\text{exp}}}$ 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 faudra examiner la teneur maximale en eau attendue dans l'air de combustion, les produits de la combustion du carburant et l'air de dilution (si cela s'applique). Si le gaz de calibrage 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 $x_{H_2O_{exp}}$ devra être mis à $x_{H_2O_{meas}}$.

8.1.11.2.2 Quantité de CO₂ attendue au cours de l'essai

Il faut faire une évaluation de la concentration maximum attendue de CO₂, $x_{CO_2_{exp}}$. Cette estimation doit être faite à l'emplacement du système de prélèvement où les gaz de calibrage NO et CO₂ sont introduits conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 j). Pour l'estimation de la concentration de CO₂ maximale attendue, on prendra en considération la teneur en CO₂ maximale attendue des produits de combustion de carburant et de l'air de dilution.

8.1.11.2.3 Calculs des effets d'extinction combinés de H₂O et CO₂

Les effets d'extinction combinés de H₂O et CO₂ seront calculés de la manière suivante:

$$quench = \left[\left(\frac{x_{NO_{wet}}}{1 - x_{H_2O_{meas}}} - 1 \right) \cdot \frac{x_{H_2O_{exp}}}{x_{H_2O_{meas}}} + \left(\frac{x_{NO_{meas}}}{x_{NO_{act}}} - 1 \right) \cdot \frac{x_{CO_2_{exp}}}{x_{CO_2_{act}}} \right] \cdot 100\% \quad (8-4)$$

Où:

quench = importance de l'effet d'extinction sur le CLD

$x_{NO_{dry}}$ = concentration mesurée de NO en amont du barboteur, conformément au paragraphe 8.1.11.1.5 d)

$x_{NO_{wet}}$ = concentration mesurée de NO en aval du barboteur, conformément au paragraphe 8.1.11.1.5 i)

$x_{H_2O_{exp}}$ = fraction molaire maximale attendue de l'eau pendant l'essai d'émissions, conformément au paragraphe 8.1.11.2.1

$x_{H_2O_{meas}}$ = fraction molaire mesurée de l'eau pendant la vérification de l'extinction, conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 j)

$x_{NO_{meas}}$ = concentration mesurée de NO quand aucun gaz de calibrage n'est mélangé avec le gaz CO₂, conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 j)

$x_{NO_{act}}$ = concentration réelle de NO lorsque le gaz de calibrage NO est mélangé au gaz de calibrage CO₂, conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 k) et calculé au moyen de l'équation (8-5)

$x_{CO_2_{exp}}$ = concentration maximale attendue de CO₂ pendant l'essai d'émissions, conformément au paragraphe 8.1.11.1.3

$x_{CO_2_{act}}$ = concentration réelle de CO₂ quand aucun gaz de calibrage n'est mélangé au gaz CO₂, conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 i)

$$x_{NO_{act}} = \left(1 - \frac{x_{CO_2_{act}}}{x_{CO_2_{span}}} \right) \cdot x_{NO_{span}} \quad (8-5)$$

Où:

x_{NOspan} = concentration du gaz de calibration NO à l'entrée du mélangeur-doseur de gaz, conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 e)

x_{CO2span} = concentration de gaz de calibration CO₂ à l'entrée du mélangeur-doseur de gaz, conformément au paragraphe 8.1.11.1.4 d)

Exemple:

$x_{\text{NOdry}} = 1\,800,0 \text{ } \mu\text{mol/mol}$

$x_{\text{NOWet}} = 1\,729,6 \text{ } \mu\text{mol/mol}$

$x_{\text{H2Oexp}} = 0,030 \text{ mol/mol}$

$x_{\text{H2Omeas}} = 0,030 \text{ mol/mol}$

$x_{\text{NOmeas}} = 1\,495,2 \text{ } \mu\text{mol/mol}$

$x_{\text{NOspan}} = 3\,001,6 \text{ } \mu\text{mol/mol}$

$x_{\text{CO2exp}} = 3,2 \text{ } \%$

$x_{\text{CO2span}} = 6,0 \text{ } \%$

$x_{\text{CO2act}} = 2,98 \text{ } \%$

$$\mathcal{X}_{\text{NOact}} = \left(1 - \frac{2,98}{6,00}\right) \times 3001,6 = 1510,8 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

$$\text{quench} = \left[\left(\frac{\frac{1729,6}{1-0,030}}{1800,0} - 1 \right) \times \frac{0,030}{0,030} + \left(\frac{1495,2}{1510,8} - 1 \right) \times \frac{3,2}{2,98} \right] \cdot 100 \text{ } \% = -2,0048\%$$

8.1.11.3 Vérification de l'interférence par les HC et H₂O sur l'analyseur NDUV

8.1.11.3.1 Étendue et fréquence

Si l'on utilise un analyseur NDUV pour mesurer les NO_x, il faudra mesurer l'importance de l'interférence par H₂O et les hydrocarbures après l'installation initiale de l'analyseur et après un entretien majeur.

8.1.11.3.2 Principes de mesure

Les hydrocarbures et le H₂O peuvent effectivement fausser la réponse d'un analyseur NDUV en produisant une réponse analogue aux NO_x. Si l'analyseur NDUV utilise des algorithmes de compensation qui utilisent des mesures d'autres gaz pour effectuer cette vérification de l'interférence, il faudra 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 H₂O et HC combinés ne doit pas excéder ± 2 % de la concentration moyenne de NO_x; **une valeur inférieure (± 1 %) est toutefois recommandée.**

8.1.11.3.4 Mode opératoire

La vérification de l'interférence sera effectuée de la manière suivante:

- a) L'analyseur NDUV de NO_x doit être mis en marche, 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 utilisera un analyseur CLD qui répond aux spécifications du paragraphe 9.4 pour quantifier les NO_x dans les gaz d'échappement. On utilisera 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 sera 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 $\pm 2\%$ de la concentration de NO_x attendue à la norme:

$$\left(\bar{x}_{\text{NO}_x, \text{CLD}, \text{meas}} - \bar{x}_{\text{NO}_x, \text{NDUV}, \text{meas}} \right) \cdot \left(\frac{\bar{x}_{\text{HC}, \text{exp}}}{\bar{x}_{\text{HC}, \text{meas}}} \right) \leq 2\% \cdot \left(\bar{x}_{\text{NO}_x, \text{exp}} \right) \quad (8-6)$$

Où:

\bar{x} [$\mu\text{mol/mol}$] ou [ppm] est la concentration moyenne de:

- i) NO_x mesurés par le CLD ($\bar{x}_{\text{NO}_x, \text{CLD}, \text{meas}}$) et par le NDUV ($\bar{x}_{\text{NO}_x, \text{NDUV}, \text{meas}}$)
- ii) HC mesurés ($\bar{x}_{\text{HC}, \text{meas}}$)
- iii) HC attendus à la norme ($\bar{x}_{\text{HC}, \text{exp}}$)
- iv) NO_x attendus à la norme ($\bar{x}_{\text{NO}_x, \text{exp}}$)

$\left(\bar{x}_{\text{NO}_x, \text{CLD}, \text{meas}} - \bar{x}_{\text{NO}_x, \text{NDUV}, \text{meas}} \right)$ est la différence de NO_x

$\left(\bar{x}_{\text{NO}_x, \text{CLD}, \text{meas}} - \bar{x}_{\text{NO}_x, \text{NDUV}, \text{meas}} \right) \cdot \left(\frac{\bar{x}_{\text{HC}, \text{exp}}}{\bar{x}_{\text{HC}, \text{meas}}} \right)$ est la différence mesurée sur les NO_x corrigée en fonction des HC attendus

Exemple:

$$\bar{\chi}_{\text{NO}_x, \text{CLD}, \text{meas}} = 300,00 \text{ ppm } (\mu\text{mol/mol})$$

$$\bar{\chi}_{\text{NO}_x, \text{NDUV}, \text{meas}} = 310,00 \text{ ppm}$$

$$\bar{\chi}_{\text{NO}_x, \text{exp}} = 80,00 \text{ ppmC}$$

$$\bar{x}_{\text{HC}, \text{exp}} = 40,00 \text{ ppmC}$$

$$\bar{x}_{\text{NO}_x, \text{exp}} = 280,00 \text{ ppmC}$$

$$\left(\bar{\chi}_{\text{NO}_x, \text{CLD}, \text{meas}} - \bar{\chi}_{\text{NO}_x, \text{NDUV}, \text{meas}} \right) \cdot \left(\frac{\bar{x}_{\text{HC}, \text{exp}}}{\bar{x}_{\text{HC}, \text{meas}}} \right) = (310 - 300) \times \left(\frac{40}{80} \right) = 5 \text{ ppm}$$

$$2 \% \text{ de } \bar{x}_{\text{NO}_x, \text{exp}} = 0,02 \times 280 = 5,6 \text{ ppm} \rightarrow 5 \text{ ppm} \leq 5,6 \text{ ppm}$$

8.1.11.3.5 Conditions s'appliquant au refroidisseur

Il sera démontré 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 % 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 sera effectuée pour la pénétration du bain de NO_2 , après l'installation initiale et après une maintenance majeure.

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 Mode opératoire

On utilisera la procédure suivante pour vérifier le comportement du bain de refroidissement:

- a) Mise en place des instruments. Il faudra 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 utilisera un gaz d'étalonnage NO_2 (gaz de complément air sec) qui a une concentration de NO_2 proche du maximum attendu au cours de l'essai. On peut utiliser une concentration plus élevée, conformément aux recommandations du fabricant de l'instrument, en suivant les règles de bonne pratique pour obtenir une vérification précise si la concentration de NO_2 attendue est plus faible que la plage minimale pour la vérification spécifiée 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 laissera 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 $x_{\text{NO}_x\text{ref}}$;
 - 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 sera commuté directement sur le gaz d'étalonnage NO_2 pour déterminer $x_{\text{NO}_x\text{ref}}$. 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 $x_{\text{NO}_x\text{meas}}$;
 - viii) $x_{\text{NO}_x\text{meas}}$ doit être corrigé en $x_{\text{NO}_x\text{dry}}$ 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 $x_{\text{NO}_x\text{dry}}$ est inférieur à 95 % de $x_{\text{NO}_x\text{ref}}$, 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 entretien majeur 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 NO₂-à-NO permet à un analyseur qui mesure uniquement le NO de déterminer les NO_x totaux en convertissant le NO₂ des gaz d'échappement en NO.

8.1.11.5.3 Configuration nécessaire

Un convertisseur NO₂-à-NO doit permettre de mesurer au moins 95 % du NO₂ total à la concentration maximale attendue de NO₂.

8.1.11.5.4 Procédure

On utilisera la procédure suivante pour s'assurer des performances d'un convertisseur NO₂-à-NO:

- a) Pour le montage des instruments, on suivra les instructions de mise en place et de fonctionnement du fabricant du convertisseur NO₂-à-NO. L'analyseur et le convertisseur seront réglés selon les besoins pour optimiser les performances;
- b) L'entrée d'un ozoniseur doit être raccordée 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 NO₂-à-NO sur la troisième;
- c) On effectuera 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 NO₂-à-NO doit être réglé sur le mode contournement (c'est-à-dire mode NO). On laissera 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 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 NO₂ 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 de bonne pratique pour obtenir une vérification précise si la concentration de NO attendue est inférieure à la plage minimale de vérification spécifiée par le fabricant;
 - iii) l'alimentation O₂ de l'ozoniseur doit être mise en route et il faut ajuster le débit de O₂ de telle manière que le NO indiqué dans l'analyseur soit d'environ 10 % inférieur à x_{NOref} . On enregistrera 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 $x_{\text{NO+O2mix}}$;

- 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 $\text{NO} + \text{O}_2$. 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 $x_{\text{NOx+O2mix}}$;
 - 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:

$$\text{Efficiency}[\%] = \left(1 + \frac{x_{\text{NOxmeas}} - x_{\text{NOx+O2mix}}}{x_{\text{NOx+O2mix}} - x_{\text{NOmeas}}} \right) \times 100 \quad (8-7)$$

- 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 à 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 à 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 h avant le pesage d'un filtre quelconque;
- c) La vérification que la détermination de la masse des filtres de référence avant et après une séance de pesage de 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 utilisera 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 utilisera 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 h; elle peut englober à la fois des pesages de masse avant et après l'essai. **Il est recommandé que les séances de pesage durent 8 h ou moins.** Des déterminations de masse successives de chaque échantillon MP de référence doivent donner la même valeur avec une tolérance maximale de $\pm 10 \mu\text{g}$ ou $\pm 10 \%$ de la masse MP totale attendue, la plus élevée étant retenue. Si des pesages de filtres échantillons de MP successifs ne sont pas conformes à ce critère, toutes les lectures de poids de filtres 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 du support de collecte de MP inutilisés. Ceux-ci seront utilisés comme éléments de référence. Des filtres inutilisés du même matériau et de la même taille seront 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 seront stabilisées si elles ont séjourné dans cet environnement pour un minimum de 30 min, et que l'environnement de stabilisation des MP a été conforme aux spécifications du paragraphe 9.3.4.4 pendant au moins les 60 min précédentes;
- c) Le pesage sera effectué à plusieurs reprises avec un échantillon de référence mais sans prise de note des valeurs;
- d) La balance doit être mise à zéro et réglée. À cet effet on mettra 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 délai de stabilisation normal;

- e) Tous les supports de référence (par exemple les filtres) doivent être pesés et leurs masses doivent être 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 utilisera 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 utilisera 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 prendra 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 disposera 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 à échantillon de MP

8.1.12.2.1 Considérations générales

Le filtre à échantillon de MP sera 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 de collecte de MP

Des filtres de collecte de MP différents ont des densités différentes. On utilisera 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 utilisera une densité de 2 300 kg/m³;
- b) Pour un support en membrane PTFE (film) avec un anneau support intégral en polyméthylpentène qui représente 95 % de la masse du média, on utilisera une densité échantillon de 920 kg/m³;
- c) Pour un film en PTFE ayant un anneau support intégré de PTFE, on utilisera une densité échantillon de 2 144 kg/m³.

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 utilisera la densité annoncée du matériau du poids métallique d'étalonnage.

8.1.12.2.5 Calcul de la correction

Le filtre à échantillon MP doit être corrigé pour la flottabilité au moyen des équations suivantes:

$$m_{\text{cor}} = m_{\text{uncor}} \left(\frac{1 - \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{weight}}}}{1 - \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{media}}}} \right) \quad (8-8)$$

Où:

m_{cor} = masse 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 MP

$$\rho_{\text{air}} = \frac{p_{\text{abs}} \cdot M_{\text{mix}}}{R \cdot T_{\text{amb}}} \quad (8-9)$$

Où:

- p_{abs} = pression absolue dans l'environnement de la balance
 M_{mix} = masse molaire de l'air dans l'environnement de la balance
 R = constante de gaz molaire
 T_{amb} = température ambiante absolue de l'environnement de la balance

Exemple (voir exemples de l'annexe A.7):

$$p_{\text{abs}} = 99,980 \text{ kPa}$$

$$T_{\text{sat}} = T_{\text{dew}} = 9,5 \text{ }^\circ\text{C} = 282,65 \text{ K}$$

$$\text{selon Eq. A.7-1, } p_{\text{H}_2\text{O}} = 1,1866 \text{ kPa}$$

$$\text{selon Eq. A.7-3, } x_{\text{H}_2\text{O}} = 0,011868 \text{ mol/mol}$$

$$\text{selon Eq. A.7-65, } M_{\text{mix}} = 28,83563 \text{ g/mol}$$

$$R = 8,314472 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$$

$$T_{\text{amb}} = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$$

$$\rho_{\text{air}} = \frac{p_{\text{abs}} \cdot M_{\text{mix}}}{R \cdot T_{\text{amb}}} = \frac{99,980 \times 28,83563}{8,314472 \times 293,15} = 1,18282$$

$$m_{\text{uncor}} = 100,0000 \text{ mg}$$

$$\rho_{\text{weight}} = 8\,000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{filter}} = 920 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{\text{cor}} = m_{\text{uncor}} \left(\frac{1 - \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{weight}}}}{1 - \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{filter}}}} \right) = 100,000 \times \left[\frac{1 - \frac{1,18282}{8000}}{1 - \frac{1,18282}{920}} \right] = 100,1139 \text{ mg}$$

8.2 Validation des instruments 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 utilisera 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 faudra déterminer l'erreur type de l'estimation du débit de l'échantillon par rapport au débit total. Pour chaque intervalle d'essai, il faudra 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 utilisera l'échantillon enregistré et les débits totaux ou leurs moyennes pour 1 Hz afin de montrer que chaque débit était constant à $\pm 2,5$ % 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 $\pm 2,5$ % 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 utilisera les conditions enregistrées à l'entrée de la pompe ou leurs moyennes pour 1 Hz. On démontrera que la densité du flux à l'entrée de la pompe était constante à $\pm 2,5$ % 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;
- c) Si la concentration totale de MP en surface du filtre pendant l'essai est inconnue, le filtre doit être exposé à l'environnement de stabilisation pour une durée de 60 min au moins avant le pesage.

8.2.1.1.3 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 fonctionnent toujours dans des conditions de flux critique.

On utilisera les débits et/ou les concentrations de gaz témoin (par exemple le CO₂) 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 $\leq 0,3$ s, on utilise la commande en ligne. Si ce temps de transformation dépasse 0,3 s, on utilise une commande prédictive fondée sur un essai préalablement enregistré. Dans ce cas, le temps de montée combiné est ≤ 1 s et le temps du délai combiné ≤ 10 s. 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 en 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 sera 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 sera 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 prendra 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'assurera que la balance et les environnements de stabilisation des MP satisfont aux indications périodiques du paragraphe 8.1.12. Le filtre de référence sera 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). **Les filtres de référence sont utilisés pour indiquer si les conditions au moment de la stabilisation des filtres d'essai ont éventuellement causé une contamination de ceux-ci, ultérieurement à la détermination préessai de la masse du filtre.** La vérification de la stabilité des filtres de référence a lieu après la période de stabilisation faisant suite aux essais, immédiatement avant le pesage postessai.
- 8.2.3.2 Inspection visuelle
- Le filtre à échantillon inutilisé doit être inspecté visuellement pour repérer les défauts. Les filtres défectueux doivent être 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.

- 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:
- Pour le pesage automatique, on suivra les recommandations du fabricant du système pour préparer les échantillons en vue de leur pesage. **Cela peut inclure le placement des échantillons dans un récipient spécial;**
 - Pour le pesage manuel, il convient de faire preuve de bon sens technique;
 - Facultativement, il est permis de faire un pesage de substitution (voir le paragraphe 8.2.3.10);
 - 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 de bonne pratique 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 propre et les cassettes ainsi chargées doivent être placées dans un récipient recouvert ou fermé avant d'être amenées à la cellule d'essai pour prélèvement. **Il est recommandé de maintenir propres les cassettes en les lavant ou en les essuyant périodiquement avec un solvant n'attaquant pas les matériaux appliqués et avec un chiffon ne laissant pas de dépôt de fibre. Selon le matériau de la cassette, l'éthanol (C₂H₅OH) peut être un solvant acceptable. La fréquence du nettoyage sera fixée en fonction du niveau d'émissions de MP et de HC du moteur.**
- 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 utilisera 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 $2,0 \text{ g/cm}^3$. Les étapes suivantes sont un exemple de pesage de substitution:

- a) On utilisera 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 d'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. **Il est recommandé d'enlever le couvercle de la cassette au début de la période de stabilisation.**
- 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:
- Si l'on prévoit que la concentration de surface totale d'un filtre de MP sera supérieure à $0,353 \mu\text{g}/\text{mm}^2$, en partant de l'hypothèse d'une charge de $400 \mu\text{g}$ sur une surface de filtration de 38 mm de diamètre, le filtre doit être exposé à l'environnement de stabilisation pendant 60 min au moins avant le pesage. **Il est à noter qu'un dépôt de $400 \mu\text{g}$ sur les filtres de collecte correspond à des émissions spécifiques approximatives au frein de $0,07 \text{ g/kWh}$ pour un démarrage à chaud;**
 - Si l'on prévoit que la concentration de MP à la surface totale du filtre sera inférieure à $0,353 \mu\text{g}/\text{mm}^2$, le filtre doit être exposé à l'environnement de stabilisation pendant 30 min au moins avant le pesage.
- 8.2.4.6 Détermination de la masse du filtre après l'essai
- Il faudra répéter les procédures du paragraphe 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 utilisera 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.

Si l'essai du moteur est effectué à l'aide d'un dynamomètre à courant de Foucault, le nombre de points où la différence $T_{sp} - (2 \cdot \pi \cdot \alpha_{sp} \cdot \Theta_D)$ est inférieure à -5 % du couple maximal ne devrait pas être supérieur à 30 (où l'indice *sp* est le point de réglage, T_{sp} est le couple requis, α_{sp} est la dérivée du régime du moteur et Θ_D est l'inertie de rotation du dynamomètre).

9.1.3 Accessoires du moteur

L'action 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 post-traitement seront pris en compte et seront installés conformément aux indications du paragraphe 6.3.

9.2 Procédure de dilution (si elle s'applique)

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 sera 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. **Il est recommandé que la dilution des gaz d'échappement s'effectue en un emplacement le plus proche possible de celui où aurait lieu la dilution de ceux-ci avec l'air ambiant en conditions réelles.**

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-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). **Les filtres HEPA devraient être installés selon les règles de l'art afin qu'il n'y ait pas de fuites de particules ambiantes contournant le filtre;**
 - ii) pour les corrections des MP ambiantes sans filtration HEPA, les MP ambiantes ne devront pas contribuer pour plus de 50 % des MP nettes collectées sur le filtre échantillon;
 - iii) la correction des MP nettes 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 sera 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. **Il est recommandé d'utiliser un tunnel de dilution à paroi mince et isolée pour réduire les différences de température entre la paroi et les gaz d'échappement;**
- 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 $\pm 1,2$ kPa de la pression atmosphérique. **Un ventilateur d'appoint pour le réglage de cette pression peut être utilisé;**

- 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 l'axe central 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 à 52 °C)
- à proximité étroite de l'entrée du tunnel de dilution. La plage sera sélectionnée par la Partie contractante.
- e) **La configuration du système peut être améliorée au moyen de générateurs de turbulence tels que plaques perforées ou aubes de guidage pour réaliser un bon brassage.** Le nombre de Reynolds, Re , doit être d'au moins 4 000 pour le flux d'échappement dilué, où Re est fondé sur le diamètre intérieur du tunnel de dilution. Re est défini dans les annexes A.7-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 $\pm 2\%$ 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. **La prévention de la condensation aqueuse ne consiste pas seulement à maintenir l'eau pure en phase vapeur (voir par. 3.1).** Certains constituants 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-filtre(s);
- 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-filtre(s).

Pour la détermination des temps de présence dans les volumes du système de prélèvement, il est recommandé de partir de l'hypothèse d'une température du flux de 25 °C et d'une pression de 101,325 kPa.

Pour déterminer la masse des matières particulaires, il faut disposer d'un système de prélèvement des particules, d'un filtre de prélèvement des particules, d'une balance gravimétrique ainsi que d'une chambre de pesage sous température et humidité contrôlées;

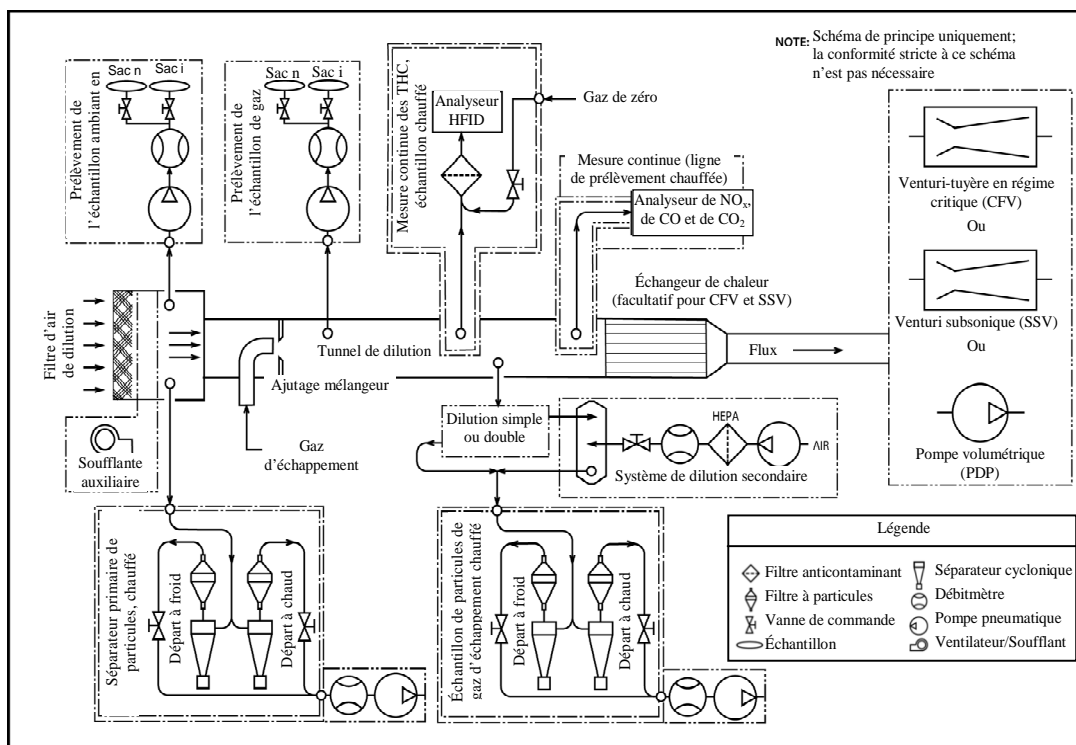


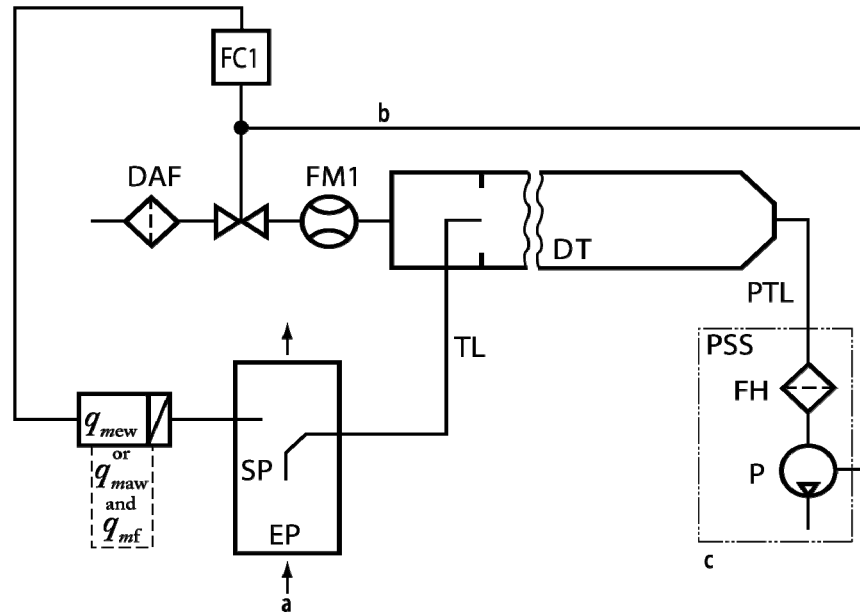
Figure 9.1
Exemples de configurations de prélèvement avec dilution du flux total

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 du prélèvement de l'échantillon, la dilution, et de la collecte 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. **Ainsi par exemple une autre configuration possible du système est celle décrite à la figure A.9.5, utilisée pour la dilution en flux partiel.** 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. La nécessité de répondre à d'autres critères comme ceux des paragraphes 8.1.8.6 (étalonnage périodique) et 8.2.1.2 (validation) pour un système PFD à dilution variable ainsi que le paragraphe 8.1.4.5 et le tableau 8.2 (vérification de la linéarité) ainsi que le paragraphe 8.1.8.5.7 (vérification) pour les systèmes PFD à dilution constante.

Comme montré à 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 (**FC2 dans la figure A.9.6**) et de la pompe de prélèvement P du système de prélèvement des particules (PSS). Pour le prélèvement proportionnel des gaz d'échappement bruts, le débit d'air de dilution est contrôlé par le régulateur de débit FC1, qui peut utiliser comme 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 (**FM3 dans la figure A.9.3**). 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 = optionnel; c = prélèvement PM

Figure 9.2

Schéma du système de dilution en 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 le débit d'air de dilution
- P = Pompe de prélèvement
- PSS = Système de prélèvement des MP
- PTL = Ligne de transfert des MP
- SP = Sonde de prélèvement des gaz d'échappement bruts ou dilués
- TL = Ligne de transfert

Débits massiques applicables uniquement au prélèvement PFD proportionnel de 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 à 52 °C)

à proximité étroite de l'entrée du tunnel de dilution. La plage sera 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 brut 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 évitera 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 mesurera 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 de gaz 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, sera compris entre 0,5 et 5 s.

Pour déterminer la masse des matières particulaires, il faut disposer d'un système de prélèvement, d'un filtre de prélèvement des particules, d'une balance gravimétrique ainsi que d'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 la collecte 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 pour 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 les gaz d'échappement. L'échantillon est amené depuis la sonde dans une ligne de transfert.

Les sondes de prélèvement doivent être faites avec des surfaces internes en acier inoxydable ou, pour le prélèvement de gaz bruts, au moyen d'un matériau quelconque non réactif capable de supporter les températures des gaz d'échappement bruts. Les sondes de prélèvement doivent être situées là où les constituants 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 brut 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 constituants, à condition que cette sonde réponde aux caractéristiques de chaque constituant.

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. **L'utilisation de coudes à 90°, de raccords en T, et de raccords multiples sur les lignes de transfert devrait être évitée. Lorsque de tels raccords sont nécessaires, des mesures devraient être prises, conformément aux règles de bonne pratique, pour garantir le respect des tolérances de température fixées dans le présent paragraphe c). Cela peut nécessiter d'effectuer des mesures de température à divers emplacements le long des lignes de transfert et aux raccords. Une ligne de transfert unique pour le transport d'un échantillon de plus d'un constituant peut être utilisée tant que la ligne de transfert satisfait à toutes les spécifications relatives à chaque constituant.**

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 VitonTM, ou tout autre matériau qui a des propriétés meilleures pour prélever les émissions de gaz, on utilisera 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, une température sur l'ensemble de la ligne de (191 ± 11) °C devrait être maintenue. Si l'échantillon est prélevé sur les gaz d'échappement bruts, on peut raccorder 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 sans tomber au-dessous de 191 °C en sortie de ligne de transfert. Pour le prélèvement d'un échantillon dilué, une zone de transition entre la sonde et la ligne de transfert de 0,92 m au maximum est admise pour permettre la transition de la température de la paroi à (191 ± 11) °C.

9.3.2.3 Composants 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 applique une teneur en humidité de 0,8 % en volume de H₂O.

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 H₂O), 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. **Étant donné que les sécheurs à membrane osmotique peuvent se détériorer après une exposition prolongée à certains constituants des gaz d'échappement, le fabricant de membranes devrait être consulté en ce qui concerne l'application prévue avant de décider d'appliquer un tel procédé.** 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-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 NO₂-à-NO ou dans un système de prélèvement sans convertisseur NO₂-à-NO, le refroidisseur doit être conforme au contrôle de calcul des performances en ce qui concerne la perte de NO₂ 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-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-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-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 sera fondée sur une analyse technique ou par les données.

9.3.2.3.2 Pompes de prélèvement

On utilisera les pompes de prélèvement en amont de tout analyseur ou support de stockage de tout gaz. Ces pompes auront des surfaces internes en acier inoxydable, en PTFE, ou en tout autre matériau ayant de meilleures propriétés pour le prélèvement de gaz émis. Pour certaines pompes de prélèvement, on réglera 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 conviendra de les chauffer pour éviter la condensation aqueuse;
- b) Si l'on utilise une pompe de prélèvement des HCT en amont d'un analyseur de HCT ou d'un support de stockage, ses surfaces internes doivent être chauffées à $(191 \pm 11)^\circ\text{C}$.

Laveurs d'ammoniac

Des laveurs d'ammoniac peuvent être utilisés pour un ou pour tous les systèmes de prélèvement afin de prévenir une interférence de NH_3 , une contamination du convertisseur NO_2 à NO et des dépôts dans le système de prélèvement ou les analyseurs. Il est recommandé de suivre les recommandations du fabricant de laveur d'ammoniac ou les règles de bonne pratique pour l'utilisation de ces appareils.

9.3.2.4 Supports de stockage d'échantillon

Dans le cas du prélèvement en sacs, les volumes de gaz devront être mis dans des récipients suffisamment propres, à la fois étanches et imperméables aux gaz. Le bon sens technique permettra de déterminer des seuils acceptables de propreté et de perméabilité du support de stockage. Pour nettoyer un récipient, on peut le purger à plusieurs reprises et le vider pour ensuite le chauffer. On utilisera un récipient flexible (tel qu'un sac) dans un environnement où la température est maintenue sous contrôle, ou un récipient rigide réglé en température qui est initialement évacué ou qui a un volume pouvant être déplacé, par exemple un piston et un cylindre. On utilisera les récipients conformes aux spécifications du tableau 9.1 ci-dessous.

Tableau 9.1
Matériaux des récipients pour prélèvement gazeux par lots

CO, CO ₂ , O ₂ ,	Tedlar ^{TM2} , Kynar ^{TM2} ,
CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ ,	Téflon ^{TM3} , ou
NO, NO ₂ ¹	acier inoxydable ³
HCT, HCNM	Téflon ^{TM4} ou
	acier inoxydable ⁴

¹ À condition d'empêcher la condensation aqueuse dans le récipient.

² Jusqu'à 40 °C.

³ Jusqu'à 202 °C.

⁴ À (191 ± 11) °C.

9.3.3 Prélèvement des matières particulaires (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'utilisera pas le séparateur primaire décrit au paragraphe 9.3.3.3.

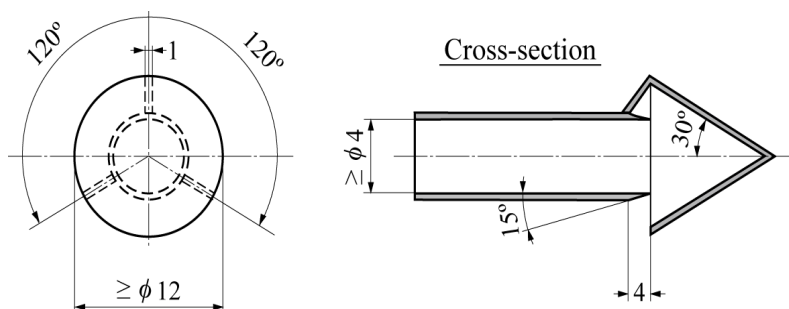


Figure 9.3
Représentation d'une sonde de prélèvement pourvue d'un séparateur primaire en forme de chapeau conique

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 constituants des gaz d'échappement. On utilisera des lignes de transfert qui sont inertes par rapport aux MP et qui sont électriquement conductrices sur leurs faces intérieures. Il est recommandé d'utiliser des lignes de transfert en acier inoxydable, mais on peut utiliser tout autre matériau ayant les mêmes qualités du point de vue du prélèvement. La surface interne des lignes de transfert de MP doit être électriquement mise 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 sera 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. Il sera réalisé 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. **Il est recommandé de suivre les instructions du fabricant du séparateur primaire en ce qui concerne l'entretien périodique nécessaire de celui-ci pour prévenir l'accumulation de MP.** La sortie du séparateur primaire sera configurée par un dispositif permettant de contourner tout filtre de collecte des MP de manière telle que le débit du séparateur primaire puisse être stabilisé avant de commencer un nouvel essai. Le filtre de collecte des MP doit être situé environ 75 cm en aval de la sortie du séparateur primaire.

9.3.3.4 Filtre de collecte

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 particules de DOP (di-octylphthalate) de 0,3 μm d'au moins 99,7 %. Les mesures déclarées par le fabricant pour son filtre de collecte peuvent être utilisées pour démontrer qu'il est satisfait à cette condition. La matière du filtre sera:

- a) Soit de la fibre de verre enduite de PTFE;
- b) Soit une membrane de PTFE.

Si la masse nette prévue de MP collectée sur le filtre dépasse 400 μg , on peut utiliser un filtre ayant une efficacité de collecte initiale de 98 %.

Il est vivement recommandé d'utiliser un matériau filtre en PTFE pur ne comportant pas de support en matériau poreux collé à sa face arrière et ayant une épaisseur totale de $40 \pm 20 \mu\text{m}$. Un anneau en polymère inerte peut être collé à la périphérie du matériau filtre pour le renforcer et réaliser l'étanchéité entre les parties de la cassette. Des matériaux inertes en polyméthylpentène (PMP) et PTFE ont été couramment utilisés pour l'anneau support, mais d'autres matériaux inertes peuvent l'être aussi. Les spécifications de la cassette sont données ci-après.

Une cassette propre conforme aux caractéristiques indiquées à la figure 9.4 devrait être utilisée. Dans les configurations à changeur automatique, des cassettes de conception similaire peuvent être utilisées. Les cassettes doivent être faites de l'un des matériaux suivants: DelrinTM, acier inoxydable, polycarbonate, résine acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS) ou polypropylène conducteur. Il est recommandé de maintenir propres les cassettes de filtres en les lavant périodiquement ou en les nettoyant avec un solvant compatible appliqué avec un chiffon ne laissant pas de peluches. Selon le matériau de la cassette, l'éthanol

(C₂H₅OH) peut être un solvant approprié. La fréquence de nettoyage dépendra des émissions de MP et de HC du moteur.

Si la cassette est maintenue dans le porte-filtre après la collecte, tout flux à travers le filtre devrait être évité jusqu'à ce que soit le porte-filtre, soit la cassette soit enlevé de l'échantillonneur. Si les cassettes sont enlevées des porte-filtres après la collecte, la cassette devrait être transférée dans un récipient individuel recouvert ou fermé pour prévenir tout échange de matières semi-volatiles d'un filtre à un autre. Si le porte-filtre est enlevé, les entrées et sorties du porte-filtre devraient être obturées. Celles-ci devraient être recouvertes ou scellées jusqu'à ce qu'elles soient remplacées dans les environnements de stabilisation ou de pesage.

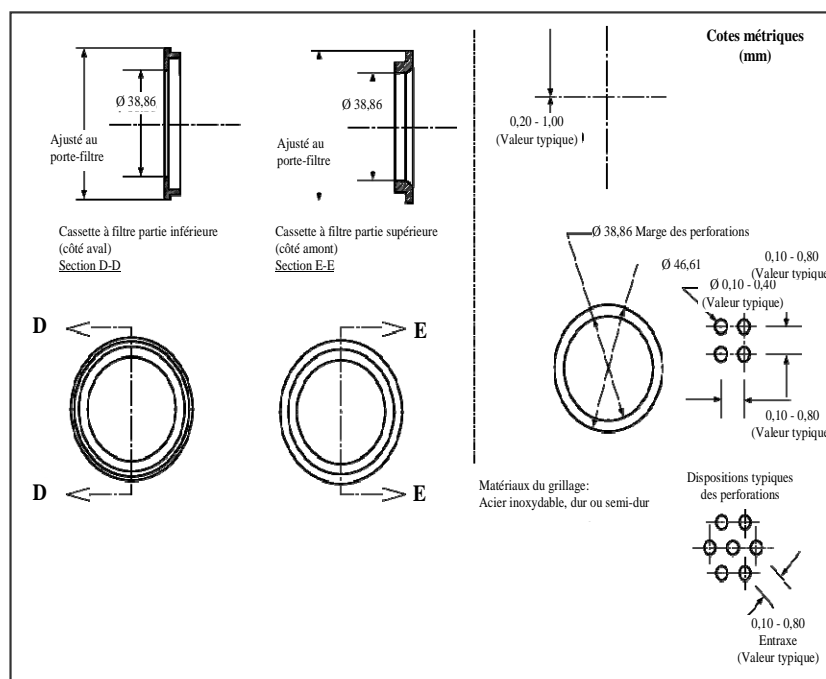


Figure 9.4
Cassette à filtre, matériaux du grillage et spécifications en ce qui concerne les perforations; les valeurs numériques ont seulement un caractère indicatif

9.3.3.4.2 Taille du filtre

La taille nominale du filtre sera de $46,50 \text{ mm} \pm 0,6 \text{ mm}$ 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 $(47 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$, valeur mesurée en tout point situé dans les 200 mm amont ou les 200 mm aval du support de stockage de MP. En principe, l'échantillon de MP doit être réchauffé ou refroidi principalement par le biais 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 moins de 5 % des valeurs de débit enregistrées dépassant cette plage. Si la masse totale de MP dépasse 400 µg, on peut réduire cette vitesse. Pour mesurer celle-ci, on prend le débit volumique de l'échantillon à la pression amont du filtre et à 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 appliquée comme pression 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 par turbulence et pour déposer les MP de manière uniforme sur le filtre, il convient d'utiliser un divergent conique de 12,5° (à partir du centre) dans la zone de transition entre le diamètre intérieur de la ligne de transfert et la partie exposée de la surface du filtre. Pour cette zone de transition on utilisera de l'acier inoxydable.

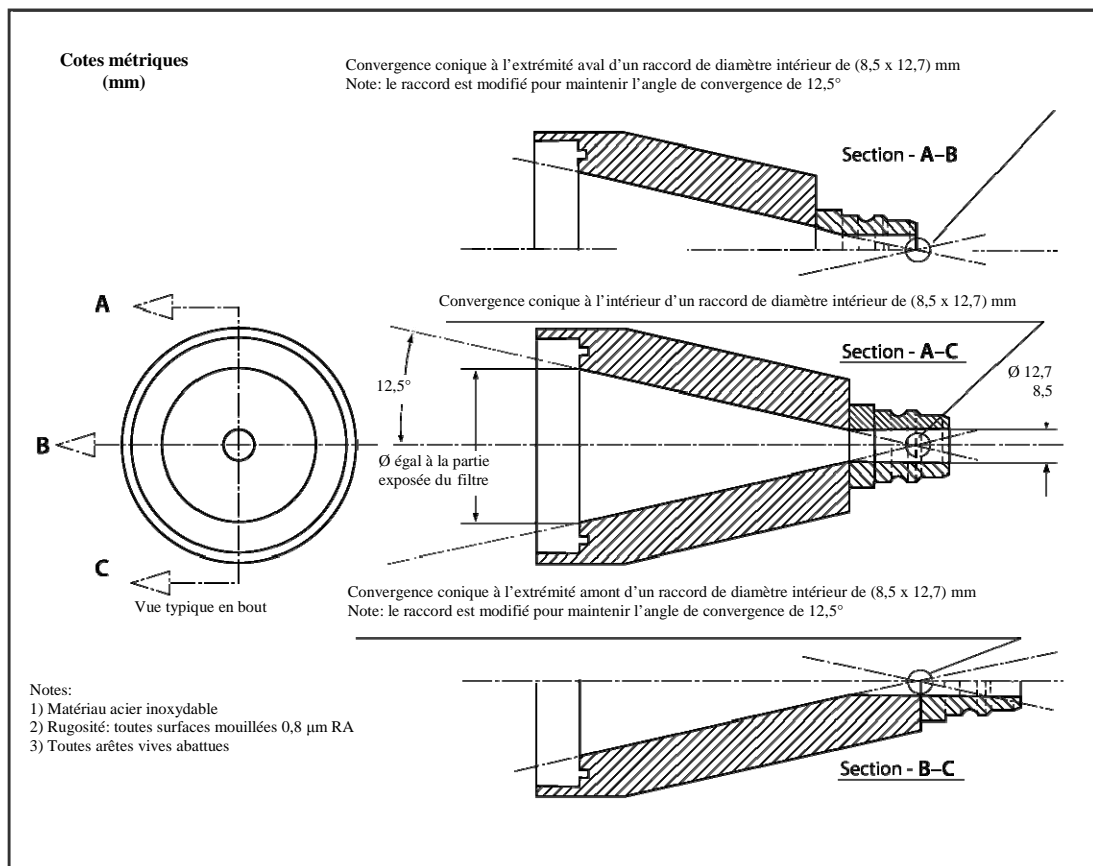


Figure 9.5
Configuration du porte-filtre; les valeurs numériques ont seulement une valeur indicative

9.3.4 Conditions de stabilisation et de pesage des MP pour l'analyse gravimétrique

9.3.4.1 Environnement pour l'analyse gravimétrique

La présente section contient la description de deux environnements dans lesquels les MP doivent être stabilisés et pesés en vue de l'analyse gravimétrique: l'environnement de stabilisation des MP, où sont stockés les filtres avant d'être pesés; et l'environnement de pesage à l'endroit où est située la balance. Ces deux environnements peuvent partager un espace commun. **Ces enceintes peuvent être une ou plusieurs chambres ou il peut s'agir d'enceintes beaucoup plus petites, par exemple une boîte à gants ou un système de pesage automatisé comprenant un ou plusieurs volumes de taille limitée.**

Les environnements de stabilisation et de pesage seront maintenus exempts d'éléments contaminants ambiants tels que la poussière, les aérosols ou les matériaux semi-volatils qui pourraient contaminer les échantillons de MP. **Il est recommandé que ces environnements soient conformes aux spécifications d'une enceinte propre de Classe 6 «telle que construite» selon la norme ISO 14644-1 (incluse par référence au paragraphe 3.4); il est possible toutefois de s'écarter de la norme ISO 14644-1 si cela est nécessaire pour atténuer les mouvements d'air qui pourraient affecter la pesée. Les vitesses maximales d'arrivée d'air et de sortie d'air de 0,05 m/s dans l'environnement de pesage ne devraient pas être dépassées.**

9.3.4.2 Propreté

La propreté de l'environnement de stabilisation des MP doit être vérifiée avec des filtres de référence comme indiqué au paragraphe 8.1.12.1.4.

9.3.4.3 Température de la chambre

La température de la chambre ou de la pièce dans laquelle les filtres à particules sont conditionnés et pesés doit être maintenue à $22\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ durant tout le conditionnement et le pesage des filtres. L'humidité doit être maintenue à un point de rosée de $9,5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ et une humidité relative de $45\% \pm 8\%$. Si les environnements de stabilisation et de pesage sont distincts, l'environnement de stabilisation doit être maintenu à une température de $22\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$.

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 faudra 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 $\pm 100\text{ Pa}$ de la pression atmosphérique. On fournira un moyen de prendre note de la pression atmosphérique la plus récente à chaque pesage d'un échantillon de MP. Il faudra 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 antivibratoire 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, 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 des échantillons de MP;
- c) Les pinces doivent être mises à la masse ou bien l'opérateur doit porter un bracelet de mise à la terre de telle sorte que la sangle de mise à la terre soit mise à la même masse que la balance. **Les sangles de mise à la terre devraient comporter une résistance de valeur appropriée pour protéger l'opérateur contre les chocs accidentels;**
- d) Il faudra utiliser un neutraliseur d'électricité statique électriquement mis à la même masse que la balance pour éliminer les charges d'électricité statique des échantillons de MP:
 - i) **un neutraliseur radioactif tel qu'une source au polonium (²¹⁰Po) peut être utilisé. Les sources radioactives devraient être remplacées aux intervalles recommandés par le fabricant du neutraliseur;**
 - ii) **d'autres types de neutraliseurs tels que les ioniseurs à décharge corona peuvent aussi être utilisés. Si tel est le cas, il est recommandé de contrôler que l'ioniseur est réglé pour émettre une charge nette neutre conformément aux recommandations du fabricant de l'appareil;**
- e) **Le filtre à échantillon de MP devrait être neutralisé à $\pm 2,0$ V du neutre;**
- f) **Les tensions électrostatiques devraient être mesurées comme suit:**
 - i) **la tension électrostatique des filtres à échantillons de MP devrait être mesurée conformément aux instructions du fabricant du voltmètre électrostatique;**
 - ii) **il est recommandé que la mesure de la tension statique des filtres à échantillons de MP se fasse lorsque le support est situé à au moins 15 cm de toute surface mise à la terre, pour éviter toute interférence par effet miroir.**

9.4 *Instruments de mesure*

9.4.1 Introduction

9.4.1.1 Domaine

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.

Systèmes de mesure

Il est recommandé de prendre en compte les effets des vibrations, de la température, de la pression, de l'humidité, de la viscosité, de la chaleur spécifique et de la composition des gaz d'échappement (y compris les concentrations à l'état de traces) sur la compatibilité et les performances d'un instrument lors du choix de celui-ci.

9.4.1.3 Systèmes redondants

Les données provenant de multiples instruments pour calculer les résultats des essais pour un même essai peuvent 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. **Lorsque des systèmes redondants sont utilisés, il est recommandé d'appliquer les règles de bonne pratique technique pour prendre en compte les valeurs multiples mesurées dans les calculs ou pour ne pas tenir compte au contraire de certaines valeurs de mesure.** Les résultats de toutes les mesures seront enregistrés et les données brutes seront conservées, comme indiqué au paragraphe 5.3. Cette condition s'applique indépendamment du fait que les mesures soient utilisées ou non 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 aux fréquences minimales spécifiées, comme indiqué dans le tableau 9.2 (ce tableau ne s'applique pas aux essais à modes discrets).

Tableau 9.2
Fréquences minimales d'enregistrement des données et de commande

<i>Section de protocole d'essai applicable</i>	<i>Valeurs mesurées</i>	<i>Fréquence minimale de commande</i>	<i>Fréquence minimale d'enregistrement</i>
7.6	Régime et couple pendant une «step-map» du moteur	1 Hz	1 valeur moyenne par étape
7.6	Régime et couple pendant une «sweep-map» du moteur	5 Hz	1 Hz en moyenne
7.8.3	Régimes et couples en cycle d'essai transitoire	5 Hz	1 Hz en moyenne
7.8.2	Cycle d'essai en conditions stationnaires et à modes raccordés – vitesses et couples de référence et réels	1 Hz	1 Hz
7.3	Concentrations continues d'analyseurs de gaz bruts	Sans objet	1 Hz
7.3	Concentrations continues d'analyseurs de gaz dilués	Sans objet	1 Hz
7.3	Concentrations par lots des analyseurs de gaz bruts ou dilués	Sans objet	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	Sans objet	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)	Sans objet	1 Hz en moyenne
7.6 8.2.1	Air de dilution si activement contrôlé	5 Hz	1 Hz en moyenne
7.6 8.2.1	Débit d'échantillon d'un CVS avec un échangeur de chaleur	1 Hz	1 Hz
7.6 8.2.1	Débit d'échantillon d'un CVS sans échangeur de chaleur	5 Hz	1 Hz en moyenne

9.4.3 Spécifications des performances pour les instruments de mesure

9.4.3.1 Aperçu général

L'ensemble du système sera 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 seront conformes aux spécifications du tableau 9.2 pour toutes les plages qui seront utilisées pour les essais. Par ailleurs, il faudra 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 (**par exemple débitmètre de carburant, débitmètre d'air d'admission, débitmètre de gaz d'échappement bruts, débitmètre d'air de dilution et de gaz d'échappement dilués, débitmètre d'échantillon pour le prélèvement par lot, analyseurs de CO et de CO₂, analyseurs de HC, analyseurs de NO_x, analyseurs de O₂, balance gravimétrique des PM**). L'ensemble du système nécessaire pour mesurer certaines quantités physiques et/ou chimiques (**par exemple: débit de carburant, débit d'air d'admission, débit de gaz d'échappement bruts, débit d'air de dilution et de gaz d'échappement dilués, débit d'échantillon, mélangeage des gaz d'étalonnage, méthane via un chromatographe en phase gazeuse, CO₂, HC, NO_x, O₂, PM**) 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 (**par exemple de CO₂, HC, NO_x, O₂**) qui appliquent des algorithmes de compensation en fonction des autres constituants gazeux mesurés et des propriétés du carburant pour l'essai spécifique du moteur. Tout algorithme de compensation assurera uniquement la compensation du décalage sans intervenir sur le gain (c'est-à-dire sans introduire de biais).

Tableau 9.3
Spécifications des performances recommandées des instruments de mesure

<i>Instrument de mesure</i>	<i>Symbole de la quantité mesurée</i>	<i>Temps de montée du système complet</i>	<i>Fréquence de mise à jour de l'enregistrement</i>	<i>Justesse^a</i>	<i>Répétabilité^a</i>	<i>Bruit</i>
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	0,05 % de max
Transducteur du couple moteur	T	1 s	1 Hz en moyenne	2,0 % of pt ou 1,0 % de max	1,0 % de pt ou 0,5 % de max	0,05 % de max
Travail électrique (mesure de la puissance active)	W	1 s	1 Hz en moyenne	2,0 % de pt ou 0,5 % de max	1,0 % de pt ou 0,25 % de max	0,05 % de max
Capteur de pression général (ne faisant pas partie d'un autre instrument)	<i>p</i>	5 s	1 Hz	2,0 % de pt ou 1,0 % de max	1,0 % de pt ou 0,50 % de max	0,1 % de max
Baromètre atmosphérique utilisé pour les environnements de stabilisation et de pesage des MP	<i>p_{atmos}</i>	50 s	5 fois par heure	100 Pa	25 Pa	5 Pa
Baromètre atmosphérique général	<i>p_{atmos}</i>	50 s	5 fois par heure	250 Pa	100 Pa	50 Pa
Capteur de température pour les environnements de stabilisation et de pesage des PM	<i>T</i>	50 s	0,1 Hz	0,25 K	0,1 K	0,1 K
Autres capteurs de température (ne faisant pas partie d'un autre instrument)	<i>T</i>	10 s	0,5 Hz	0,4 % de pt K ou 0,2 % de max K	0,2 % de pt K ou 0,1 % de max K	0,1 % de max
Capteur de point de rosée pour les environnements de stabilisation et de pesage des MP	<i>T_{dew}</i>	50 s	0,1 Hz	0,25 K	0,1 K	0,02 K
Autres capteurs de point de rosée	<i>T_{dew}</i>	50 s	0,1 Hz	1 K	0,5 K	0,1 K
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	0,5 % de max

<i>Instrument de mesure</i>	<i>Symbole de la quantité mesurée</i>	<i>Temps de montée du système complet</i>	<i>Fréquence de mise à jour de l'enregistrement</i>	<i>Justesse^a</i>	<i>Répétabilité^a</i>	<i>Bruit</i>
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,	1,0 % de max
Débitmètre d'air de dilution, d'air d'admission, de gaz d'échappement et de prélèvement		1 s	1 Hz en moyenne de 5 Hz	2,5 % de pt ou 1,5 % de max	1,25 % de pt ou 0,75 % de max	1,0 % de max
Analyseur de gaz bruts en continu	<i>x</i>	2,5 s	2 Hz	2,0 % de pt ou 2,0 % de moy	1,0 % de pt ou 1,0 % de moy	1,0 % de max
Analyseur de gaz dilués en continu	<i>x</i>	5 s	1 Hz	2,0 % de pt ou 2,0 % de moy	1,0 % de pt ou 1,0 % de moy	1,0 % de max
Analyseur de gaz en continu	<i>x</i>	5 s	1 Hz	2,0 % de pt ou 2,0 % de moy	1,0 % de pt ou 1,0 % de moy	1,0 % de max
Analyseur de gaz par lots	<i>x</i>	N/A	N/A	2,0 % de pt ou 2,0 % de moy	1,0 % de pt ou 1,0 % de moy	1,0 % de max
Balance gravimétrique des MP	<i>m_{PM}</i>	N/A	N/A	Voir 9.4.11	0,5 µg	N/A
Balance inertielle des MP	<i>m_{PM}</i>	5 s	1 Hz	2,0 % de pt ou 2,0 % de moy	1,0 % de pt ou 1,0 % de moy	0,2 % de max

^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; «moy» désigne la moyenne réelle mesurée sur le cycle d'essai.

9.4.4 Mesure des paramètres du moteur et des conditions ambiantes

9.4.4.1 Capteurs de régime et de couple

9.4.4.1.1 Application

Les instruments de mesure pour les valeurs d'entrée et les valeurs de sortie de travail pendant le fonctionnement du moteur seront 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 valeurs d'entrée et des valeurs de sortie de travail seront conformes aux vérifications de linéarité du paragraphe 8.1.4.

9.4.4.1.2 Travail sur l'arbre

Le travail et la puissance doivent être calculés à partir des valeurs de sortie des 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.

- a) **Pour mesurer le régime, il est recommandé d'utiliser un détecteur de position de l'arbre du type magnétique ou optique ayant une résolution d'au moins 60 comptages par tour, en combinaison avec un compteur de fréquence qui rejette le bruit en mode commun;**
- b) **Pour mesurer le couple, diverses méthodes peuvent être appliquées:**
 - i) **montage d'une jauge de contrainte ou d'un instrument semblable en série entre le moteur et le dynamomètre;**
 - ii) **montage d'une jauge de contrainte ou d'un instrument semblable sur un bras de levier relié au carter du dynamomètre;**
 - iii) **calcul de celui-ci à partir de signaux internes du dynamomètre tels que le courant d'armature, à condition que cette mesure soit étalonnée comme décrit au paragraphe 8.1.7.1.**

Le couple produit par l'inertie des éléments en accélération et en décélération reliés au volant, par exemple l'arbre d'entraînement et le rotor de dynamomètre, doit être compensé.

- c) **Travail électrique. Il est recommandé d'utiliser le signal d'un watt/heure mètre pour calculer le travail total. Le watt/heure mètre en question devrait indiquer la puissance active (kW). Les watt/heure mètres, en général, combinent un voltmètre à pont de Wheatstone et un ampèremètre à pince à effet Hall en un seul instrument à microprocesseur qui analyse et affiche plusieurs paramètres, tels que tension alternative ou continue (V), intensité (A), facteur de puissance (pf), puissance apparente (VA), puissance réactive (VAR) et puissance active (W);**
- d) **Travail des pompes, compresseurs ou turbines, il est recommandé d'utiliser les signaux des capteurs de pression et des débitmètres pour calculer le travail total. Pour les débitmètres, voir le paragraphe 9.4.5.**

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 capteurs de température peuvent être:

- a) **Des thermistances pour l'environnement de pesage des MP ou pour d'autres mesures de température de précision sur une plage de température étroite;**
- b) **Pour d'autres applications, des thermocouples dont le blindage n'est pas mis à la masse;**
- c) **D'autres capteurs de température tels que des détecteurs de température résistifs (RTD).**

Les transducteurs de pression doivent être situés dans un environnement dont la température est sous contrôle; à défaut, ils doivent compenser les changements de température sur leur plage de fonctionnement attendue. Les matériaux des transducteurs doivent être compatibles avec le fluide qu'ils sont appelés à mesurer.

Les appareils de mesure de la pression peuvent être:

- a) **Des capteurs du type capacitif, à quartz, ou à interféromètre-laser pour la pression atmosphérique ou d'autres mesures de pression de précision;**
- b) **Des capteurs à jauge de contrainte ou du type capacitif pour d'autres applications;**
- c) **D'autres appareils de mesure de la pression tels que des manomètres.**

Les appareils de mesure du point de rosée peuvent être:

- a) **Des hygromètres à condensation pour l'environnement de stabilisation des MP;**
- b) **Des capteurs capacitifs en couche mince pour d'autres applications;**
- c) **D'autres capteurs de point de rosée tels qu'un psychromètre.**

9.4.5 Mesures relatives au débit

Pour tout type de débitmètre (pour carburant, air d'admission, gaz d'échappement bruts, gaz d'échappement dilués, échantillon), 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 la procédure d'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 retourne du moteur jusqu'au réservoir de carburant.

L'emploi d'un débitmètre mesurant la masse directement, tel qu'un appareil du type gravimétrique ou inertiel, est recommandé. Il peut s'agir d'un appareil doté d'une ou plusieurs balances pour peser le carburant ou appliquant l'effet Coriolis. Il est recommandé de conditionner le débit par les moyens nécessaires pour prévenir la présence de bulles de gaz dans le carburant perturbant la mesure.

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.

Le débitmètre d'air d'admission peut être un élément à flux laminaire, un appareil à ultrasons, un venturi subsonique, un débitmètre massique thermique, un tube de Pitot donnant une valeur moyenne, ou un anémomètre à fil chaud.

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 doit 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 fluidité et de composition des gaz d'échappement bruts. **La mesure du débit de gaz d'échappement bruts peut se faire avec un débitmètre ultrasonique, un venturi subsonique, un tube de Pitot donnant une valeur moyenne, un anémomètre à fil chaud, un débitmètre à vortex ou un appareil fonctionnant selon un autre principe. En général, il ne devrait pas être utilisé d'élément à flux laminaire ni de débitmètre massique thermique.**

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 spécifications du paragraphe 8.2.1.2.

9.4.5.3.3 Refroidissement des gaz d'échappement

Il est permis de refroidir les gaz d'échappement en amont du débitmètre avec les restrictions suivantes:

- a) Les MP ne doivent pas être prélevées en aval du refroidissement;
- b) Si le refroidissement est tel que des températures supérieures à 202 °C soient abaissées à moins de 180 °C, les HCNM ne seront pas 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 Débitmètres d'air de dilution et de gaz d'échappement dilués

9.4.5.4.1 Application

Il convient de déterminer 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 Conditions s'appliquant à l'équipement

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 fonctionnera 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 débitmètre massique thermique, un tube de Pitot donnant la valeur moyenne ou un anémomètre à fil chaud.

9.4.5.4.3 Refroidissement des gaz d'échappement

Le flux de gaz d'échappement dilués en amont d'un débitmètre peut être refroidi à condition de respecter les conditions suivantes:

- a) Les MP ne doivent pas être prélevées en aval du refroidissement;
- b) Si le refroidissement est tel que des températures supérieures à 202 °C soient abaissées au-dessous de 180 °C, les HCNM ne doivent pas être prélevés en aval du refroidissement;

- c) Si le refroidissement provoque une condensation aqueuse, les NO_x ne seront pas 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} seront mesurés à l'entrée du débitmètre. Ces valeurs doivent être utilisées dans les calculs d'émissions conformément aux annexes A.7 et A.8.

9.4.5.5 Débitmètre d'échantillon pour le prélèvement par lots

Il convient d'utiliser un débitmètre d'échantillon pour déterminer les débits d'échantillon ou le débit total prélevé dans un système de prélèvement sur la durée d'un intervalle d'essai. La différence entre deux débitmètres peut être utilisée pour calculer le débit d'échantillon dans le tunnel de dilution, par exemple pour la mesure des MP en 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.

Un débitmètre d'échantillon peut être un élément à écoulement laminaire, un débitmètre ultrasonique, un venturi subsonique, un venturi à flux critique (CFV) ou plusieurs venturis à flux critique disposés en parallèle, un débitmètre volumétrique, un débitmètre massique thermique, un tube de Pitot donnant une valeur moyenne, ou un anémomètre à fil chaud. Dans le cas particulier où des venturis CFV sont utilisés à la fois pour la mesure des gaz d'échappement dilués et de l'échantillon, et où leur pression et leur température amont demeurent les mêmes au cours de l'essai, le débit passant à travers le venturi de l'échantillon n'a pas à être quantifié. Dans ce cas particulier, ce venturi applique obligatoirement une pondération en fonction du débit au lot prélevé par rapport au venturi de gaz d'échappement dilués.

Le système global pour le débitmètre d'échantillon doit satisfaire à l'étalonnage du paragraphe 8.1.8.

9.4.5.6 Mélangeur de gaz d'échappement

On peut utiliser un mélangeur de gaz d'échappement pour mélanger différents gaz.

Il convient d'utiliser un mélangeur de gaz d'échappement qui mélange les gaz conformément aux spécifications du paragraphe 9.5.1 et aux concentrations attendues pendant les essais. On peut utiliser les mélangeurs de gaz à flux critique, les mélangeurs de gaz à tube capillaire ou les mélangeurs 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 mélangeur de gaz) pour veiller à une division appropriée du gaz. Le mélangeur 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, comme c'est le cas pour la mesure d'un gaz NO avec un analyseur CLD. La valeur de sensibilité de l'instrument sera réglée au moyen du gaz de calibrage raccordé directement à l'instrument. Le mélangeur 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 CO₂

Un analyseur de gaz non dispersif infrarouge (NDIR) doit être utilisé pour mesurer les concentrations de CO et de CO₂ 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 servira 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 conviendra de déterminer les concentrations d'hydrocarbures sur la base d'un nombre de carbone de un, C₁. Les valeurs des hydrocarbures méthaniques et non méthaniques seront déterminées comme indiqué au paragraphe 9.4.7.1.4. Les analyseurs FID chauffés doivent maintenir toutes les surfaces qui sont exposées aux émissions à une température de 191 ± 11 °C.

9.4.7.1.2 Conditions s'appliquant à l'équipement

Le système basé sur l'usage du détecteur FID pour mesurer les HCT ou le CH₄ 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 de prémélange.

9.4.7.1.4 Méthane

Les analyseurs FID mesurent la quantité d'hydrocarbures totaux (HCT). Pour déterminer les hydrocarbures non méthaniques (HCNM), le méthane et le CH₄ doivent être quantifiés soit avec 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 CH₄, RF_{CH_4} , doit être établi comme indiqué au paragraphe 8.1.10.1. Les calculs relatifs aux HCNM sont présentés dans les annexes A.7 et A.8.

9.4.7.1.5 Hypothèse relative au méthane

Au lieu de mesurer le méthane, on peut partir de l'hypothèse que 2 % 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 CH₄ avec un analyseur FID. Un convertisseur de HCNM oxyde tous les hydrocarbures non méthaniques en CO₂ et H₂O. Il peut être utilisé pour les gaz d'échappement bruts ou dilués, 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 optimisé pour rendre maximale la pénétration du CH₄ et l'oxydation de tous les autres hydrocarbures. Un échantillon peut être humidifié et un autre peut être dilué avec de l'air pur ou de l'oxygène (O₂) en amont du convertisseur de HCNM afin d'optimiser ses performances. On tiendra 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 appliquer une chromatographie en phase gazeuse pour mesurer les concentrations de CH₄ des gaz d'échappement dilués pour le prélèvement par lots. Bien que l'on puisse aussi utiliser un convertisseur de HCNM pour mesurer le CH₄, comme cela est décrit dans le paragraphe 9.4.7.2, on devra appliquer 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 à chimiluminescence comme moyen 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 NO₂-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. **Un analyseur CLD peut être utilisé pour la mesure des NO_x, bien qu'il mesure seulement NO et NO₂, lorsqu'il est couplé à un convertisseur NO₂-à-NO, étant donné que les moteurs classiques et systèmes de traitement aval n'émettent pas d'autres oxydes d'azote que NO et NO₂ en quantité notable.**

- 9.4.8.1.2 Conditions s'appliquant à l'équipement
- Le système basé sur le CLD doit satisfaire à la vérification de l'effet d'extinction 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 NO₂-à-NO
- Un convertisseur NO₂-à-NO interne ou externe conforme aux critères de vérification du paragraphe 8.1.11.5 doit être placé en amont du CLD, et le convertisseur doit être configuré avec une dérivation pour faciliter cette vérification.
- 9.4.8.1.4 Effets de l'humidité
- Toutes les températures au niveau du CLD doivent être maintenues pour éviter la condensation aqueuse. Pour éliminer l'humidité d'un échantillon en amont du CLD, on utilisera l'une des configurations suivantes:
- Un CLD raccordé en aval de tout sécheur ou refroidisseur se trouvant en aval d'un convertisseur NO₂-à-NO et qui satisfait à la vérification du paragraphe 8.1.11.5;
 - 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. **Un analyseur NDUV pour la mesure des NO_x peut être utilisé, bien qu'il mesure seulement NO et NO₂, étant donné que les moteurs classiques et systèmes de traitement aval n'émettent pas d'autres oxydes d'azote en quantité notable.**
- 9.4.8.2.2 Conditions s'appliquant à l'équipement
- Le système basé sur l'analyseur NDUV doit satisfaire aux critères de vérification du paragraphe 8.1.11.3.
- 9.4.8.2.3 Convertisseur NO₂-à-NO
- Si l'analyseur NDUV mesure uniquement le NO, il conviendra de placer un convertisseur NO₂-à-NO interne ou externe répondant aux critères du paragraphe 8.1.11.5 en amont de l'analyseur NDUV. Le convertisseur sera équipé d'une dérivation pour faciliter cette vérification.
- 9.4.8.2.4 Effets de l'humidité
- Il faudra maintenir la température du NDUV pour éviter la condensation aqueuse à moins de recourir à l'une des configurations suivantes:
- Un NDUV raccordé en aval de tout sécheur ou refroidisseur qui est en aval d'un convertisseur NO₂-à-NO répondant à la vérification du paragraphe 8.1.11.5;

- b) Un NDUV raccordé en aval de tout sécheur ou refroidisseur thermique qui satisfait à la vérification du paragraphe 8.1.11.4.
- 9.4.9 Mesures de O₂
- On utilisera un analyseur à détection paramagnétique (PMD) ou à détection magnétopneumatique (MPD) pour mesurer la concentration de O₂ dans les gaz d'échappement bruts ou dilués pour le prélèvement en continu ou par lots. **Des mesures de O₂ combinées à des mesures de débit de l'air d'admission ou du carburant peuvent être utilisées pour calculer le débit des gaz d'échappement conformément aux annexes A.7 et A.8.**
- 9.4.10 Mesures du rapport air à carburant
- Un analyseur à sonde zirconia (ZrO₂) peut être utilisé pour mesurer le rapport air-carburant dans les gaz d'échappement bruts ou un prélèvement en continu. Des mesures de O₂ combinées à des mesures de débit de l'air d'admission ou du débit de carburant peuvent être utilisées pour calculer le débit des gaz d'échappement conformément aux annexes A.7 et A.8.
- 9.4.11 Mesures des MP avec une balance gravimétrique
- On utilisera une balance pour établir le poids net des MP prélevées sur les filtres à échantillons.
- La condition minimale relative à la précision de la balance sera 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 devront satisfaire aux spécifications du paragraphe 9.5.2.
- Il devrait être utilisé un plateau de balance qui réduit au maximum les forces obliques sur la balance, comme par exemple:**
- a) **Un plateau de balance qui assure le centrage de l'échantillon de MP, tel qu'un plateau en forme de croix avec bras relevés aux extrémités;**
- b) **Un plateau de balance qui place l'échantillon de MP aussi bas que possible.**
- 9.5 *Normes s'appliquant aux gaz d'analyse et aux masses*
- 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 Spécification des gaz
- On tiendra compte des spécifications de gaz suivantes:
- 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 utilisera 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 on prévoit une concentration de CO de 100,0 µmol/mol, il serait permis

d'utiliser un gaz de zéro dont la contamination par le CO est inférieure ou égale à 2,000 $\mu\text{mol/mol}$;

- ii) la contamination telle que spécifiée dans le tableau 9.4, applicable aux mesures brutes ou diluées;
- iii) la contamination telle que spécifiée dans le tableau 9.5, applicable aux mesures brutes;

Tableau 9.4

Limites de contamination applicables aux mesures des gaz bruts ou dilués

[$\mu\text{mol/mol}$ = ppm (3.2)]

<i>Constituant</i>	<i>Air synthétique purifié^a</i>	<i>N₂ purifié^a</i>
HCT (équivalent C ₁)	< 0,05 $\mu\text{mol/mol}$	< 0,05 $\mu\text{mol/mol}$
CO	< 1 $\mu\text{mol/mol}$	< 1 $\mu\text{mol/mol}$
CO ₂	< 10 $\mu\text{mol/mol}$	< 10 $\mu\text{mol/mol}$
O ₂	0,205 à 0,215 mol/mol	< 2 $\mu\text{mol/mol}$
NO _x	< 0,02 $\mu\text{mol/mol}$	< 0,02 $\mu\text{mol/mol}$

^a Il n'est pas nécessaire que ces niveaux de pureté soient reconnus aux plans international et/ou national conformément à des normes traçables.

Tableau 9.5

Limites de contamination applicables aux mesures des gaz bruts

[$\mu\text{mol/mol}$ = ppm (3.2)]

<i>Constituant</i>	<i>Air synthétique purifié^a</i>	<i>N₂ purifié^a</i>
HCT (équivalent C ₁)	\leq 1 $\mu\text{mol/mol}$	\leq 1 $\mu\text{mol/mol}$
CO	\leq 1 $\mu\text{mol/mol}$	\leq 1 $\mu\text{mol/mol}$
CO ₂	\leq 400 $\mu\text{mol/mol}$	\leq 400 $\mu\text{mol/mol}$
O ₂	0,18 à 0,21 mol/mol	–
NO _x	\leq 0,1 $\mu\text{mol/mol}$	\leq 0,1 $\mu\text{mol/mol}$

^a Il n'est pas nécessaire que ces niveaux de pureté soient reconnus aux plans international et/ou national conformément à des normes traçables.

- b) On utilisera les gaz suivants avec un analyseur FID:
 - i) le combustible du FID doit être utilisé avec une concentration de H₂ de (0,39 à 0,41) mol/mol et un complément He. Le mélange ne contiendra pas plus de 0,05 $\mu\text{mol/mol}$ d'hydrocarbures totaux;
 - ii) il convient d'utiliser pour le détecteur FID de l'air qui réponde aux spécifications relatives à l'air purifié 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 spécifications du paragraphe a) ci-dessus, sauf que la concentration en O₂ du gaz purifié peut prendre n'importe quelle valeur. **Note: les gaz de complément de zéro du FID peuvent être toute combinaison d'air purifié et d'azote**

purifié. Il est recommandé que les gaz de zéro de l'analyseur FID utilisés contiennent approximativement la concentration moyenne de O₂ prévue lors de l'essai;

- iv) gaz de calibration propane du détecteur FID. Le détecteur FID de l'analyseur des hydrocarbures totaux doit être étalonné et calibré avec des concentrations de calibration de propane, C₃H₈. Il doit être étalonné sur la base d'un nombre de carbone de un (C₁). **Si par exemple un gaz de calibration C₃H₈ d'une concentration de 200 µmol/mol est utilisé, le détecteur FID doit être calibré pour indiquer une valeur de 600 µmol/mol. Note: les gaz de complément du gaz de zéro du FID peuvent être toute combinaison d'air purifié et d'azote purifié. Il est recommandé que les gaz de zéro de l'analyseur FID utilisés contiennent approximativement la concentration moyenne de O₂ prévue lors de l'essai;**
- v) gaz de calibration méthane du FID. Si un détecteur FID de CH₄ est toujours étalonné et calibré avec un convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques, le FID sera calibré et étalonné avec des concentrations de calibration de méthane, CH₄. Il sera étalonné sur la base d'un nombre de carbone de un (C₁). **Si par exemple un gaz de calibration CH₄ d'une concentration de 200 µmol/mol est utilisé, le détecteur FID doit être calibré pour indiquer une valeur de 200 µmol/mol. Note: les gaz de complément du gaz de zéro du FID peuvent être toute combinaison d'air purifié et d'azote purifié. Il est recommandé que les gaz de zéro de l'analyseur FID utilisés contiennent approximativement la concentration moyenne de O₂ prévue lors de l'essai;**
- c) On utilisera 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) CH₄, complément air synthétique purifié et/ou N₂ (selon le cas);
 - ii) C₂H₆, complément air synthétique purifié et/ou N₂ (selon le cas);
 - iii) C₃H₈, complément air synthétique purifié et/ou N₂ (selon le cas);
 - iv) CO, complément N₂ purifié;
 - v) CO₂, complément N₂ purifié;
 - vi) NO, complément N₂ purifié;
 - vii) NO₂, complément air synthétique purifié;
 - viii) O₂, complément N₂ purifié;
 - ix) C₃H₈, CO, CO₂, NO, complément N₂ purifié;
 - x) C₃H₈, CH₄, CO, CO₂, NO, complément N₂ 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 $\pm 3,0$ % 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) Le laboratoire peut produire ses propres gaz d'étalonnage au moyen d'un dispositif de mélange de précision, un mélangeur de gaz par exemple, pour diluer les gaz avec de l'azote purifié ou de l'air synthétique purifié. Si les mélangeurs de gaz satisfont aux spécifications du paragraphe 9.4.5.6 et que les gaz soumis au 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 standard d'étalonnage et sa date d'expiration spécifiée 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 seront transférés de leur source aux analyseurs au moyen de dispositifs qui sont exclusivement utilisés pour le contrôle et le transfert de ces gaz. **Ainsi par exemple, un régulateur, une vanne ou un tuyau de transfert pour un gaz de zéro ne doivent pas être utilisés s'ils ont préalablement servi pour le transfert d'un mélange de gaz différent. Il est recommandé que les régulateurs, vannes et tuyauteries soient étiquetés pour exclure le risque de contamination. Note: même de faibles traces d'un mélange de gaz dans le volume mort d'un régulateur, d'une vanne ou d'un tuyau de transfert peuvent se diffuser vers l'amont dans un volume de gaz sous haute pression, ce qui contaminerait la totalité du gaz de la source à haute pression, par exemple une bouteille à gaz comprimé.**

Afin de maintenir la stabilité et la pureté des gaz étalons, il est recommandé de suivre les règles de bonne pratique techniques et les recommandations du fournisseur de gaz étalon en ce qui concerne le stockage et le maniement des gaz de zéro, de calibrage et d'étalonnage. Ainsi par exemple, il peut être nécessaire de stocker les bouteilles de gaz condensables dans un environnement chauffé.

On respectera les dates limites d'utilisation de tous les gaz d'étalonnage. La date d'expiration déclarée par le fabricant devra être enregistrée.

9.5.2 Spécifications 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 aux plans international et/ou national. On s'assurera 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 spécifier la densité des poids. **Si la double pesée (voir par. 8.2.3) est appliquée, il est recommandé que la densité des poids de substitution soit très proche de la densité de la masse d'étalonnage de la balance. Tous les poids supérieurs à 50 mg devraient être en acier inoxydable.**

Annexes

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 respectera le cycle à 8 modes⁴ suivant pour le fonctionnement du moteur sur le dynamomètre:

Numéro de mode	Régime du moteur	Coupe [%]	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 suivra le cycle à 5 modes⁵ suivant pour le fonctionnement du moteur sur le dynamomètre:

Numéro de mode	Régime du moteur	Coupe [%]	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 nominale⁶ 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.

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).

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:

<i>Mode RMC</i>	<i>Temps sur ce mode [s]</i>	<i>Régime du moteur^{a,c}</i>	<i>Couple (%^{b,c})</i>
1a Conditions stationnaires	126	Ralenti à chaud	0
1b Transition	20	Transition linéaire ⁽²⁾	Transition linéaire
2a Conditions stationnaires	150	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 Termes de 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:

<i>Mode RMC</i>	<i>Temps sur ce mode [s]</i>	<i>Régime du moteur</i>	<i>Couple (%)^{a, b}</i>
1a Conditions stationnaires	53	Réglé par le moteur	100
1b Transition	20	Réglé par le moteur	Transition linéaire
2a Conditions stationnaires	101	Réglé par le moteur	10
2b Transition	20	Réglé par le moteur	Transition linéaire
3a Conditions stationnaires	277	Réglé par le moteur	75
3b Transition	20	Réglé par le moteur	Transition linéaire
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:

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
1	0	0	54	102	31	107	72	30
2	0	0	55	89	2	108	75	22
3	0	0	56	82	0	109	78	64
4	0	0	57	47	1	110	102	34
5	0	0	58	23	1	111	103	28
6	0	0	59	1	3	112	103	28
7	0	0	60	1	8	113	103	19
8	0	0	61	1	3	114	103	32
9	0	0	62	1	5	115	104	25
10	0	0	63	1	6	116	103	38
11	0	0	64	1	4	117	103	39
12	0	0	65	1	4	118	103	34
13	0	0	66	0	6	119	102	44
14	0	0	67	1	4	120	103	38
15	0	0	68	9	21	121	102	43
16	0	0	69	25	56	122	103	34
17	0	0	70	64	26	123	102	41
18	0	0	71	60	31	124	103	44
19	0	0	72	63	20	125	103	37
20	0	0	73	62	24	126	103	27
21	0	0	74	64	8	127	104	13
22	0	0	75	58	44	128	104	30
23	0	0	76	65	10	129	104	19
24	1	3	77	65	12	130	103	28
25	1	3	78	68	23	131	104	40
26	1	3	79	69	30	132	104	32
27	1	3	80	71	30	133	101	63
28	1	3	81	74	15	134	102	54
29	1	3	82	71	23	135	102	52
30	1	6	83	73	20	136	102	51
31	1	6	84	73	21	137	103	40
32	2	1	85	73	19	138	104	34
33	4	13	86	70	33	139	102	36
34	7	18	87	70	34	140	104	44
35	9	21	88	65	47	141	103	44
36	17	20	89	66	47	142	104	33
37	33	42	90	64	53	143	102	27
38	57	46	91	65	45	144	103	26
39	44	33	92	66	38	145	79	53
40	31	0	93	67	49	146	51	37
41	22	27	94	69	39	147	24	23
42	33	43	95	69	39	148	13	33
43	80	49	96	66	42	149	19	55
44	105	47	97	71	29	150	45	30
45	98	70	98	75	29	151	34	7
46	104	36	99	72	23	152	14	4
47	104	65	100	74	22	153	8	16
48	96	71	101	75	24	154	15	6
49	101	62	102	73	30	155	39	47
50	102	51	103	74	24	156	39	4
51	102	50	104	77	6	157	35	26
52	102	46	105	76	12	158	27	38
53	102	41	106	74	39	159	43	40

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
160	14	23	217	20	25	274	45	37
161	10	10	218	25	17	275	68	96
162	15	33	219	31	29	276	80	97
163	35	72	220	36	66	277	92	96
164	60	39	221	66	40	278	90	97
165	55	31	222	50	13	279	82	96
166	47	30	223	16	24	280	94	81
167	16	7	224	26	50	281	90	85
168	0	6	225	64	23	282	96	65
169	0	8	226	81	20	283	70	96
170	0	8	227	83	11	284	55	95
171	0	2	228	79	23	285	70	96
172	2	17	229	76	31	286	79	96
173	10	28	230	68	24	287	81	71
174	28	31	231	59	33	288	71	60
175	33	30	232	59	3	289	92	65
176	36	0	233	25	7	290	82	63
177	19	10	234	21	10	291	61	47
178	1	18	235	20	19	292	52	37
179	0	16	236	4	10	293	24	0
180	1	3	237	5	7	294	20	7
181	1	4	238	4	5	295	39	48
182	1	5	239	4	6	296	39	54
183	1	6	240	4	6	297	63	58
184	1	5	241	4	5	298	53	31
185	1	3	242	7	5	299	51	24
186	1	4	243	16	28	300	48	40
187	1	4	244	28	25	301	39	0
188	1	6	245	52	53	302	35	18
189	8	18	246	50	8	303	36	16
190	20	51	247	26	40	304	29	17
191	49	19	248	48	29	305	28	21
192	41	13	249	54	39	306	31	15
193	31	16	250	60	42	307	31	10
194	28	21	251	48	18	308	43	19
195	21	17	252	54	51	309	49	63
196	31	21	253	88	90	310	78	61
197	21	8	254	103	84	311	78	46
198	0	14	255	103	85	312	66	65
199	0	12	256	102	84	313	78	97
200	3	8	257	58	66	314	84	63
201	3	22	258	64	97	315	57	26
202	12	20	259	56	80	316	36	22
203	14	20	260	51	67	317	20	34
204	16	17	261	52	96	318	19	8
205	20	18	262	63	62	319	9	10
206	27	34	263	71	6	320	5	5
207	32	33	264	33	16	321	7	11
208	41	31	265	47	45	322	15	15
209	43	31	266	43	56	323	12	9
210	37	33	267	42	27	324	13	27
211	26	18	268	42	64	325	15	28
212	18	29	269	75	74	326	16	28
213	14	51	270	68	96	327	16	31
214	13	11	271	86	61	328	15	20
215	12	9	272	66	0	329	17	0
216	15	33	273	37	0	330	20	34

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
331	21	25	388	32	34	445	83	73
332	20	0	389	46	55	446	77	73
333	23	25	390	47	42	447	74	73
334	30	58	391	42	39	448	76	72
335	63	96	392	27	0	449	46	77
336	83	60	393	14	5	450	78	62
337	61	0	394	14	14	451	79	35
338	26	0	395	24	54	452	82	38
339	29	44	396	60	90	453	81	41
340	68	97	397	53	66	454	79	37
341	80	97	398	70	48	455	78	35
342	88	97	399	77	93	456	78	38
343	99	88	400	79	67	457	78	46
344	102	86	401	46	65	458	75	49
345	100	82	402	69	98	459	73	50
346	74	79	403	80	97	460	79	58
347	57	79	404	74	97	461	79	71
348	76	97	405	75	98	462	83	44
349	84	97	406	56	61	463	53	48
350	86	97	407	42	0	464	40	48
351	81	98	408	36	32	465	51	75
352	83	83	409	34	43	466	75	72
353	65	96	410	68	83	467	89	67
354	93	72	411	102	48	468	93	60
355	63	60	412	62	0	469	89	73
356	72	49	413	41	39	470	86	73
357	56	27	414	71	86	471	81	73
358	29	0	415	91	52	472	78	73
359	18	13	416	89	55	473	78	73
360	25	11	417	89	56	474	76	73
361	28	24	418	88	58	475	79	73
362	34	53	419	78	69	476	82	73
363	65	83	420	98	39	477	86	73
364	80	44	421	64	61	478	88	72
365	77	46	422	90	34	479	92	71
366	76	50	423	88	38	480	97	54
367	45	52	424	97	62	481	73	43
368	61	98	425	100	53	482	36	64
369	61	69	426	81	58	483	63	31
370	63	49	427	74	51	484	78	1
371	32	0	428	76	57	485	69	27
372	10	8	429	76	72	486	67	28
373	17	7	430	85	72	487	72	9
374	16	13	431	84	60	488	71	9
375	11	6	432	83	72	489	78	36
376	9	5	433	83	72	490	81	56
377	9	12	434	86	72	491	75	53
378	12	46	435	89	72	492	60	45
379	15	30	436	86	72	493	50	37
380	26	28	437	87	72	494	66	41
381	13	9	438	88	72	495	51	61
382	16	21	439	88	71	496	68	47
383	24	4	440	87	72	497	29	42
384	36	43	441	85	71	498	24	73
385	65	85	442	88	72	499	64	71
386	78	66	443	88	72	500	90	71
387	63	39	444	84	72	501	100	61

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
502	94	73	559	87	70	616	40	14
503	84	73	560	91	39	617	42	38
504	79	73	561	72	3	618	64	69
505	75	72	562	43	25	619	64	74
506	78	73	563	30	60	620	67	73
507	80	73	564	40	45	621	65	73
508	81	73	565	37	32	622	68	73
509	81	73	566	37	32	623	65	49
510	83	73	567	43	70	624	81	0
511	85	73	568	70	54	625	37	25
512	84	73	569	77	47	626	24	69
513	85	73	570	79	66	627	68	71
514	86	73	571	85	53	628	70	71
515	85	73	572	83	57	629	76	70
516	85	73	573	86	52	630	71	72
517	85	72	574	85	51	631	73	69
518	85	73	575	70	39	632	76	70
519	83	73	576	50	5	633	77	72
520	79	73	577	38	36	634	77	72
521	78	73	578	30	71	635	77	72
522	81	73	579	75	53	636	77	70
523	82	72	580	84	40	637	76	71
524	94	56	581	85	42	638	76	71
525	66	48	582	86	49	639	77	71
526	35	71	583	86	57	640	77	71
527	51	44	584	89	68	641	78	70
528	60	23	585	99	61	642	77	70
529	64	10	586	77	29	643	77	71
530	63	14	587	81	72	644	79	72
531	70	37	588	89	69	645	78	70
532	76	45	589	49	56	646	80	70
533	78	18	590	79	70	647	82	71
534	76	51	591	104	59	648	84	71
535	75	33	592	103	54	649	83	71
536	81	17	593	102	56	650	83	73
537	76	45	594	102	56	651	81	70
538	76	30	595	103	61	652	80	71
539	80	14	596	102	64	653	78	71
540	71	18	597	103	60	654	76	70
541	71	14	598	93	72	655	76	70
542	71	11	599	86	73	656	76	71
543	65	2	600	76	73	657	79	71
544	31	26	601	59	49	658	78	71
545	24	72	602	46	22	659	81	70
546	64	70	603	40	65	660	83	72
547	77	62	604	72	31	661	84	71
548	80	68	605	72	27	662	86	71
549	83	53	606	67	44	663	87	71
550	83	50	607	68	37	664	92	72
551	83	50	608	67	42	665	91	72
552	85	43	609	68	50	666	90	71
553	86	45	610	77	43	667	90	71
554	89	35	611	58	4	668	91	71
555	82	61	612	22	37	669	90	70
556	87	50	613	57	69	670	90	72
557	85	55	614	68	38	671	91	71
558	89	49	615	73	2	672	90	71

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
673	90	71	730	103	32	787	105	74
674	92	72	731	102	50	788	105	66
675	93	69	732	103	30	789	105	62
676	90	70	733	103	44	790	105	66
677	93	72	734	102	40	791	89	41
678	91	70	735	103	43	792	52	5
679	89	71	736	103	41	793	48	5
680	91	71	737	102	46	794	48	7
681	90	71	738	103	39	795	48	5
682	90	71	739	102	41	796	48	6
683	92	71	740	103	41	797	48	4
684	91	71	741	102	38	798	52	6
685	93	71	742	103	39	799	51	5
686	93	68	743	102	46	800	51	6
687	98	68	744	104	46	801	51	6
688	98	67	745	103	49	802	52	5
689	100	69	746	102	45	803	52	5
690	99	68	747	103	42	804	57	44
691	100	71	748	103	46	805	98	90
692	99	68	749	103	38	806	105	94
693	100	69	750	102	48	807	105	100
694	102	72	751	103	35	808	105	98
695	101	69	752	102	48	809	105	95
696	100	69	753	103	49	810	105	96
697	102	71	754	102	48	811	105	92
698	102	71	755	102	46	812	104	97
699	102	69	756	103	47	813	100	85
700	102	71	757	102	49	814	94	74
701	102	68	758	102	42	815	87	62
702	100	69	759	102	52	816	81	50
703	102	70	760	102	57	817	81	46
704	102	68	761	102	55	818	80	39
705	102	70	762	102	61	819	80	32
706	102	72	763	102	61	820	81	28
707	102	68	764	102	58	821	80	26
708	102	69	765	103	58	822	80	23
709	100	68	766	102	59	823	80	23
710	102	71	767	102	54	824	80	20
711	101	64	768	102	63	825	81	19
712	102	69	769	102	61	826	80	18
713	102	69	770	103	55	827	81	17
714	101	69	771	102	60	828	80	20
715	102	64	772	102	72	829	81	24
716	102	69	773	103	56	830	81	21
717	102	68	774	102	55	831	80	26
718	102	70	775	102	67	832	80	24
719	102	69	776	103	56	833	80	23
720	102	70	777	84	42	834	80	22
721	102	70	778	48	7	835	81	21
722	102	62	779	48	6	836	81	24
723	104	38	780	48	6	837	81	24
724	104	15	781	48	7	838	81	22
725	102	24	782	48	6	839	81	22
726	102	45	783	48	7	840	81	21
727	102	47	784	67	21	841	81	31
728	104	40	785	105	59	842	81	27
729	101	52	786	105	96	843	80	26

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
844	80	26	901	81	19	958	81	40
845	81	25	902	81	17	959	81	39
846	80	21	903	81	17	960	81	27
847	81	20	904	81	17	961	81	33
848	83	21	905	81	15	962	80	28
849	83	15	906	80	15	963	81	34
850	83	12	907	80	28	964	83	72
851	83	9	908	81	22	965	81	49
852	83	8	909	81	24	966	81	51
853	83	7	910	81	19	967	80	55
854	83	6	911	81	21	968	81	48
855	83	6	912	81	20	969	81	36
856	83	6	913	83	26	970	81	39
857	83	6	914	80	63	971	81	38
858	83	6	915	80	59	972	80	41
859	76	5	916	83	100	973	81	30
860	49	8	917	81	73	974	81	23
861	51	7	918	83	53	975	81	19
862	51	20	919	80	76	976	81	25
863	78	52	920	81	61	977	81	29
864	80	38	921	80	50	978	83	47
865	81	33	922	81	37	979	81	90
866	83	29	923	82	49	980	81	75
867	83	22	924	83	37	981	80	60
868	83	16	925	83	25	982	81	48
869	83	12	926	83	17	983	81	41
870	83	9	927	83	13	984	81	30
871	83	8	928	83	10	985	80	24
872	83	7	929	83	8	986	81	20
873	83	6	930	83	7	987	81	21
874	83	6	931	83	7	988	81	29
875	83	6	932	83	6	989	81	29
876	83	6	933	83	6	990	81	27
877	83	6	934	83	6	991	81	23
878	59	4	935	71	5	992	81	25
879	50	5	936	49	24	993	81	26
880	51	5	937	69	64	994	81	22
881	51	5	938	81	50	995	81	20
882	51	5	939	81	43	996	81	17
883	50	5	940	81	42	997	81	23
884	50	5	941	81	31	998	83	65
885	50	5	942	81	30	999	81	54
886	50	5	943	81	35	1 000	81	50
887	50	5	944	81	28	1 001	81	41
888	51	5	945	81	27	1 002	81	35
889	51	5	946	80	27	1 003	81	37
890	51	5	947	81	31	1 004	81	29
891	63	50	948	81	41	1 005	81	28
892	81	34	949	81	41	1 006	81	24
893	81	25	950	81	37	1 007	81	19
894	81	29	951	81	43	1 008	81	16
895	81	23	952	81	34	1 009	80	16
896	80	24	953	81	31	1 010	83	23
897	81	24	954	81	26	1 011	83	17
898	81	28	955	81	23	1 012	83	13
899	81	27	956	81	27	1 013	83	27
900	81	22	957	81	38	1 014	81	58

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
1 015	81	60	1 072	103	11	1 129	66	65
1 016	81	46	1 073	98	48	1 130	54	69
1 017	80	41	1 074	101	34	1 131	69	56
1 018	80	36	1 075	99	39	1 132	69	40
1 019	81	26	1 076	103	11	1 133	73	54
1 020	86	18	1 077	103	19	1 134	63	92
1 021	82	35	1 078	103	7	1 135	61	67
1 022	79	53	1 079	103	13	1 136	72	42
1 023	82	30	1 080	103	10	1 137	78	2
1 024	83	29	1 081	102	13	1 138	76	34
1 025	83	32	1 082	101	29	1 139	67	80
1 026	83	28	1 083	102	25	1 140	70	67
1 027	76	60	1 084	102	20	1 141	53	70
1 028	79	51	1 085	96	60	1 142	72	65
1 029	86	26	1 086	99	38	1 143	60	57
1 030	82	34	1 087	102	24	1 144	74	29
1 031	84	25	1 088	100	31	1 145	69	31
1 032	86	23	1 089	100	28	1 146	76	1
1 033	85	22	1 090	98	3	1 147	74	22
1 034	83	26	1 091	102	26	1 148	72	52
1 035	83	25	1 092	95	64	1 149	62	96
1 036	83	37	1 093	102	23	1 150	54	72
1 037	84	14	1 094	102	25	1 151	72	28
1 038	83	39	1 095	98	42	1 152	72	35
1 039	76	70	1 096	93	68	1 153	64	68
1 040	78	81	1 097	101	25	1 154	74	27
1 041	75	71	1 098	95	64	1 155	76	14
1 042	86	47	1 099	101	35	1 156	69	38
1 043	83	35	1 100	94	59	1 157	66	59
1 044	81	43	1 101	97	37	1 158	64	99
1 045	81	41	1 102	97	60	1 159	51	86
1 046	79	46	1 103	93	98	1 160	70	53
1 047	80	44	1 104	98	53	1 161	72	36
1 048	84	20	1 105	103	13	1 162	71	47
1 049	79	31	1 106	103	11	1 163	70	42
1 050	87	29	1 107	103	11	1 164	67	34
1 051	82	49	1 108	103	13	1 165	74	2
1 052	84	21	1 109	103	10	1 166	75	21
1 053	82	56	1 110	103	10	1 167	74	15
1 054	81	30	1 111	103	11	1 168	75	13
1 055	85	21	1 112	103	10	1 169	76	10
1 056	86	16	1 113	103	10	1 170	75	13
1 057	79	52	1 114	102	18	1 171	75	10
1 058	78	60	1 115	102	31	1 172	75	7
1 059	74	55	1 116	101	24	1 173	75	13
1 060	78	84	1 117	102	19	1 174	76	8
1 061	80	54	1 118	103	10	1 175	76	7
1 062	80	35	1 119	102	12	1 176	67	45
1 063	82	24	1 120	99	56	1 177	75	13
1 064	83	43	1 121	96	59	1 178	75	12
1 065	79	49	1 122	74	28	1 179	73	21
1 066	83	50	1 123	66	62	1 180	68	46
1 067	86	12	1 124	74	29	1 181	74	8
1 068	64	14	1 125	64	74	1 182	76	11
1 069	24	14	1 126	69	40	1 183	76	14
1 070	49	21	1 127	76	2	1 184	74	11
1 071	77	48	1 128	72	29	1 185	74	18

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Régime</i> <i>normalisé</i> %	<i>Couple</i> <i>normalisé</i> %
1 186	73	22	1 204	68	62	1 222	0	0
1 187	74	20	1 205	68	62	1 223	0	0
1 188	74	19	1 206	68	62	1 224	0	0
1 189	70	22	1 207	68	62	1 225	0	0
1 190	71	23	1 208	68	62	1 226	0	0
1 191	73	19	1 209	68	62	1 227	0	0
1 192	73	19	1 210	54	50	1 228	0	0
1 193	72	20	1 211	41	37	1 229	0	0
1 194	64	60	1 212	27	25	1 230	0	0
1 195	70	39	1 213	14	12	1 231	0	0
1 196	66	56	1 214	0	0	1 232	0	0
1 197	68	64	1 215	0	0	1 233	0	0
1 198	30	68	1 216	0	0	1 234	0	0
1 199	70	38	1 217	0	0	1 235	0	0
1 200	66	47	1 218	0	0	1 236	0	0
1 201	76	14	1 219	0	0	1 237	0	0
1 202	74	18	1 220	0	0	1 238	0	0
1 203	69	46	1 221	0	0			

Annexe A.2

Statistiques

A.2.1 Moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique, \bar{y} , doit être calculée de la manière suivante:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{10} y_i}{N} \quad (\text{A.2-1})$$

Exemple:

$$N = 3$$

$$y_1 = 10,60$$

$$y_2 = 11,91$$

$$y_N = y_3 = 11,09$$

$$\bar{y} = \frac{10,60 + 11,91 + 11,09}{3} = 11,20$$

A.2.2 Écart type

L'écart type pour un échantillon non biaisé (*c'est-à-dire* $N-1$), σ , doit être calculé de la manière suivante:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{(N-1)}} \quad (\text{A.2-2})$$

Exemple:

$$N = 3$$

$$y_1 = 10,60$$

$$y_2 = 11,91$$

$$y_N = y_3 = 11,09$$

$$\bar{y} = 11,20$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{(10,60 - 11,20)^2 + (11,91 - 11,20)^2 + (11,09 - 11,20)^2}{(3-1)}} = 0,6619$$

A.2.3 Valeur quadratique moyenne

La valeur quadratique moyenne, rms_y , doit être calculée de la manière suivante:

$$rms_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2} \quad (\text{A.2-3})$$

Exemple:

$$N = 3$$

$$y_1 = 10,60$$

$$y_2 = 11,91$$

$$y_N = y_3 = 11,09$$

$$rms_y = \sqrt{\frac{1}{3}(10,60^2 + 11,91^2 + 11,09^2)} = 11,21$$

Précision

Une valeur de précision se calcule comme suit. On mesure un étalon un certain nombre de fois pour obtenir un ensemble de valeurs observées y_i ; chaque valeur observée est comparée à la valeur connue de l'étalon. L'étalon peut être une quantité connue unique, comme dans le cas d'un gaz étalon, ou un ensemble de quantités connues comprises dans une plage très étroite, telle que la pression appliquée connue donnée par un dispositif d'étalonnage lors d'applications répétées. La quantité connue de l'étalon est représentée par $y_{ref,i}$. S'il s'agit d'une quantité connue unique, toutes les valeurs $y_{ref,i}$ seront identiques.

$$précision = \left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - y_{ref,i}) \right| \quad (\text{GD.A.2-3a})$$

Exemple:

$$y_{ref} = 1\ 800,0$$

$$N = 10$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{10} y_i}{10} = 1\ 802,5$$

$$précision = |1\ 802,5 - 1\ 800,0| = 2,5$$

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, ν , sont calculés de la manière suivante:

$$t = \frac{|\bar{y}_{ref} - \bar{y}|}{\sqrt{\frac{\sigma_{ref}^2}{N_{ref}} + \frac{\sigma_y^2}{N}}} \quad (\text{A.2-4})$$

$$\nu = \frac{\left(\frac{\sigma_{ref}^2}{N_{ref}} + \frac{\sigma_y^2}{N} \right)^2}{\frac{(\sigma_{ref}^2/N_{ref})^2}{N_{ref} - 1} + \frac{(\sigma_y^2/N)^2}{N - 1}} \quad (\text{A.2-5})$$

Exemple:

$$y_{\text{ref}} = 1\,205,3$$

$$y = 1\,123,8$$

$$\sigma_{\text{ref}} = 9,399$$

$$\sigma_y = 10,583$$

$$N_{\text{ref}} = 11$$

$$N = 7$$

$$t = \frac{|1\,205,3 - 1\,123,8|}{\sqrt{\frac{9,399^2}{11} + \frac{10,583^2}{7}}} = 16,63$$

$$T = 16,63$$

$$\sigma_{\text{ref}} = 9,399$$

$$\sigma_y = 10,583$$

$$N_{\text{ref}} = 11$$

$$N = 7$$

$$v = \frac{\left(\frac{9,399^2}{11} + \frac{10,583^2}{7}\right)}{\frac{(9,399^2/11)^2}{11-1} + \frac{(10,583^2/7)^2}{7-1}} = 11,76$$

- 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 $y_{\text{ref},i}$ et y_i :

$$t = \frac{|\bar{\varepsilon}| \cdot \sqrt{N}}{\sigma_{\varepsilon}} \quad v = N - 1 \quad (\text{A.2-6})$$

Exemple:

$$\bar{\varepsilon} = -0,12580$$

$$N = 16$$

$$\sigma_{\varepsilon} = 0,04837$$

$$t = \frac{|-0,12580| \times \sqrt{16}}{0,04837} = 10,403$$

$$N = 16$$

$$v = 16 - 1 = 15$$

- c) On utilisera 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 .

Tableau A.2.1
Valeurs t critiques et nombre de degrés de liberté, ν

ν	Confiance	
	90 %	85 %
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

On utilisera une interpolation pour déterminer 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:

$$F_y = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{\text{ref}}^2} \quad (\text{A.2-7})$$

Exemple:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{(N-1)}} = 10,583 \quad \sigma_{ref} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_{ref}} (y_{refi} - \bar{y}_{ref})^2}{(N_{ref}-1)}} = 9,399$$

$$F_y = \frac{10,583^2}{9,399^2} = 1,268$$

- 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 $(N_{ref}-1)$. 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 $(N_{ref}-1)$. Si F est inférieur à F_{crit95} , F satisfait au test F à 95 % de confiance.

Tableau A.2.2
Valeurs critiques de F , $F_{\text{crit}90}$, par rapport à $N-1$ et $N_{\text{ref}}-1$ à 90 % de confiance

$N-1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	1 000+
$N_{\text{ref}}-1$																			
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
22	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.2.3
Valeurs critiques F , F_{crit95} , par rapport à $N-1$ et $N_{ref}-1$ à 95 % de confiance

$N-1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	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

A.2.6 *Pente*

La pente de régression des moindres carrés, a_{1y} , doit être calculée de la manière suivante:

$$a_{1y} = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}) \cdot (y_{ref\ i} - \bar{y}_{ref})}{\sum_{i=1}^N (y_{ref\ i} - \bar{y}_{ref})^2} \quad (\text{A.2-8})$$

Exemple:

$$N = 6\ 000$$

$$y_1 = 2\ 045,8$$

$$\bar{y} = 1\ 051,1$$

$$y_{ref1} = 2\ 045,0$$

$$\bar{y}_{ref} = 1\ 055,3$$

$$a_{1y} = \frac{(2\ 045,8 - 1\ 050,1) \times (2\ 045,0 - 1\ 055,3) + \dots + (y_{6\ 000} - 1\ 050,1) \cdot (y_{ref\ 6\ 000} - 1\ 055,3)}{(2\ 045,0 - 1\ 055,3)^2 + \dots + (y_{ref\ 6\ 000} - 1\ 055,3)^2} = 1,0110$$

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:

$$a_{0y} = \bar{y} - (a_{1y} \cdot \bar{y}_{ref}) \quad (\text{A.2-9})$$

Exemple:

$$\bar{y} = 1\ 050,1$$

$$a_{1y} = 1,0110$$

$$\bar{y}_{ref} = 1\ 055,3$$

$$a_{0y} = 1\ 050,1 - (1,0110 \times 1\ 055,3) = -16,8083$$

A.2.8 *Estimation type de l'erreur*

L'estimation type de l'erreur, *SEE*, doit être calculée de la manière suivante:

$$SEE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [y_i - a_{0y} - (a_{1y} \cdot y_{ref\ i})]^2}{N - 2}} \quad (\text{A.2-10})$$

Exemple:

$$N = 6\ 000$$

$$y_1 = 2\ 045,8$$

$$a_{0y} = -16,8083$$

$$a_{1y} = 1,0110$$

$$y_{ref1} = 2\ 045,0$$

$$SEE_y = \sqrt{\frac{[2\ 045,8 - (-16,8083) - (1,0110 \times 2\ 045,0)]^2 + \dots + [y_{6\ 000} - (-16,8083) - (1,0110 \cdot y_{ref\ 6\ 000})]^2}{6\ 000 - 2}} = 5,384$$

A.2.9 *Coefficient de détermination*

Le coefficient de détermination, r^2 , doit être calculé de la manière suivante:

$$r_y^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [y_i - a_{0y} - (a_{1y} \cdot y_{ref\ i})]^2}{\sum_{i=1}^N [y_i - \bar{y}]^2} \quad (\text{A.2-11})$$

Exemple:

$$N = 6\,000$$

$$y_1 = 2\,045,8$$

$$a_{0y} = -16,8083$$

$$a_{1y} = 1,0110$$

$$y_{ref1} = 2\,045,0$$

$$\bar{y} = 1\,480,5$$

$$r_y^2 = 1 - \sqrt{\frac{[2\,045,8 - (-16,8083) - (1,0110 \times 2\,045,0)]^2 + \dots + [y_{6\,000} - (-16,8083) - (1,0110 \cdot y_{ref\ 6\,000})]^2}{[2\,045,8 - 1\,480,5]^2 + \dots + [y_{6\,000} - 1\,480,5]^2}} = 0,9859$$

Annexe A.3

Formule gravimétrique internationale 1980

L'accélération de la gravité de la Terre, a_g , varie selon le lieu. 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

Exemple:

$$\theta = 45^\circ$$

$$a_g = 9,7803267715[1 + 5,2790414 \times 10^{-3} \sin^2 45 + 2,32718 \times 10^{-5} \sin^4 45 + 1,262 \times 10^{-7} \sin^6 45 + 7 \times 10^{-10} \sin^8 45] = 9,8178291229 \text{m/s}^2$$

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.

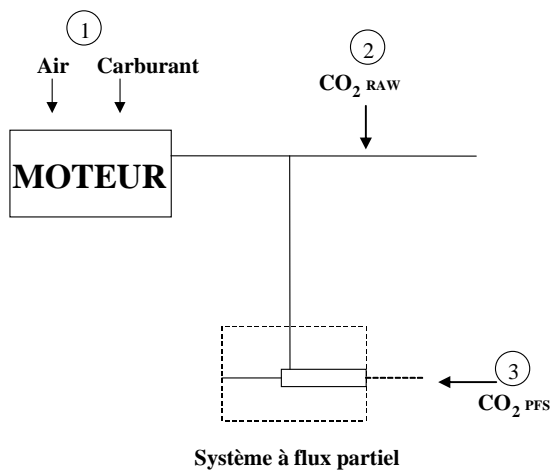


Figure A.4.1
Points de mesure du débit de carbone

A.4.2 *Flux de carbone dans le moteur (emplacement 1)*

Le débit massique du carbone dans le moteur q_{mCf} [kg/s] pour un carburant $CH_\alpha O_e$ est donné par:

$$q_{mCf} = \frac{12,011}{12,011 + \alpha + 15,9994 \cdot \varepsilon} \cdot q_{mf} \quad (A.4-1)$$

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_{mCe} [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:

$$q_{mCe} = \left(\frac{c_{CO_2,r} - c_{CO_2,a}}{100} \right) \cdot q_{mew} \cdot \frac{12,011}{M_e} \quad (A.4-2)$$

Où:

$c_{CO_2,r}$ = concentration de CO_2 en conditions humides dans les gaz d'échappement bruts [%]

$c_{CO_2,a}$ = concentration de CO_2 en conditions humides dans l'air ambiant [%]

q_{mew} = 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 convertira 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_{mCp} [kg/s] (par équivalent on entend un système équivalent à un système fonctionnant à plein débit où le flux total est dilué) devra 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_{mdew}/q_{mp} .

$$q_{mCp} = \left(\frac{c_{CO_2,d} - c_{CO_2,a}}{100} \right) \cdot q_{mew} \cdot \frac{12,011}{M_e} \cdot \frac{q_{mdew}}{q_{mp}} \quad (A.4-3)$$

Où:

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

$c_{CO_2,a}$ = concentration de CO_2 en conditions humides dans l'air ambiant [%]

q_{mdew} = débit d'un échantillon dilué dans le système de dilution du flux partiel [kg/s]

q_{mew} = débit massique de gaz d'échappement en conditions humides [kg/s]

q_{mp} = 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 CO₂ 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

<i>Numéro</i>	<i>Équipement et accessoires</i>	<i>Monté pour l'essai d'émissions</i>
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	
	Post-traitement 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 de 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

Numéro	Équipement et accessoires	Monté pour l'essai d'émissions
6	Équipement de refroidissement liquide	
	Radiateur	Non
	Ventilateur	Non
	Carter de soufflante	Non
	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. La liste suivante, non exhaustive, est donnée à titre d'exemple:	Non
	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 spécifiée 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 spécifiée 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 sera 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 seront 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 sera 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 diesel de référence

A.6.1 Carburants diesel de référence dans l'Union européenne

Paramètre	Unité	Limites ^a		Méthode d'essai
		Minimum	Maximum	
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 spécifiées 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. Au cas où il est nécessaire de clarifier la question de savoir si un carburant est conforme aux exigences, il faut appliquer les principes de la norme ISO 4259.

A.6.2 Carburants diesel 2-D des 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 du soufre	ppm	ASTM D 2785	7	15
Fraction en volume d'aromatiques	% v/v	ASTM D 1319 40CFR 80.520		35

A.6.3 Carburants diesel de référence 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.	°C	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
Triglycérides	%	-	0,01	Ministère de l'économie, du commerce et de l'industrie (METI) n° 78 de 2007

Annexe A.7

Calcul des émissions sur base molaire

A.7.0 Conversion des symboles

A.7.0.1 Symboles généraux

<i>Annexe 7¹</i>	<i>Annexe 8</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantité</i>
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 composants gazeux
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

<i>Annexe 7¹</i>	<i>Annexe 8</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantité</i>
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 d'une série
n		mol	Quantité de substance
\dot{n}		mol/s	Taux de quantité de substance
P	P	kW	Puissance
p	p	kPa	Pression
p_{abs}	p_p	kPa	Pression absolue
$p_{\text{H}_2\text{O}}$	p_r	kPa	Pression de vapeur d'eau
PF	$1 - E$	%	Fraction de pénétration (E = efficacité de conversion)
\dot{V}	q_v	m ³ /s	Débit volumique
ρ	ρ	kg/m ³	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		Nm	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

Annexe 7 ¹	Annexe 8	Unité	Quantité
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 $\mu\text{mol/mol} = \text{ppm}$)
\bar{x}		mol/mol	Concentration moyenne pondérée par le débit
y		–	Variable générique
\bar{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

<i>Annexe 7</i>	<i>Annexe 8¹</i>	<i>Quantité</i>
dexh		Gaz d'échappement dilués
dry		Quantité en conditions sèches
exh		Gaz d'échappement bruts
exp		Quantité escomptée
eq		Quantité équivalente
fuel		Carburant
	<i>i</i>	Mesure instantanée (par exemple: 1 Hz)
<i>i</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
total		Quantité totale

<i>Annexe 7</i>	<i>Annexe 8¹</i>	<i>Quantité</i>
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 de 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)

<i>Annexe 7</i>	<i>Annexe 8</i>	<i>Quantité</i>
Ar	Ar	Argon
C1	C1	Hydrocarbures équivalent carbone 1
CH ₄	CH ₄	Méthane
C ₂ H ₆	C ₂ H ₆	Éthane
C ₃ H ₈	C ₃ H ₈	Propane
CO	CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	CO ₂	Dioxyde de carbone
DOP	DOP	Di-octylphtalate
H		Hydrogène atomique
H ₂		Hydrogène moléculaire
HC	HC	Hydrocarbures
H ₂ O	H ₂ O	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

Annexe 7	Annexe 8	Quantité
NO ₂	NO ₂	Dioxyde d'azote
O		Oxygène atomique
MP	MP	Matières particulaires
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 une formule chimique CH _{α} O _{β} S _{γ} N _{δ} .

² Par rapport à un carburant ayant une formule chimique CH _{α} O _{ε} N _{δ} S _{γ} .

³ Il convient de porter 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 _{α} S _{γ} N _{δ} O _{ε} (c'est-à-dire la formule C _{β} H _{α} S _{γ} N _{δ} O _{ε} 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 _{α} O _{β} S _{γ} N _{δ} . Dans ce cas, β de l'annexe 7 correspond à ε de l'annexe 8.

⁴ La fraction massique 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

$x_{\text{dil/exh}}$	=	Quantité de gaz de dilution ou excès d'air par mole de gaz d'échappement
$x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$	=	Quantité d'eau par mole de gaz d'échappement
x_{Ccombdry}	=	Quantité de carbone en provenance du carburant présent dans chaque mole de gaz d'échappement secs
$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$	=	Quantité d'eau dans le gaz d'échappement par mole sèche de gaz d'échappement secs

$x_{\text{prod/intdry}}$	=	Quantité de produits stœchiométriques par mole d'air d'admission sec
$x_{\text{dil/exhdry}}$	=	Quantité de gaz de dilution et/ou excès d'air par mole de gaz d'échappement secs
$x_{\text{int/exhdry}}$	=	Quantité d'air d'admission nécessaire pour produire les produits de combustion proprement dits par mole de gaz d'échappement secs (bruts ou dilués)
$x_{\text{raw/exhdry}}$	=	Quantité de gaz d'échappement non dilué, sans excès d'air, par mole de gaz d'échappement secs (bruts ou dilués)
x_{O2intdry}	=	Quantité d'air d'admission O_2 par mole d'air d'admission sec
$x_{\text{CO2intdry}}$	=	Quantité de CO_2 dans l'air d'admission par mole d'air d'admission sec
$x_{\text{H2Ointdry}}$	=	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
$x_{\text{CO2dildry}}$	=	Quantité de gaz de dilution CO_2 par mole de gaz de dilution sec
$x_{\text{H2Odildry}}$	=	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
$x_{\text{[emission]meas}}$	=	Quantité d'émissions mesurées dans l'échantillon par les analyseurs de gaz respectifs
$x_{\text{[emission]dry}}$	=	Quantité d'émissions par mole sec d'échantillon sec
$x_{\text{H2O[emission]meas}}$	=	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:

$$x_{\text{O2airdry}} = 0,209445 \text{ mol/mol}$$

$$x_{\text{CO2airdry}} = 0,000375 \text{ mol/mol}$$

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_{CO_2}	=	44,0095 g/mol (dioxyde de carbone)
M_{H}	=	1,00794 g/mol (hydrogène atomique)
M_{H_2}	=	2,01588 g/mol (hydrogène moléculaire)
$M_{\text{H}_2\text{O}}$	=	18,01528 g/mol (eau)
M_{He}	=	4,002602 g/mol (hélium)
M_{N}	=	14,0067 g/mol (azote atomique)
M_{N_2}	=	28,0134 g/mol (azote moléculaire)
M_{NMHC}	=	13,875389 g/mol (hydrocarbures non méthaniques ¹)
M_{NO_x}	=	46,0055 g/mol (oxydes d'azote ²)
M_{O}	=	15,9994 g/mol (oxygène atomique)
M_{O_2}	=	31,9988 g/mol (oxygène moléculaire)
$M_{\text{C}_3\text{H}_8}$	=	44,09562 g/mol (propane)
M_{S}	=	32,065 g/mol (soufre)
M_{THC}	=	13,875389 g/mol (hydrocarbures totaux ²)

- Les masses molaires effectives de HCT et de HCNM sont définies par un rapport d'hydrogène atomique à carbone, α , de 1,85;
- 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:

$$R = 8,314472 \text{ J}/(\text{mol K})$$

La présente annexe utilise les rapports suivants des chaleurs spécifiques γ $[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]/[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$ 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_{H_2O} [kPa] pour une condition 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:

$$\begin{aligned} \log_{10}(p_{H_2O}) = & 10,79574 \cdot \left(1 - \frac{273,16}{T_{sat}}\right) - 5,02800 \cdot \log_{10}\left(\frac{T_{sat}}{273,16}\right) + \\ & + 1,50475 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - 10^{\frac{-8,2969 \left(\frac{T_{sat}}{273,16}\right) - 1}{-1}}\right) + 0,42873 \cdot 10^{-3} \cdot \left(10^{4,76955 \left(1 - \frac{273,16}{T_{sat}}\right) - 1}\right) - 0,2138602 \end{aligned} \quad (A.7-1)$$

Où:

p_{H_2O} = 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]

Exemple:

$T_{sat} = 9,5 \text{ °C} = 282,65 \text{ K}$

$$\begin{aligned} \log_{10}(p_{H_2O}) = & 10,79574 \cdot \left(1 - \frac{273,16}{282,65}\right) + 5,02800 \cdot \log_{10}\left(\frac{282,65}{273,16}\right) + 1,50475 \cdot 10^{-4} \cdot \\ & \left(1 - 10^{\frac{-8,2969 \left(\frac{282,65}{273,16}\right) - 1}{-1}}\right) + 0,42873 \cdot 10^{-3} \cdot \left(10^{4,76955 \left(1 - \frac{273,16}{282,65}\right) - 1}\right) - 0,2138602 \\ \log_{10}(p_{H_2O}) = & 0,074297 \Rightarrow (p_{H_2O}) = 10^{0,074297} = 1,18658 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- b) Pour les mesures de l'humidité faites sur de la glace à des températures ambiantes de (-100 à 0) °C:

$$\log_{10}(p_{sat}) = 9,096853 \cdot \left(\frac{273,16}{T_{sat}} - 1\right) + 3,566506 \cdot \log_{10}\left(\frac{273,16}{T_{sat}}\right) + 0,876812 \cdot \left(1 - \frac{T_{sat}}{273,16}\right) - 0,2138602 \quad (A.7-2)$$

Où:

T_{sat} = température de saturation de l'eau aux conditions mesurées [K]

Exemple:

$$T_{ice} = -15,4 \text{ °C} = 257,75 \text{ K}$$

$$\log_{10}(p_{sat}) = 9,096853 \cdot \left(\frac{273,16}{257,75} - 1 \right) + 3,566506 \cdot \log_{10} \left(\frac{273,16}{257,75} \right) + 0,876812 \cdot \left(1 - \frac{257,75}{273,16} \right) - 0,2138602$$

$$\log_{10}(p_{sat}) = 0,798207 \Rightarrow (p_{sat}) = 10^{0,79821} = 0,159145 \text{ kPa}$$

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_{H_2O} [mol/mol] doit être obtenue de la manière suivante:

$$x_{H_2O} = \frac{p_{H_2O}}{p_{abs}} \quad (\text{A.7-3})$$

Où:

x_{H_2O} = quantité d'eau dans un gaz idéal [mol/mol]

p_{H_2O} = 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]

Exemple:

$$p_{abs} = 99,980 \text{ kPa}$$

$$T_{sat} = T_{dew} = 9,5 \text{ °C}$$

En prenant l'exemple de l'équation A.7-1, $p_{H_2O} = 1,186581$ [kPa]

$$x_{H_2O} = \frac{p_{H_2O}}{p_{abs}} = \frac{1,186581}{99,980} = 0,011868 \text{ mol/mol}$$

A.7.1.2.3 Humidité relative

Si l'on mesure l'humidité en tant qu'humidité relative $RH\%$, la quantité d'eau d'un gaz idéal x_{H_2O} [mol/mol] se calcule de la manière suivante:

$$x_{H_2O} = \frac{RH\%}{100} \cdot \frac{p_{H_2O}}{p_{abs}} \quad (\text{A.7-4})$$

Où:

$RH\%$ = humidité relative [%]

p_{H_2O} = 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]

Exemple:

$$RH\% = 50,77 \%$$

$$p_{abs} = 99,980 \text{ kPa}$$

$$T_{sat} = T_{amb} = 20 \text{ °C}$$

En prenant l'équation (A.7-2), $p_{\text{H}_2\text{O}} = 2,3371 \text{ kPa}$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{0,5077 \times 2,3371}{99,980} = 0,011868 \text{ mol/mol}$$

A.7.1.3 Propriétés du carburant

La formule générale chimique du carburant est $\text{CH}_\alpha\text{O}_\beta\text{S}_\gamma\text{N}_\delta$ 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 massique de carbone w_C du carburant. En cas de carburant diesel, on peut utiliser la formule simple $\text{CH}\alpha\text{O}\beta$. On peut tirer du tableau A.7.1 les valeurs par défaut pour la composition du carburant:

Tableau A.7.1

Valeurs par défaut du rapport hydrogène atomique-à-carbone, α , oxygène atomique-à-carbone, β , et fraction massique de carbone du carburant, w_C pour carburants diesel

Carburant	Rapports d'hydrogène atomique et d'oxygène-à carbone $\text{CH}_\alpha\text{O}_\beta$	Concentration en masse de carbone, w_C [g/g]
N. 2 Diesel	$\text{CH}_{1,80}\text{O}_0$	0,869
N. 1 Diesel	$\text{CH}_{1,93}\text{O}_0$	0,861

La fraction massique de carbone du carburant, w_C , peut être calculée au moyen de l'équation suivante d'après les caractéristiques mesurées d'un carburant ayant la formule chimique $\text{CH}_\alpha\text{O}_\beta\text{S}_\gamma\text{N}_\delta$:

$$w_C = \frac{1 \cdot M_C}{1 \cdot M_C + \alpha \cdot M_H + \beta \cdot M_O + \gamma \cdot M_S + \delta \cdot M_N} \quad (\text{GD.A.7-4a})$$

Où:

- w_C = fraction massique de carbone du carburant [g/g]
- α = rapport hydrogène atomique-à-carbone du mélange de carburant(s) utilisé, pondéré par la consommation molaire
- β = rapport oxygène atomique-à-carbone du mélange de carburant(s) utilisé, pondéré par la consommation molaire
- γ = rapport soufre atomique-à-carbone du mélange de carburant(s) utilisé, pondéré par la consommation molaire
- δ = rapport azote atomique-à-carbone du mélange de carburant(s) utilisé, pondéré par la consommation molaire
- M_C = masse molaire de carbone
- M_H = masse molaire d'hydrogène
- M_O = masse molaire d'oxygène
- M_S = masse molaire de soufre
- M_N = masse molaire d'azote

Exemple:

$$\alpha = 1,8$$

$$\beta = 0,05$$

$$\gamma = 0,0003$$

$$\delta = 0,0001$$

$$M_C = 12,0107 \text{ g/mol}$$

$$M_H = 1,00794 \text{ g/mol}$$

$$M_O = 15,9994 \text{ g/mol}$$

$$M_S = 32,0655 \text{ g/mol}$$

$$M_N = 14,0067 \text{ g/mol}$$

$$w_c = \frac{1 \times 12,0107}{1 \times 12,0107 + 1,8 \times 1,01 + 0,05 \times 15,9994 + 0,0003 \times 32,0655 + 0,0001 \times 14,0067} = 0,8205$$

A.7.1.4 Concentration des HCT et des HCNM

A.7.1.4.1 Détermination des HCT et corrections de la contamination initiale HCT/CH₄

- a) S'il est nécessaire de déterminer les émissions de HCT, $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]}$ sera calculé au moyen de la concentration de la contamination HCT initiale $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{init}}$ du paragraphe 7.3.3, de la manière suivante:

$$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}} = x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{uncorr}} - x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{init}} \quad (\text{A.7-5})$$

Où:

$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}}$ = concentration de HCT corrigée pour la contamination [mol/mol]

$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{uncorr}}$ = concentration de HCT non corrigée [mol/mol]

$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{init}}$ = concentration de contamination par les HCT initiale [mol/mol]

Exemple:

$$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{uncorr}} = 150,3 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

$$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{init}} = 1,1 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

$$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}} = 150,3 - 1,1 = 149,2 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

- b) Pour la détermination des HCNM comme décrit au paragraphe A.7.1.4.2, $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]}$ 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 CH₄ peut être corrigée au moyen de l'équation (A.7-5), en substituant dans CH₄ les concentrations pour les HCT.

A.7.1.4.2 Détermination des HCNM

Pour déterminer la concentration de HCNM, x_{HCNM} , on utilisera l'une des méthodes suivantes:

- a) Si le CH_4 n'est pas 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 $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]_{\text{cor}}}$ comme déterminé au paragraphe a) ci-dessus.
- i) on utilisera l'équation suivante pour les fractions de pénétration déterminées avec une configuration de convertisseur NMC comme celle décrite au paragraphe 8.1.10.3.4.1:

$$x_{\text{NMHC}} = \frac{x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]_{\text{cor}}} - x_{\text{THC}[\text{NMC-FID}]} \cdot RF_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]}}{1 - RFPF_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]} \cdot RF_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]}} \quad (\text{A.7-6})$$

Où:

- x_{NMHC} = concentration de HCNM
- $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]_{\text{cor}}}$ = concentration de HCT, contamination HC avec correction de sec à humide, telle que mesurée par l'analyseur FID/HCT au cours du prélèvement avec contournement du convertisseur NMC
- $x_{\text{THC}[\text{NMC-FID}]}$ = concentration de HCT, contamination HC (facultative) avec correction de sec à humide, telle que mesurée par le FID/HCT pendant le prélèvement à travers le convertisseur NMC
- $RF_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]}$ = facteur de réponse du FID/HCT à CH_4 , conformément au paragraphe 8.1.10.3.4
- $RFPF_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}$ = facteur de réponse à l'éthane combiné et fraction de pénétration du convertisseur de HCNM, conformément au paragraphe 8.1.10.3.4

Exemple:

$$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]_{\text{cor}}} = 150,3 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

$$x_{\text{THC}[\text{NMC-FID}]} = 20,5 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

$$RF_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]} = 1,05$$

$$RF_{\text{PF}_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}]} = 0,019$$

$$x_{\text{NMHC}} = \frac{150,3 - 20,5 \times 1,05}{1 - 0,019 \times 1,05} = 131,4 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

- ii) pour les fractions de pénétration déterminées avec une configuration de NMC comme celle décrite au paragraphe 8.1.10.3.4.2, on utilisera l'équation suivante:

$$x_{\text{NMHC}} = \frac{x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]_{\text{cor}}} \cdot PF_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]} - x_{\text{THC}[\text{NMC-FID}]}}{PF_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]} - PF_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}} \quad (\text{A.7-7})$$

Où:

x_{NMHC} = concentration de HCNM

$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]_{\text{cor}}}$ = concentration de HCT, contamination HC avec correction de sec à humide, telle que mesurée par le FID/HCT pendant le prélèvement avec contournement du convertisseur NMC

$PF_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]}$ = fraction de pénétration du convertisseur de HCNM dans le CH_4 conformément au paragraphe 8.1.10.3.5

$x_{\text{THC}[\text{NMC-FID}]}$ = concentration de HCT, contamination HC (facultative) avec correction de sec à humide, telle que mesurée par l'analyseur FID/HCT au cours du prélèvement à travers le convertisseur NMC

$PF_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]}$ = fraction de pénétration du convertisseur de HCNM dans l'éthane, conformément au paragraphe 8.1.10.3.5

Exemple:

$$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]_{\text{cor}}} = 150,3 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

$$PF_{\text{CH}_4[\text{NMC-FID}]} = 0,990$$

$$x_{\text{THC}[\text{NMC-FID}]} = 20,5 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

$$PF_{\text{C}_2\text{H}_6[\text{NMC-FID}]} = 0,020$$

$$x_{\text{NMHC}} = \frac{150,3 \times 0,990 - 20,5}{0,990 - 0,020} = 132,3 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

- iii) pour les fractions de pénétration déterminées en utilisant une configuration du convertisseur NMC comme celle décrite au paragraphe 8.1.10.3.4.3, on utilisera l'équation suivante:

$$x_{\text{NMHC}} = \frac{x_{\text{THC[THC-FID]cor}} \cdot PF_{\text{CH4[NMC-FID]}} - x_{\text{THC[NMC-FID]}} \cdot RF_{\text{CH4[THC-FID]}}}{PF_{\text{CH4[NMC-FID]}} - RFPF_{\text{C2H6[NMC-FID]}} \cdot RF_{\text{CH4[THC-FID]}}} \quad (\text{A.7-8})$$

Où:

- x_{NMHC} = concentration de HCNM
- $x_{\text{THC[THC-FID]cor}}$ = concentration de HCT, contamination HC avec correction de sec à humide, telle que mesurée par l'analyseur FID/HCT au cours du prélèvement avec contournement du convertisseur NMC
- $PF_{\text{CH4[NMC-FID]}}$ = fraction de pénétration du CH_4 dans le convertisseur de HCNM, conformément au paragraphe 8.1.10.3.6
- $x_{\text{THC[NMC-FID]}}$ = concentration de HCT, contamination HC (facultative) avec corrections de sec à humide, telles que mesurées par l'analyseur FID/HCT pendant le prélèvement à travers le convertisseur NMC
- $RFPF_{\text{C2H6[NMC-FID]}}$ = 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
- $RF_{\text{CH4[THC-FID]}}$ = facteur de réponse de l'analyseur FID/HCT au CH_4 , conformément au paragraphe 8.1.10.3.4

Exemple:

$$x_{\text{THC[THC-FID]cor}} = 150,3 \mu\text{mol/mol}$$

$$PF_{\text{CH4[NMC-FID]}} = 0,990$$

$$x_{\text{THC[NMC-FID]}} = 20,5 \mu\text{mol/mol}$$

$$RFPF_{\text{C2H6[NMC-FID]}} = 0,019$$

$$RF_{\text{CH4[THC-FID]}} = 0,980$$

$$x_{\text{NMHC}} = \frac{150,3 \times 0,990 - 20,5 \times 0,980}{0,990 - 0,019 \times 0,980} = 132,5 \mu\text{mol/mol}$$

- 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 , selon le paragraphe 8.1.10.3, et de la contamination HC ainsi que la concentration de HCT initiale corrigée de sec à humide $x_{\text{THC[THC-FID]cor}}$ comme déterminé dans le paragraphe a) ci-dessus, de la manière suivante:

$$x_{\text{NMHC}} = x_{\text{THC[THC-FID]cor}} - RF_{\text{CH4[THC-FID]}} \cdot x_{\text{CH4}} \quad (\text{A.7-9})$$

Où:

x_{NMHC}	=	concentration de HCNM
$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]_{\text{cor}}}$	=	concentration de HCT, contamination HC corrigée de sec à humide telle que mesurée par l'analyseur FID/HCT
x_{CH_4}	=	concentration de CH_4 , contamination HC (facultative) avec correction de sec à humide, telle que mesurée à l'analyseur FID en chromatographie gazeuse
$RF_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]}$	=	facteur de réponse de l'analyseur FID/HCT au CH_4

Exemple:

$$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]_{\text{cor}}} = 145,6 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

$$x_{\text{CH}_4} = 18,9 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

$$RF_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]} = 0,970$$

$$x_{\text{NMHC}} = 145,6 - 0,970 \times 18,9 = 127,3 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

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. À titre d'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. **S'il est nécessaire d'estimer la concentration moyenne prévue pondérée en fonction du débit de certaines émissions à leur valeur normale, il est recommandé de suivre les exemples ci-après comme guide sur la manière d'estimer la concentration moyenne pondérée en fonction du débit prévue à la valeur normale. Il convient de noter que ces exemples ne sont pas exacts et qu'ils comprennent des hypothèses qui ne sont pas valides dans tous les cas. Il est recommandé de suivre les règles de bonnes pratiques techniques pour déterminer si des hypothèses semblables peuvent être appliquées.**

Pour estimer la concentration moyenne de NO_x pondérée en fonction du débit dans les gaz d'échappement bruts d'un moteur à allumage par compression utilitaire suralimenté à une valeur normale de NO_x de 2,5g/(kW·h), on peut procéder comme suit:

- Sur la base des caractéristiques du moteur, il devrait être établi une courbe approximative du couple maximum par rapport au régime, qui devrait être utilisée avec le cycle d'essai normalisé applicable pour produire un cycle d'essai de référence comme décrit au paragraphe 7.7. Le travail total de référence W_{ref} devrait être calculé comme décrit au paragraphe A.7.5. Le travail de référence devrait être divisé par l'intervalle de temps du cycle d'essai $\Delta t_{duty\ cycle}$ pour déterminer la puissance de référence moyenne \bar{P}_{ref} ;
- Sur la base des caractéristiques du moteur, la puissance maximale P_{max} , le régime nominal à la puissance maximale $f_{n\ max}$, la pression maximale nominale au collecteur d'admission $p_{in\ max}$, et la température $T_{in\ max}$ devraient être estimés. En outre une fraction moyenne de puissance perdue par frottements et pompage \bar{P}_{frict} devrait être estimée. Cette information devrait être utilisée en combinaison avec la cylindrée du moteur V_{disp} , un indice approximatif du rendement volumétrique (η_v) et le nombre de courses moteur par course motrice (moteur à deux temps ou à quatre temps) N_{stroke} pour estimer le débit molaire maximum de gaz d'échappement bruts $\dot{n}_{exh\ max}$;
- Les valeurs estimatives devraient être appliquées comme décrit dans l'exemple de calcul ci-après:

$$\bar{x}_{exp} = \frac{e_{std} \cdot W_{ref}}{M \cdot \dot{n}_{exh\ max} \cdot \Delta t_{duty\ cycle} \cdot \left(\frac{\bar{P}_{ref} + (\bar{P}_{frict} \cdot P_{max})}{P_{max}} \right)} \quad (\text{GD.A.7-9a})$$

$$\dot{n}_{exh\ max} = \frac{p_{max} \cdot V_{disp} \cdot f_{n\ max} \cdot \frac{2}{N_{stroke}} \cdot \eta_v}{R \cdot T_{max}} \quad (\text{GD.A.7-9b})$$

Exemple:

$$e_{NOx} = 2,5 \text{ g/(kW}\cdot\text{h)}$$

$$W_{ref} = 11,883 \text{ kW}\cdot\text{h} = 11,883 \text{ kW}\cdot\text{h} \times 3600 \text{ s/h} = 42\,778,8 \text{ kJ}$$

$$M_{NOx} = 46,0055 \text{ g/mol} = 46,0055 \cdot 10^{-6} \text{ g/}\mu\text{mol}$$

$$\Delta t_{duty\ cycle} = 20 \text{ min} = 1\,200 \text{ s}$$

$$\bar{P}_{ref} = \frac{W_{ref}}{\Delta t_{duty\ cycle}} = \frac{42,7788 \text{ kJ}}{1\,200} = 35,649 \text{ kW} \approx 35,65 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \bar{P}_{\text{frict}} &= 15\% \text{ de } P_{\text{max}} \\ P_{\text{max}} &= 125 \text{ kW} \\ p_{\text{max}} &= 300 \text{ kPa} = 300\,000 \text{ Pa} \\ V_{\text{disp}} &= 3,011 = 0,0030 \text{ m}^3 \\ f_{n\text{max}} &= 2\,800 \text{ tr/min} = 46,67 \text{ tr/s} \\ N_{\text{stroke}} &= 4 \text{ l/tr} \\ \eta_V &= 0,9 \\ R &= 8,314472 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)} \\ T_{\text{max}} &= 348,15 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\dot{n}_{\text{exh max}} = \frac{300 \text{ kPa} \times 3,0 \text{ dm}^3 \times 46,67 \text{ rev/s} \times \frac{2}{4} \times 0,9}{8,314472 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)} \times 348,15 \text{ K}} = 6,53 \text{ mol/s}$$

$$\bar{x}_{\text{exp}} = \frac{2,5 \text{ g/(kW}\cdot\text{h)} \times 11,883 \text{ kW}\cdot\text{h}}{46,0055 \times 10^{-6} \text{ g/}\mu\text{mol} \times 6,53 \text{ mol/s} \times 1\,200 \text{ s} \left(\frac{35,65 \text{ kW} + (0,15 \times 125 \text{ kW})}{125 \text{ kW}} \right)} = 189,4 \mu\text{mol/mol}$$

Masse molaire des gaz d'échappement

Dans le cas de gaz d'échappement dilués, la masse molaire du mélange de gaz d'échappement M_{mix} [g/mol] se calcule en tant que moyenne pondérée de la masse moléculaire de l'air sec et de l'eau. Ainsi, ce problème peut être résolu sur la base d'une relation très simple permettant de calculer la masse molaire du gaz à partir seulement de la teneur en eau du mélange.

$$M_{\text{mix}} = M_{\text{airdry}} \cdot (1 - x_{\text{H}_2\text{O}}) + M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot x_{\text{H}_2\text{O}} \quad (\text{voir A.7-66})$$

Où:

$$M_{\text{airdry}} = \text{masse molaire de l'air sec (28,96559 g/mol)}$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \text{fraction molaire de l'eau dans le flux d'air d'admission [mol/mol]}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = \text{masse molaire de l'eau (18,01528 g/mol)}$$

Les valeurs de masse molaire fournies par l'équation ci-dessus sont seulement acceptables en théorie dans le cas des gaz d'échappement dilués, pour lequel la contribution de l'air est prépondérante, parce qu'elle attribue aux gaz d'échappement la même masse molaire qu'à l'air sec. Mais elles semblent excessives par contre pour l'analyse des gaz d'échappement dilués parce que pour les gaz d'échappement dilués, on peut partir de l'hypothèse de la masse molaire de l'air sec. Cette équation serait très utile dans le cas des gaz d'échappement bruts, mais dans ce cas le problème est résolu au moyen d'une approximation grossière d'un point de vue théorique. Pour cette raison il serait préférable d'appliquer les équations suivantes, qui sont fondées sur une base théorique plus solide, même si elles nécessitent de disposer de plus d'informations.

Dans le cas des gaz d'échappement bruts, la masse molaire des gaz d'échappement $M_{\text{mix}} = M_{\text{exh}}$ [g/mol] devrait être calculée comme suit:

$$M_{\text{exh}} = \sum M_i x_{i\text{wet}} = M_{\text{HC}} x_{\text{HCwet}} + M_{\text{CO}} x_{\text{COwet}} + M_{\text{CO}_2} x_{\text{CO}_2\text{wet}} + M_{\text{NO}} x_{\text{NOwet}} + \\ + M_{\text{NO}_2} x_{\text{NO}_2\text{wet}} + M_{\text{H}_2} x_{\text{H}_2\text{wet}} + M_{\text{H}_2\text{O}} x_{\text{H}_2\text{Owet}} + M_{\text{inert}} x_{\text{inertwet}}$$

(GD.A.7-9c)

Ou, si les quantités $x_{i\text{wet}}$ ne sont pas introduites, avec la formule:

$$M_{\text{exh}} = \left(\sum M_i x_{i\text{dry}} \right) \left(\frac{1}{1 + x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}} \right)$$

(GD.A.7-9d)

Où $i = \text{HC}, \text{CO}, \text{CO}_2, \text{NO}, \text{NO}_2, \text{H}_2, \text{H}_2\text{O}$, à l'état inerte.

La contribution de H_2 ne peut pas être prise en compte conformément aux hypothèses simplificatrices du paragraphe A.7.2.

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, $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$, 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, $x_{\text{dil/exh}}$, 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, alors qu'ils ne le sont pas;
- c) **Hypothèses simplificatrices et limitations en résultant**

Afin de définir un système d'équations suffisamment précises pour leur utilisation prévue – en évitant une complexité excessive – certaines hypothèses sont appliquées pour déterminer le bilan chimique. Dans la plupart des cas, ces hypothèses sont parfaitement valides, mais dans quelques cas particuliers elles aboutissent à un bilan chimique inexact. Ces hypothèses simplificatrices sont les suivantes:

- i) émissions ambiantes supposées nulles. La composition de l'air d'admission et de l'air de dilution est supposée consister seulement en azote, oxygène, eau et dioxyde de carbone. Cette hypothèse néglige les émissions ambiantes mesurées de CO, de HCNM, de CH₄, de NO, NO₂ et H₂. Les corrections pour ces concentrations ambiantes mesurées dans l'air d'admission et le gaz de dilution sont facilitées par l'application du bilan chimique;
- ii) émissions d'hydrogène supposées nulles. Tout l'hydrogène du carburant est supposé converti en eau, et il n'existe pas en quantité notable d'hydrogène moléculaire dans les gaz d'échappement par formation dans le cadre de la réaction eau-gaz au cours du processus de combustion. Cette hypothèse limite les possibilités d'application du bilan chimique aux conditions de fonctionnement en combustion pauvre et en combustion stœchiométrique du moteur. Un fonctionnement en combustion riche donnera des résultats inexacts en matière de bilan chimique. Si des valeurs notables de CO sont observées (ce qui est le cas pour les petits moteurs à allumage commandé) il est probable que le bilan chimique sera insuffisamment exact pour la détermination des émissions du fait de l'hypothèse selon laquelle tout l'hydrogène provenant du carburant aura formé de l'eau lors du processus de combustion;
- iii) l'air en excès, de par sa composition, est supposé être de l'air de dilution. Tout excès d'air dans les gaz d'échappement ou d'un moteur résultant d'une combustion pauvre est considéré comme étant de l'air de dilution. En d'autres termes, les gaz d'échappement pauvres sont censés être composés de produits de combustion complète, incomplète et NO_x, plus de l'air de dilution. Ces produits de combustion complète, incomplète et NO_x sont regroupés et désignés collectivement en «produits de combustion». Conformément à cette hypothèse, tout excès d'air provenant de l'air d'admission est supposé avoir la composition de l'air de dilution. Pour toute combustion stœchiométrique, cette hypothèse n'est pas pertinente. Pour toute mesure de gaz d'échappement bruts en combustion pauvre, la composition de l'«air de dilution» ou, mieux encore, de l'air en excès, devrait être prise comme étant identique à la composition réelle de l'air d'admission. Cela permettra de prévenir toute erreur résultant de cette hypothèse. Cette dernière n'aura aucune incidence sur les mesures de gaz d'échappement dilués tant que la composition de l'air d'admission et de l'air de dilution sera effectivement la même. Elle aura par contre un impact sur l'exactitude du bilan chimique, si elle est appliquée dans des cas où des gaz d'échappement en combustion pauvre sont dilués avec de l'air de dilution qui a une composition très différente de la composition réelle de l'air d'admission. Un exemple serait le cas de gaz d'échappement de moteur diesel dilués en flux partiel, où la source de dilution serait

une source d'azote pur comme dans le cas d'un minidilueur pour prélèvement en sac. Le pire cas de ce genre se produirait en conditions de combustion extrêmement pauvre et avec de forts taux de dilution, survenant simultanément au ralenti, lors de l'utilisation d'un système de prélèvement en flux partiel pour obtenir un prélèvement proportionnel;

- iv) les HCMN et le CH_4 sont combinés en tant que HCT et α_{raw} est supposé = α et $\beta_{\text{raw}} = \beta$. Tous les hydrocarbures mesurés sont supposés être composés de carburant complètement imbrûlé: x_{THC} a la composition $\text{CH}_\alpha\text{O}_\beta$. Des analyses chimiques complexes ont été effectuées par le passé pour obtenir des informations sur la composition réelle des HCT dans les gaz d'échappement, mais de telles analyses ne sont pas effectuées lors d'essais courants ou réglementaires de contrôle des émissions.

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 partira de l'hypothèse pour les valeurs initiales d'un maximum de trois quantités: la quantité d'eau dans le débit mesuré, $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$, la fraction d'air de dilution dans les gaz d'échappement dilués (ou l'excès d'air dans les gaz d'échappement bruts), $x_{\text{dil/exh}}$, 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 $\pm 0,0025$ mol/mol de leurs valeurs moyennes respectives sur la durée de l'essai. Pour chaque concentration d'émissions x , et quantité d'eau $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$, il faut déterminer les concentrations pour un état parfaitement sec, x_{dry} et $x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$. Il faudra également utiliser le rapport atomique hydrogène-à-carbone du carburant, α , le rapport oxygène-à-carbone, β et la fraction massique de 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 procédera de la manière suivante pour obtenir le bilan chimique:

- a) Les concentrations mesurées telles que $x_{\text{CO}_2\text{meas}}$, x_{NOmeas} , et $x_{\text{H}_2\text{Oint}}$, 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: $x_{\text{H}_2\text{O}x\text{CO}_2\text{meas}}$, $x_{\text{H}_2\text{O}x\text{NOmeas}}$, et $x_{\text{H}_2\text{Oint}}$. 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, $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$, 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_{NO_x} , 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_{NO_x} est de 25 % NO et 75 % NO_2 . Pour calculer la masse des émissions de NO_x on utilisera 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 $x_{H_2O_{exh}}$, $x_{C_{combdry}}$ et $x_{dil/exh}$. Il faudra faire preuve de bon sens technique pour estimer les valeurs initiales de $x_{H_2O_{exh}}$, $x_{C_{combdry}}$, 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 $x_{C_{combdry}}$ 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 $\pm 1\%$ 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:

<i>Symbole</i>	<i>Description</i>
$x_{dil/exh}$	Quantité de gaz de dilution ou d'excès d'air par mole de gaz d'échappement
$x_{H_2O_{exh}}$	Quantité de H_2O par mole de gaz d'échappement
$x_{C_{combdry}}$	Quantité de carbone du carburant dans les gaz d'échappement par mole de gaz d'échappement secs
$x_{H_2O_{exhdry}}$	Quantité d'eau dans les gaz d'échappement par mole sec 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)
$x_{O_2intdry}$	Quantité de O_2 dans l'air d'admission par mole d'air d'admission sec; $x_{O_2intdry} = 0,209445$ mol/mol est une bonne hypothèse
$x_{CO_2intdry}$	Quantité de CO_2 par mole d'air d'admission sec. $x_{CO_2intdry} = 375$ μ mol/mol peut être utilisé, mais il est recommandé de mesurer la concentration réelle dans l'air d'admission
$x_{H_2Ointdry}$	Quantité de H_2O dans l'air d'admission par mole d'air d'admission sec

<i>Symbole</i>	<i>Description</i>
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 $x_{CO2dildry} = 375 \mu\text{mol/mol}$, mais il est recommandé de mesurer la concentration réelle dans l'air d'admission
$x_{H2Odildry}$	Quantité de gaz de dilution H ₂ O par mole de gaz de dilution sec
x_{H2Odil}	Quantité de gaz de dilution H ₂ O 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 _{α} O _{β}) étant brûlé, pondéré par la consommation molaire
β	Rapport atomique oxygène-à-carbone du mélange de carburant(s) (CH _{α} O _{β}) étant brûlé, pondéré par la consommation molaire

d) On utilisera les équations suivantes pour résoudre itérativement $x_{dil/exh}$, x_{H2Oexh} et $x_{Ccombdry}$:

$$x_{dil/exh} = 1 - \frac{x_{raw/exhdry}}{1 + x_{H2Oexhdry}} \quad (\text{A.7-10})$$

$$x_{H2Oexh} = \frac{x_{H2Oexhdry}}{1 + x_{H2Oexhdry}} \quad (\text{A.7-11})$$

$$x_{Ccombdry} = x_{CO2dry} + x_{COdry} + x_{THCdry} - x_{CO2dil} \cdot x_{dil/exhdry} - x_{CO2int} \cdot x_{int/exhdry} \quad (\text{A.7-12})$$

$$x_{H2Oexhdry} = \frac{\alpha}{2} (x_{Ccombdry} - x_{THCdry}) + x_{H2Odil} \cdot x_{dil/exhdry} + x_{H2Oint} \cdot x_{int/exhdry} \quad (\text{A.7-13})$$

$$x_{\text{dil/exhdry}} = \frac{x_{\text{dil/exh}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{Oexh}}} \quad (\text{A.7-14})$$

$$x_{\text{int/exhdry}} = \frac{1}{2 \cdot x_{\text{O}_2\text{int}}} \left[\left(\frac{\alpha}{2} - \beta + 2 \right) (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) - (x_{\text{COdry}} - x_{\text{NOdry}} - 2x_{\text{NO}_2\text{dry}}) \right] \quad (\text{A.7-15})$$

$$x_{\text{raw/exhdry}} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\alpha}{2} + \beta \right) (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) + (2x_{\text{THCdry}} + x_{\text{COdry}} - x_{\text{NO}_2\text{dry}}) \right] + x_{\text{int/exhdry}} \quad (\text{A.7-16})$$

Avec un carburant ayant la formule chimique $\text{CH}_\alpha\text{O}_\beta\text{S}_\gamma\text{N}_\delta$ (par. A.7.1.3), les équations ci-après devraient être appliquées:

$$x_{\text{int/exhdry}} = \frac{1}{2 \cdot x_{\text{O}_2\text{int}}} \left[\left(\frac{\alpha}{2} - \beta + 2 + 2\gamma \right) (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) - (x_{\text{COdry}} - x_{\text{NOdry}} - 2x_{\text{NO}_2\text{dry}}) \right] \quad (\text{GD.A.7-15a})$$

$$x_{\text{raw/exhdry}} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\alpha}{2} + \beta + \delta \right) (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) + (2x_{\text{THCdry}} + x_{\text{COdry}} - x_{\text{NO}_2\text{dry}}) \right] + x_{\text{int/exhdry}} \quad (\text{GD.A.7-16a})$$

$$x_{\text{O}_2\text{int}} = \frac{0,209820 - x_{\text{CO}_2\text{intdry}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{Ointdry}}} \quad (\text{A.7-17})$$

$$x_{\text{CO}_2\text{int}} = \frac{x_{\text{CO}_2\text{intdry}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{Ointdry}}} \quad (\text{A.7-18})$$

$$x_{\text{H}_2\text{Ointdry}} = \frac{x_{\text{H}_2\text{Oint}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{Oint}}} \quad (\text{A.7-19})$$

$$x_{\text{CO}_2\text{dil}} = \frac{x_{\text{CO}_2\text{dildry}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{Odildry}}} \quad (\text{A.7-20})$$

$$x_{\text{H}_2\text{Odildry}} = \frac{x_{\text{H}_2\text{Odil}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{Odil}}} \quad (\text{A.7-21})$$

$$x_{\text{COdry}} = \frac{x_{\text{COmeas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{OCOmeas}}} \quad (\text{A.7-22})$$

$$x_{\text{CO}_2\text{dry}} = \frac{x_{\text{CO}_2\text{meas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{OCO}_2\text{meas}}} \quad (\text{A.7-23})$$

$$x_{\text{NOdry}} = \frac{x_{\text{NOmeas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{ONOmeas}}} \quad (\text{A.7-24})$$

$$x_{\text{NO}_2\text{dry}} = \frac{x_{\text{NO}_2\text{meas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{ONO}_2\text{meas}}} \quad (\text{A.7-25})$$

$$x_{\text{THCdry}} = \frac{x_{\text{THCmeas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{OTHcmeas}}} \quad (\text{A.7-26})$$

- e) **Les calculs sont exécutés comme décrit dans la présente section.**
- i) **en ce qui concerne les données d'entrée du bilan chimique:**
- a) **les HCT devraient être corrigés pour ce qui est de la contamination du système de prélèvement;**
 - b) **les concentrations mesurées devraient être corrigées pour la dérive;**
 - c) **les émissions mesurées de NO_x ne devraient pas être corrigées pour l'humidité de l'air d'admission.**
- ii) **air d'admission**

Pour la composition de l'air d'admission sec, les valeurs suivantes peuvent être appliquées:

$x_{\text{O}_2\text{intdry}}$ = quantité de O₂ par mole sèche d'air d'admission avec la valeur supposée de $x_{\text{O}_2\text{intdry}} = 0,209445$ mol/mol;

$x_{\text{CO}_2\text{intdry}}$ = quantité de CO₂ par mole sèche d'air d'admission avec la valeur supposée de $x_{\text{CO}_2\text{intdry}} = 0,000375$ mol/mol.

La teneur en eau de l'air d'admission $x_{\text{H}_2\text{Oint}}$ devrait être mesurée et convertie aux conditions sèches comme suit:

$$x_{\text{H}_2\text{Ointdry}} = \frac{x_{\text{H}_2\text{Oint}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{Oint}}} \quad (\text{voir A.7-19})$$

$$x_{\text{CO}_2\text{int}} = \frac{x_{\text{CO}_2\text{intdry}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{Ointdry}}} \quad (\text{voir A.7-18})$$

La teneur en oxygène de l'air humide est calculée à partir de la concentration de référence, de la teneur en CO₂ et de la teneur en eau comme suit:

$$x_{\text{O}_2\text{int}} = \frac{0,209820 - x_{\text{CO}_2\text{intdry}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{Ointdry}}} \quad (\text{voir A.7-17})$$

iii) air de dilution

Pour la composition de l'air de dilution, les valeurs suivantes peuvent être appliquées:

$x_{\text{O}_2\text{dil}\text{dry}}$ = quantité de O_2 par mole sèche d'air de dilution avec la valeur supposée de $x_{\text{O}_2\text{dil}\text{dry}} = 0,209445$ mol/mol;

$x_{\text{CO}_2\text{int}\text{dry}}$ = quantité de CO_2 par mole sèche d'air de dilution avec la valeur supposée de $x_{\text{CO}_2\text{dil}\text{dry}} = 0,000375$ mol/mol;

La teneur en eau de l'air d'admission $x_{\text{H}_2\text{O}\text{dil}}$ devrait être mesurée et convertie aux conditions sèches comme suit:

$$x_{\text{H}_2\text{O}\text{dil}\text{dry}} = \frac{x_{\text{H}_2\text{O}\text{dil}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{O}\text{dil}}} \quad (\text{voir A.7-21})$$

$$x_{\text{CO}_2\text{dil}} = \frac{x_{\text{CO}_2\text{dil}\text{dry}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{O}\text{dil}\text{dry}}} \quad (\text{voir A.7-20})$$

iv) composition du carburant

Un carburant de composition connue doit être utilisé pour l'essai d'émissions. La composition molaire du carburant peut être prise comme étant $\text{CH}_\alpha\text{O}_\beta$, avec:

α : rapport hydrogène-à-carbone dans le carburant;

β : rapport oxygène-à-carbone dans le carburant.

Si l'on connaît seulement la composition sur une base de masse, la conversion vers une base molaire s'effectue comme décrit au paragraphe A.7.1.3.

v) composition des gaz d'échappement

Une fois achevées les étapes préliminaires, il est possible de commencer la procédure de mesure des polluants émis par le moteur conformément au cycle d'essai applicable (valeur moyenne dans l'essai à modes discrets en conditions stationnaires ou valeur instantanée dans le cycle transitoire ou à modes raccordés) et d'estimer les caractéristiques de fractions de vapeur correspondantes de l'emplacement de mesure, qui sont en général connues et qui dépendent du séparateur d'eau condensée pour les gaz qui sont mesurés sur une base sèche. Les concentrations sèches complètes sont ensuite déterminées.

Les concentrations molaires [mol/mol] des constituants suivants doivent être connues pour les calculs:

$x_{\text{CO}_2\text{meas}}$ (fraction molaire mesurée de CO_2);

$x_{\text{CO}\text{meas}}$ (fraction molaire mesurée de CO);

$x_{\text{NO}\text{meas}}$ (fraction molaire mesurée de NO);

$x_{\text{NO}_2\text{meas}}$ (fraction molaire mesurée de NO_2);

x_{THCmeas} (fraction molaire mesurée de HCT).

Si ces constituants sont mesurés en conditions sèches, il faut aussi connaître la teneur en eau encore présente à l'emplacement de mesure en aval du sécheur:

$x_{\text{H}_2\text{OCO}_2\text{meas}}$ (fraction molaire de l'eau dans le CO_2 à l'emplacement de mesure);

$x_{\text{H}_2\text{OCOmeas}}$ (fraction molaire de l'eau dans le CO à l'emplacement de mesure);

$x_{\text{H}_2\text{ONOmeas}}$ (fraction molaire de l'eau dans le NO à l'emplacement de mesure);

$x_{\text{H}_2\text{ONO}_2\text{meas}}$ (fraction molaire de l'eau dans le NO_2 à l'emplacement de mesure).

Étant donné que les hydrocarbures imbrûlés sont mesurés sur base humide et non pas sur base sèche comme le CO , le CO_2 et les NO_x , cette quantité n'est pas pertinente. La concentration d'hydrocarbures imbrûlés totaux (HCT), par conséquent, peut seulement être déterminée après calcul de la fraction d'eau présente dans les gaz d'échappement humides.

vi) **procédure itérative**

Les calculs des deux sections qui suivent doivent faire partie de la procédure de calcul itérative. Pour résoudre le système d'équations, il faut essayer de donner une valeur estimative à trois quantités [mol/mol], à savoir la fraction d'air de dilution dans le débit mesuré $x_{\text{dil/exh}}$, la fraction de vapeur d'eau dans les gaz d'échappement $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$, et la fraction de produits de carbone x_{Ccombdry} dans les gaz d'échappement. Des valeurs numériques initiales (de premières estimations) doivent être attribuées à ces trois quantités. Ainsi par exemple, les valeurs initiales suivantes peuvent être fixées par estimation (note: dans le cas des gaz d'échappement bruts, la valeur initiale pour l'excès d'air est $x_{\text{dil/exh}} = 0$):

$$x_{\text{dil/exh}} \approx 0,8;$$

$$x_{\text{H}_2\text{Oexh}} \approx x_{\text{H}_2\text{Oint}} + x_{\text{H}_2\text{Odil}}; \text{ ou}$$

$$x_{\text{H}_2\text{Oexh}} \approx 0,5 \cdot (x_{\text{H}_2\text{Oint}} + x_{\text{H}_2\text{Odil}});$$

$$x_{\text{Ccombdry}} = x_{\text{CO}_2\text{meas}} + x_{\text{COmeas}} + x_{\text{THCmeas}}$$

vi-1) **calcul des concentrations en conditions sèches à partir des concentrations mesurées**

$$x_{\text{CO}_2\text{dry}} = \frac{x_{\text{CO}_2\text{meas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{OCO}_2\text{meas}}}$$

(voir A.7-23)

CO: si la mesure se fait en conditions sèches:

$$x_{\text{COdry}} = \frac{x_{\text{COmeas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{OCOmeas}}} \quad (\text{voir A.7-22})$$

si la mesure se fait en conditions humides:

$$x_{\text{CO}} = x_{\text{COmeas}} / (1 - x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}})$$

La teneur en eau des gaz d'échappement est une quantité importante résultant de la procédure d'itération:

$$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}} = \frac{\alpha}{2} (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) + x_{\text{H}_2\text{Odil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}} + x_{\text{H}_2\text{Oint}} \cdot x_{\text{int/exhdry}} \quad (\text{voir A.7-13})$$

NO: si la mesure se fait en conditions sèches:

$$x_{\text{NOdry}} = \frac{x_{\text{NOmeas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{ONOmeas}}} \quad (\text{voir A.7-24})$$

si la mesure se fait en conditions humides:

$$x_{\text{NO}} = x_{\text{NOmeas}} / (1 - x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}})$$

NO₂: si la mesure se fait en conditions sèches:

$$x_{\text{NO}_2\text{dry}} = \frac{x_{\text{NO}_2\text{meas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{ONO}_2\text{meas}}} \quad (\text{voir A.7-25})$$

si la mesure se fait en conditions humides:

$$x_{\text{NO}_2} = x_{\text{NO}_2\text{meas}} / (1 - x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}})$$

HCT (toujours mesurés en conditions humides):

$$x_{\text{HC}} = x_{\text{HC}} / (1 - x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}})$$

vi-2) Calculs du bilan carbone

$$x_{\text{int/exhdry}} = \frac{1}{2 \cdot x_{\text{O}_2\text{int}}} \left[\left(\frac{\alpha}{2} - \beta + 2 \right) (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) - (x_{\text{COdry}} - x_{\text{NOdry}} - 2x_{\text{NO}_2\text{dry}}) \right]$$

(voir A.7-15)

$$x_{\text{raw/exhdry}} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\alpha}{2} + \beta \right) (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) + (2x_{\text{THCdry}} + x_{\text{COdry}} - x_{\text{NO}_2\text{dry}}) \right] + x_{\text{int/exhdry}}$$

(voir A.7-16)

$$x_{\text{dil/exhdry}} = \frac{x_{\text{dil/exh}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{Oexh}}} \quad (\text{voir A.7-14})$$

$$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}} = \frac{\alpha}{2} (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) + x_{\text{H}_2\text{Odil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}} + x_{\text{H}_2\text{Oint}} \cdot x_{\text{int/exhdry}} \quad (\text{voir A.7-13})$$

Une fois obtenus les paramètres au moyen des équations ci-dessus (tous par estimation initiale), il est possible de calculer et de vérifier ensuite au moyen des trois équations suivantes non encore appliquées les valeurs des trois paramètres estimatifs, $x_{\text{dil/exh}}$, $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$ et x_{Ccombdry} :

$$x_{\text{dil/exh}} = 1 - \frac{x_{\text{raw/exh}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}} \quad (\text{voir A.7-10})$$

$$x_{\text{H}_2\text{Oexh}} = \frac{x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}} \quad (\text{voir A.7-11})$$

$$x_{\text{Ccombdry}} = x_{\text{CO}_2\text{dry}} + x_{\text{COdry}} + x_{\text{THCdry}} - x_{\text{CO}_2\text{dil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}} - x_{\text{CO}_2\text{in}} \cdot x_{\text{int/exhdry}} \quad (\text{voir A.7-12})$$

Une fois obtenus ces trois derniers paramètres, la première série d'itération est achevée. Si les trois valeurs initiales estimées étaient justes, on devrait obtenir à nouveau exactement les mêmes valeurs. Dans la réalité, sauf hasard très favorable, cette condition ne sera pas réalisée et il sera nécessaire de procéder à une nouvelle itération pour parvenir à l'exactitude voulue. La seconde procédure d'itération suivra exactement la même démarche que précédemment avec retour à la section «vi-1) Calculs des concentrations en conditions sèches à partir des concentrations mesurées». À partir de ce point, l'étape suivante d'itération doit être exécutée. Les deuxièmes valeurs d'itération sont les valeurs résultant de la première itération. En général, il est nécessaire d'effectuer des itérations supplémentaires utilisant, comme valeurs de $x_{\text{dil/exh}}$, $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$ et x_{Ccombdry} correspondant à l'itération n , les valeurs de $x_{\text{dil/exh}}$, $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$ et x_{Ccombdry} obtenues à partir de l'itération $(n-1)$. Ce processus de calcul itératif sur la base du système d'équations est poursuivi jusqu'à ce que les dernières estimations à jour se situent toutes à ± 1 % des valeurs respectives les plus récemment calculées. Ainsi, même avec des estimations totalement fausses au départ, l'itération aboutira à des résultats justes après cinq à six opérations.

À la fin du bilan chimique, le débit molaire \dot{n}_{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 pour l'humidité de l'air d'admission au moyen de l'équation suivante:

$$x_{\text{NOxcor}} = x_{\text{NOxuncor}} \cdot (9,953 \cdot x_{\text{H}_2\text{O}} + 0,832) \quad (\text{A.7-27})$$

Où:

x_{NOxuncor} = concentration molaire de NO_x non corrigée dans le gaz d'échappement [μmol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{O}}$ = quantité d'eau dans l'air d'admission [mol/mol]

Exemple:

$x_{\text{NOxuncor}} = 700,5 \text{ μmol/mol}$

$x_{\text{H}_2\text{O}} = 0,022 \text{ mol/mol}$

$$x_{\text{NOxcor}} = 700,5 \times (9,953 \times 0,022 + 0,832) = 736,2 \text{ μmol/mol}$$

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 fera l'intégration sur le cycle d'essai:

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \int \dot{n}_{\text{exhwet}} \cdot x_{\text{gaswet}} \cdot dt \quad (\text{A.7-28})$$

Où:

M_{gas} = masse molaire des émissions gazeuses génériques [g/mol]

\dot{n}_{exhwet} = débit molaire instantané des gaz d'échappement sur une base humide [mol/s]

x_{gaswet} = 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:

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \int \dot{n}_{\text{exhwet}} \cdot x_{\text{gaswet}} \cdot dt \Rightarrow m_{\text{gas}} = \frac{1}{\int} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhwet},i} \cdot x_{\text{gaswet},i} \quad (\text{A.7-29})$$

Où:

M_{gas} = masse molaire des émissions de gaz génériques [g/mol]

$\dot{n}_{\text{exhwet},i}$ = débit molaire instantané de gaz d'échappement sur une base humide [mol/s]

$x_{\text{gaswet},i}$ = 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:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhwet},i} \cdot x_{\text{gaswvet},i} \quad (\text{A.7-30})$$

Où:

- M_{gas} = masse molaire d'émissions génériques [g/mol]
 $\dot{n}_{\text{exhwet},i}$ = débit molaire instantané de gaz d'échappement sur une base humide [mol/s]
 $x_{\text{gaswvet},i}$ = 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 calculera la masse des émissions gazeuses m_{gas} [g/essai] au moyen de la formule suivante:

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \dot{n}_{\text{exhwet}} \cdot x_{\text{gaswvet}} \cdot t_{\text{cycle}} \quad (\text{A.7-31})$$

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]
 \bar{x}_{gas} = fraction molaire moyenne des émissions gazeuses sur une base humide [mol/mol]
 t_{cycle} = 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:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gaswvet}} \cdot \bar{x}_{\text{gaswvet}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhwet},i} \quad (\text{A.7-32})$$

Où:

M_{gas} = masse molaire d'émissions génériques [g/mol]

$n_{\text{exhwet},i}$ = débit molaire instantané de gaz d'échappement sur une base humide [mol/s]

\bar{x}_{gaswet} = 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 sur une base sèche et humide respectivement:

$$x_{\text{gasdry}} = \frac{x_{\text{gaswet}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (\text{A.7-33})$$

$$x_{\text{gaswet}} = \frac{x_{\text{gasdry}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{Odry}}} \quad (\text{A.7-34})$$

Où:

$x_{\text{H}_2\text{O}}$ = fraction molaire de l'eau dans le débit mesuré sur une base humide [mol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{O},\text{dry}}$ = 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:

$$x = x_{\text{[emission]meas}} \left[\frac{(1 - x_{\text{H}_2\text{Oexh}})}{1 - x_{\text{H}_2\text{O[emission]meas}}} \right] \quad (\text{A.7-35})$$

Où:

$x_{\text{[emission]meas}}$ = fraction molaire des émissions dans le débit mesuré à l'emplacement de mesure [mol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{O[emission]meas}}$ = quantité d'eau dans le débit mesuré à la concentration de mesure [mol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$ = quantité d'eau au débitmètre [mol/mol]

Exemple:

$$x_{\text{COmeas}} = 29,0 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

$$x_{\text{H}_2\text{OCOmeas}} = 8,601 \text{ mmol/mol} = 0,008601 \text{ mol/mol}$$

$$x_{\text{H}_2\text{Oexh}} = 34,04 \text{ mmol/mol} = 0,03404 \text{ mol/mol}$$

$$x = 29,0 \times \left[\frac{(1 - 0,03404)}{1 - 0,008601} \right] = 28,3 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

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 conservera 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, à l'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 n'affecte pas négativement la conformité aux normes applicables;
- b) Calcul du débit molaire basé sur le débit molaire d'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:

$$\dot{n}_{\text{exh}} = \left[\frac{\dot{n}_{\text{int}}}{1 + \frac{(x_{\text{int/exhdry}} - x_{\text{raw/exhdry}})}{(1 + x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}})}} \right] \quad (\text{A.7-36})$$

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]

$x_{\text{int/exhdry}}$ = 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]

$x_{\text{raw/exhdry}}$ = quantité de gaz d'échappement non dilués, sans excès d'air, par mole de gaz d'échappement secs (bruts ou dilués) [mol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$ = quantité d'eau dans les gaz d'échappement, par mole de gaz d'échappement secs [mol/mol]

Exemple:

$$\dot{n}_{\text{int}} = 3,780 \text{ mol/s}$$

$$x_{\text{int/exhdry}} = 0,69021 \text{ mol/mol}$$

$$x_{\text{raw/exhdry}} = 1,10764 \text{ mol/mol}$$

$$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}} = 107,64 \text{ mmol/mol} = 0,10764 \text{ mol/mol}$$

$$\dot{n}_{\text{exh}} = \frac{3,780}{\left[1 + \frac{(0,69021 - 1,10764)}{(1 + 0,10764)}\right]} = 6,066 \text{ mol/s}$$

- 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:

$$\dot{n}_{\text{exh}} = \frac{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot w_{\text{C}} \cdot (1 + x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}})}{M_{\text{C}} \cdot x_{\text{Ccombdry}}} \quad (\text{A.7-37})$$

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]

$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$ = quantité de H₂O par mole sec 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]

Exemple:

$$\dot{m}_{\text{fuel}} = 7,559 \text{ g/s}$$

$$w_C = 0,869 \text{ g/g}$$

$$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}} = 107,64 \text{ mmol/mol} = 0,10764 \text{ mol/mol}$$

$$M_C = 12,0107 \text{ g/mol}$$

$$x_{\text{Ccombdry}} = 99,87 \text{ mmol/mol} = 0,09987 \text{ mol/mol}$$

$$\dot{n}_{\text{exh}} = \frac{7,559 \times 0,869 \times (1 + 0,10764)}{12,0107 \times 0,09987} = 6,066 \text{ mol/s}$$

A.7.4 *Émissions gazeuses diluées*

A.7.4.1 Calcul de la masse des émissions gazeuses et correction pour émissions ambiantes

Les équations pour le calcul de la masse d'émissions gazeuses m_{gas} [g/essai] en fonction des débits d'émissions molaires sont les suivantes:

a) Prélèvement en continu, débit variable

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhwet},i} \cdot x_{\text{gaswet},i} \quad (\text{voir A.7-29})$$

Prélèvement en continu, débit constant

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \dot{n}_{\text{exhwet}} \cdot \bar{x}_{\text{gaswet}} \cdot t_{\text{cycle}} \quad (\text{voir A.7-31})$$

b) Dans le cas du prélèvement par lots, que le débit soit variable ou constant, on utilisera la formule suivante:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \bar{x}_{\text{gaswet}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhwet}} \quad (\text{voir A.7-32})$$

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 déterminera le débit molaire de l'air de dilution \dot{n}_{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, $\bar{x}_{\text{dil/exh}}$;
- 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_{bknd} [g] en le multipliant par la masse molaire d'émissions, M_{gas} [g/mol];

- iv) la masse totale d'émissions ambiantes doit être soustraite de la masse totale pour la correction en fonction des émissions ambiantes;
- v) on peut déterminer le débit total d'air de dilution par une mesure directe du débit. Dans ce cas, la masse totale d'émissions ambiantes sera 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 sera 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 calculera 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, $\bar{x}_{\text{dil/exh}}$.

Étant donné les deux cas v) et vi), on utilisera les formules suivantes:

$$m_{\text{bknd}} = M_{\text{gas}} \cdot x_{\text{gasdil}} \cdot n_{\text{airdil}} \quad \text{ou} \quad m_{\text{bknd}} = M_{\text{gas}} \cdot \bar{x}_{\text{dil/exh}} \cdot \bar{x}_{\text{bknd}} \cdot n_{\text{dexh}} \quad (\text{A.7-38})$$

$$m_{\text{gascor}} = m_{\text{gas}} - m_{\text{bknd}} \quad (\text{A.7-39})$$

Où:

- m_{gas} = masse totale des émissions gazeuses [g]
- m_{bknd} = 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]
- $\bar{x}_{\text{dil/exh}}$ = fraction moyenne pondérée en fonction du débit de l'air de dilution dans les gaz d'échappement dilués [mol/mol]
- \bar{x}_{bknd} = 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 effectuera une mesure de l'humidité dans le but de calculer sa fraction de vapeur d'eau $x_{\text{H}_2\text{Odildry}}$ [mol/mol]:

$$x_{\text{H}_2\text{Odildry}} = \frac{x_{\text{H}_2\text{Odil}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{Odil}}} \quad (\text{voir A.7-21})$$

Où:

$x_{\text{H}_2\text{Odil}}$ = 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} :

$$\dot{n}_{\text{exh}} = \frac{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot w_{\text{C}} \cdot (1 + x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}})}{M_{\text{C}} \cdot x_{\text{Ccombdry}}} \quad (\text{voir A.7-37})$$

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]

$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$ = quantité de H₂O 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 par trois systèmes:

- 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:

$$\dot{n} = f_{n,PDP} \cdot \frac{p_{in} \cdot V_{rev}}{R \cdot T_{in}} \quad (\text{A.7-40})$$

Où:

$$V_{rev} = \frac{a_1}{f_{n,PDP}} \cdot \sqrt{\frac{p_{out} - p_{in}}{p_{in}}} + a_0 \quad (\text{A.7-41})$$

Où:

- a_1 = coefficient d'étalonnage [m^3/s]
- a_0 = coefficient d'étalonnage [m^3/tr]
- p_{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]
- $f_{n,PDP}$ = vitesse de la pompe PDP [min^{-1}]

Exemple:

$$a_1 = 50,43 \text{ m}^3/\text{min} = 0,8405 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$f_{n,PDP} = 755,0 \text{ tr}/\text{min} = 12,58 \text{ tr}/\text{s}$$

$$p_{out} = 99\,950 \text{ Pa}$$

$$p_{in} = 98\,575 \text{ Pa}$$

$$a_0 = 0,056 \text{ m}^3/\text{tr}$$

$$R = 8,314472 \text{ J}/(\text{mol K})$$

$$T_{in} = 323,5 \text{ K}$$

$$V_{rev} = \frac{0,8405}{12,58} \sqrt{\frac{99\,950 - 98\,575}{98\,575}} + 0,056 = 0,06389 \text{ m}^3/\text{rev}$$

$$\dot{n} = 12,58 \frac{98\,575 \times 0,06389}{8,314472 \times 323,5} = 29,464 \text{ mol}/\text{s}$$

- 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:

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot p_{in}}{\sqrt{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}}} \quad (\text{A.7-42})$$

Où:

- p_{in} = pression à l'entrée [Pa]
- A_t = section transversale du col du venturi [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 [-]

Exemple:

$A_t = 0,01824 \text{ m}^2$

$p_{\text{in}} = 99\,132 \text{ Pa}$

$Z = 1$

$M_{\text{mix}} = 28,7805 \text{ g/mol} = 0,0287805 \text{ kg/mol}$

$R = 8,314472 \text{ J/(mol K)}$

$T_{\text{in}} = 298,15 \text{ K}$

$Re^{\#} = 7,232 \times 10^5$

$\gamma = 1,399$

$\beta = 0,8$

$\Delta p = 2,312 \text{ kPa}$

Avec l'équation (A.7-64), $r_{\text{SSV}} = 0,997$

Avec l'équation (A.7-63), $C_f = 0,274$

Avec l'équation (A.7-62), $C_d = 0,990$

$$\dot{n} = 0,990 \times 0,274 \frac{0,01824 \times 99\,132}{\sqrt{1 \times 0,0287805 \times 8,314472 \times 298,15}} = 58,173 \text{ mol/s}$$

- iii) Méthode du venturi CFV. Pour calculer le débit molaire traversant un venturi ou une combinaison de venturis, on utilisera 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:

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot p_{\text{in}}}{\sqrt{Z \cdot M_{\text{mix}} \cdot R \cdot T_{\text{in}}}} \quad (\text{A.7-43})$$

Où:

p_{in} = pression à l'entrée [Pa]

A_t = section transversale du col du venturi [m²]

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 [-]

Exemple:

$$C_d = 0,985$$

$$C_f = 0,7219$$

$$A_t = 0,00456 \text{ m}^2$$

$$p_{in} = 98\,836 \text{ Pa}$$

$$Z = 1$$

$$M_{mix} = 28,7805 \text{ g/mol} = 0,0287805 \text{ kg/mol}$$

$$R = 8,314472 \text{ J/(mol K)}$$

$$T_{in} = 378,15 \text{ K}$$

$$\dot{n} = 0,985 \times 0,7219 \frac{0,00456 \times 98\,836}{\sqrt{1 \times 0,0287805 \times 8,314472 \times 378,15}} = 33,6895 \text{ mol/s}$$

A.7.4.4 Détermination des matières particulaires MP

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, \bar{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]:

$$m_{PM} = \bar{M}_{PM} \cdot \sum_{i=1}^N (\dot{n}_i \cdot \Delta t_i) \quad (\text{A.7-44})$$

Où:

$$\dot{n}_i = \text{débit molaire instantané de gaz d'échappement [mol/s]}$$

$$\bar{M}_{PM} = \text{concentration moyenne de MP [g/mol]}$$

$$\Delta t_i = \text{intervalle de prélèvement [s]}$$

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 de MP moyenne doit être multipliée par le débit total pour obtenir la masse totale de MP m_{PM} [g]:

$$m_{PM} = \bar{M}_{PM} \cdot \dot{n} \cdot \Delta t \quad (\text{A.7-45})$$

Où:

$$\dot{n} = \text{débit molaire de gaz d'échappement [mol/s]}$$

$$\bar{M}_{PM} = \text{concentration moyenne des MP [g/mol]}$$

$$\Delta t = \text{durée de l'intervalle de prélèvement [s]}$$

Pour le prélèvement avec un taux de dilution constant (DR), on calculera m_{PM} [g] au moyen de la formule suivante:

$$m_{PM} = m_{PMdil} \cdot DR \quad (A.7-46)$$

Où:

m_{PMdil} = masse de MP dans l'air de dilution [g]

DR = taux de dilution [-] défini comme étant le rapport entre la masse des émissions m et la masse de gaz d'échappement dilués $m_{dil/exh}$ ($DR = m/m_{dil/exh}$). Le taux de dilution DR peut être exprimé comme une fonction de $x_{dil/exh}$:

$$DR = \frac{1}{1 - x_{dil/exh}} \quad (A.7-47)$$

A.7.4.4.2 Correction d'émissions ambiantes

On utilisera la même approche que celle du paragraphe A.7.4.1 pour corriger la masse de MP en fonction des émissions ambiantes. En multipliant \bar{M}_{PMbknd} par le débit total d'air de dilution, on obtient la masse totale d'émissions ambiantes de MP (m_{PMbknd} [g]). Par soustraction de la masse d'émissions ambiantes totale de la masse totale de gaz on obtient la masse corrigée de matières particulaires m_{PMcor} [g]:

$$m_{PMcor} = m_{PMuncor} - \bar{M}_{PMbknd} \cdot n_{airdil} \quad (A.7-48)$$

Où:

$m_{PMuncor}$ = masse des MP non corrigée [g]

\bar{M}_{PMbknd} = concentration moyenne de MP dans l'air de dilution [g/mol]

n_{airdil} = débit molaire de l'air de dilution [mol]

A.7.5 Travail au cours du cycle d'essai et émissions spécifiques

A.7.5.1 Émissions gazeuses

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:

$$W_{act} = \sum_{i=1}^N P_i \cdot \Delta t_i = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{10^3} \frac{2 \cdot \pi}{60} \sum_{i=1}^N (n_i \cdot T_i) \quad (A.7-49)$$

Où:

- P_i = puissance instantanée du moteur [kW]
 n_i = régime instantané du moteur [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.

$$e_{gas} = \frac{m_{gas}}{W_{act}} \quad (A.7-50)$$

Où:

- m_{gas} = masse totale des émissions [g/essai]
 W_{act} = travail effectif au cours du cycle d'essai [kWh]

Dans le cas d'un cycle transitoire, le résultat final de l'essai 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:

$$e_{gas} = \frac{(0,1 \cdot m_{cold}) + (0,9 \cdot m_{hot})}{(0,1 \cdot W_{actcold}) + (0,9 \cdot W_{acthot})} \quad (A.7-51)$$

En cas de régénération périodique du système de traitement 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:

$$e_{gas} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{mode}} (\dot{m}_{gas,i} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^{N_{mode}} (P_i \cdot WF_i)} \quad (A.7-52)$$

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 $P_i = P_{maxi} + P_{auxi}$
 (voir par. 7.7.1.2 et 6.3)
 WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-]

A.7.5.2 Émissions de matières particulaires

A.7.5.2.1 Cycle transitoire et cycle à modes raccordés

Les émissions spécifiques des matières particulaires doivent être calculées avec la formule (A.7-50) où e_{gas} [g/kWh] et m_{gas} [g/essai] sont remplacés par e_{PM} [g/kWh] et m_{PM} [g/essai] respectivement:

$$e_{\text{PM}} = \frac{m_{\text{PM}}}{W_{\text{act}}} \quad (\text{A.7-53})$$

Où:

m_{PM} = masse totale des émissions de particules calculée suivant le paragraphe A.8.3.4 [g/essai]

W_{act} = travail effectif au cours du cycle d'essai [kWh]

Les émissions sur le cycle transitoire composite (c'est-à-dire phase froide et phase chaude) doivent être calculées comme indiqué au paragraphe A.7.5.1.

A.7.5.2.2 Cycle en conditions stationnaires à modes discrets

Les émissions spécifiques de particules e_{PM} [g/kWh] doivent être calculées de la manière suivante:

A.7.5.2.2.1 Pour la méthode à filtre unique

$$e_{\text{PM}} = \frac{\dot{m}_{\text{PM}}}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (\text{A.7-54})$$

Où:

P_i = puissance du moteur pour le mode i [kW] avec $P_i = P_{\text{maxi}} + P_{\text{auxi}}$ (voir par. 7.7.1.2 et 6.3)

WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-]

\dot{m}_{PM} = débit massique de matières particulaires [g/h]

A.7.5.2.2.2 Pour la méthode à filtres multiples

$$e_{\text{PM}} = \frac{\sum_{i=1}^N (\dot{m}_{\text{PM}i} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (\text{A.7-55})$$

Où:

P_i = puissance du moteur pour le mode i [kW] avec $P_i = P_{\text{maxi}} + P_{\text{auxi}}$ (voir par. 7.7.1.2 et 6.3)

WF_i = facteur de pondération pour le mode i [-]

$\dot{m}_{\text{PM}i}$ = débit massique de matières particulaires 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:

$$WF_{effi} = \frac{m_{smpldexhi} \cdot \overline{\dot{m}}_{eqdexhwet}}{m_{smpldex} \cdot \dot{m}_{eqdexhweti}} \quad (\text{A.7-56})$$

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]

$\dot{m}_{eqdexhweti}$ = débit massique équivalent de gaz d'échappement dilués en mode i [kg/s]

$\overline{\dot{m}}_{eqdexhwet}$ = débit massique moyen équivalent de gaz d'échappement dilués [kg/s]

La valeur des facteurs de pondération effectifs doit être conforme à $\pm 0,005$ 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 (CVS)

A.7.6 Introduction

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}_{ref} , comme quantité de référence. Si elles utilisaient une quantité différente, telle qu'un débit standard, \dot{V}_{stdref} , le débit réel, \dot{V}_{actref} , ou du débit massique, \dot{m}_{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:

$$\dot{n}_{ref} = \frac{\dot{V}_{stdref} \cdot p_{std}}{T_{std} \cdot R} = \frac{\dot{V}_{actref} \cdot p_{act}}{T_{std} \cdot R} = \frac{\dot{m}_{ref}}{M_{mix}} \quad (A.7-57)$$

Où:

\dot{n}_{ref}	=	débit molaire de référence [mol/s]
\dot{V}_{stdref}	=	débit du volume de référence, corrigé pour une pression standard et une température standard [m ³ /s]
\dot{V}_{actref}	=	débit du volume de référence à la pression et à la température réelles [m ³ /s]
\dot{m}_{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 [J/(mol · K)]
M_{mix}	=	masse molaire du gaz [g/mol]

Exemple 1

$$\dot{V}_{actref} = 0,471948 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$p_{act} = 101\,325 \text{ Pa}$$

$$T_{act} = 293,15 \text{ K}$$

$$R = 8,314472 \text{ [J/(mol} \cdot \text{K)]}$$

$$n_{ref} = \frac{V_{actref} \cdot P_{act}}{T_{std} \cdot R} = \frac{0,471948 \times 101\,325}{293,15 \times 8,314472} = 19,619 \text{ mol/s}$$

Exemple 2

$$m_{ref} = 287,805 \text{ g/s}$$

$$M_{mix} = 28,7805 \text{ g/mol}$$

$$n_{ref} = \frac{m_{ref}}{M_{mix}} = \frac{287,805}{28,7805} = 10,0000 \text{ mol/s}$$

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 PDP pompé par tour, V_{rev} (m^3/tr):

$$V_{rev} = \frac{\bar{n}_{ref} \cdot R \cdot \bar{T}_{in}}{\bar{p}_{in} \cdot \bar{f}_{nPDP}} \quad (\text{A.7-58})$$

Où:

$$\bar{n}_{ref} = \text{valeur moyenne du débit molaire de référence [mol/s]}$$

$$R = \text{constante molaire du gaz [J/(mol} \cdot \text{K)]}$$

$$\bar{T}_{in} = \text{température moyenne d'entrée [K]}$$

$$\bar{p}_{in} = \text{pression moyenne d'entrée [Pa]}$$

$$\bar{f}_{nPDP} = \text{vitesse de rotation moyenne [tr/s]}$$

Exemple:

$$\bar{n}_{ref} = 25,096 \text{ mol/s}$$

$$R = 8,314472 \text{ [J/(mol} \cdot \text{K)]}$$

$$\bar{T}_{in} = 299,5 \text{ K}$$

$$\bar{p}_{in} = 98\,290 \text{ Pa}$$

$$\bar{f}_{nPDP} = 1\,205,1 \text{ tr/min} = 20,085 \text{ tr/s}$$

$$V_{ter} = \frac{25,096 \times 8,314472 \times 299,5}{98\,290 \times 20,085} = 0,03166 \text{ m}^3/\text{tr}$$

- b) Facteur de correction du glissement de la pompe PDP, K_s [s/tr]:

$$K_s = \frac{1}{\bar{f}_{nPDP}} \cdot \sqrt{\frac{\bar{p}_{out} - \bar{p}_{in}}{\bar{p}_{out}}} \quad (\text{A.7-59})$$

Où:

\bar{n}_{ref} = débit molaire de référence moyen [mol/s]

\bar{T}_{in} = température moyenne d'entrée [K]

\bar{p}_{in} = pression moyenne d'entrée [Pa]

\bar{p}_{out} = pression moyenne de sortie [Pa]

\bar{f}_{nPDP} = vitesse de rotation moyenne PDP [min^{-1}]

R = constante molaire du gaz [$\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$]

Exemple:

$$\bar{f}_{nPDP} = 1\,205,1 \text{ tr/min} = 20,085 \text{ tr/s}$$

$$\bar{p}_{out} = 100,103 \text{ kPa}$$

$$\bar{p}_{in} = 98,290 \text{ kPa}$$

$$K_s = \frac{1}{20,085} \cdot \sqrt{\frac{100,103 - 98,290}{100,103}} = 0,0067 \text{ s/tr}$$

- c) On effectuera 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 \bar{f}_{nPDP} :

Tableau A.7.2

Exemple de données d'étalonnage PDP

\bar{f}_{nPDP} [tr/min]	\bar{f}_{nPDP} [tr/s]	a_1 [m^3/min]	a_1 [m^3/s]	a_0 [m^3/tr]
755,0	12,58	50,43	0,8405	0,056
987,6	16,46	49,86	0,831	-0,013
1 254,5	20,9	48,54	0,809	0,028
1 401,3	23,355	47,30	0,7883	-0,061

- f) Pour chaque régime auquel la pompe PDP est utilisée, la pente correspondante a_1 et l'ordonnée à l'origine a_0 seront 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:

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot p_{in}}{\sqrt{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}}} \quad (\text{A.7-60})$$

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 [m ²]
p_{in}	=	pression statique absolue à l'entrée du venturi [Pa]
Z	=	facteur de compressibilité [-]
M_{mix}	=	masse molaire du mélange gazeux [kg/mol]
R	=	constante molaire du gaz [J/(mol · K)]
T_{in}	=	température absolue à l'entrée du venturi [K]

- a) À l'aide des données rassemblées au paragraphe 8.1.8.4, on calcule C_d au moyen de la formule suivante:

$$C_d = \dot{n}_{\text{ref}} \cdot \frac{\sqrt{Z \cdot M_{\text{mix}} \cdot R \cdot T_{\text{in}}}}{C_f \cdot A_t \cdot p_{\text{in}}} \quad (\text{A.7-61})$$

Où:

$$\dot{n}_{\text{ref}} = \text{débit molaire de référence [mol/s]}$$

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, $C_{f\text{CFV}}$ 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:

Tableau A.7.3

$C_{f\text{CFV}}$ en fonction de β et de γ pour les débitmètres CFV

β	$C_{f\text{CFV}}$	
	$\gamma_{\text{exh}} = 1,385$	$\gamma_{\text{d exh}} = \gamma_{\text{air}} = 1,399$
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

- ii) pour tout débitmètre CFV ou SSV, on peut utiliser la formule suivante pour calculer C_f :

$$C_f = \left[\frac{2 \cdot \gamma \cdot \left(r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)}{(\gamma-1) \cdot \left(\beta^4 - r^{\frac{2}{\gamma}} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A.7-62})$$

Où:

- γ = exposant isentropique [-]. Pour un gaz 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:

$$r_{SSV} = 1 - \frac{\Delta p_{SSV}}{P_{in}} \quad (\text{A.7-63})$$

Où:

Δp_{SSV} = pression statique différentielle entre l'entrée et le col du venturi [Pa]

- ii) pour les systèmes CFV seulement, r_{CFV} doit être calculé itérativement au moyen de la formule suivante:

$$r_{CFV}^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} + \left(\frac{\gamma-1}{2} \right) \cdot \beta^4 \cdot r_{CFV}^{\frac{2}{\gamma}} = \frac{\gamma+1}{2} \quad (\text{A.7-64})$$

- d) On peut appliquer l'une quelconque des hypothèses de simplification suivantes des formules, ou suivre les 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, $x_{\text{H}_2\text{O}}$, établie comme indiqué au paragraphe A.7.1.2, de la manière suivante:

$$M_{\text{mix}} = M_{\text{air}} \cdot (1 - x_{\text{H}_2\text{O}}) + M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (x_{\text{H}_2\text{O}}) \quad (\text{A.7-65})$$

Où:

$$M_{\text{air}} = 28,96559 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18,01528 \text{ g/mol}$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \text{quantité d'eau dans l'air de dilution ou d'étalonnage [mol/mol]}$$

Exemple 1:

$$M_{\text{air}} = 28,96559 \text{ g/mol}$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = 0,011868 \text{ mol/mol}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18,01528 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{mix}} = 2896559 \times (1 - 0,011868) + 18,01528 \times 0,011868 = 28,83563 \text{ g/mol}$$

Exemple 2:

$$M_{\text{air}} = 28,96559 \text{ g/mol}$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = 0,0169 \text{ mol/mol}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18,01528 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{mix}} = 2896559 \times (1 - 0,0169) + 18,01528 \times 0,0169 = 28,7805 \text{ g/mol}$$

- v) pour la plage complète des gaz d'échappement dilués et d'air, on peut partir de l'hypothèse d'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 $\pm 1\%$ de la masse molaire minimum et maximum estimée pendant l'étalonnage et les essais. Cette hypothèse peut être admise si l'on est certain d'avoir suffisamment sous contrôle 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:

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

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.

L'exemple suivant illustre l'application des équations déterminantes pour calculer le coefficient de décharge C_d d'un débitmètre SSV à une valeur de référence du débit. Il est à noter que le calcul du coefficient C_d pour un débitmètre à CFV serait semblable, sauf que C_f serait déterminé d'après le tableau A.7.3 de la présente section ou calculé par itération au moyen des valeurs de β et γ comme décrit au paragraphe c) ii) de la présente section.

$$\dot{i}_{\text{ref}} = 57,625 \text{ mol/s}$$

$$Z = 1$$

$$M_{\text{mix}} = 28,7805 \text{ g/mol} = 0,0287805 \text{ kg/mol}$$

$$R = 8,314472 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$$

$$T_{\text{in}} = 298,15 \text{ K}$$

$$A_r = 0,01824 \text{ m}^2$$

$$p_{\text{in}} = 99\,132,0 \text{ Pa}$$

$$\gamma = 1,399$$

$$\beta = 0,8$$

$$\Delta p = 2,312 \text{ kPa}$$

$$r_{\text{ssv}} = 1 - \frac{2,312}{99,132} = 0,977$$

$$C_f = \left[\frac{2 \times 1,399 \times \left(0,977^{\frac{1,399-1}{1,399}} - 1 \right)}{(1,399 - 1) \times \left(0,8^4 - 0,977^{\frac{-2}{1,399}} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} = 0,274$$

$$C_d = 57,625 \frac{\sqrt{1 \times 0,0287805 \times 8,314472 \times 298,15}}{0,274 \times 0,01824 \times 99132,0} = 0,982$$

Enfin, le débit molaire SSV est calculé au moyen de l'équation (A.7-60):

$$\dot{n} = 0,982 \times 0,274 \frac{0,01824 \times 99132}{\sqrt{1 \times 0,0287805 \times 8,314472 \times 298,15}} = 57,6 \text{ mol/s}$$

Dans le cas d'un débitmètre CFV, pour $\beta = 0,8$ et $\gamma = 1,399$ (voir tableau A.7.3) C_{CFV} est égal à 0,7555; ensuite, on obtient C_d à partir de l'équation (A.7-61):

$$C_d = 57,6 \frac{\sqrt{1 \times 0,0287805 \times 8,314472 \times 298,15}}{0,7555 \times 0,01825 \times 99132} = 0,356$$

A.7.6.4 Étalonnage d'un débitmètre SSV

a) Méthode molaire. Pour étalonner un débitmètre SSV, on procédera de la manière suivante:

- i) le nombre de Reynolds, $Re^\#$, sera 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 :

$$Re^\# = \frac{4 \cdot M_{\text{mix}} \cdot \dot{n}_{\text{ref}}}{\pi \cdot d_t \cdot \mu} \quad (\text{A.7-66})$$

Où:

d_t = diamètre du col du SSV [m]

M_{mix} = masse molaire du mélange [kg/mol]

\dot{n}_{ref} = débit molaire de référence [mol/s]

et, au moyen du modèle de viscosité à trois coefficients de Sutherland:

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T_{\text{in}}}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{T_0 + S}{T_{\text{in}} + S} \right) \quad (\text{A.7-67})$$

Où:

μ = viscosité dynamique du gaz d'étalonnage [kg/(m·s)]

μ_0 = viscosité de référence de Sutherland [kg/(m·s)]

S = constante de Sutherland [K]

T_0 = température de référence de Sutherland [K]

T_{in} = température absolue à l'entrée du venturi [K]

Tableau A.7.5
Paramètres du modèle de viscosité à trois coefficients de Sutherland

<i>Gaz^a</i>	μ_0 <i>k/(m·s)</i>	T_0 <i>K</i>	<i>S</i> <i>K</i>	Plage de température avec erreur de $\pm 2\%$	Limite de pression
				<i>K</i>	<i>kPa</i>
Air	$1,716 \times 10^{-5}$	273	111	170 à 1 900	$\leq 1\ 800$
CO ₂	$1,370 \times 10^{-5}$	273	222	190 à 1 700	$\leq 3\ 600$
H ₂ O	$1,12 \times 10^{-5}$	350	1,064	360 à 1 500	$\leq 10\ 000$
O ₂	$1,919 \times 10^{-5}$	273	139	190 à 2 000	$\leq 2\ 500$
N ₂	$1,663 \times 10^{-5}$	273	107	100 à 1 500	$\leq 1\ 600$

^a On 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.

Exemple:

$$\mu_0 = 1,716 \times 10^{-5} \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}$$

$$T_0 = 273,11 \text{ K}$$

$$T_{in} = 298,15 \text{ K}$$

$$S = 111 \text{ K}$$

$$\mu = 1,716 \times 10^{-5} \times \left(\frac{298,15}{273,11} \right)^{\frac{3}{2}} \times \left(\frac{273,11 + 111}{298,15 + 111} \right) = 1,8375 \times 10^{-5} \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}$$

$$M_{mix} = 28,7805 \text{ g/mol} = 0,0287805 \text{ kg/mol}$$

$$n_{ref} = 57,6 \text{ mol/s}$$

$$d_t = 152,4 \text{ mm} = 0,1524 \text{ m}$$

$$T_{in} = 298,15 \text{ K}$$

$$Re^\# = \frac{4 \times 0,0287805 \times 57,6}{\pi \times 0,1524 \times 1,8375 \times 10^{-5}} = 7,537 \times 10^5$$

- ii) on établira 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 $Re^\#$:

$$C_d = a_0 - a_1 \cdot \sqrt{\frac{10^6}{Re^\#}} \quad (\text{A.7-68})$$

- iii) on effectuera une analyse par régression des moindres carrés pour déterminer les coefficients de meilleur ajustage à la formule et on calculera 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 $SEE < 0,5 \% \cdot \dot{m}_{\text{ref max}}$ (ou $\dot{m}_{\text{ref max}}$) 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 pourra, en suivant les règles de bon sens technique, omettre des points d'étalonnage pour satisfaire aux statistiques de régression. On utilisera 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 faudra prendre des mesures pour remédier à la situation. Par exemple, on utilisera une expression mathématique autre pour l'équation de C_d en fonction de $Re^\#$, on recherchera la présence de fuites ou on répétera le processus d'étalonnage. Si le processus doit être recommencé, on appliquera des tolérances plus serrées pour les mesures et on laissera 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 procédera de la manière suivante:
 - i) avec les données rassemblées à chaque point d'étalonnage, on calculera 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 seront 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 utilisera la moyenne C_d dans l'équation (A.7-43), et on utilisera le CFV uniquement jusqu'à la valeur r la plus basse mesurée pendant l'étalonnage:

$$r = 1 - (\Delta p / p_m) \quad (\text{A.7-69})$$

- 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 remédiera 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 faudra 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 utilisera cette valeur C_d dans l'équation (A.7-43) et on utilisera 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 faudra 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 devront être utilisés dans tous les calculs d'émissions subséquents. Le seuil acceptable pour la dérive d'un analyseur de gaz sur un intervalle d'essai est spécifié dans le 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'effectueront de la manière suivante:

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 calculera les émissions spécifiques au frein conformément à A.7.5. Ensuite tous les signaux de l'analyseur de gaz seront corrigés pour la dérive, conformément à cette section. Des émissions spécifiques au frein devront ensuite être recalculées à l'aide des signaux d'analyseur de gaz corrigés par 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, \bar{x} ;

- b) La correction pour la dérive doit être faite au moyen de la formule suivante:

$$x_{\text{idriftcor}} = x_{\text{refzero}} + (x_{\text{refspan}} - x_{\text{refzero}}) \frac{2x_i - (x_{\text{prezero}} + x_{\text{postzero}})}{(x_{\text{prespan}} + x_{\text{postspan}}) - (x_{\text{prezero}} + x_{\text{postzero}})} \quad (\text{A.7-70})$$

Où:

$x_{\text{idriftcor}}$	=	concentration corrigée pour la dérive [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{refzero}	=	concentration de référence du gaz de zéro, qui est généralement zéro sauf autre valeur connue [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{refspan}	=	concentration de référence du gaz de calibrage [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{prespan}	=	réponse de l'analyseur de gaz de l'intervalle préessai à la concentration de gaz de calibrage [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{postspan}	=	réponse de l'analyseur de gaz de l'intervalle postessai à la concentration de gaz de calibrage [$\mu\text{mol/mol}$]
x_i ou \bar{x}	=	concentration enregistrée, c'est-à-dire mesurée pendant l'essai, avant la correction de la dérive [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{prezero}	=	réponse de l'analyseur de gaz de l'intervalle préessai à la concentration de gaz zéro [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{postzero}	=	réponse de l'analyseur de gaz de l'intervalle postessai à la concentration de gaz de zéro [$\mu\text{mol/mol}$]

Exemple:

$$x_{\text{refzero}} = 0 \mu\text{mol/mol}$$

$$x_{\text{refspan}} = 1800,0 \mu\text{mol/mol}$$

$$x_{\text{prespan}} = 1800,5 \mu\text{mol/mol}$$

$$x_{\text{postspan}} = 1695,8 \mu\text{mol/mol}$$

$$x_i \text{ ou } \bar{x} = 435,5 \mu\text{mol/mol}$$

$$x_{\text{prezero}} = 0,6 \mu\text{mol/mol}$$

$$x_{\text{postzero}} = -5,2 \mu\text{mol/mol}$$

$$x_{\text{idriftcor}} = 0 + (1800,0 - 0) \frac{2 \times 435,5 - (0,6 + (-5,2))}{(1800,5 + 1695,8) - (0,6 + (-5,2))} = 450,2 \mu\text{mol/mol}$$

- 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 intervalle(s) d'essai ultérieur(s);

- e) Si l'on n'a pas enregistré une réponse de l'analyseur lors d'un intervalle quelconque préessai, x_{prespan} sera pris comme égal à la concentration de référence du gaz de calibrage: $x_{\text{prespan}} = x_{\text{refspan}}$;
- f) Si l'on n'a pas enregistré une réponse de l'analyseur lors d'un intervalle quelconque préessai, x_{prezero} sera pris comme égal à la concentration de référence du gaz de zéro: $x_{\text{prezero}} = x_{\text{refzero}}$;
- g) Généralement la concentration de référence du gaz de zéro, x_{refzero} , est zéro: $x_{\text{refzero}} = 0$ $\mu\text{mol/mol}$. 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 $\mu\text{mol/mol}$, peut être utilisée. Dans ce cas, $x_{\text{refzero}} = 375$ $\mu\text{mol/mol}$. 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 $x_{\text{refzero}} = 375$ $\mu\text{mol/mol}$, l'analyseur doit être réglé pour indiquer une valeur de 375 $\mu\text{mol/mol}$ lorsque le gaz de zéro passe dans l'analyseur.

Annexe A.7

Appendice 3

Exemple de procédure de calcul

Exemple 1: Émissions gazeuses d'un moteur à allumage par compression alimenté au gazole – gaz d'échappement bruts; essai en conditions stationnaires à modes discrets (cycle d'essai à 8 modes présenté à l'alinéa a du paragraphe A.1.1 de l'annexe A.1).

Les valeurs mesurées au cours du cycle d'essai à 8 modes sont indiquées ci-après. Dans le présent exemple, les valeurs CO, CO₂ et NO_x sont mesurées en conditions sèches et les valeurs HC, en conditions humides. Les calculs sont exposés en détail pour le mode 1; pour les autres modes, seuls les résultats sont fournis. À la fin de la procédure de calcul, on compare les résultats d'émissions obtenus au moyen de la méthode de calcul sur base molaire à ceux obtenus au moyen de la méthode de calcul sur base massique (voir l'appendice 3 de l'annexe A.8).

Valeurs mesurées	Unité	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8
Air d'admission									
Pression barométrique totale	p_{abs} [kPa]	101,300	101,300	101,300	101,300	101,300	101,300	101,300	101,300
Humidité relative de l'air d'admission	$RH\%$ [%]	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00
Température de l'air d'admission	T_{intair} [°C]	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Débit-masse d'air	\dot{m}_{airwet} [kg/h]	966,11	924,74	815,64	484,77	803,51	719,52	573,55	145,33
Carburant									
Rapport H/C α	–	1,8529	1,8529	1,8529	1,8529	1,8529	1,8529	1,8529	1,8529
Rapport O/C β	–	0	0	0	0	0	0	0	0
Rapport S/C γ	–	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Débit-masse du carburant	\dot{m}_{fuel} [kg/h]	37,79	30,56	21,86	7,33	37,29	28,18	19,55	1,67
Mesures									
Température du bain de refroidissement	T_{cooler} [°C]	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64
CO en conditions sèches	CO _{dry} [µmol/mol]	56,00	59,00	66,00	86,00	98,00	73,00	74,00	47,00
NO _x en conditions sèches	NO _{x,dry} [µmol/mol]	423,00	268,00	179,00	140,00	507,00	396,00	291,00	208,00
HC en conditions humides	HC _{wet} [µmol/mol C1]	46,00	123,00	106,00	154,00	102,00	107,00	119,00	119,00
CO ₂ en conditions sèches	CO _{2,dry} [mol/mol]	0,0861	0,072	0,0573	0,0306	0,101	0,084	0,0718	0,0216
O ₂ en conditions sèches	O _{2,dry} [mol/mol]	0,124	0,1381	0,1527	0,1794	0,109	0,126	0,1382	0,1885
Conditions d'essai									
Rapport air/carburant	λ –	1,76	2,08	2,57	4,55	1,48	1,76	2,02	5,99
Puissance du moteur	P [kW]	161,00	121,60	81,10	16,40	167,20	125,50	83,70	5,00

Étape 1: Paramètres pour l'air ambiant et le carburant (par. A.7.1)

Densité de l'air d'admission sec = 1,293 kg/m³, sachant que

$$x_{O2int\ dry} = 0,209445 \text{ mol/mol et } x_{CO2int\ dry} = 0,000375 \text{ mol/mol}$$

$$(A.7-4): x_{H2O} = \frac{RH\% \cdot p_{H2O}}{p_{abs}} = \frac{0,54 \times 3\ 168,9}{101\ 300} = 0,01689 \text{ mol/mol}$$

$$M_{fuel} = 12,0107 + 1,00794 \times 1,8529 + 32,065 \times 0,0002 = 13,885 \text{ g/mol}$$

$$w_H = \frac{\alpha \cdot M_H}{M_{fuel}} = \frac{1,8529 \times 1,0079}{13,885} = 0,1345 \text{ g/g}$$

$$w_C = \frac{1 \cdot M_C}{M_{fuel}} = \frac{1 \times 12,0107}{13,885} = 0,865 \text{ g/g}$$

$$w_S = \frac{\gamma \cdot M_S}{M_{fuel}} = \frac{0,0002 \times 32,065}{13,885} = 0,0005 \text{ g/g}$$

$$w_N = w_O = 0$$

Étape 2: Bilan chimique (par. A.7.2)**Étape 2.1: Données d'entrée**

$$x_{CO2meas} = 0,0861 \text{ mol/mol (en conditions sèches); } x_{H2OCO2meas} = 0,0087 \text{ mol/mol}$$

$$x_{COmeas} = 56 \times 10^{-6} \text{ mol/mol (en conditions sèches); } x_{H2OCOmeas} = 0,0087 \text{ mol/mol}$$

$$x_{NOxmeas} = 423 \times 10^{-6} \text{ mol/mol (en conditions sèches); } x_{NOmeas} = 0,85 \cdot x_{NOxmeas}$$

$$x_{H2ONOXmeas} = 0,0087 \text{ mol/mol}$$

$$x_{THCmeas} = 0,000046 \text{ mol/mol (en conditions humides)}$$

$$x_{H2Oint} = 0,01689 \text{ mol/mol ; } x_{H2Odil} = 0,01689 \text{ mol/mol}$$

$$x_{O2int\ dry} = 0,209445 \text{ mol/mol ; } x_{CO2int\ dry} = 0,000375 \text{ mol/mol}$$

$$x_{CO2dildry} = 0,000375 \text{ mol/mol ; } \alpha = 1,85[-]; \beta = 0[-]; \gamma = 0,0002[-]$$

Étape 2.2: Calcul de base

$$(A.7-22): x_{COdry} = \frac{x_{COmeas}}{1 - x_{H2OCOmeas}} = \frac{0,000056}{1 - 0,0087} = 56,49 \times 10^{-6} \text{ mol/mol}$$

$$(A.7-23): x_{CO2dry} = \frac{x_{CO2meas}}{1 - x_{H2OCO2meas}} = \frac{0,0861}{1 - 0,0087} = 0,0868556 \text{ mol/mol}$$

(A.7-25):

$$x_{NO2dry} = \frac{x_{NO2meas}}{1 - x_{H2ONOX2meas}} = \frac{x_{NOxmeas} \cdot (1 - 0,85)}{1 - x_{H2ONOXmeas}} = \frac{423 \times 10^{-6} \times (1 - 0,85)}{1 - 0,0087} = 64,01 \times 10^{-6} \text{ mol/mol}$$

$$(A.7-24): x_{NOdry} = \frac{x_{NOmeas}}{1 - x_{H_2ONmeas}} = \frac{423 \times 10^{-6} \times 0,85}{1 - 0,0087} = 362,71 \times 10^{-6} \text{ mol/mol}$$

$$(A.7-19): x_{H_2Ointdry} = \frac{x_{H_2Oint}}{1 - x_{H_2Oint}} = \frac{0,01689}{1 - 0,01689} = 0,01718 \text{ mol/mol}$$

$$(A.7-21): x_{H_2Odildry} = \frac{x_{H_2Odil}}{1 - x_{H_2Odil}} = \frac{0,01689}{1 - 0,01689} = 0,01718 \text{ mol/mol}$$

$$(A.7-18): x_{CO_2int} = \frac{x_{CO_2intdry}}{1 - x_{H_2Ointdry}} = \frac{0,000375}{1 + 0,0172} = 0,0003687 \text{ mol/mol}$$

$$(A.7-20): x_{CO_2dil} = \frac{x_{CO_2dildry}}{1 - x_{H_2Odildry}} = \frac{0}{1 + 0} = 0 \text{ mol/mol}$$

$$(A.7-17): x_{O_2int} = \frac{x_{O_2intdry} - x_{CO_2intdry}}{1 + x_{H_2Ointdry}} = \frac{0,209445 - 0,000375}{1 + 0,01718} = 0,205538 \text{ mol/mol}$$

Étape 2.3: Paramètres estimatifs

$$x_{H_2Oexh} = x_{H_2Oint} + x_{H_2Odil} = 0,016892 + 0 = 0,016892 \text{ mol/mol}$$

$$(A.7-26): x_{THCdry} = \frac{x_{THCmeas}}{1 - x_{H_2OTHmeas}} = \frac{x_{THCmeas}}{1 - x_{H_2Oexh}} = \frac{46 \cdot 10^{-6}}{1 - 0,03378} = 0,00004761 \text{ mol/mol}$$

$$x_{Ccombdry} = x_{CO_2dry} + x_{COdry} + x_{THCdry} = 0,086958 \text{ mol/mol}$$

$$x_{dil/exh} = 0 \text{ mol/mol}$$

Étape 2.4: Première itération

$$(A.7-14): x_{dil/exhdry} = \frac{x_{dil/exh}}{1 - x_{H_2Oexh}} = \frac{0}{1 - 0,016892} = 0 \text{ mol/mol}$$

(GD.A.7-15a):

$$x_{int/exhdry} = \frac{\left[\left(\frac{1,8529}{2} - 0 + 2 + 0 \right) (86958 - 46,61) - (56 - 363 - 2 \times 64) \right] \times 10^{-6}}{2 \times 0,205538} = 0,619677 \text{ mol/mol}$$

(A.7-13):

$$x_{H_2Oexhdry} = \frac{1,8529}{2} (86958 - 47,61) \times 10^{-6} + 0 \times 0 + 0,0169 \times 0,619677 = 0,090944 \text{ mol/mol}$$

(GD.A.7-16a):

$$x_{raw/exhdry} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{1,8529}{2} + 0 \right) (86958 - 47,61) + (2 \times 47,61 + 57 - 64) \right] \times 10^{-6} + 0,619677 = 0,659958 \text{ mol/mol}$$

Étape 2.5: Paramètres estimatifs initiaux (première approximation)

$$(A.7-11): x_{H_2O_{exh}} = \frac{x_{H_2O_{exhdry}}}{1 + x_{H_2O_{exhdry}}} = \frac{0,09044}{1 + 0,09044} = 0,083362 \text{ mol/mol}$$

(A.7-12):

$$x_{C_{comb}dry} = (86\,855,6 + 57 + 47,61 - 0 \times 0 - 0,000369 \times 619\,677) \times 10^{-6} = 0,086733 \text{ mol/mol}$$

$$(A.7-10): x_{dil/exh} = 1 - \frac{x_{raw/exhdry}}{1 + x_{H_2O_{exhdry}}} = 1 - \frac{0,659958}{1 + 0,09044} = 0,395057 \text{ mol/mol}$$

Étape 2.6: Deuxième itération

$$(A.7-14): x_{dil/exhdry} = \frac{x_{dil/exh}}{1 - x_{H_2O_{exh}}} = \frac{0,395057}{1 - 0,083362} = 0,430985 \text{ mol/mol}$$

$$(A.7-26): x_{THCdry} = \frac{x_{THCmeas}}{1 - x_{H_2O_{THCmeas}}} = \frac{x_{THCmeas}}{1 - x_{H_2O_{exh}}} = \frac{47,61 \times 10^{-6}}{1 - 0,0834} = 50,17 \times 10^{-6} \text{ mol/mol}$$

(GD.A.7-15a):

$$x_{int/exhdry} = \frac{\left[\left(\frac{1,8529}{2} + 2 + 2 \right) (86\,733 - 50,17) - (56 - 363 - 2 \times 64) \right] \times 10^{-6}}{2 \times 0,205538} = 0,618051 \text{ mol/mol}$$

(A.7-13):

$$x_{H_2O_{exhdry}} = \frac{1,8529}{2} (86\,733 - 50,17) \times 10^{-6} + 0 \times 0,430985 + 0,0168924 \times 0,618051 = 0,090705 \text{ mol/mol}$$

(GD.A.7-16a):

$$x_{raw/exhdry} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{1,8529}{2} \right) (86\,733 - 50,17) + (2 \times 51 + 56 - 64) \right] \times 10^{-6} + 0,618051 = 0,658229 \text{ mol/mol}$$

$$(A.7-11): x_{H_2O_{exh}} = \frac{x_{H_2O_{exhdry}}}{1 + x_{H_2O_{exhdry}}} = \frac{0,090705}{1 + 0,090705} = 0,083162 \text{ mol/mol}$$

(A.7-12):

$$x_{C_{comb}dry} = (86\,855,6 + 56 + 50,17 - 0 \times 0,430985 - 0,000375 \times 0,618051) \times 10^{-6} = 0,086734 \text{ mol/mol}$$

$$(A.7-10): x_{dil/exh} = 1 - \frac{x_{raw/exhdry}}{1 + x_{H_2O_{exhdry}}} = 1 - \frac{0,658229}{1 + 0,090705} = 0,395059 \text{ mol/mol}$$

Étape 2.7: Troisième itération

$$(A.7-14): x_{dil/exhdry} = \frac{x_{dil/exh}}{1 - x_{H_2O_{exh}}} = \frac{0,396509}{1 - 0,083162} = 0,432475 \text{ mol/mol}$$

$$(A.7-26): x_{THCdry} = \frac{x_{THCmeas}}{1 - x_{H_2O_{THCmeas}}} = \frac{x_{THCmeas}}{1 - x_{H_2O_{exh}}} = \frac{46 \times 10^{-6}}{1 - 0,0832} = 50,172 \times 10^{-6} \text{ mol/mol}$$

(GD.A.7-15a):

$$x_{\text{int/exhdry}} = \frac{\left[\left(\frac{1,8529}{2} + 2 \right) (86\,734 - 50,17) - (56 - 363 - 2 \times 64) \right] \times 10^{-6}}{2 \times 0,205538} = 0,618055 \text{ mol/mol}$$

(A.7-13):

$$x_{H_2O\text{exhdry}} = \frac{1,8529}{2} (86\,734 - 50,17) \times 10^{-6} + 0 \times 0,432475 + 0,01718 \times 0,618055 = 0,090705 \text{ mol/mol}$$

(GD.A.7-16a):

$$x_{\text{raw/exhdry}} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{1,8529}{2} \right) (86\,734 - 50,17) + (2 \times 50,17 + 56 - 64) \right] \times 10^{-6} + 0,618055 = 0,658234 \text{ mol/mol}$$

$$\text{(A.7-11): } x_{H_2O\text{exh}} = \frac{x_{H_2O\text{exhdry}}}{1 + x_{H_2O\text{exhdry}}} = \frac{0,090705}{1 + 0,090705} = 0,0831624 \text{ mol/mol}$$

(A.7-12):

$$x_{\text{Combndry}} = (86\,855,6 + 56 + 50,17 - 0 \times 0,432475 - 0,000375 \times 0,618055) \times 10^{-6} = 0,086734 \text{ mol/mol}$$

$$\text{(A.7-10): } x_{\text{dil/exh}} = 1 - \frac{x_{\text{raw/exhdry}}}{1 + x_{H_2O\text{exhdry}}} = 1 - \frac{0,658234}{1 + 0,090705} = 0,396505 \text{ mol/mol}$$

Après trois itérations:

<i>Mode</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
$x_{H_2O\text{exh}}$	0,083162	0,070511	0,056950	0,031292	0,096197	0,081314	0,070343	0,022286
x_{Combndry}	0,086734	0,072633	0,057830	0,031033	0,101831	0,084705	0,072442	0,021901
$x_{\text{dil/exh}}$	0,396505	0,488442	0,586925	0,772910	0,301892	0,409922	0,489634	0,837985
$x_{H_2O\text{exhdry}}$	0,090705	0,08482	0,060389	0,032303	0,106436	0,088511	0,075666	0,022793
$x_{\text{int/exhdry}}$	0,618055	0,516657	0,411166	0,219940	0,725195	0,603020	0,515360	0,155494
$x_{\text{raw/exhdry}}$	0,6582	0,550365	0,438020	0,234426	0,772412	0,642306	0,548983	0,165707

Étape 3: Débit molaire des gaz d'échappement (par. A.7.3.3)**Mesuré:**

$$\dot{m}_{\text{exh}} = \dot{m}_{\text{int air}} + \dot{m}_{\text{fuel}} = 966,11 \text{ kg/h} + 37,79 \text{ kg/h} = 1\,003,9 \text{ kg/h} = 1\,003,9 \times 10^3 \text{ g/h}$$

Calculé sur la base du débit molaire d'admission:**(A.7-65):**

$$M_{\text{airwet}} = M_{\text{mix}} = 28,96559 \times (1 - 0,01689) + 18,01528 \times 0,01689 = 28,7806393 \text{ g/mol}$$

$$\dot{n}_{\text{int}} = \frac{966,11 \text{ kg/h} \times 1\,000 \text{ g/kg}}{28,7806393 \text{ g/mol}} = 33\,568,05 \text{ mol/h}$$

$$(A.7-36): \dot{n}_{exh} = \frac{33\,568,05}{\left[1 + \frac{(0,61805 - 0,6582)}{(1 + 0,090705)}\right]} = 34\,845,49 \text{ mol/h}$$

Calculé sur la base du débit-masse du carburant:

$$(A.7-37): \dot{n}_{exh} = \frac{37,79 \times 1\,000 \times 0,865 \times (1 + 0,09956)}{12,0107 \times 0,08696} = 34\,413,12 \text{ mol/h}$$

Calculé sur la base du débit molaire d'admission et du débit molaire du carburant, en tenant compte également des moles produites au cours du processus de combustion $n_{combplus}$:

$$\dot{n}_{exh} = \dot{n}_{int\ air} + \dot{n}_{fuel} \cdot n_{combplus}$$

$$\dot{n}_{exhwet} = \frac{\dot{m}_{airwet}}{M_{mix}} + \frac{\dot{m}_{fuel}}{M_{fuel}} \cdot \left(\frac{\delta}{2} + \frac{\alpha}{4} + \frac{\beta}{2}\right) = \frac{966,11}{28,78063} + \frac{37,79}{13,885} \cdot \left(\frac{0}{2} + \frac{1,8529}{4} + \frac{0}{2}\right) = 34\,823,78 \text{ mol/h}$$

Calculé sur la base de la masse molaire des gaz d'échappement, en appliquant l'équation (GD.A.7-9c) ou (GD.A.7-9d); dans le cas présent, M_{exh} correspond à la valeur obtenue dans l'exemple 1 de l'appendice 3 de l'annexe A.8:

$$\dot{n}_{exh} = \frac{\dot{m}_{exh}}{M_{exh}} = \frac{1\,003,9 \times 10^3 \text{ g/h}}{28,828 \text{ g/mol}} = 34\,823,78 \text{ mol/h}$$

Mode

[mol/h]	1	2	3	4	5	6	7	8
\dot{n}_{exhwet}	34 823,78	33 149,735	29 068,872	17 088,062	29 161,950	25 939,87	20 580,27	5 105,26

Étape 4: Correction des concentrations (par. A.7.2)

$$x_{COwet} = \frac{x_{CO}}{1 + x_{H_2Oexhdry}} = \frac{56 \times 10^{-6}}{1 + 0,090705} = 51,794 \times 10^{-6} \text{ mol/mol}$$

$$x_{CO_2wet} = \frac{x_{CO_2}}{1 + x_{H_2Oexhdry}} = \frac{0,0861}{1 + 0,090705} = 0,0796325 \text{ mol/mol}$$

$$x_{NOxwet} = \frac{x_{NOx}}{1 + x_{H_2Oexhdry}} = \frac{426 \times 10^{-6}}{1 + 0,090705} = 391,22 \times 10^{-6} \text{ mol/mol}$$

Mode

[mol/mol]	1	2	3	4	5	6	7	8
x_{COwet}	0,000051	0,000056	0,000062	0,000084	0,000089	0,000067	0,000069	0,000046
x_{CO_2wet}	0,079632	0,067511	0,054511	0,029903	0,092085	0,077846	0,067335	0,021303
x_{HCwet}	0,000046	0,00012	0,00011	0,00015	0,00010	0,00011	0,00012	0,00012
x_{NOxwet}	0,000391	0,00025	0,00017	0,000136	0,000462	0,000367	0,000273	0,0002051

Fraction molaire des NO_x corrigée en fonction de l'humidité de l'air d'admission:

$$(A.7-27): x_{NO_{xcorr}} = 0,00039122 \times (9,953 \times 0,01689 + 0,832) = 0,0004303 \text{ mol/mol}$$

Étape 5: Débit molaire des émissions gazeuses (par. A.7.3)

(A.7-31):

$$\dot{m}_{CO_{wet}} = M_{CO} \cdot \dot{n}_{exhwet} \cdot \bar{x}_{CO_{wet}} = 28,005 \times 34\,823,78 \times 0,000051 = 50,5176 \text{ g/h}$$

$$\dot{m}_{CO_{2wet}} = M_{CO_2} \cdot \dot{n}_{exhwet} \cdot \bar{x}_{CO_{2wet}} = 43,999 \times 34\,823,78 \times 0,0796325 = 12\,202,954 \text{ g/h}$$

$$\dot{m}_{HC_{wet}} = M_{HC} \cdot \dot{n}_{exhwet} \cdot \bar{x}_{HC_{wet}} = 13,885 \times 34\,823,78 \times 0,000046 = 22,2452 \text{ g/h}$$

$$\dot{m}_{NO_{xwet}} = M_{NO_x} \cdot \dot{n}_{exhwet} \cdot \bar{x}_{NO_{xwetcorr}} = 46,010 \times 34\,823,78 \times 0,0004303 = 689,6931 \text{ g/h}$$

Mode

[g/h]	1	2	3	4	5	6	7	8
$\dot{m}_{CO_{wet}}$	50,5176	51,3579	51,1137	40,2174	72,9704	49,1460	39,9978	6,6276
$\dot{m}_{CO_{2wet}}$	122 029,5	98 467,87	69 720	22 483	118 154,2	88 849,8	60 972,79	4 785,4
$\dot{m}_{HC_{wet}}$	22,2452	56,6149	42,7839	36,5392	41,3012	38,5387	34,0051	8,4355
$\dot{m}_{NO_{xwet}}$	627,0012	383,3214	227,7821	107,5765	620,3004	438,0604	258,4466	48,1945

Étape 6: Émissions gazeuses spécifiques (par. A.7.5.1)

Les émissions gazeuses spécifiques sont calculées au moyen de l'équation (A.7-52), de la même façon qu'à l'appendice 3 de l'annexe A.8.

Comparaison entre les valeurs obtenues au moyen de la méthode de calcul sur base molaire et celles obtenues au moyen de la méthode de calcul sur base massique:

	Méthode de calcul sur base molaire	Méthode de calcul sur base massique	Δ %
CO ₂ [g/kWh]	774,926	768,353	- 0,85
CO [g/kWh]	0,467	0,463	- 0,86
HC [g/kWh]	0,365	0,365	0
NO _x [g/kWh]	3,546	3,516	- 0,85

Annexe A.8

Calculs des émissions sur la base de la masse

A.8.0 Conversion des symboles

A.8.0.1 Symboles généraux

<i>Annexe 8</i>	<i>Annexe 7</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantité</i>
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 ($\mu\text{mol/mol} = \text{ppm}$)
c_d	l	ppm, % vol.	Concentration à l'état sec
c_w	l	ppm, % vol.	Concentration à l'état humide
c_b	l	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		$\left[(\sqrt{K} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s}) / \text{kg} \right]$	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

<i>Annexe 8</i>	<i>Annexe 7</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantité</i>
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
$k_{w,a}$		–	Facteur de correction de sec à humide pour l'air d'admission
$k_{w,d}$		–	Facteur de correction de sec à humide pour l'air de dilution
$k_{w,e}$		–	Facteur de correction de sec à humide pour les gaz d'échappement dilués
$k_{w,r}$		–	Facteur de correction de 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

<i>Annexe 8</i>	<i>Annexe 7</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantité</i>
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
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_{H_2O}	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_{mCr}	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

<i>Annexe 8</i>	<i>Annexe 7</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantité</i>
q_{medf}	¹	kg/s	Débit massique de gaz d'échappement dilués équivalent 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}	m ³ /s	Débit volumique
q_{VCVS}	¹	m ³ /s	Débit du prélèvement CVS
q_{Vs}	¹	dm ³ /min	Débit du système d'analyseur des gaz d'échappement
q_{Vt}	¹	cm ³ /min	Débit du gaz témoin
ρ	ρ	kg/m ³	Masse volumique
ρ_e		kg/m ³	Masse volumique des gaz d'échappement
r_d	<i>DR</i>	–	Taux de dilution ²
<i>RH</i>		%	Humidité relative
r_D	β	m/m	Rapport des diamètres (systèmes CVS)
r_p		–	Rapport de pression du SSV
<i>Re</i>	$Re^\#$	–	Nombre de Reynolds
σ	σ	–	Écart type
<i>T</i>	<i>T</i>	°C	Température
T_a		K	Température absolue
<i>t</i>	<i>t</i>	s	Temps
Δt	Δt	s	Intervalle de temps
<i>u</i>		–	Rapport entre les densités du constituant gazeux et des gaz d'échappement
<i>V</i>	<i>V</i>	m ³	Volume
q_V	\dot{V}	m ³ /s	Débit volumique

<i>Annexe 8</i>	<i>Annexe 7</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantité</i>
V_0		m ³ /tr	Volume de gaz pompé par tour de la pompe PDP
\bar{W}	\bar{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
\bar{y}	\bar{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

<i>Annexe 8¹</i>	<i>Annexe 7</i>	<i>Quantité</i>
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)

<i>Annexe 8</i>	<i>Annexe 7</i>	<i>Quantité</i>
Ar	Ar	Argon
C1	C1	Hydrocarbures équivalent carbone 1
CH ₄	CH ₄	Méthane
C ₂ H ₆	C ₂ H ₆	Éthane
C ₃ H ₈	C ₃ H ₈	Propane

<i>Annexe 8</i>	<i>Annexe 7</i>	<i>Quantité</i>
CO	CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	CO ₂	Dioxyde de carbone
DOP	DOP	Di-octylphthalate
HC	HC	Hydrocarbures
H ₂ O	H ₂ O	Eau
HCNM	HCNM	Hydrocarbures non méthaniques
NO _x	NO _x	Oxyde d'azote
NO	NO	Oxyde nitrique
NO ₂	NO ₂	Dioxyde d'azote
MP	MP	Matières particulaires
S	S	Soufre

A.8.0.4 Symboles et abréviations relatifs à la composition du carburant

<i>Annexe 8¹</i>	<i>Annexe 7²</i>	<i>Quantité</i>
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	α	Rapport atomique hydrogène à carbone (H/C)
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 _{α} O _{ε} N _{δ} S _{γ} .

² Se réfère à un carburant de formule chimique CH _{α} O _{β} S _{γ} N _{δ} .

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 _{α} S _{γ} N _{δ} O _{ε} (c'est-à-dire la formule C _{β} H _{α} S _{γ} N _{δ} O _{ε} 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 _{α} O _{β} S _{γ} N _{δ} . 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

Air sec

Étant exclus les effets de compressibilité, tous les gaz à prendre en compte dans le processus d'admission/combustion/échappement du moteur peuvent être considérés comme idéaux et tous les calculs volumiques sont basés sur un volume molaire de 22,414 l/mol selon l'hypothèse d'Avogadro.

La densité du gaz ρ_{gas} [g/l] se calcule à partir des données de base de la masse molaire M_{gas} [g/mol] et du volume molaire MV_{gas} [l/mol]:

$$\rho_{\text{gas}} = \frac{M_{\text{gas}}}{22,414} \quad (\text{GD.A.8-0a})$$

Où:

M_{gas} est la masse molaire [g/mol]

Pour l'air d'admission sec, on suppose la composition suivante:

Tableau 1 de l'annexe A.8
Composition de l'air sec

Gaz	Fraction volumique (mol/mol)	Fraction massique (G/G)
N ₂	0,78084	0,7551
O ₂	0,209445	0,2315
Argon	0,00934	0,0128
CO ₂	0,000375	0,0006
Gaz inertes	0,7905	0,7685

L'air sec est supposé avoir les paramètres suivants:

$$M_{ad} = 28,96559 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \approx 2897 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \rightarrow \rho_{ad} = 1,293 \frac{\text{g}}{\text{l}} \quad \text{à } 273,14 \text{ K et } 101,325 \text{ kPa}$$

Air humide

La pression de vapeur de saturation p_a [Pa] en fonction de la température T_a [K] se calcule au moyen de l'équation suivante ou de toute autre équation valide:

$$P_a = \exp \left[\begin{array}{l} -12,150799 \cdot \ln T_a - 8499,22 \cdot T_a^{-2} - 7423,1865 \cdot T_a^{-1} + 96,1635147 \\ + 0,024917646 \cdot T_a + (-1,3160119 \times 10^{-5} \cdot T_a^2) - 1,1460454 \times 10^{-8} \cdot T_a^3 \\ + 2,1701289 \times 10^{-11} \cdot T_a^4 + (-3,610258 \times 10^{-15} \cdot T_a^5) \\ + 3,8504519 \times 10^{-18} \cdot T_a^6 - 1,4317 \times 10^{-21} \cdot T_a^7 \end{array} \right] \quad (\text{GD.A.8-0b})$$

L'humidité de l'air H [g H₂O/kg air sec] peut être obtenue à partir des valeurs d'humidité relative, de point de rosée, de pression de vapeur ou des valeurs psychrométriques sur la base des équations généralement acceptées. Celles-ci, pour l'humidité de l'air d'admission H_a ainsi que l'humidité de l'air de dilution H_d , sont calculées en fonction de la pression de vapeur p_a [Pa] et de l'humidité relative RH_a [%], et de p_d [Pa] et de RH_d [%], respectivement, comme suit:

$$H_a = \frac{621,8 \cdot \frac{RH_a}{100} \cdot p_a}{p_b - p_a \cdot \frac{RH_a}{100}} \quad H_d = \frac{621,8 \cdot \frac{RH_d}{100} \cdot p_d}{p_b - p_a \cdot \frac{RH_d}{100}} \quad (\text{GD.A.8-0c})$$

Où:

p_b est la pression atmosphérique [Pa]

Données de base pour les calculs stœchiométriques

Masse atomique de l'hydrogène	$AW_H = 1,00794$ g/atome
Masse atomique du carbone	$AW_C = 12,011$ g/atome
Masse atomique du soufre	$AW_S = 32,065$ g/atome
Masse atomique de l'azote	$AW_N = 14,0067$ g/atome
Masse atomique de l'oxygène	$AW_O = 15,9994$ g/atome
Masse atomique de l'argon	$AW_{Ar} = 39,9$ g/atome
Masse molaire de l'eau	$M_{H_2O} = 18,01534$ g/mol
Masse molaire du dioxyde de carbone	$M_{CO_2} = 44,01$ g/mol
Masse molaire du monoxyde de carbone	$M_{CO} = 28,011$ g/mol
Masse molaire de l'oxygène	$M_{O_2} = 31,9988$ g/mol
Masse molaire de l'azote	$M_{N_2} = 28,011$ g/mol
Masse molaire de l'oxyde nitrique	$M_{NO} = 30,008$ g/mol
Masse molaire du dioxyde d'azote	$M_{NO_2} = 46,01$ g/mol
Masse molaire du dioxyde de soufre	$M_{SO_2} = 64,066$ g/mol
Masse molaire de l'air sec	$M_{air} = 28,965$ g/mol

Propriétés du carburant

La formule chimique du carburant peut s'écrire $C_\beta H_\alpha S_\gamma N_\delta O_\varepsilon$ où H est l'hydrogène, C le carbone, S le soufre, N l'azote et O l'oxygène. Sur la base de $\beta = 1$, les données de composition du carburant α , β , γ , δ et ε sont définies comme étant les rapports molaires de H, C, S, N et O au carbone; la formule chimique du carburant devient $C_1 H_\alpha S_\gamma N_\delta O_\varepsilon$ sur la base d'un atome de carbone par molécule. Cette relation est appliquée parce que le nombre atomique de carbone réel par molécule de carburant moyenne n'est pas connu pour les carburants réels. La masse moléculaire conventionnelle M_{fuel} [g/mol] d'une molécule de carburant moyenne $CH_\alpha S_\gamma N_\delta O_\varepsilon$ et les données de composition du carburant α , β , γ , δ et ε peuvent être calculées comme suit:

$$M_{fuel} = \alpha \cdot AW_H + \beta \cdot AW_C + \gamma \cdot AW_S + \delta \cdot AW_N + \varepsilon \cdot AW_O \quad (\text{GD.A.8-0d})$$

$$\alpha = \frac{w_H/AW_H}{w_C/AW_C}; \quad \beta = 1; \quad \gamma = \frac{w_S/AW_S}{w_C/AW_C}; \quad \delta = \frac{w_N/AW_N}{w_C/AW_C}; \quad \varepsilon = \frac{w_O/AW_O}{w_C/AW_C}$$

(GD.A.8-0e)

$$w_H = \frac{\alpha \cdot AW_H \cdot 100}{M_{\text{fuel}}} \quad w_C = \frac{\beta \cdot AW_C \cdot 100}{M_{\text{fuel}}} \quad w_S = \frac{\gamma \cdot AW_S \cdot 100}{M_{\text{fuel}}}$$

$$w_N = \frac{\delta \cdot AW_N \cdot 100}{M_{\text{fuel}}} \quad w_O = \frac{\varepsilon \cdot AW_O \cdot 100}{M_{\text{fuel}}}$$

(GD.A.8-0f)

Où:

α	=	rapport hydrogène molaire/carbone (H/C) [-]
β	=	rapport carbone molaire/carbone (C/C) [-]
γ	=	rapport soufre molaire/carbone (S/C) [-]
δ	=	rapport azote molaire/carbone (N/C) [-]
ε	=	rapport oxygène molaire/carbone (O/C) [-]
AW_H	=	masse atomique de l'hydrogène [g/mol]
AW_C	=	masse atomique du carbone [g/mol]
AW_N	=	masse atomique de l'azote [g/mol]
AW_O	=	masse atomique de l'oxygène [g/mol]
AW_S	=	masse atomique du soufre [g/mol]
M_{fuel}	=	masse moléculaire conventionnelle du carburant caractérisé par la formule $CH_{\alpha}S_{\gamma}N_{\delta}O_{\varepsilon}$ [g/mol]
w_H	=	teneur en hydrogène du carburant [% masse]
w_C	=	teneur en carbone du carburant [% masse]
w_S	=	teneur en soufre du carburant [% masse]
w_N	=	teneur en azote du carburant [% masse]
w_O	=	teneur en oxygène du carburant [% masse]

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.

- Gaz d'étalonnage – propane; le propane contourne le convertisseur NMC;
- Gaz d'étalonnage – méthane; le méthane passe à travers le convertisseur NMC.

La concentration de HCNM (c_{NMHC} [-]) et de CH_4 (c_{CH_4} [-]) doit être calculée de la manière suivante pour a):

$$c_{\text{NMHC}} = \frac{c_{\text{HC(w/NMC)}} - c_{\text{HC(w/oNMC)}} \cdot (1 - E_{\text{C}_2\text{H}_6})}{RF_{\text{CH}_4[\text{THC-FID}]} \cdot (E_{\text{C}_2\text{H}_6} - E_{\text{CH}_4})} \quad (\text{A.8-1a})$$

$$c_{CH_4} = \frac{c_{HC(w/oNMC)} \cdot (1 - E_{CH_4}) - c_{HC(w/NMC)}}{E_{C_2H_6} - E_{CH_4}} \quad (A.8-2a)$$

La concentration de HCNM et de CH₄ doit être calculée de la manière suivante pour b):

$$c_{NMHC} = \frac{c_{HC(w/oNMC)} \cdot (1 - E_{CH_4}) - c_{HC(w/NMC)} \cdot RF_{CH_4[THC-FID]} \cdot (1 - E_{CH_4})}{E_{C_2H_6} - E_{CH_4}} \quad (A.8-1b)$$

$$c_{CH_4} = \frac{c_{HC(w/NMC)} \cdot RF_{CH_4[THC-FID]} \cdot (1 - E_{CH_4}) - c_{HC(w/oNMC)} \cdot (1 - E_{C_2H_6})}{RF_{CH_4[THC-FID]} \cdot (E_{C_2H_6} - E_{CH_4})} \quad (A.8-2b)$$

Où:

$c_{HC(w/NMC)}$	=	concentration de HC avec échantillon de gaz traversant le convertisseur NMC [ppm]
$c_{HC(w/oNMC)}$	=	concentration de HC avec échantillon de gaz contournant le convertisseur NMC [ppm]
$RF_{CH_4[THC-FID]}$	=	facteur de réponse au méthane tel que déterminé au paragraphe 8.1.10.1.4 [-]
E_{CH_4}	=	efficacité à l'égard du méthane telle que déterminée au paragraphe 8.1.10.3 [-]
$E_{C_2H_6}$	=	efficacité à l'égard de l'éthane telle que déterminée au paragraphe 8.1.10.3 [-]

Si $RF_{CH_4[THC-FID]} < 1,05$, 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 gazeuses

A.8.2.1.1 Essais en conditions stationnaires

Il conviendra de calculer le taux des émissions gazeuses $q_{m\text{gas},i}$ pour chaque mode i de l'essai en conditions stationnaires. La concentration d'émissions d'un polluant gazeux particulier doit être multipliée par son débit respectif:

$$q_{m\text{gas},i} = k_h \cdot k \cdot u_{\text{gas}} \cdot q_{m\text{ew},i} \cdot c_{\text{gas},i} \cdot 3\,600 \quad (A.8-3)$$

Où:

$q_{m\text{gas},i}$	=	taux d'émissions sur le mode i de l'essai en conditions stationnaires [g/h]
k	=	1 pour $c_{\text{gasr},w,i}$ en [ppm] et $k = 10,000$ pour $c_{\text{gasr},w,i}$ en [% volume]
k_h	=	facteur de correction NO _x [-], 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)
$q_{\text{mew},i}$	=	débit massique de gaz d'échappement sur le mode i à l'état humide [kg/s]
$c_{\text{gas},i}$	=	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:

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot k_h \cdot k \cdot u_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N (q_{\text{mew},i} \cdot c_{\text{gas},i}) \quad (\text{A.8-4})$$

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 $c_{\text{gasr},w,i}$ en [ppm] et $k = 10,000$ pour $c_{\text{gasr},w,i}$ en [% volume]
u_{gas}	=	facteur spécifique des constituants (voir le paragraphe A.8.2.4)
N	=	nombre de mesures [-]
$q_{\text{mew},i}$	=	débit massique instantané de gaz d'échappement en conditions humides [kg/s]
$c_{\text{gas},i}$	=	concentration instantanée d'émissions dans les gaz d'échappement bruts en conditions humides [ppm] ou [% volume]

On trouvera dans les chapitres qui suivent la méthode de calcul des quantités nécessaires ($c_{\text{gas},i}$, u_{gas} et $q_{\text{mew},i}$).

A.8.2.2 Conversion de la concentration de sec à humide

Si les émissions sont mesurées en conditions sèches, la concentration mesurée c_d doit être convertie en concentration c_w en conditions humides au moyen de la formule générale suivante:

$$c_w = k_w \cdot c_d \quad (\text{A.8-5})$$

Où:

k_w	=	facteur de conversion de sec à humide [-]
c_d	=	concentration des émissions en conditions sèches [ppm] ou [% volume]

Pour une combustion complète, le facteur de conversion de sec à humide pour les gaz d'échappement bruts s'écrit $k_{w,a}$ [-] et doit être calculé de la manière suivante:

$$k_{w,a} = \frac{\left(1 - \frac{1,2442 \cdot H_a + 111,19 \cdot w_H \cdot \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}}}{773,4 + 1,2442 \cdot H_a + \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}} \cdot k_f \cdot 1000} \right)}{\left(1 - \frac{p_r}{p_b} \right)} \quad (\text{A.8-6})$$

Où:

- H_a = humidité de l'air d'admission [g H₂O/kg air sec]
- $q_{mf,i}$ = débit instantané de carburant [kg/s]
- $q_{mad,i}$ = débit instantané d'air d'admission sec [kg/s]
- p_r = pression de l'eau du refroidisseur [kPa]
- p_b = pression baromètre totale [kPa]
- w_H = teneur en hydrogène du carburant [% masse]
- k_f = volume additionnel de combustion [m³/kg carburant]

Avec

$$k_f = 0,055594 \cdot w_H + 0,0080021 \cdot w_N + 0,0070046 \cdot w_O \quad (\text{A.8-7})$$

Où:

- w_H = teneur en hydrogène du carburant [% masse]
- w_N = teneur en azote du carburant [% masse]
- w_O = teneur en oxygène du carburant [% masse]

Dans la formule (A.8-6), on peut prendre pour hypothèse le rapport p_r/p_b :

$$\frac{1}{\left(1 - \frac{p_r}{p_b} \right)} = 1,008 \quad (\text{A.8-8})$$

Pour une combustion complète (mélange air carburant riche) ainsi que pour les essais d'émissions qui sont la mesure directe du débit d'air, on préfère une autre méthode de calcul de $k_{w,a}$:

$$k_{w,a} = \frac{1}{1 + a \cdot 0,005 \cdot (c_{CO_2} + c_{CO})} - k_{w1} \quad (\text{A.8-9})$$

$$1 - \frac{p_r}{p_b}$$

Où:

c_{CO_2} = concentration de CO_2 dans les gaz d'échappement bruts en conditions sèches [% volume]

c_{CO} = concentration de CO dans les gaz d'échappement bruts en conditions sèches [ppm]

p_r = pression d'eau après le refroidisseur [kPa] (voir l'équation (A.8-9))

p_b = pression barométrique totale [kPa] (voir l'équation (A.8-9))

a = rapport molaire hydrogène/carbone [-]

k_{w1} = humidité de l'air d'admission [-]

$$k_{w1} = \frac{1,608 \cdot H_a}{1\,000 + 1,608 \cdot H_a} \quad (\text{A.8-10})$$

A.8.2.3 Correction des NO_x 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.

$$k_h = \frac{15,698 \cdot H_a}{1\,000} + 0,832 \quad (\text{A.8-11})$$

Où:

H_a = humidité de l'air d'admission [g H₂O/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.

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)

Gas	NO_x	CO	HC	CO_2	O_2	CH_4	
ρ_{gas} [kg/m ³]	2,053	1,250	0,621	1,9636	1,4277	0,716	
CARBURANT	ρ_c	Coefficient u_{gas} à $\lambda = 2$, air sec, 273 K, 101,3 kPa					
Diesel	1,2939	0,001587	0,000966	0,000479	0,001518	0,001103	0,000553

A.8.2.4.2 Valeurs calculées

Le facteur spécifique au constituant, $u_{\text{gas},i}$, peut être calculé au moyen du taux de densité du constituant et des gaz d'échappement ou par le rapport correspondant des masses molaires:

$$u_{\text{gas},i} = M_{\text{gas}} / (M_{e,i} \cdot 1000) \quad (\text{A.8-12})$$

ou

$$u_{\text{gas},i} = \rho_{\text{gas}} / (\rho_{e,i} \cdot 1000) \quad (\text{A.8-13})$$

Où:

M_{gas} = masse molaire du constituant gazeux [g/mol]

$M_{e,i}$ = masse molaire instantanée des gaz d'échappement bruts en conditions humides [g/mol]

ρ_{gas} = densité du constituant gazeux [kg/m^3] (**voir équation GD.A.8-0a**)

$\rho_{e,i}$ = 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 $\text{CH}_a\text{S}_\gamma\text{N}_\delta\text{O}_\varepsilon$ selon l'hypothèse d'une combustion complète, de la manière suivante:

$$M_{e,i} = \frac{1 + \frac{q_{mf,i}}{q_{maw,i}}}{\frac{q_{mf,i}}{q_{maw,i}} \cdot \frac{a}{4} + \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\delta}{2} + \frac{H_a \cdot 10^{-3}}{2 \times 1,00794 + 15,9994} + \frac{1}{M_a} + \frac{1}{1 + H_a \cdot 10^{-3}}} \quad (\text{A.8-14})$$

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]

a = 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 $\text{H}_2\text{O}/\text{kg}$ air sec]

M_a = masse moléculaire de l'air d'admission sec = 28,965 g/mol

La densité instantanée des gaz d'échappement bruts $\rho_{e,i}$ [kg/m³] doit être calculée de la manière suivante:

$$\rho_{e,i} = \frac{1000 + H_a + 1000 \cdot (q_{mf,i} / q_{mad,i})}{773,4 + 1,2434 \cdot H_a + k_f \cdot 1000 \cdot (q_{mf,i} / q_{mad,i})} \quad (\text{A.8-15})$$

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 H₂O/kg air sec]
- k_f = volume additionnel de combustion [m³/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] sera:

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} + q_{mf,i} \quad (\text{A.8-16})$$

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 fera de la manière suivante:

$$q_{mew,i} = \frac{q_{vt} \cdot \rho_e}{10^{-6} \cdot (c_{mix,i} - c_b)} \quad (\text{A.8-17})$$

Où:

- q_{vt} = débit du gaz 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:

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} \cdot \left(1 + \frac{1}{A/F_{st} \cdot \lambda_i} \right) \quad (\text{A.8-18})$$

Avec

$$A/F_{st} = \frac{138,0 \cdot \left(1 + \frac{a}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma \right)}{12,011 + 1,00794 \cdot a + 15,9994 \cdot \varepsilon + 14,0067 \cdot \delta + 32,065 \cdot \gamma} \quad (\text{A.8-19})$$

$$\lambda_i = \frac{\left(100 - \frac{c_{COd} \cdot 10^{-4}}{2} - c_{HCw} \cdot 10^{-4} \right) + \left(\frac{a}{4} \cdot \frac{1 - \frac{2 \cdot c_{COd} \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot c_{CO2d}} - \frac{\varepsilon}{2} - \frac{\delta}{2}}{1 + \frac{c_{COd} \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot c_{CO2d}}} \right) \cdot (c_{CO2d} + c_{COd} \cdot 10^{-4})}{4,764 \cdot \left(1 + \frac{a}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma \right) \cdot (c_{CO2d} + c_{COd} \cdot 10^{-4} + c_{HCw} \cdot 10^{-4})} \quad (\text{A.8-20})$$

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 CO₂ dans les gaz d'échappement bruts en conditions sèches [%]
- c_{HCw} = concentration de HC dans les gaz d'échappement bruts en conditions humides [ppm C1]
- a = 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]:

$$q_{mew,i} = q_{mf,i} \cdot \left[\frac{1,4 \cdot w_C^2}{(1,0828 \cdot w_C + k_{fd} \cdot f_c) f_c} \left(1 + \frac{H_a}{1000} \right) + 1 \right] \quad (\text{A.8-21})$$

Le facteur carbone f_c [-] étant donné par:

$$f_c = 0,5441 \cdot (c_{\text{CO2d}} - c_{\text{CO2d,a}}) + \frac{c_{\text{COd}}}{18,522} + \frac{c_{\text{HCw}}}{17,355} \quad (\text{A.8-22})$$

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 ₂ O/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 [%]
$c_{\text{CO2d,a}}$	=	concentration de CO ₂ dans l'air ambiant en conditions sèches [%]
c_{COd}	=	concentration de CO dans les gaz d'échappement bruts en conditions sèches [ppm]
c_{HCw}	=	concentration de HC dans les gaz d'échappement bruts en conditions humides [ppm]

Et le facteur k_{fd} [m³/kg carburant] 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 gazeuses

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:

$$m_{\text{gas}} = k_h \cdot k \cdot u_{\text{gas}} \cdot c_{\text{gas}} \cdot m_{\text{ed}} \quad (\text{A.8-24})$$

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 [ppm] ou [% volume] respectivement
- k_h = facteur de correction NO_x [-], qui doit être appliqué uniquement au calcul des émissions de NO_x
- k = 1 pour $c_{\text{gasr,w},i}$ en [ppm], $k = 10\,000$ pour $c_{\text{gasr,w},i}$ en [% volume]
- m_{ed} = masse 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:

$$m_{\text{gas}} = k_h \cdot k \cdot \left\{ \sum_{i=1}^N \left[\left(m_{\text{ed},i} \cdot c_e \cdot u_{\text{gas}} \right) \right] - \left[\left(m_{\text{ed}} \cdot c_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) \cdot u_{\text{gas}} \right) \right] \right\} \quad (\text{A.8-25})$$

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]
- $m_{\text{ed},i}$ = masse des gaz d'échappement dilués pendant l'intervalle de temps i [kg]
- m_{ed} = masse totale des gaz d'échappement dilués sur l'ensemble du cycle [kg]
- u_{gas} = valeur tirée du tableau A.8.2 [-]
- D = facteur de dilution (voir l'équation A.8-29 du paragraphe A.8.3.2.2) [-]
- k_h = facteur de correction des NO_x [-], 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, $m_{\text{ed},i}$ 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:

$$k_{w,e} = \left[\left(1 - \frac{\alpha \cdot c_{CO2w}}{200} \right) - k_{w2} \right] \cdot 1,008 \quad (\text{A.8-26})$$

Où

$$k_{w,e} = \left(\frac{(1 - k_{w2})}{1 + \frac{\alpha \cdot c_{CO2d}}{200}} \right) \cdot 1,008 \quad (\text{A.8-27})$$

Où:

- $k_{w,e}$ = facteur de conversion de sec à humide pour les gaz d'échappement dilués [-]
- α = rapport molaire hydrogène à carbone du carburant [-]
- c_{CO2w} = concentration de CO₂ dans les gaz d'échappement dilués à l'état humide [% volume]
- c_{CO2d} = concentration de CO₂ 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:

$$k_{w2} = \frac{1,608 \cdot \left[H_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \cdot \left(\frac{1}{D} \right) \right]}{1000 + \left\{ 1,608 \cdot \left[H_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \cdot \left(\frac{1}{D} \right) \right] \right\}} \quad (\text{A.8-28})$$

Où:

- H_a = humidité de l'air d'admission [g H₂O/kg air sec] (**voir par. A.8.1 concernant l'air humide**)
- H_d = humidité de l'air de dilution [g H₂O/kg air sec] (**voir par. A.8.1 concernant l'air humide**)
- 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:

$$D = \frac{F_s}{c_{\text{CO}_2,e} + (c_{\text{HC},e} + c_{\text{CO},e}) \cdot 10^{-4}} \quad (\text{A.8-29})$$

Où:

- F_s = facteur stœchiométrique [-]
 $c_{\text{CO}_2,e}$ = concentration de CO_2 dans les gaz d'échappement dilués à l'état humide [% volume]
 $c_{\text{HC},e}$ = concentration de HC dans les gaz d'échappement dilués à l'état humide [ppm C1]
 $c_{\text{CO},e}$ = concentration de CO dans les gaz d'échappement dilués à l'état humide [ppm]

Le facteur stœchiométrique doit être calculé de la manière suivante:

$$F_s = 100 \cdot \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{2} + 3,76 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4}\right)} \quad (\text{A.8-30})$$

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 (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:

$$D = \frac{q_{\text{vcvs}}}{q_{\text{Vew}}} \quad (\text{A.8-31})$$

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

$$k_{w,d} = (1 - k_{w3}) \cdot 1,008 \quad (\text{A.8-32})$$

Avec

$$k_{w3} = \frac{1,608 \cdot H_d}{1000 + 1,608 \cdot H_d} \quad (\text{A.8-33})$$

Où:

H_d = humidité de l'air de dilution [g H₂O/kg air sec] (**voir par. A.8.1 concernant l'air humide**)

A.8.3.2.4 Détermination de la concentration corrigée en fonction 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 utilisera la formule suivante:

$$c_{\text{gas}} = c_{\text{gas,e}} - c_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D}\right) \quad (\text{A.8-34})$$

Où:

c_{gas} = concentration nette de polluants gazeux [ppm] ou [% volume]
 $c_{\text{gas,e}}$ = concentration des émissions dans les gaz d'échappement dilués 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.

$$u = \frac{M_{\text{gas}}}{M_{\text{d,w}} \cdot 1000} = \frac{M_{\text{gas}}}{\left[M_{\text{da,w}} \cdot \left(1 - \frac{1}{D}\right) + M_{\text{r,w}} \cdot \left(\frac{1}{D}\right) \right] \cdot 1000} \quad (\text{A.8-35})$$

Où:

M_{gas} = masse molaire du constituant gazeux [g/mol] (**voir par. A.8.1 concernant les données de base pour les calculs stœchiométriques**)
 $M_{\text{d,w}}$ = masse molaire des gaz d'échappement dilués [g/mol]
 $M_{\text{da,w}}$ = masse molaire de l'air de dilution [g/mol]
 $M_{\text{r,w}}$ = masse molaire des gaz d'échappement bruts [g/mol]
 D = facteur de dilution (voir l'équation (A.8-29) du paragraphe A.8.3.2.2) [-]

Tableau A.8.2

Valeurs u des gaz d'échappement dilués et densités des constituants(les chiffres u sont calculés pour des concentrations d'émissions exprimées en ppm)

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 $\lambda = 2$, air sec, 273 K, 101,3 kPa						
Diesel	1,293	0,001588	0,000967	0,000480	0,001519	0,001104	0,000553

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:

$$m_{ed} = 1,293 \cdot V_0 \cdot n_p \cdot \frac{p_p}{101,3} \cdot \frac{273}{T} \quad (\text{A.8-36})$$

Où:

V_0 = volume de gaz pompé par tour aux conditions d'essai [m³/tr]

n_p = nombre total de tours de la pompe par essai [tr/essai]

p_p = pression absolue à l'entrée de la pompe [kPa]

T = température moyenne des gaz d'échappement dilués à l'entrée de la pompe [K]

1,293 = densité de l'air [kg/m³] 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 calculera la masse de gaz d'échappement dilués $m_{ed,i}$ [kg] pendant l'intervalle de temps de la manière suivante:

$$m_{ed,i} = 1,293 \cdot V_0 \cdot n_{p,i} \cdot \frac{p_p}{101,3} \cdot \frac{273}{\bar{T}} \quad (\text{A.8-37})$$

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]

\bar{T} = température moyenne des gaz d'échappement dilués à l'entrée de la pompe [K]

1,293 = densité de l'air [kg/m³] 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:

$$m_{ed} = \frac{1,293 \cdot t \cdot K_v \cdot p_p}{T^{0,5}} \quad (\text{A.8-38})$$

Où:

- t = durée du cycle [s]
 K_v = coefficient d'étalonnage du venturi-tuyère en régime critique pour des conditions normales $[(\sqrt{\text{K}} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s})/\text{kg}]$
 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 doit être calculée de la manière suivante:

$$m_{ed,i} = \frac{1,293 \cdot \Delta t_i \cdot K_v \cdot p_p}{T^{0,5}} \quad (\text{A.8-39})$$

Où:

- Δt_i = intervalle de temps de l'essai [s]
 K_v = coefficient d'étalonnage du venturi-tuyère en régime critique pour des conditions normales $[(\sqrt{\text{K}} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s})/\text{kg}]$
 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:

$$m_{ed} = 1,293 \cdot q_{vssv} \cdot \Delta t \quad (\text{A.8-40})$$

Où:

- 1,293 kg/m^3 = densité de l'air à 273,15 K et 101,325 kPa
 Δt = durée du cycle [s]

Avec

$$q_{VSSV} = A_0 d_v^2 C_d p_p \sqrt{\left[\frac{1}{T} (r_p^{1,4286} - r_p^{1,7143}) \cdot \left(\frac{1}{1 - r_D^4 r_p^{1,4286}} \right) \right]} \quad (\text{A.8-41})$$

Où:

$$A_0 = 0,0056940 \text{ constante de conversion pour } \left[\frac{\text{m}^3 \cdot \text{K}^{\frac{1}{2}}}{\text{min} \cdot \text{kPa} \cdot \text{mm}^2} \right]$$

$$d_v = \text{diamètre du col du SSV [mm]}$$

$$C_d = \text{coefficient de décharge du SSV [-]}$$

$$p_p = \text{pression absolue à l'entrée du venturi [kPa]}$$

$$T_{in} = \text{température à l'entrée du venturi [K]}$$

$$r_p = \text{rapport de la pression statique absolue au col et à l'entrée du SSV, } \left(1 - \frac{\Delta p}{p_a} \right) [-]$$

$$r_D = \text{rapport du diamètre du col du SSV à celui de la tuyauterie d'entrée } \frac{d}{D} [-]$$

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 devra être calculée de la manière suivante:

$$m_{ed,i} = 1,293 \cdot q_{VSSV} \cdot \Delta t_i \quad (\text{A.8-42})$$

Où:

$$1,293 \text{ kg/m}^3 = \text{densité de l'air à } 273,15 \text{ K et } 101,325 \text{ kPa}$$

$$\Delta t_i = \text{intervalle de temps [s]}$$

$$q_{VSSV} = \text{débit volumique du SSV [m}^3/\text{s]}$$

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:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{r_s \cdot 1000} \quad (\text{A.8-43})$$

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

$$r_s = \frac{m_{se}}{m_{ew}} \cdot \frac{m_{sep}}{m_{sed}} \quad (\text{A.8-44})$$

Où:

m_{se} = masse de l'échantillon de gaz d'échappement bruts sur l'ensemble du cycle [kg]

m_{ew} = masse totale des gaz d'échappement bruts sur l'ensemble du cycle [kg]

m_{sep} = masse de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte de particules [kg]

m_{sed} = masse de gaz d'échappement dilués traversant le tunnel de dilution [kg]

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

A.8.3.5.1.1.2 Calcul 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:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot \frac{m_{edf}}{1000} \quad (\text{A.8-45})$$

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:

$$m_{edf} = \frac{1}{f} \cdot \sum_{i=1}^N q_{medf,i} \quad (\text{A.8-46})$$

$$q_{medf,i} = q_{mew,i} \cdot r_{d,i} \quad (\text{A.8-47})$$

$$r_{d,i} = \frac{q_{mdew,i}}{q_{mdew,i} - q_{mdw,i}} \quad (\text{A.8-48})$$

Où:

$q_{medf,i}$ = débit 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:

$$m_{PM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot \frac{m_{ed}}{1\ 000} \quad (\text{A.8-49})$$

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

$$m_{sep} = m_{set} - m_{ssd} \quad (\text{A.8-50})$$

Où:

m_{set} = masse de gaz d'échappement doublement dilués traversant les filtres à particules [kg]

m_{ssd} = masse d'air de dilution secondaire [kg]

A.8.3.5.1.3 Correction pour concentrations ambiantes

La masse de particules $m_{PM,c}$ [g] peut être corrigée des concentrations ambiantes de la manière suivante:

$$m_{PM,c} = \left\{ \frac{m_f}{m_{sep}} - \left[\frac{m_b}{m_{sd}} \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) \right] \right\} \cdot \frac{m_{ed}}{1\ 000} \quad (\text{A.8-51})$$

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:

$$q_{medf} = q_{mew} \cdot r_d \quad (A.8-52)$$

$$r_d = \frac{q_{mdew}}{q_{mdew} - q_{mdw}} \quad (A.8-53)$$

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] doit être calculé de la manière suivante:

- a) Pour la méthode à filtre unique

$$q_{mPM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot q_{medf} \cdot \frac{3\,600}{1\,000} \quad (A.8-54)$$

$$q_{medf} = \sum_{i=1}^N q_{medfi} \cdot WF_i \quad (A.8-55)$$

$$m_{sep} = \sum_{i=1}^N m_{sepi} \quad (A.8-56)$$

Où:

q_{mPM}	=	débit massique de particules [g/h]
m_f	=	masse des particules prélevées sur le cycle [mg]
q_{medf}	=	débit massique moyen équivalent de gaz d'échappement dilués en conditions humides [kg/s]
q_{medfi}	=	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_{sepi}	=	masse d'échantillon de gaz d'échappement dilués traversant les filtres de collecte de particules sur le mode i [kg]
N	=	nombre de mesures [-]

b) Pour la méthode à filtres multiples

$$q_{mPMi} = \frac{m_{fi}}{m_{sepi}} \cdot q_{medfi} \cdot \frac{3\,600}{1\,000} \quad (\text{A.8-57})$$

Où:

q_{mPMi}	=	débit massique de particules pour le mode i [g/s]
m_{fi}	=	masse des particules collectées sur le mode i [mg]
q_{medfi}	=	débit massique équivalent de gaz d'échappement dilués en conditions humides sur le mode i [kg/s]
m_{sepi}	=	masse d'échantillon de gaz d'échappement dilués ayant traversé le filtre à particules sur le mode i [kg]

La masse 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_{mPM} [g/h] de particules peut être corrigé des concentrations ambiantes de la manière suivante:

c) Pour la méthode à filtre unique

$$q_{mPM} = \left\{ \frac{m_f}{m_{sep}} - \left[\frac{m_{f,d}}{m_d} \cdot \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{1}{D_i} \right) \cdot WF_i \right] \right\} \cdot \frac{q_{medf}}{1\,000} \quad (\text{A.8-58})$$

d) Pour la méthode à filtres multiples

$$q_{mPM} = \left\{ \frac{m_{fi}}{m_{sepi}} - \left[\frac{m_{f,d}}{m_d} \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) \right] \right\} \cdot \frac{q_{medfi}}{1\,000} \quad (\text{A.8-59})$$

Où:

q_{mPM}	=	débit massique de particules [g/h]
WF_i	=	facteur de pondération pour le mode i [-]
m_f	=	masse de particules collectées [mg]
m_{fi}	=	masse de particules collectées au mode i [mg]
$m_{f,d}$	=	masse de particules collectées dans l'air de dilution [mg]
q_{medfi}	=	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_{sepi}	=	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, $m_{f,d}/m_d$ sera remplacé par $\overline{m_{f,d}/m_d}$.

A.8.4 Travail au cours des cycles et émissions spécifiques

A.8.4.1 Émissions gazeuses

A.8.4.1.1 Cycle transitoire et cycle à modes raccordés

On se 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:

$$W_{act} = \sum_{i=1}^N P_i \cdot \Delta t_i = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{10^3} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \sum_{i=1}^N (n_i \cdot T_i) \quad (\text{A.8-60})$$

Où:

P_i	=	puissance instantanée du moteur [kW]
n_i	=	régime instantané du moteur [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:

$$e_{\text{gas}} = \frac{m_{\text{gas}}}{W_{\text{act}}} \quad (\text{A.8-61})$$

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:

$$e_{\text{gas}} = \frac{(0,1 \cdot m_{\text{cold}}) + (0,9 \cdot m_{\text{hot}})}{(0,1 \cdot W_{\text{act,cold}}) + (0,9 \cdot W_{\text{act,hot}})} \quad (\text{A.8-62})$$

En cas de régénération périodique (peu fréquente) (par. 6.6.2), les émissions spécifiques doivent être corrigées avec le facteur d'ajustement 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:

$$e_{\text{gas}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} (q_{m\text{gas},i} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} (P_i \cdot WF_i)} \quad (\text{A.8-63})$$

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 $P_i = P_{\text{maxi}} + P_{\text{auxi}}$
(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 par e_{PM} [g/kWh] et m_{PM} [g/essai] respectivement:

$$e_{\text{PM}} = \frac{m_{\text{PM}}}{W_{\text{act}}} \quad (\text{A.8-64})$$

Où:

m_{PM} = masse totale d'émissions de particules, calculée conformément au paragraphe A.8.3.4 [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

$$e_{PM} = \frac{q_{mPM}}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (\text{A.8-65})$$

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

$$e_{PM} = \frac{\sum_{i=1}^N (q_{mPMi} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (\text{A.8-66})$$

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} , sera calculé pour chaque mode de la manière suivante:

$$WF_{ei} = \frac{m_{sepi} \cdot q_{medf}}{m_{sep} \cdot q_{medfi}} \quad (\text{A.8-67})$$

Où:

m_{sepi} = masse de gaz d'échappement dilués ayant traversé les filtres de collecte des particules au mode i [kg]

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 $\pm 0,005$ (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 (système CVS)

A.8.5 Introduction

Le système CVS doit être étalonné au moyen d'un débitmètre précis et d'un restricteur variable. Le débit traversant le système sera mesuré à différents réglages de restriction et les paramètres de contrôle du système seront 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 m³/s à l'entrée de la pompe, à la pression et la température absolues) doit être tracé en fonction d'une fonction de corrélation qui est la valeur d'une combinaison spécifique de paramètres de la pompe. Il faudra 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 veillera 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 m³/s normaux à partir des données du débitmètre selon la méthode prescrite par le fabricant. Le débit d'air sera ensuite converti en débit de la pompe (V_0) en m³/tr à la température et la pression absolues à l'entrée de la pompe, et cela de la manière suivante:

$$V_0 = \frac{q_{VCVS}}{n} \cdot \frac{T}{273} \cdot \frac{101,3}{p_p} \quad (\text{A.8-68})$$

Où:

q_{VCVS} = débit d'air aux conditions normales (101,3 kPa, 273 K) [m³/s]

T = température à l'entrée de la pompe [K]

p_p = pression absolue à l'entrée de la pompe [kPa]

n = vitesse de rotation de la pompe [tr/s]

Pour tenir compte de l'interaction des variations de pression à la pompe et du taux de glissement de celle-ci, il conviendra 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:

$$X_0 = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_p}{p_p}} \quad (\text{A.8-69})$$

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:

$$V_0 = D_0 - m \cdot X_0 \quad (\text{A.8-70})$$

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 seront à peu près parallèles, et les valeurs d'ordonnée à l'origine (D_0) devront 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 $\pm 0,5$ % 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 causera une diminution du taux de glissement de la pompe, comme le montreront 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 tracera 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 ($q_{V\text{CVS}}$) 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 $K_V \left[\left(\sqrt{\text{K} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s}} \right) / \text{kg} \right]$

doit être calculé à partir des données d'étalonnage pour chaque réglage, et cela de la manière suivante:

$$K_V = \frac{q_{VCVS} \cdot \sqrt{T}}{p_p} \quad (\text{A.8-71})$$

Où:

q_{VCVS} = débit d'air en conditions normales (101,3 kPa, 273 K) [m³/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 dépassera pas $\pm 0,3$ % 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 m³/s normaux à partir des données du débitmètre avec la méthode préconisée par le fabricant. Le coefficient de décharge doit être calculé à partir des données d'étalonnage pour chaque réglage, et cela de la manière suivante:

$$C_d = \frac{q_{VSSV}}{d_V^2 p_p \sqrt{\left[\frac{1}{T_{in,V}} \left(r_p^{1,4286} - r_p^{1,7143} \right) \left(\frac{1}{1 - r_D^4 r_p^{1,4286}} \right) \right]}} \quad (\text{A.8-72})$$

Où:

q_{VSSV} = débit d'air en conditions normales (101,3 kPa, 273 K) [m³/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 sera calculé au moyen de l'équation suivante:

$$Re = A_1 \cdot \frac{q_{VSSV}}{d_V \cdot \mu} \quad (\text{A.8-73})$$

Avec

$$\mu = \frac{b \times T^{1,5}}{S + T} \quad (\text{A.8-74})$$

Où:

$$A^1 = 27,43831 \text{ constante de conversion pour } \left[\frac{1}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{min}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{m}} \right]$$

$$q_{VSSV} = \text{débit d'air en conditions normales (101,3 kPa, 273 K) [m}^3/\text{s]}$$

$$d_V = \text{diamètre du col du SSV [mm]}$$

$$\mu = \text{viscosité absolue ou dynamique du gaz [kg/ms]}$$

$$b = 1,458 \times 10^6 \text{ (constante empirique) [kg/msK}^{0,5}\text{]}$$

$$S = 110,4 \text{ (constante empirique) [K]}$$

Étant donné que q_{VSSV} est un facteur d'entrée dans l'équation Re , on devra 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 devra 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 devront s'écarter au maximum de $\pm 0,5$ % de la valeur C_d mesurée pour chaque point d'étalonnage.

Annexe A.8

Appendice 2

Correction de la dérive

A.8.6 *Calculs*

Les calculs du présent appendice sont à effectuer conformément aux descriptions données dans l'appendice 2 à l'annexe A.7.

$$c_{\text{idriftcor}} = c_{\text{refzero}} + (c_{\text{refspan}} - c_{\text{refzero}}) \frac{2c_i - (c_{\text{prezero}} + c_{\text{postzero}})}{(c_{\text{prespan}} + c_{\text{postspan}}) - (c_{\text{prezero}} + c_{\text{postzero}})} \quad (\text{A.8-75})$$

Où:

$c_{\text{idriftcor}}$	=	concentration corrigée 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 \bar{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]

Annexe A.8

Appendice 3

Exemple de procédure de calcul

Exemple 1: Émissions gazeuses d'un moteur à allumage par compression alimenté au gazole – gaz d'échappement bruts; essai en conditions stationnaires à modes discrets (cycle d'essai à 8 modes présenté à l'alinéa a du paragraphe A.1.1 de l'annexe A.1).

Les valeurs mesurées au cours du cycle d'essai à 8 modes sont indiquées ci-après. Dans le présent exemple, les valeurs CO, CO₂ et NO_x sont mesurées en conditions sèches et les valeurs HC, en conditions humides. Les calculs sont exposés en détail pour le mode 1; pour les autres modes, seuls les résultats sont fournis. À la fin de la procédure de calcul, on compare les résultats d'émissions obtenus au moyen de la méthode de calcul sur base massique à ceux obtenus au moyen de la méthode de calcul sur base molaire (voir l'appendice 3 de l'annexe A.7).

Valeurs mesurées	Unité	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8
AIR D'ADMISSION									
Pression barométrique totale	pb [kPa]	101,300	101,300	101,300	101,300	101,300	101,300	101,300	101,300
Humidité relative de l'air d'admission	RHa [%]	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00	54,00
Température de l'air d'admission	Ta [°C]	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Débit-masse d'air	qmaw [kg/h]	966,11	924,74	815,64	484,77	803,51	719,52	573,55	145,33
CARBURANT									
Rapport H/C α	-	1,8529	1,8529	1,8529	1,8529	1,8529	1,8529	1,8529	1,8529
Rapport O/C ε	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Rapport S/C γ	-	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Débit-masse du carburant	qmf [kg/h]	37,79	30,56	21,86	7,33	37,29	28,18	19,55	1,67
MESURES									
Température du bain de refroidissement	Tcooler [°C]	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64
CO en conditions sèches	CO [ppm]	56,00	59,00	66,00	86,00	98,00	73,00	74,00	47,00
NO _x en conditions sèches	NO _x [ppm]	423,00	268,00	179,00	140,00	507,00	396,00	291,00	208,00
HC en conditions humides	HC [ppmC1]	46,00	123,00	106,00	154,00	102,00	107,00	119,00	119,00
CO ₂ en conditions sèches	CO ₂ [% vol]	8,61	7,20	5,73	3,06	10,10	8,40	7,18	2,16
O ₂ en conditions sèches	O ₂ [% vol]	12,40	13,81	15,27	17,94	10,90	12,60	13,82	18,85
CONDITIONS D'ESSAI									
Rapport air/carburant	λ -	1,76	2,08	2,57	4,55	1,48	1,76	2,02	5,99
Puissance du moteur	P [kW]	161,00	121,60	81,10	16,40	167,20	125,50	83,70	5,00

Étape 1: Paramètres pour l'air ambiant et le carburant (par. A.8.1)**Densité de l'air sec = 1,293 kg/m³ (273,15 K et 101,325 kPa)****(GD.A.8-0b):**

$$P_a = \exp \left[\begin{aligned} & -12,150799 \times \ln(298,16) - 8499,22 \times (298,16)^{-2} - 7\,423,1865 \times (298,16)^{-1} + \\ & + 96,1635147 + 0,024917646 \times 298,16 - 1,3160119 \times 10^{-5} \times (298,16)^2 + \\ & + (-1,1460454 \times 10^{-8}) \times (298,16)^3 + 2,1701289 \times 10^{-11} \times (298,16)^4 + \\ & + (-3,610258 \times 10^{-15}) \times (298,16)^5 + 3,8504519 \times 10^{-18} \times (298,16)^6 + \\ & - 1,4317 \times 10^{-21} \times (298,16)^7 \end{aligned} \right] = 3170,5 \text{ Pa} = 3,1705 \text{ kPa} \approx 3,17 \text{ kPa}$$

$$\text{(GD.A.8-0c): } H_a = \frac{621,8 \times \frac{54}{100} \times 3,17}{101,3 - 3,17 \times \frac{54}{100}} = 10,690 \frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{kg dry air}}$$

$$\text{(GD.A.8-0d): } M_{fuel} = 1,8529 \times 1,0079 + 1 \times 12,0110 + 0,0002 \times 32,0600 + 0 + 0 = 13,885 \text{ g/mol}$$

$$\text{(GD.A.8-0f): } w_H = \frac{\alpha \cdot AW_H \cdot 100}{M_{fuel}} = \frac{1,8529 \times 1,0079 \times 100}{13,885} = 13,45\%$$

$$w_C = \frac{\beta \cdot AW_C \cdot 100}{M_{fuel}} = \frac{1 \times 12,0110 \times 100}{13,885} = 86,50\%$$

$$w_S = \frac{\gamma \cdot AW_S \cdot 100}{M_{fuel}} = \frac{0,0002 \times 32,0600 \times 100}{13,885} = 0,05\%$$

$$w_N = w_O = 0$$

Étape 2: Correction conditions sèches/conditions humides (par. A.8.2.2 et A.8.3.2.3)

$$\text{(A.8-33): } k_{w3} = \frac{1,608 \cdot H_a}{1000 + (1,608 \cdot H_a)} = \frac{1,608 \times 10,690}{1000 + 1,608 \times 10,690} = 0,0169$$

$$\text{(A.8-32): } k_{w,d} = (1 - k_{w3}) \cdot 1,008 = (1 - 0,0169) \times 1,008 = 0,9914$$

$$\text{(A.8-7): } k_f = 0,055594 \times 13,45 + 0,0080021 \times 0 + 0,0070046 \times 0 = 0,748 \frac{\text{m}^3}{\text{kg fuel}}$$

$$\text{(A.8-23): } k_{fd} = k_f - 0,11118 \cdot w_H = 0,748 - 0,11118 \times 13,45 = -0,748 \frac{\text{m}^3}{\text{kg fuel}}$$

$$q_{mad,1} = \frac{q_{maw,1}}{\left(1 + \frac{H_a}{1000}\right)} = \frac{996,1}{\left(1 + \frac{10,69}{1000}\right)} = 955,89 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{(A.8-6) et (A.8-8): } k_{w,r,1} = \left(1 - \frac{1,2442 \times 10,69 + 111,19 \times 13,45 \times \frac{37,79}{955,89}}{773,4 + 1,2442 \times 10,69 + \frac{37,79}{955,89} \times 0,748 \times 1000} \right) \times 1,008 = 0,9190$$

	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8
q_{mad} [kg/h]	955,89	914,96	807,01	479,64	795,01	711,90	567,48	143,79
$k_{w,r}$	0,9190	0,9299	0,9412	0,9628	0,9061	0,9189	0,9280	0,9696

(A.8-5): $c_{CO_r,w,1} = k_{w,r} \cdot c_{CO_r,d} = 0,9190 \times 56 = 51,464 \text{ ppm}$

$$c_{CO_{2r,w,1}} = k_{w,r} \cdot c_{CO_{2r,d}} = 0,9190 \times 8,61 = 7,912\%$$

$$c_{HC_r,w,1} = c_{HC_r,d} = 46 \text{ ppm}$$

$$c_{NO_{xr,w,1}} = k_{w,r} \cdot c_{NO_{xr,d}} = 0,9190 \times 423 = 388,737 \text{ ppm}$$

	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8
c_{CO_w} [ppm]	51,46	54,874	62,130	82,803	88,822	67,097	68,687	45,571
$c_{CO_{2w}}$ [% vol]	7,91	6,692	5,396	2,942	9,154	7,720	6,666	2,089
c_{HC_w} [ppm]	46,00	123,000	106,000	154,000	102,000	107,000	119,000	119,000
$c_{NO_{xw}}$ [ppm]	388,74	249,216	168,4829	134,7920	459,3937	363,8990	270,0593	201,6759

(A.8-14):

$$M_{e,1} = \frac{1 + \frac{37,79}{966,11}}{\frac{37,79}{966,11} \times \frac{1,8529}{4} + 0 + 0 + \frac{10,69 \times 10^{-3}}{2 \times 1,00794 + 15,9994} + \frac{1}{28,97}} = 28,828 \frac{g}{mol}$$

(A.8-12): $u_{CO,1} = \frac{M_{CO}}{(M_{e,1} \cdot 1000)} = \frac{28,005}{28,828 \times 1000} = 0,0009714$

$$u_{CO_{2,1}} = \frac{M_{CO_2}}{(M_{e,1} \cdot 1000)} = \frac{43,999}{28,828 \times 1000} = 0,0015263$$

$$u_{HC,1} = \frac{M_{HC}}{(M_{e,1} \cdot 1000)} = \frac{13,885}{28,828 \times 1000} = 0,0004817$$

$$u_{NO_{x,1}} = \frac{M_{NO_x}}{(M_{e,1} \cdot 1000)} = \frac{46,01}{28,828 \times 1000} = 0,0015960$$

	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8
M_e [g/mol]	28,828	28,821	28,815	28,802	28,835	28,828	28,822	28,798

u_{gas}	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8
u_{NO_x}	0,0015960	0,0015964	0,0015968	0,0015975	0,0015956	0,0015960	0,0015963	0,0015977
u_{CO}	0,0009714	0,0009717	0,0009719	0,0009723	0,0009712	0,0009715	0,0009716	0,0009725
u_{HC}	0,0004817	0,0004818	0,0004819	0,0004821	0,0004815	0,0004817	0,0004817	0,0004822
u_{CO_2}	0,0015263	0,0015266	0,0015270	0,0015277	0,0015259	0,0015263	0,0015266	0,0015279

Les valeurs du tableau A.8.1 sont rappelées ci-après aux fins de la comparaison:

u_{gas}	
u_{NOx}	0,001587
u_{CO}	0,000966
u_{HC}	0,000479
u_{CO2}	0,001518

Étape 3: Débit massique des gaz d'échappement – Méthode de mesure directe et autres méthodes (par. A.8.2.5)

Mesure directe:

$$(A.8-16): q_{mew,1} = q_{maw,1} + q_{mf,1} = 966,11 + 37,79 = 1\,003,90 \text{ kg/h} = 278,861 \text{ g/s}$$

	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8
q_{mew} [kg/h]	1 003,90	955,30	837,50	492,10	840,80	747,70	593,10	147,00
q_{mew} [g/s]	278,861	265,361	232,639	136,694	233,556	207,694	164,750	40,833

Gaz témoin ($qV_t = 0,011 \text{ m}^3/\text{s}$, $c_{\text{mix},1} = 50800 \text{ ppm}$ et $c_b = 0 \text{ ppm}$):

$$(GD.A.8-0a): \rho_e = \frac{M_e}{22,414} = \frac{28,828}{22,414} = 1,286 \text{ g/l} = 1,286 \text{ kg/m}^3$$

$$(A.8-17): q_{mew,1} = \frac{qV_t \cdot \rho_{e,1}}{10^{-6} \times (c_{\text{mix},1} - c_b)} = \frac{0,011 \cdot 1,286}{10^{-6} \times (50\,800 - 0)} = 0,278497 \text{ kg/s} = 278,497 \text{ g/s}$$

Mesure du débit d'air et du rapport air/carburant:

$$(A.8-19): A/F_{st} = \frac{138,0 \times \left(1 + \frac{1,8529}{4} - 0 + 0,0002\right)}{12,011 + 1,00794 \times 1,8529 + 15,9994 \times 0 + 14,0067 \times 0 + 32,065 \times 0,0002} = 14,545 \text{ mol/mol}$$

(A.8-20):

$$\lambda_1 = \frac{\left(100 - \frac{56 \times 10^{-4}}{2} - 46 \times 10^{-4}\right) + \left(\frac{1,8529}{4} \times \frac{1 - \frac{2 \times 56 \times 10^{-4}}{3,5 \times 8,61}}{1 + \frac{56 \times 10^{-4}}{3,5 \times 8,61}} - \frac{0}{2} - \frac{0}{2}\right) \times (8,61 + 56 \times 10^{-4})}{4,764 \times \left(1 + \frac{1,8529}{4} - \frac{0}{2} + 0,0002\right) \times (8,61 + 56 \times 10^{-4} + 46 \times 10^{-4})} = 1,731$$

$$(A.8-18): q_{mew,1} = 0,268 \times \left(1 + \frac{1}{14,545 \times 1,731}\right) = 0,2790 \text{ kg/s} = 279,0 \text{ g/s}$$

Bilan carbone:

$$(A.8-22): f_c = 0,5441 \times (8,61 - 0,04) + \frac{56}{18\,522} + \frac{46}{17\,355} = 4,668$$

(A.8-21):

$$q_{mew,1} = 0,0105 \times \left(\frac{1,4 \times 86,5^2}{(1,0828 \times 86,5 - 0,748 \times 4,668) \times 4,668} \left(1 + \frac{10,690}{1000} \right) + 1 \right) = 0,2746022 \text{ kg/s} = 274,6022 \text{ g/s}$$

Comparaison entre la méthode de mesure directe et les autres méthodes pour le débit massique des gaz d'échappement sur le mode 1:

	Mesure directe (DM)	Gaz témoin	Rapport air/carburant	Bilan carbone
q_{mew} [g/s]	278,861	278,497	279,022	274,6022
Δ [%]	-	-0,130	0,058	-1,527

Étape 4: Calcul du débit massique des émissions gazeuses (par. A.8.2.1.1)

Correction des valeurs NO_x en fonction de l'humidité de l'air d'admission:

$$(A.8-11): k_h = \frac{15,698 \cdot H_a}{1000} + 0,832 = \frac{15,698 \times 10,69}{1000} + 0,832 = 0,9998$$

(A.8-3):

$$q_{mCO,1} = 1 \times 0,0009715 \times 278,861 \times 51,48 \times 3,6 = 50,208 \text{ g/h}$$

$$q_{mCO_2,1} = 10\,000 \times 7,91 \times 0,0015263 \times 278,861 \times 3,6 = 121\,201,13 \text{ g/h}$$

$$q_{mHC,1} = 1 \times 0,0004817 \times 278,861 \times 46 \times 3,6 = 22,244 \text{ g/h}$$

$$q_{mNO_x,1} = 0,9998 \times 1 \times 0,00159625 \times 278,861 \times 388,737 \times 3,6 = 622,817 \text{ g/h}$$

	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8
q_{mCO} [g/h]	50,202	50,936	50,572	39,620	72,531	48,736	39,583	6,515
q_{mCO_2} [g/h]	121 201,13	97 591,87	69 004,29	22 119,75	117 442,47	88 097,71	60 357,03	4 692,90
q_{mHC} [g/h]	22,244	56,608	42,778	36,534	41,296	38,534	34,001	8,434
q_{mNO_x} [g/h]	622,817	380,0421	225,2985	105,9569	616,2818	434,2360	255,6736	47,3635

	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8
q_{mCO} [g/s]	0,014	0,014	0,014	0,011	0,020	0,014	0,011	0,002
q_{mCO_2} [g/s]	33,666	27,109	19,168	6,144	32,623	24,472	16,766	1,304
q_{mHC} [g/s]	0,006	0,016	0,012	0,010	0,011	0,011	0,009	0,002
q_{mNO_x} [g/s]	0,173	0,105	0,063	0,029	0,171	0,121	0,071	0,013

Résultats d'émissions obtenus à partir des valeurs u_{gas} du tableau:

	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8
q_{mCO} [g/h]	49,920	50,639	50,264	39,362	72,143	48,463	39,353	6,471
q_{mCO_2} [g/h]	120 540,6	97 041,276	68 598,927	21 980,016	116 837,28	87 620,52	60 018,82	4 662,60
q_{mHC} [g/h]	22,120	56,283	42,523	36,300	41,080	38,322	33,807	8,379
q_{mNO_x} [g/h]	618,807	377,479	223,716	105,156	612,492	431,426	253,961	46,998

	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8
q_{mCO} [g/s]	0,014	0,014	0,014	0,011	0,020	0,013	0,011	0,002
q_{mCO_2} [g/s]	33,484	26,956	19,055	6,106	32,455	24,339	16,672	1,295
q_{mHC} [g/s]	0,006	0,016	0,012	0,010	0,011	0,011	0,009	0,002
q_{mNO_x} [g/s]	0,172	0,105	0,062	0,029	0,170	0,120	0,071	0,013

Étape 5: Émissions spécifiques (par. A.8.4.1.2)

(A.8-63):

$$e_{CO} = \frac{\sum_{i=1}^8 q_{mCO,i} \cdot WF_i}{\sum_{i=1}^8 P_i \cdot WF_i} = \frac{50,202 \times 0,15 + 50,936 \times 0,5 + \dots + 39,583 \times 0,1 + 6,515 \times 0,15}{161,0 \times 0,15 + 121,6 \times 0,15 + \dots + 83,7 \times 0,1 + 5,0 \times 0,15} = 0,463 \text{ g/kWh}$$

$$e_{CO_2} = \frac{\sum_{i=1}^8 q_{mCO_2,i} \cdot WF_i}{\sum_{i=1}^8 P_i \cdot WF_i} = \frac{121197,37 \times 0,15 + 97\,591,87 \times 0,15 + \dots + 4\,692,90 \times 0,15}{161,0 \times 0,15 + 121,6 \times 0,15 + \dots + 5,0 \times 0,15} = 768,353 \text{ g/kWh}$$

$$e_{HC} = \frac{\sum_{i=1}^8 q_{mHC,i} \cdot WF_i}{\sum_{i=1}^8 P_i \cdot WF_i} = \frac{22,242 \times 0,15 + 56,608 \times 0,15 + \dots + 34,001 \times 0,1 + 8,434 \times 0,15}{161,0 \times 0,15 + 121,6 \times 0,15 + \dots + 83,7 \times 0,1 + 5,0 \times 0,15} = 0,365 \text{ g/kWh}$$

$$e_{NO_x} = \frac{\sum_{i=1}^8 q_{mNO_x,i} \cdot WF_i}{\sum_{i=1}^8 P_i \cdot WF_i} = \frac{622,328 \times 0,15 + 379,712 \times 0,15 + \dots + 255,454 \times 0,1 + 47,315 \times 0,15}{161,0 \times 0,15 + 121,6 \times 0,15 + \dots + 83,7 \times 0,1 + 5,0 \times 0,15} = 3,516 \text{ g/kWh}$$

Comparaison entre les résultats d'émissions spécifiques obtenus à partir des valeurs du tableau et ceux obtenus à partir des valeurs calculées:

	Valeurs calculées	Valeurs du tableau	Δ%
CO ₂ [g/kWh]	768,353	764,098	-0,554
CO [g/kWh]	0,463	0,460	-0,648
HC [g/kWh]	0,365	0,363	-0,548
NO _x [g/kWh]	3,516	3,493	-0,654

Comparaison entre les résultats d'émissions obtenus au moyen de la méthode de calcul sur base molaire et ceux obtenus au moyen de la méthode de calcul sur base massique:

	Méthode de calcul sur base molaire	Méthode de calcul sur base massique	Δ%
CO ₂ [g/kWh]	774,926	768,353	0,86
CO [g/kWh]	0,467	0,463	0,86
HC [g/kWh]	0,365	0,365	0
NO _x [g/kWh]	3,546	3,516	0,85

Exemple 2: Émissions gazeuses d'un moteur à allumage par compression alimenté au gazole – gaz d'échappement dilués; essai en conditions transitoires (selon le programme décrit à l'alinéa a) du paragraphe A.1.3 de l'annexe A.1).

Pour le calcul des émissions massiques instantanées, les résultats des mesures au point i du cycle d'essai (fréquence d'acquisition des données de 1 Hz) sont indiqués ci-après. Dans le présent exemple, les valeurs CO et CO₂ sont mesurées en conditions sèches et les valeurs HC et NO_x en conditions humides. La procédure de calcul est la même pour les autres points du cycle.

N	n_{eng} [rpm]	Couple [N·m]	q_{vcvs} [m ³ /s]	c_{NOxw} [ppm]	c_{HCw} [ppm]	c_{COd} [ppm]	c_{CO2d} [% vol]	q_{maw} [kg/h]	q_{mf} [kg/h]
1									
2									
3									
4			0						
i			0,89810	77,715	6,453	158,869	0,935	226,391	0,670
...									
1200									

Air d'admission

Pression barométrique totale	p_b	[Pa]	99 051,9
Pression de vapeur partielle	p_{H_2O}	[Pa]	1 825,3
Température de l'air d'admission	T_a	[K]	297,1

Air de dilution

Pression barométrique totale	p_b	[Pa]	99 051,9
Pression de vapeur partielle	p_{H_2O}	[Pa]	1 994,6
Température de l'air de dilution	T_d	[K]	296,6
Concentration ambiante de CO	$C_{COb,w,i}$	[ppm]	3
Concentration ambiante de CO ₂	$C_{CO2b,w,i}$	[ppm]	0,04
Concentration ambiante de HC	$C_{HCb,w,i}$	[ppm]	2
Concentration ambiante de NO _x	$C_{NOxb,w,i}$	[ppm]	0,3

Carburant

Rapport H/C α	–	–	1,853
Système de collecte de particules			
Masse de particules collectée sur le cycle complet	m_f	[mg]	1,866
Masse de particules dans l'air de dilution	m_b	[mg]	0,043
Volume total passant par le filtre	V_{set}	[m ³]*	2,1647
Volume de prélèvement sur le cycle complet	V_{sep}	[m ³]*	1,299
Volume total des gaz d'échappement sur le cycle complet	V_{ed}	[m ³]*	1 080,55
Volume d'air de dilution secondaire	V_{ssd}	[m ³]*	0,8655

* Valeurs de référence: 293,15 K et 101,325 kPa.

Étape 1: Paramètres pour l'air ambiant et le carburant (par. A.8.1)**Densité de l'air sec: 1,293 kg/m³****(GD.A.8-0c):****Humidité de l'air d'admission:**

$$H_a = \frac{621,8 \cdot \frac{RH_a}{100} \cdot p_a}{p_b - \frac{RH_a}{100} \cdot p_a} = \frac{621,8 \times 1825,3}{99\,051,9 - 1825,3} = 11,673 \text{ gH}_2\text{O/kg dry air}$$

Humidité de l'air de dilution:

$$H_d = \frac{621,8 \cdot \frac{RH_d}{100} \cdot p_d}{p_b - \frac{RH_d}{100} \cdot p_d} = \frac{621,8 \times 1994,6}{99\,051,9 - 1994,6} = 12,778 \text{ gH}_2\text{O/kg dry air}$$

(GD.A.8-0d): $M_{fuel} = 1,853 \times 1,0079 + 1 \times 12,0110 = 13,885 \text{ g/mol}$

$$\text{(GD.A.8-0f): } w_H = \frac{\alpha \cdot AW_H \cdot 100}{M_{fuel}} = \frac{1,853 \times 1,0079 \times 100}{13,885} = 13,45\%$$

$$w_C = \frac{\beta \cdot AW_C \cdot 100}{M_{fuel}} = \frac{1 \times 12,0110 \times 100}{13,885} = 86,50\%$$

$$w_S = w_N = w_O = 0$$

Étape 2: Correction conditions sèches/conditions humides (par. A.8.2.2 et A.8.3.2.3)**Air d'admission:**

$$\text{(A.8-33): } k_{w3} = \frac{1,608 \cdot H_a}{1\,000 + (1,608 \cdot H_a)} = \frac{1,608 \times 11,673}{1\,000 + 1,608 \times 11,673} = 0,0184$$

$$\text{(A.8-32): } k_{w,a} = (1 - k_{w3}) \cdot 1,008 = (1 - 0,0184) \times 1,008 = 0,9899$$

Air de dilution:

$$\text{(A.8-33): } k_{w3} = \frac{1,608 \cdot H_d}{1\,000 + (1,608 \cdot H_d)} = \frac{1,608 \times 12,778}{1\,000 + 1,608 \times 12,778} = 0,0202$$

$$\text{(A.8-32): } k_{w,d} = (1 - k_{w3}) \cdot 1,008 = (1 - 0,0202) \times 1,008 = 0,9881$$

$$\text{(A.8-7): } k_f = 0,055594 \times 13,45 + 0,0080021 \times 0 + 0,0070046 \times 0 = 0,748 \text{ m}^3/\text{kg fuel}$$

$$\text{(A.8-23): } k_{fd} = k_f - 0,11118 \cdot w_H = 0,748 - 0,11118 \times 13,45 = -0,748 \text{ m}^3/\text{kg fuel}$$

$$\text{(A.8-14): } M_{e,i} = \frac{1 + \frac{0,670}{223,2}}{\frac{0,670}{223,2} \times \frac{1,8529}{4} + 0 + 0 + \frac{11,673 \times 10^{-3}}{2 \times 1,0079 + 15,9994} + \frac{1}{28,97}} = 28,771 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$\frac{1 + \frac{0,670}{223,2}}{\frac{0,670}{223,2} \times \frac{1,8529}{13,885} + \frac{11,673 \times 10^{-3}}{1 + 11,673 \times 10^{-3}} + \frac{1}{28,97}}$$

$q_{mew,i}$ = débit massique de gaz d'échappement bruts au point i [kg/s]:

$$q_{mew,1} = q_{maw,i} + q_{mf,i} = \frac{226,391 + 0,670}{3\,600} = 0,0630725 \text{ kg/s}$$

Volume de gaz d'échappement bruts au point i , $q_{Vew,i}$:

$$q_{Vew,i} = q_{mew,i} \cdot \frac{R \cdot T}{M_{e,i} \cdot p} = 0,0630725 \frac{8\,314,51 \times 293,15}{28,771 \times 101\,321} = 0,05274 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$(A.8-31): D_i = \frac{q_{VCVS}}{q_{Vew,i}} = \frac{0,89810}{0,05274} = 17,0196$$

$$(A.8-28): k_{w2,i} = \frac{1,608 \times \left[12,778 \cdot \left(1 - \frac{1}{27,151} \right) + 11,673 \cdot \left(\frac{1}{27,151} \right) \right]}{1\,000 + \left\{ 1,608 \times \left[12,778 \cdot \left(1 - \frac{1}{27,151} \right) + 11,673 \cdot \left(\frac{1}{27,151} \right) \right] \right\}} = 0,0201$$

$$(A.8-27): k_{w,e} = \left(\frac{(1 - k_{w2,i})}{1 + \frac{\alpha \cdot c_{CO2,d,i}}{200}} \right) \times 1,008 = \frac{(1 - 0,0201)}{1 + \frac{1,853 \times 1,906}{200}} \times 1,008 = 0,971$$

Concentrations corrigées

$$(A.8-5): c_{COd,w,i} = k_{w,e,i} \cdot c_{COd,d,i} = 0,971 \times 158,869 = 154,26 \text{ ppm}$$

$$c_{CO2d,w,i} = k_{w,e,i} \cdot c_{CO2d,d,i} = 0,971 \times 0,935 = 0,908\%$$

$$c_{HCD,w,i} = 6,453 \text{ ppm}$$

(A.8-34):

$$c_{COc,w,i} = c_{COd,w,i} - c_{COb,w,i} \cdot \left(1 - \frac{1}{D_i} \right) = 154,350 - 3 \times \left(1 - \frac{1}{17,0196} \right) = 151,1763 \text{ ppm}$$

$$c_{CO2c,w,i} = c_{CO2d,w,i} - c_{CO2b,w,i} \cdot \left(1 - \frac{1}{D_i} \right) = 0,909 - 0,04 \times \left(1 - \frac{1}{17,0196} \right) = 0,87135\%$$

$$c_{HCc,w,i} = c_{HCD,w,i} - c_{HCB,w,i} \cdot \left(1 - \frac{1}{D_i} \right) = 6,453 - 2 \times \left(1 - \frac{1}{17,0196} \right) = 4,571 \text{ ppm}$$

$$c_{NOxc,w,i} = c_{NOxd,w,i} - c_{NOxb,w,i} \cdot \left(1 - \frac{1}{D_i} \right) = 77,715 - 0,3 \times \left(1 - \frac{1}{17,0196} \right) = 77,432 \text{ ppm}$$

Valeurs reprises du tableau A.8.2:

	u_{gas}
NO _x	0,001588
CO	0,000967
HC	0,000480
CO ₂	0,001519

Étape 3: Débit massique de gaz d'échappement**Paragraphe A.8.3.4, par exemple (A.8-42):**

$$m_{ed,i} = \rho_a \cdot q_{V_{CVS,i}} \cdot \Delta t_i = 1,293 \times 0,89810 \times 1 = 1,16124 \text{ kg} = 1161 \text{ g}$$

Étape 4: Masse des émissions**Correction des valeurs NO_x en fonction de l'humidité de l'air d'admission:**

$$(A.8-11): k_h = \frac{15,698 \cdot H_a}{1000} + 0,832 = \frac{15,698 \times 11,673}{1000} + 0,832 = 1,0221$$

(A.8-24):

$$m_{CO,i} = k \cdot u_{CO} \cdot c_{CO,w,i} \cdot m_{ed,i} = 1 \times 0,000967 \times 151,1763 \times 1,161 = 0,1698 \text{ g}$$

$$m_{CO_2,i} = k \cdot u_{CO_2} \cdot c_{CO_2,w,i} \cdot m_{ed,i} = 10\,000 \times 0,001519 \times 0,909 \times 1,161 = 16,031 \text{ g}$$

$$m_{HC,i} = k \cdot u_{HC} \cdot c_{HC,w,i} \cdot m_{ed,i} = 1 \times 0,000480 \times 4,571 \times 1,161 = 0,00255 \text{ g}$$

$$m_{NO_x,i} = k_h \cdot k \cdot u_{NO_x} \cdot c_{NO_x,w,i} \cdot m_{ed,i} = 1,0221 \times 1 \times 0,0015588 \times 79,149 \times 1,161 = 0,146 \text{ g}$$

(A.8-4):

$$m_{CO} = 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^n m_{ed,i} \cdot c_{CO,w,i} \cdot u_{CO} = 23,169 \text{ g}$$

$$m_{CO_2} = 10^1 \cdot \sum_{i=1}^n m_{ed,i} \cdot c_{CO_2,w,i} \cdot u_{CO_2} = 11\,608,012 \text{ g}$$

$$m_{HC} = 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^n m_{ed,i} \cdot c_{HC,w,i} \cdot u_{HC} = 2,601 \text{ g}$$

$$m_{NO_x} = 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^n m_{ed,i} \cdot c_{NO_x,w,i} \cdot u_{NO_x} = 69,513 \text{ g}$$

Étape 5: Émissions gazeuses spécifiques

$$(A.8-60): W_{act} = \sum_{i=1}^N P_i \cdot \Delta t_i = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{3\,600} \cdot \frac{1}{10^3} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \sum_{i=1}^N (n_i \cdot T_i) \Rightarrow W_{act} = 14,614 \text{ kWh}$$

$$(A.8-61): e_{gas} = \frac{m_{gas}}{W_{act}} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} NO_x = 4,757 \text{ g/kWh} \\ CO = 1,585 \text{ g/kWh} \\ HC = 0,178 \text{ g/kWh} \\ CO_2 = 794,287 \text{ g/kWh} \end{array} \right.$$

Exemple 3: Émissions de particules d'un moteur à allumage par compression alimenté au gazole – gaz d'échappement dilués; essai en conditions transitoires avec les mêmes données d'entrée que dans l'exemple 2.

$$M_{a,d} = M_a \cdot (1 - H_d) + M_{H_2O} \cdot H_d = 28,97 \cdot \left(1 - \frac{12,778}{1000}\right) + 18,0152 \cdot \frac{12,778}{1000} = 28,83 \text{ g/mol}$$

$$m_{set} = V_{set} \cdot \frac{P \cdot M_e}{R \cdot T} = 2,1647 \cdot \frac{101\,321 \times 28,771}{8\,314,51 \times 293,15} = 2,5891 \text{ kg}$$

$$m_{ssd} = V_{ssd} \cdot \frac{p \cdot M_{a,d}}{R \cdot T} = 0,8655 \cdot \frac{101\,321 \times 28,83}{8\,314,51 \times 293,15} = 1,03731 \text{ kg}$$

$$m_{ed} = V_{ed} \cdot \frac{p \cdot M_e}{R \cdot T} = 1\,080,55 \cdot \frac{101\,321 \times 28,771}{8\,314,51 \times 293,15} = 1\,292,4072 \text{ kg}$$

$$(A.8-56): m_{sep} = m_{set} - m_{ssd} = 2,5891 - 1,0344 = 1,5547 \text{ kg}$$

$$(A.8-31): D = \frac{q_{set}}{q_{sep}} = \frac{V_{set}}{V_{sep}} = \frac{2,1647}{1,299} = 1,6664$$

$$(A.8-51): m_{PM,c} = \left\{ \frac{1,866}{1,5547} - \left[\frac{0,043}{1,12} \left(1 - \frac{1}{1,6664} \right) \right] \right\} \frac{1\,291,4072}{1\,000} = 1,530 \text{ g}$$

$$(A.8-64): e_{PM} = \frac{m_{PM}}{W_{act}} = \frac{1,530}{14,614} = 0,105 \text{ g/kWh}$$

Annexe A.9

Systèmes d'analyse des gaz d'échappement et de prélèvement des particules

A.9.1 *Système d'analyse pour les gaz d'échappement bruts et dilués*

A.9.1.1 Introduction

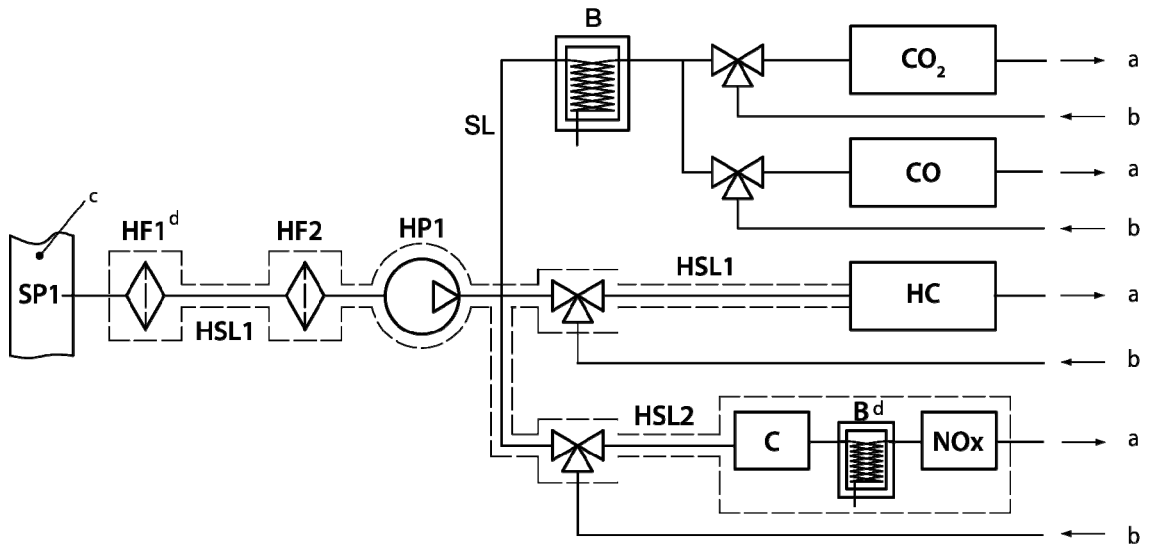
Cet appendice énonce des prescriptions de base et donne une description générale concernant les systèmes recommandés de prélèvement et d'analyse. Des configurations différentes peuvent permettre d'obtenir des résultats équivalents, et la stricte conformité aux figures A.9.1 et A.9.2 n'est donc pas exigée. Toutefois, les prescriptions de base concernant les dimensions de la ligne de prélèvement, le chauffage des appareils et la conception doivent être respectées. Des éléments additionnels tels qu'appareils de mesure, robinets, électrovannes, pompes, régulateurs de débit et interrupteurs peuvent être utilisés pour collecter des informations supplémentaires et pour coordonner les fonctions du système. D'autres éléments qui, dans certains systèmes, ne sont pas nécessaires pour garantir la justesse des mesures peuvent être omis si cela est compatible avec les règles de bonne pratique technique.

A.9.1.2 Description du système d'analyse

Le système d'analyse pour la mesure des émissions gazeuses dans les gaz d'échappement bruts (fig. A.9.1) ou dans les gaz d'échappement dilués (fig. A.9.2) décrit ici utilise:

- a) Un analyseur HFID ou FID pour la mesure des hydrocarbures;
- b) Des analyseurs NDIR pour la mesure du monoxyde de carbone et du dioxyde de carbone;
- c) Un analyseur HCLD ou CLD pour la mesure des oxydes d'azote.

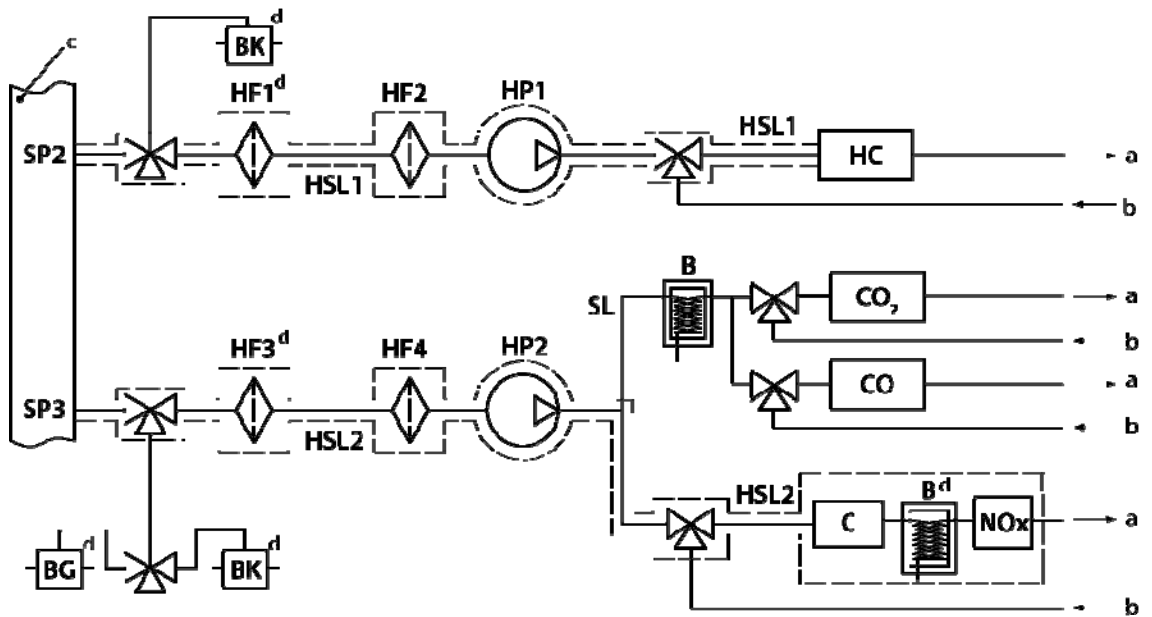
L'échantillon pour tous les constituants doit être prélevé avec une seule sonde et réparti en aval entre les différents analyseurs. À titre de variante, deux sondes de prélèvement placées très près l'une de l'autre peuvent être utilisées. Les prescriptions relatives à ce point sont énoncées au paragraphe 9.3.2.1.



a = vers l'atmosphère; b = gaz de zéro, d'échelle; c = tuyau d'échappement;
d = optionnel

Figure A.9.1

Schéma de principe du système d'analyse des gaz d'échappement bruts à une sonde pour la mesure du CO, du CO₂, des NO_x et des HC



a = vers l'atmosphère; b = gaz de zéro, d'échelle; c = tuyau d'échappement;
d = optionnel

Figure A.9.2

Schéma de principe du système d'analyse des gaz d'échappement dilués à deux sondes pour la mesure du CO, du CO₂, des NO_x et des HC

A.9.1.3 Éléments des figures A.9.1 et A.9.2**EP** Tuyau d'échappement**SP1** Sonde de prélèvement des gaz d'échappement bruts (fig. A.9.1 seulement)

Une sonde à trou unique ou à trous multiples peut être utilisée pour le prélèvement des émissions gazeuses. Elle peut être orientée dans toute direction par rapport au flux des gaz d'échappement bruts, comme indiqué au paragraphe 9.3.2.1. Il peut y avoir une ou plusieurs sondes de prélèvement.

SP2 Sonde de prélèvement des gaz d'échappement dilués pour la mesure des HC (fig. A.9.2 seulement)

La sonde:

- a) Doit être installée dans le tunnel de dilution DT (fig. A.9.6) en un point où l'air de dilution et les gaz d'échappement sont intimement mélangés;
- b) Doit être suffisamment éloignée (radialement) des autres sondes et de la paroi du tunnel pour ne pas subir d'effet de sillage ou de turbulence;
- c) Doit être chauffée comme prescrit au paragraphe 9.3.2.1 b);
- d) Une sonde à trou unique ou à trous multiples peut être utilisée pour le prélèvement des émissions gazeuses. Elle peut être orientée dans toute direction par rapport au flux des gaz d'échappement bruts, comme indiqué au paragraphe 9.3.2.1;
- e) Une sonde de prélèvement commune peut être utilisée pour la mesure des HC, des NO_x, du CO et du CO₂.

SP3 Sonde de prélèvement des gaz d'échappement dilués pour la mesure du CO, du CO₂ et des NO_x (fig. A.9.2 seulement)

La sonde:

- a) Doit être située dans le même plan que SP2;
- b) Doit être suffisamment éloignée (radialement) des autres sondes et de la paroi du tunnel pour ne pas subir d'effet de sillage ou de turbulence;
- c) Doit être chauffée pour prévenir toute condensation d'eau, comme prescrit au paragraphe 9.3.2.1 a);
- d) Une sonde à trou unique ou à trous multiples peut être utilisée pour le prélèvement des émissions gazeuses. Elle peut être orientée dans toute direction par rapport au flux des gaz d'échappement dilués, comme indiqué au paragraphe 9.3.2.1;
- e) Il peut y avoir une ou plusieurs sondes de prélèvement.

HF1 Préfiltre chauffé (optionnel)

Il doit être maintenu à la même température que HSL1.

HF3 Préfiltre chauffé (optionnel)

Il doit être maintenu à la même température que HSL2.

HF2 Filtre chauffé

Il extrait les particules solides éventuellement présentes dans l'échantillon de gaz avant l'entrée dans l'analyseur. Il doit être maintenu à la même température que HSL1. Il doit être changé dès que nécessaire.

HF4 Filtre chauffé

Il extrait les particules solides éventuellement présentes dans l'échantillon de gaz avant l'entrée dans l'analyseur. Il doit être maintenu à la même température que HSL2. Il doit être changé dès que nécessaire.

HSL1 Tuyauterie de prélèvement chauffée

La tuyauterie de prélèvement transmet un échantillon de gaz d'une sonde individuelle au ou aux points de répartition et à l'analyseur de HC.

La tuyauterie de prélèvement:

- a) Doit être en acier inoxydable ou en PTFE;
- b) Doit être maintenue à la température de paroi prescrite au paragraphe 9.3.2.2 b).

HSL2 Tuyauterie de prélèvement chauffée

La tuyauterie de prélèvement:

- a) Doit être maintenue à la température de paroi prescrite au paragraphe 9.3.2.2 a);
- b) Doit être en acier inoxydable ou en PTFE.

HP1 Pompe de prélèvement chauffée

La pompe doit être maintenue à la même température que HSL1.

HP2 Pompe de prélèvement chauffée

La pompe doit être maintenue à la même température que HSL2.

SL Tuyauterie de prélèvement pour le CO et le CO₂

La tuyauterie doit être en PTFE ou en acier inoxydable. Elle peut être chauffée ou non chauffée.

HC Analyseur HFID

Détecteur à ionisation de flamme chauffé (HFID) ou non chauffé (FID) pour la mesure des hydrocarbures. L'analyseur HFID doit être maintenu à la température prescrite au paragraphe 9.4.7.1.1.

CO, CO₂ Analyseurs NDIR

Analyseurs NDIR pour la mesure du monoxyde de carbone et du dioxyde de carbone (optionnel pour la détermination du taux de dilution pour la mesure des particules).

NO_x Analyseur CLD

Analyseur CLD ou HCLD pour la mesure des oxydes d'azote. Si un analyseur HCLD est utilisé, sa température doit être maintenue comme prescrit au paragraphe 9.4.8.1.4.

B Bain de refroidissement (facultatif pour la mesure de NO)

Celui-ci refroidit et condense l'eau pour l'extraire de l'échantillon de gaz d'échappement. Il est optionnel si l'analyseur ne présente pas d'interaction avec la vapeur d'eau comme défini au paragraphe 8.1.11.1.5. Si l'eau est extraite par condensation, la température ou le point de rosée de l'échantillon de gaz doivent être contrôlés soit dans le séparateur même, soit en aval. Les dessiccateurs chimiques ne sont pas autorisés pour l'extraction de l'eau de l'échantillon.

BK Sac de prélèvement pour la mesure des concentrations ambiantes (optionnel; fig. A.9.2 seulement)

Servant au prélèvement pour la mesure des concentrations ambiantes.

BG Sac de prélèvement (optionnel; fig. A.9.2 seulement)

Servant au prélèvement de l'échantillon proprement dit.

C Convertisseur de NO_x**A.9.1.4 Méthode du convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques (NMC)**

Le convertisseur oxyde tous les hydrocarbures sauf le CH₄ en CO₂ et H₂O, de telle manière qu'après passage de l'échantillon dans le convertisseur, seul le CH₄ soit détectable par l'analyseur HFID. Outre le système normal de prélèvement des HC (voir fig. A.9.1 et A.9.2), il doit être installé un deuxième système de prélèvement des HC comportant un convertisseur, comme illustré à la figure A.9.3. On peut ainsi mesurer simultanément les HC totaux et les HCNM.

Les performances du convertisseur doivent être vérifiées comme indiqué au paragraphe 8.1.10.3. Le point de rosée et la teneur en O₂ des gaz d'échappement prélevés doivent être connus. La réponse relative de l'analyseur FID pour CH₄ et pour C₂H₆ doit être déterminée conformément au paragraphe 8.1.10.3.

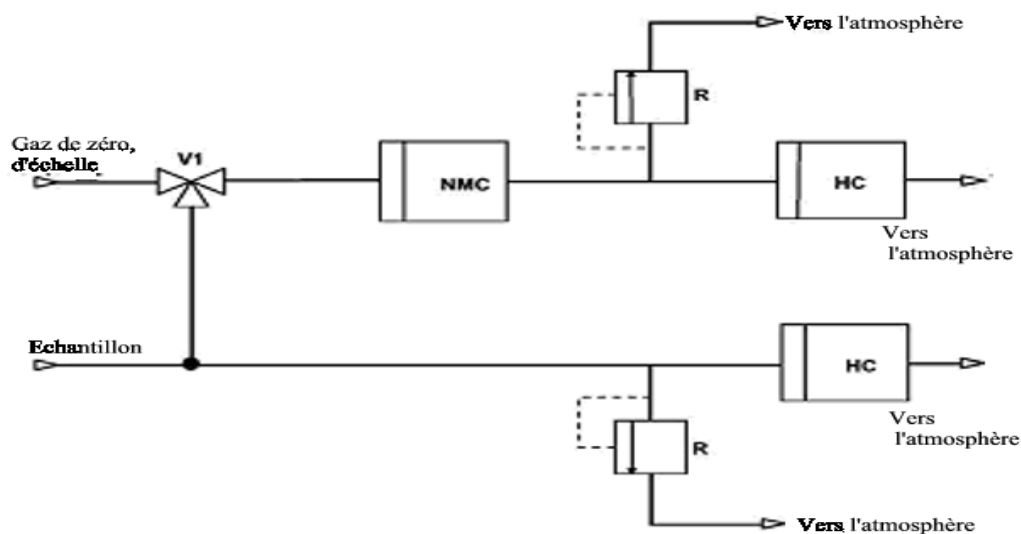


Figure A.9.3

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

A.9.1.5 Éléments de la figure A.9.3

NMC Convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques

Servant à oxyder tous les hydrocarbures à l'exception du méthane.

HC Analyseur HFID

Détecteur à ionisation de flamme chauffé (HFID) ou non chauffé (FID) servant à mesurer les concentrations de HC et de CH₄. Sa température doit être maintenue comme prescrit au paragraphe 9.4.7.1.1.

V1 Robinet de sélection

Servant à sélectionner le gaz de zéro et le gaz de calibrage.

R Régulateur de pression

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

A.9.2 *Système de dilution et de collecte des particules*

A.9.2.1 Introduction

Cet appendice donne une description générale des systèmes recommandés de dilution et de collecte des particules. Des configurations différentes peuvent permettre d'obtenir des résultats équivalents, et la stricte conformité aux figures A.9.4 à A.9.7 n'est donc pas exigée. Toutefois, les prescriptions de base concernant les dimensions de la ligne de prélèvement, le chauffage des appareils et la conception doivent être respectées. Des éléments additionnels tels qu'appareils de mesure, robinets, électrovannes, pompes et interrupteurs peuvent être utilisés pour la collecte d'informations supplémentaires et pour coordonner les fonctions du système. D'autres éléments qui, dans certains systèmes, ne sont pas nécessaires pour garantir la justesse des mesures peuvent être omis si cela est compatible avec les règles de bonne pratique technique.

A.9.2.2 Système de dilution du flux partiel pour le prélèvement d'un échantillon proportionnel de gaz d'échappement et la mesure des émissions gazeuses brutes

Un système de dilution du flux partiel de gaz d'échappement bruts et de prélèvement d'un échantillon proportionnel de gaz d'échappement est décrit à la figure A.9.4. Les signaux instantanés indiquant la concentration des constituants gazeux sont utilisés pour le calcul des émissions-masse par multiplication par le débit-masse instantané de gaz d'échappement. Le débit-masse de gaz d'échappement peut être mesuré directement ou calculé par la méthode de la mesure du débit d'air d'admission et de carburant, la méthode du gaz témoin ou la mesure du débit d'air d'admission et du rapport air/carburant. Une attention particulière doit être portée au temps de réponse des différents appareils. Il doit être tenu compte des différences en alignant les signaux dans le temps. Pour les particules, les signaux de débit-masse de gaz d'échappement sont utilisés pour régler le système de dilution du flux partiel de manière à prélever un échantillon proportionnel au débit-masse de gaz d'échappement. La proportionnalité doit être contrôlée par application d'une analyse de régression entre débit de l'échantillon et débit de gaz d'échappement. Le schéma de principe du montage d'essai complet est donné à la figure A.9.4.

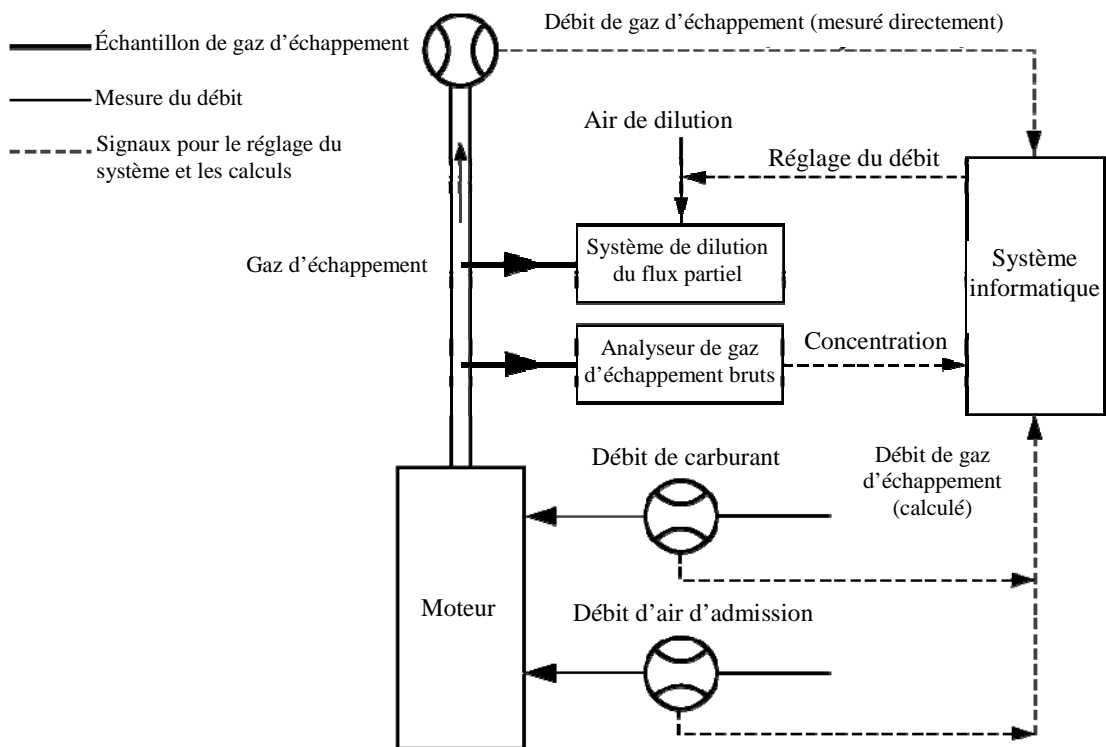
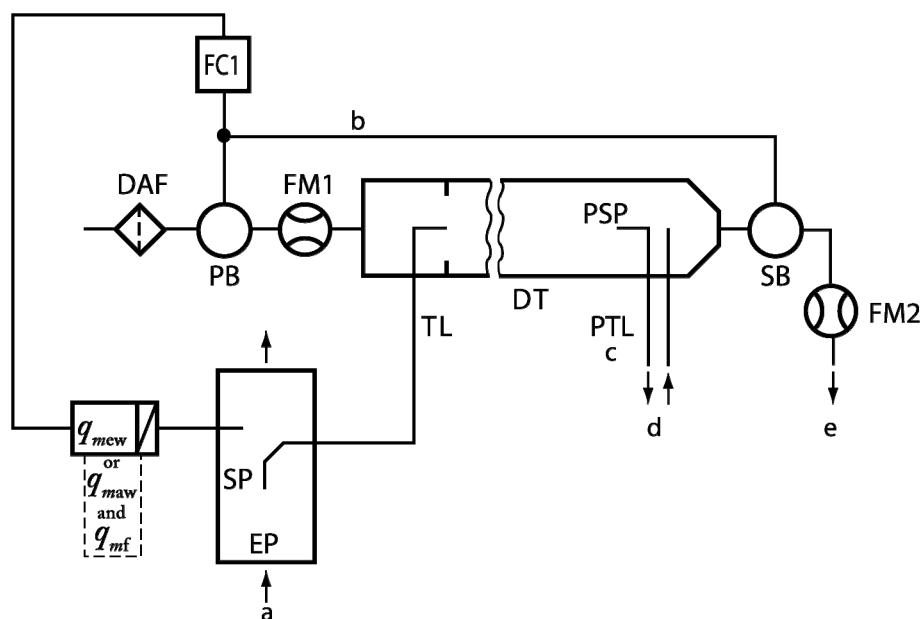


Figure A.9.4
Schéma de principe du système de mesure du débit partiel de gaz d'échappement bruts

Les figures décrivent un système de dilution du flux partiel fonctionnant par dilution d'une partie du flux de gaz d'échappement. La division de ce courant et la dilution ultérieure peuvent être effectuées au moyen de différents systèmes. Pour l'opération ultérieure de collecte des particules, on peut faire passer dans le système de prélèvement le flux total ou une fraction seulement du flux de gaz d'échappement dilués. La première méthode est appelée «prélèvement total», la deuxième «prélèvement partiel». Le calcul du taux de dilution dépend du type de système utilisé.

Dans le système à prélèvement partiel, les gaz d'échappement bruts sont prélevés dans le tuyau d'échappement (EP) par la sonde (SP) et acheminés jusqu'au tunnel de dilution (DT) par le tube de transfert (TL). Le débit total traversant le tunnel est réglé avec le régulateur de débit FC1 commandant soit le débit d'air de dilution, soit le ventilateur aspirant agissant sur le débit total dans le tunnel. Le régulateur de débit FC1 peut être commandé par les signaux de mesure q_{mew} , q_{maw} ou q_{mf} de manière à obtenir le rapport de division voulu des gaz d'échappement. Le débit de l'échantillon en DT est égal à la différence entre le débit total et le débit d'air de dilution. Le débit d'air de dilution est mesuré avec le débitmètre FM1, le débit total de gaz avec le débitmètre FM2. Le taux de dilution est calculé à partir de ces deux débits. À partir de DT, un échantillon de particules est prélevé avec le système de collecte des particules (voir fig. A.9.6).



a = gaz d'échappement; b = vers PB ou SB; c = installation détaillée, voir fig. A.9.6; d = vers le système de prélèvement des particules; e = vers l'atmosphère

Figure A.9.5

Schéma de principe du système à dilution du flux partiel (prélèvement partiel)

Éléments de la figure A.9.5:

DAF	=	Filtre à air de dilution – L'air de dilution (air ambiant, air synthétique, ou azote) devrait être filtré avec un filtre à particules à haut rendement (HEPA).
DT	=	Tunnel de dilution
EP	=	Tuyau d'échappement
FC1	=	Régulateur de débit
FH	=	Porte-filtre
FM1	=	Débitmètre de mesure du débit d'air de dilution
FM2	=	Débitmètre de mesure du débit de gaz d'échappement dilués
q_{mew}	=	Débit massique de gaz d'échappement sur base humide
P	=	Pompe de prélèvement
PB	=	Ventilateur soufflant
PSP	=	Sonde de prélèvement des particules
PTL	=	Ligne de transfert des particules
SP	=	Sonde de prélèvement des gaz d'échappement dilués (voir fig. A.9.3)
TL	=	Ligne de transfert

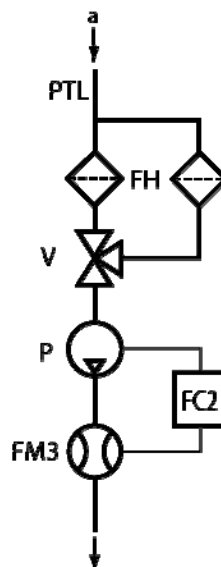
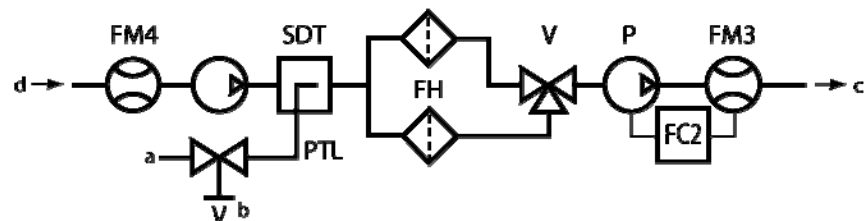


Figure A.9.6

Schéma de principe du système de prélèvement des particules

Éléments de la figure A.9.6:

- a = Depuis le tunnel de dilution
 V = Vanne (optionnelle)
 DT = Tunnel de dilution
 FC2 = Régulateur de débit
 FH = Porte-filtre
 FM3 = Débitmètre de mesure du débit total
 P = Pompe de prélèvement
 PTL = Ligne de transfert des particules



a = gaz d'échappement dilués depuis DT; b = optionnel;
 c = vers l'atmosphère; d = air de dilution secondaire

Figure A.9.7

Schéma de principe du système de prélèvement des particules à double dilution

Éléments de la figure A.9.7:

- V = Vanne (optionnelle)
 FC2 = Régulateur de débit – Un régulateur de débit devrait être utilisé pour régler le débit de l'échantillon de particules.
 FH = Porte-filtre contenant les filtres de collecte des particules
 FM3 = Débitmètre de mesure du débit total – Compteur à gaz ou appareil mesurant le débit de prélèvement des particules passant par le filtre à particules. Il peut être installé en amont ou en aval de la pompe de prélèvement P.
 FM4 = Débitmètre – Compteur à gaz ou appareil mesurant le débit d'air de dilution secondaire passant à travers le filtre à particules.
 P = Pompe de prélèvement
 PTL = Ligne de transfert des particules
 SDT = Système de dilution secondaire