



Commission économique pour l'Europe

Comité des transports intérieurs

**Forum mondial de l'harmonisation
des Règlements concernant les véhicules****Groupe de travail de la pollution et de l'énergie**

Soixante-neuvième session

Genève, 5 et 6 juin 2014

Points 4 a) et 4 d) de l'ordre du jour provisoire

**Cycle d'essai mondial harmonisé pour les véhicules
utilitaires lourds (WHDC)****Proposition d'amendement 3 au Règlement technique
mondial (RTM) n° 4: Procédure d'essai applicable
aux moteurs à allumage par compression et aux moteurs
à allumage commandé alimentés au gaz naturel (GN)
ou au gaz de pétrole liquéfié (GPL) en ce qui concerne
les émissions de polluants****Communication du Groupe informel sur les véhicules utilitaires
lourds hybrides (HDH)***

Le texte ci-après, établi par le Groupe informel sur les véhicules utilitaires lourds hybrides (HDH), vise à ajouter la procédure d'essai applicable aux véhicules utilitaires lourds hybrides. Il est fondé sur le document informel GRPE-68-12. Il s'agit d'une version récapitulative du RTM. Les modifications sont indiquées en caractères **gras**. Des amendements seront en outre introduits pour aligner davantage le RTM n° 4 sur le RTM n° 11, sous réserve de l'approbation du WP.29. Les titres des sections concernées figurent en *caractères italiques gras*.

* Conformément au programme de travail du Comité des transports intérieurs pour la période 2012-2016 (ECE/TRANS/224, par. 94 et ECE/TRANS/2012/12, activité 02.4), le Forum mondial a pour mission d'élaborer, d'harmoniser et de mettre à jour les Règlements en vue d'améliorer les caractéristiques fonctionnelles des véhicules. Le présent document est soumis dans le cadre de ce mandat.



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

1. Viabilité technique et économique

1. L'objet de la présente proposition est d'établir un règlement technique mondial harmonisé (RTM) traitant de la procédure d'homologation de type pour les moteurs de véhicules utilitaires lourds hybrides quant aux émissions de polluants ainsi que d'aligner davantage ce RTM sur le RTM n° 11.

2. Il existe depuis de nombreuses années des règlements traitant des émissions d'échappement des moteurs de véhicules utilitaires, mais l'introduction de groupes motopropulseurs hybrides exige que les procédures d'essai soient adaptées afin de mieux refléter les conditions de charge des moteurs hybrides. Pour permettre une évaluation correcte de l'impact environnemental d'un véhicule utilitaire lourd hybride en ce qui concerne ses émissions polluantes d'échappement, il est nécessaire de mettre en place une procédure d'essai qui soit suffisamment représentative de l'utilisation des véhicules (hybrides) en conditions réelles pour servir de base au RTM.

3. Le règlement proposé se fonde sur la méthode japonaise de stimulation avec matériel dans la boucle (HILS) applicable à l'homologation des véhicules utilitaires lourds hybrides ainsi que sur la procédure d'essai des groupes motopropulseurs en vigueur aux États-Unis d'Amérique. La méthode HILS est documentée dans la réglementation Kokujikan n° 281. Elle a été choisie à l'issue de recherches et de discussions approfondies pour servir de base à l'élaboration de l'annexe 9 au présent RTM. L'annexe 9 reflètent le renforcement de cette méthode pour permettre que la procédure HILS serve à l'homologation des moteurs hybrides en matière d'émissions et soit appliquée dans la législation de la CEE. La procédure en vigueur aux États-Unis d'Amérique est documentée dans le règlement 40 CFR (§ 1037.550) et a été choisie comme base pour l'élaboration de l'annexe 10 au présent RTM.

4. Les procédures d'essai reflètent aussi étroitement que possible les conditions de fonctionnement des moteurs de véhicules utilitaires lourds hybrides et offrent des méthodes de mesure des émissions des moteurs hybrides. La procédure utilisant la méthode HILS introduit pour la première fois la notion de simulation dans un règlement portant sur les émissions. En bref, la procédure d'essai a été élaborée pour répondre aux critères suivants:

- a) Être représentative des conditions d'utilisation des véhicules utilitaires lourds hybrides;
- b) Se fonder sur les dernières méthodes en matière de techniques d'essai, de prélèvement et de mesure;
- c) Être applicable en pratique aux techniques hybrides actuelles et futures prévisibles; et
- d) Permettre d'établir un classement qualitatif fiable des niveaux d'émissions d'échappement correspondant à différents types de moteurs (hybrides).

5. Au stade actuel, le RTM est présenté sans valeurs limites. Il est ainsi possible de donner à la procédure d'essai un statut juridique sur la base duquel il est demandé aux Parties contractantes de lancer le processus de mise en œuvre dans leur législation

nationale. Les valeurs limites seront fixées par les Parties contractantes conformément à leurs propres procédures.

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

2. Bénéfices escomptés

7. Réservé.

3. Analyse coûts-avantages

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

B. Texte du Règlement

1. Objet

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

2. Domaine d'application

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

3. Définitions, symboles et abréviations

3.1 Définitions

Aux fins du présent Règlement, on entend:

3.1.1 par «pile», un élément électrochimique contenu dans une enveloppe individuelle comportant une électrode positive et une électrode négative aux bornes de laquelle il existe une différence de potentiel.

3.1.2 par «*régénération continue*», le processus de régénération d'un système de traitement aval des gaz d'échappement qui se produit soit en permanence, soit au moins une fois par essai de démarrage à chaud du cycle transitoire WHTC. Ce processus de régénération ne nécessite pas de procédure d'essai spéciale;

3.1.3 par «simulation avec régulateur dans la boucle», une simulation HILS où le matériel est le régulateur.

3.1.4 Le «taux C» de «n C» est défini comme le courant constant du dispositif faisant l'objet de l'essai qui met 1/n heure pour charger ou décharger ce dispositif entre un niveau de charge égal à 0 % et un niveau de charge égal à 100 %.

3.1.5 par «*temps de retard*», la différence de temps entre une variation d'un constituant à mesurer au point de référence et une réponse du système de mesure de 10 % de la valeur de lecture finale ($t_{B_{10}B}$), la sonde de prélèvement étant définie comme point de référence. Pour les constituants gazeux, ce temps est égal au temps de transport du constituant mesuré depuis la sonde de prélèvement jusqu'au détecteur.

3.1.6 par «*système DeNOx*», un système de traitement aval des gaz d'échappement conçu pour réduire les émissions d'oxydes d'azote ($NO_{x,B}$) (catalyseurs

NOB_xB passifs ou actifs en régime pauvre, pièges à NOB_xB et systèmes à catalyse sélective (SCR).

- 3.1.7** par «*profondeur de décharge*», l'état de décharge d'un dispositif soumis à l'essai par opposition à l'état de charge, exprimé en pourcentage de sa capacité nominale.
- 3.1.8 par «*moteur diesel*», un moteur qui fonctionne selon le principe de l'allumage par compression.
- 3.1.9 par «*dérive*», la différence entre les réponses au zéro ou au point final d'étalonnage de l'instrument de mesure avant et après un essai de mesure des émissions.
- 3.1.10** par «*train de roulement*», les éléments assemblés du groupe motopropulseur en aval du convertisseur d'énergie final.
- 3.1.11** par «*moteur électrique*», un convertisseur d'énergie électrique en énergie mécanique ou inversement pour la propulsion du véhicule.
- 3.1.12** par «*SRSE électrique*», un SRSE qui stocke de l'énergie électrique.
- 3.1.13 par «*carter de protection*», un élément qui recouvre les organes internes et protège contre tout contact direct avec eux quel que soit l'angle d'approche.
- 3.1.14** par «*convertisseur d'énergie*», la partie du groupe motopropulseur qui transforme une forme d'énergie en une forme différente.
- 3.1.15 Par «*famille de moteurs*», un groupe de moteurs d'un constructeur qui, de par leur conception, telle qu'elle est définie au paragraphe 5.2 du présent RTM, ont des caractéristiques communes en ce qui concerne les émissions d'échappement; tous les membres de la famille doivent satisfaire aux valeurs limites d'émissions applicables;
- 3.1.16** Par «*système de stockage de l'énergie*», la partie du groupe motopropulseur qui peut stocker l'énergie chimique, électrique ou mécanique et qui peut être réapprovisionnée ou rechargée par des moyens externes et/ou internes.
- 3.1.17 par «*système moteur*», le moteur, le système antipollution et l'interface de communication (matériel et messages) entre le ou les unité(s) de contrôle électronique du moteur (UCE) et tout autre unité de contrôle du groupe motopropulseur ou du comportement du véhicule.
- 3.1.18 par «*type de moteur*», une catégorie de moteurs ne présentant pas entre eux de différence en ce qui concerne leurs caractéristiques essentielles.
- 3.1.19 par «*système de traitement aval des gaz d'échappement*», un catalyseur (d'oxydation ou trifonctionnel), un filtre à particules, un système DeNO_x, un filtre à particules combiné à un système DeNO_x ou tout autre dispositif de réduction des émissions installé en aval du moteur. Cette définition exclut les systèmes de recyclage des gaz d'échappement (RGE) qui sont considérés comme faisant partie intégrante du moteur.
- 3.1.20 par «*méthode de la dilution du flux total*», le procédé consistant à mélanger le flux total de gaz d'échappement au diluant et de séparer une fraction du flux de gaz d'échappement dilués pour analyse.
- 3.1.21 par «*polluants gazeux*», le monoxyde de carbone, les hydrocarbures et/ou les hydrocarbures non méthaniques (sur la base d'un rapport de CH_{1,85} pour le

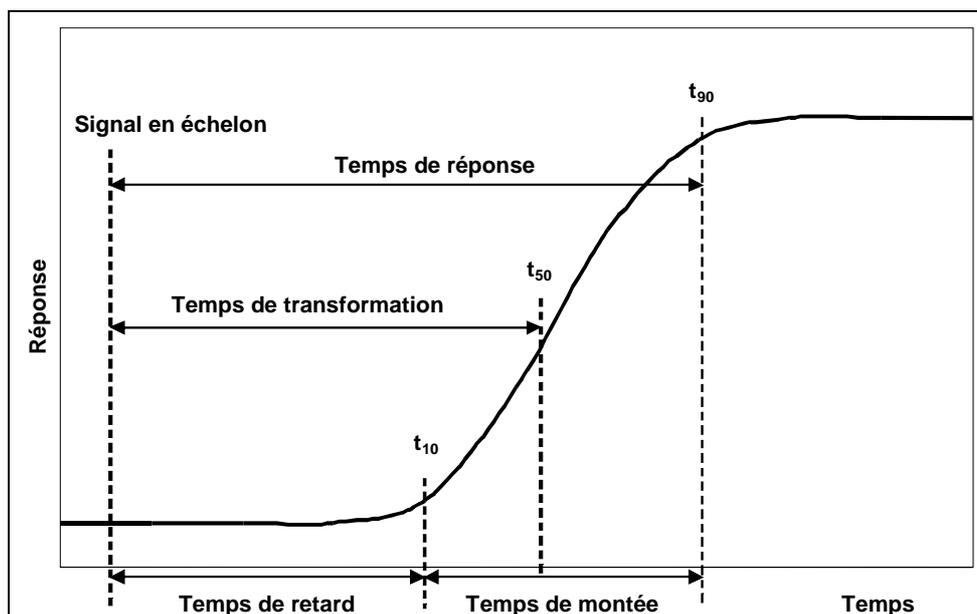
gazole, $\text{CH}_{2,525}$ pour le GPL et $\text{CH}_{2,93}$ pour le GN, ainsi que et d'une molécule de référence $\text{CH}_3\text{O}_{0,5}$ pour les moteurs diesel alimentés à l'éthanol), le méthane (sur la base d'un rapport de CH_4 pour le GN) et les oxydes d'azote (exprimés en équivalent dioxyde d'azote (NO_2)).

- 3.1.22** par «*générateur*», un convertisseur d'énergie qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.
- 3.1.23** par «*simulation avec matériel dans la boucle (HILS)*», une simulation en temps réel sur ordinateur avec laquelle un composant interagit via une interface.
- 3.1.24 par «*régime supérieur (n_{hi})*», le régime moteur le plus élevé où 70 % de la puissance maximale est obtenue.
- 3.1.25** par «*à haute tension*», la classification nominale d'un composant ou d'un circuit électrique, si sa tension de fonctionnement est $>60 \text{ V}$ et $\leq 500 \text{ V}$ (courant continu) ou $>30 \text{ V}$ et $\leq 1\,000 \text{ V}$ (courant alternatif), en valeur efficace.
- 3.1.26** par «*rail haute tension*», le circuit électrique, y compris le système de raccordement pour la recharge du SRSE qui est sous haute tension.
- 3.1.27** Par «*véhicule hybride*», un véhicule dont le groupe motopropulseur comprend au moins deux types différents de convertisseurs d'énergie et deux types différents de systèmes de stockage de l'énergie.
- 3.1.28** par «*véhicule électrique hybride*», un véhicule hybride dont le groupe motopropulseur comprend un ou plusieurs moteur(s) électrique(s) qui servent de convertisseur(s) d'énergie.
- 3.1.29** par «*SRSE hydraulique*», un SRSE qui stocke de l'énergie hydraulique.
- 3.1.30** par «*moteur à combustion interne*», un convertisseur d'énergie à oxydation intermittente ou continue du carburant.
- 3.1.31 par «*régime inférieur (n_{lo})*», le régime moteur le plus bas où 55 % de la puissance maximale est obtenue.
- 3.1.32 par «*puissance maximale (P_{max})*», la puissance maximale en kW spécifiée par le constructeur.
- 3.1.33 par «*régime du couple maximal*», le régime moteur où le couple maximal spécifié par le constructeur est obtenu.
- 3.1.34** par «*SRSE mécanique*», un SRSE qui stocke de l'énergie mécanique.
- 3.1.35 par «*couple normalisé*», le couple du moteur en pourcentage rapporté au couple maximal disponible à un régime moteur donné.
- 3.1.36 par «*demande de l'opérateur*», une action de l'opérateur visant à régler la puissance du moteur. L'opérateur peut être une personne (intervention manuelle) ou un régulateur (intervention automatique) qui envoie au moteur, mécaniquement ou électroniquement, un signal demandant une certaine puissance. Cette intervention peut prendre la forme d'une action ou d'un signal au moyen d'une pédale d'accélérateur, d'un levier de commande des gaz, d'un levier de commande de l'alimentation en carburant, d'un levier de commande de la vitesse ou d'un point de consigne ou d'un signal provenant du régulateur.

- 3.1.37 par «*moteur parent*», un moteur sélectionné dans une famille de moteurs de telle manière que ses caractéristiques en matière d'émissions soient représentatives de cette famille.
- 3.1.38 par «*dispositif de traitement aval des particules*», un système de traitement des gaz d'échappement en aval destiné à réduire les émissions de particules polluantes par un procédé de séparation mécanique ou aérodynamique, par diffusion ou par inertie.
- 3.1.39 par «*méthode de dilution du flux partiel*», le procédé consistant à séparer une partie du flux total, puis à la mélanger à une quantité appropriée de diluant avant de l'envoyer au filtre de collecte des particules.
- 3.1.40 par «*matières particulaires (MP)*», les matières recueillies sur un filtre de caractéristiques spécifiées après dilution des gaz d'échappement avec un agent de dilution propre filtré à une température comprise entre 315 K (42 °C) et 325 K (52 °C); il s'agit principalement de carbone, d'hydrocarbures condensés et de sulfates en association avec l'eau.
- 3.1.41 par «*régénération périodique*», le processus de régénération d'un système de traitement aval des gaz d'échappement qui a lieu périodiquement, en général à des intervalles de moins de 100 h de fonctionnement normal du moteur. Lors des cycles au cours desquels il y a régénération, les limites d'émissions peuvent être dépassées.
- 3.1.42 par «*SRSE pneumatique*», un SRSE qui stocke de l'énergie pneumatique.
- 3.1.43 par «*groupe motopropulseur*», la combinaison de systèmes de stockage d'énergie, de convertisseurs d'énergie et de trains de roulements [destinés à faire avancer le véhicule] avec une interface de communication (matériel et messages) entre le groupe motopropulseur et les unités de contrôle du véhicule.
- 3.1.44 par «*simulation avec groupe motopropulseur dans la boucle*», une simulation HIL où le matériel est le groupe motopropulseur.
- 3.1.45 par «*cycle d'essai en conditions stationnaires avec rampes de transition*», un cycle d'essai comportant une séquence de modes de fonctionnement du moteur en conditions stationnaires à des valeurs définies de régime et de couple, avec rampes de transition entre modes (WHSC).
- 3.1.46 par «*capacité nominale*», la capacité d'une batterie exprimée en Cn (Ah) telle qu'elle est spécifiée par le constructeur.
- 3.1.47 par «*régime nominal*», le régime maximal à pleine charge autorisé par le régulateur, tel qu'il est spécifié par le constructeur dans sa documentation de vente et de service, ou en l'absence d'un tel régulateur, le régime auquel la puissance maximale du moteur est obtenue, tel qu'il est spécifié par le constructeur dans sa documentation de vente et de service.
- 3.1.48 par «*système rechargeable de stockage de l'énergie (SRSE)*», un système qui fournit de l'énergie (autre qu'à partir de carburant) avant tout pour la traction. Le SRSE peut inclure un ou plusieurs sous-système(s) en plus des systèmes auxiliaires de support physique, de régulation thermique, de gestion électronique et de protection.
- 3.1.49 par «*temps de réponse*», la différence de temps entre la variation du constituant à mesurer au point de référence et une réponse du système de 90 % de la valeur de mesure finale (t_{90}), la sonde de prélèvement étant définie

- comme point de référence; la variation du constituant mesuré doit être d'au moins 60 % de l'amplitude totale et se produire en moins de 0,1 s. Le temps de réponse du système se compose du temps de retard du système et du temps de montée du système.
- 3.1.50 par «*temps de montée*», le temps mis pour passer de 10 à 90 % de la valeur finale de mesure ($t_{90} - t_{10}$).
- 3.1.51 par «*réponse au calibrage*», la réponse moyenne à un gaz de calibrage sur une durée de 30 s.
- 3.1.52 par «*émissions spécifiques*», les émissions en masse exprimées en g/kWh.
- 3.1.53 par «*état de charge*» la charge électrique disponible dans le dispositif faisant l'objet de l'essai exprimée en pourcentage de sa capacité nominale.**
- 3.1.54 par «*système arrêt-démarrage*», l'arrêt et le redémarrage automatique d'un moteur à combustion interne pour réduire la durée de fonctionnement au ralenti.**
- 3.1.55 par «*sous-système*», tout assemblage fonctionnel de composants d'un SRSE.**
- 3.1.56 par «*cycle d'essai*», une séquence de points d'essai correspondant chacun à des valeurs définies de régime et de couple, à exécuter avec le moteur en conditions stationnaires (essai WHSC) ou en conditions transitoires (essai WHTC).
- 3.1.57 par «*dispositif essayé*» soit le SRSE complet soit un sous-système du SRSE qui est soumis à l'essai.**
- 3.1.58 par «*temps de transformation*», la différence de temps entre la variation du constituant à mesurer au point de référence et une réponse du système de mesure de 50 % de la valeur finale de mesure (t_{50}), la sonde de prélèvement étant choisie comme point de référence. Le temps de transformation est utilisé pour l'alignement des signaux des différents appareils de mesure.
- 3.1.59 par «*cycle d'essai en conditions transitoires*», un cycle d'essai comportant une séquence de valeurs normalisées de régime et de couple variant relativement rapidement dans le temps (WHTC).
- 3.1.60 par «*durée de service*», la distance et/ou la durée sur laquelle la conformité aux limites applicables d'émissions gazeuses et particulaires doit être garantie.
- 3.1.61 par «*tension de fonctionnement*», la valeur la plus élevée de la tension efficace d'un circuit électrique spécifiée par le constructeur, qui peut exister entre des éléments conducteurs quand le circuit est ouvert ou dans des conditions normales de fonctionnement. Si le circuit électrique est divisé en plusieurs circuits par isolement galvanique, la tension de fonctionnement est définie pour chacun d'eux.**
- 3.1.62 par «*réponse à la mise à zéro*», la réponse moyenne à un gaz de mise à zéro sur une durée de 30 s.

Figure 1
Définitions relatives à la réponse du système



3.2 Symboles généraux

Symbole	Unité	Terme
a_1	-	Pente de la droite régression
a_0	-	Ordonnée à l'origine de la droite de régression
A/F_{st}	-	Rapport air/carburant stœchiométrique
c_{gas}	ppm/% vol	Concentration des constituants gazeux
c_d	ppm/% vol.	Concentration sur base sèche
c_w	ppm/% vol.	Concentration sur base humide
c_b	ppm/% vol.	Concentration ambiante
C_d	-	Coefficient de décharge du venturi subsonique (SSV)
d	m	Diamètre
d_V	m	Diamètre du col du venturi
D_0	m^3/s	Ordonnée à l'origine de la fonction d'étalonnage de la pompe volumétrique
D	-	Facteur de dilution
Δt	s	Intervalle de temps
e_{gas}	g/kWh	Émissions spécifiques de constituants gazeux
e_{PM}	g/kWh	Émissions spécifiques de particules

<i>Symbole</i>	<i>Unité</i>	<i>Terme</i>
e_r	g/kWh	Émissions spécifiques pendant la régénération
e_w	g/kWh	Émissions spécifiques pondérées
E_{CO_2}	%	Facteur d'extinction par le CO ₂ de l'analyseur de NO _x
E_E	%	Efficacité pour l'éthane
E_{H_2O}	%	Facteur d'extinction par l'eau de l'analyseur de NO _x
E_M	%	Efficacité pour le méthane
E_{NO_x}	%	Efficacité du convertisseur de NO _x
f	Hz	Fréquence d'échantillonnage des données
f_a	-	Facteur atmosphérique du laboratoire
F_s	-	Facteur stœchiométrique
H_a	g/kg	Humidité absolue de l'air d'admission
H_d	g/kg	Humidité absolue du gaz diluant
i	-	Indice s'appliquant à une mesure instantanée
k_c	-	Facteur spécifique du carbone
$k_{f,d}$	m ³ /kg de carburant	Volume supplémentaire de gaz d'échappement secs résultant de la combustion
$k_{f,w}$	m ³ /kg de carburant	Volume supplémentaire de gaz d'échappement humides résultant de la combustion
$K_{h,D}$	-	Facteur de correction d'humidité des NO _x pour les moteurs à allumage par compression
$K_{h,G}$	-	Facteur de correction d'humidité des NO _x pour les moteurs à allumage commandé
$k_{r,u}$	-	Facteur d'ajustement de la régénération à la hausse
$k_{r,d}$	-	Facteur d'ajustement de la régénération à la baisse
$K_{w,a}$	-	Facteur de correction base sèche/base humide pour l'air d'admission
$K_{w,d}$	-	Facteur de correction base sèche/base humide pour le gaz diluant
$K_{w,e}$	-	Facteur de correction base sèche/base humide pour les gaz d'échappement dilués
$K_{w,r}$	-	Facteur de correction base sèche/base humide pour les gaz d'échappement bruts
K_V	-	Fonction d'étalonnage du CFV
λ	-	Facteur d'excédent d'air

<i>Symbole</i>	<i>Unité</i>	<i>Terme</i>
m_b	mg	Masse des particules recueillies dans l'air de dilution
m_d	kg	Masse de l'échantillon de gaz diluant ayant traversé les filtres de collecte des particules
m_{ed}	kg	Masse totale des gaz d'échappement dilués sur tout le cycle
m_{edf}	kg	Masse des gaz d'échappement dilués équivalents sur tout le cycle
m_{ew}	kg	Masse totale de gaz d'échappement sur tout le cycle
m_f	mg	Masse du filtre de collecte des particules
m_{gas}	g	Masse des émissions gazeuses sur tout le cycle
m_{PM}	g	Masse des émissions de particules sur tout le cycle
m_{se}	kg	Masse des gaz d'échappement prélevés sur tout le cycle
m_{sed}	kg	Masse des gaz d'échappement dilués passant par le tunnel de dilution
m_{sep}	kg	Masse des gaz d'échappement dilués passant par les filtres de collecte des particules
m_{ssd}	kg	Masse du gaz diluant secondaire
M_a	g/mol	Masse molaire de l'air d'admission
M_d	g/mol	Masse molaire du gaz diluant
M_e	g/mol	Masse molaire des gaz d'échappement
M_{gas}	g/mol	Masse molaire des constituants gazeux
M	Nm	Couple
M_f	Nm	Couple absorbé par les accessoires/équipements à monter
M_r	Nm	Couple absorbé par les accessoires/équipements à démonter
n	-	Nombre de mesures
n_r	-	Nombre de mesures pendant la régénération
n	min ⁻¹	Régime de rotation du moteur
n_{hi}	min ⁻¹	Régime haut
n_{lo}	min ⁻¹	Régime bas
n_{pref}	min ⁻¹	Régime recommandé
n_p	tr/s	Régime de la pompe volumétrique
p_a	kPa	Pression de vapeur saturante de l'air d'admission
p_b	kPa	Pression atmosphérique totale
p_d	kPa	Pression de vapeur saturante de l'air de dilution

<i>Symbole</i>	<i>Unité</i>	<i>Terme</i>
p_p	kPa	Pression absolue
p_r	kPa	Pression de vapeur d'eau après le bain de refroidissement
p_s	kPa	Pression atmosphérique en conditions sèches
P	kW	Puissance
P_f	kW	Puissance absorbée par les accessoires/équipements à monter
P_r	kW	Puissance absorbée par les accessoires/équipements à démonter
q_{mad}	kg/s	Débit massique d'air d'admission sur base sèche
q_{maw}	kg/s	Débit massique d'air d'admission sur base humide
q_{mCe}	kg/s	Débit massique de carbone dans les gaz d'échappement bruts
q_{mCf}	kg/s	Débit massique de carbone dans le moteur
q_{mCp}	kg/s	Débit massique de carbone dans le système de dilution du flux partiel
q_{mdew}	kg/s	Débit massique des gaz d'échappement dilués en conditions humides
q_{mdw}	kg/s	Débit massique du gaz diluant en conditions humides
q_{medf}	kg/s	Débit massique équivalent de gaz d'échappement dilués sur base sèche
q_{mew}	kg/s	Débit massique de gaz d'échappement sur base sèche
q_{mex}	kg/s	Débit massique de prélèvement extrait du tunnel de dilution
q_{mf}	kg/s	Débit massique du carburant
q_{mp}	kg/s	Débit massique de gaz d'échappement entrant dans le système de dilution du flux partiel
q_{vCVS}	m ³ /s	Débit volumique du prélèvement à volume constant
q_{vs}	dm ³ /min	Débit du système d'analyseur des gaz d'échappement
q_{vt}	cm ³ /min	Débit du gaz témoin
r_d	-	Taux de dilution
r_D	-	Rapport de diamètre du venturi subsonique
r_h	-	Facteur de réponse du FID aux hydrocarbures
r_m	-	Facteur de réponse du FID au méthanol
r_p	-	Rapport de pression du venturi subsonique
r_s	-	Taux de prélèvement moyen
ρ	kg/m ³	Masse volumique

<i>Symbole</i>	<i>Unité</i>	<i>Terme</i>
ρ_e	kg/m ³	Masse volumique des gaz d'échappement
s	-	Écart type
T	K	Température absolue
T_a	K	Température absolue de l'air d'admission
t	s	Temps
t_{10}	s	Temps écoulé entre l'application du signal en échelon et l'affichage de 10 % de la valeur finale
t_{50}	s	Temps écoulé entre l'application du signal en échelon et l'affichage de 50 % de la mesure finale
t_{90}	s	Temps écoulé entre l'application du signal en échelon et l'affichage de 90 % de la mesure finale
u	-	Rapport entre les masses volumiques du constituant gazeux et des gaz d'échappement
V_0	m ³ /tr	Volume de gaz pompé par tour de la pompe volumétrique
V_s	dm ³	Volume net du banc d'analyse des gaz d'échappement
W_{act}	kWh	Travail au cours du cycle d'essai effectif
W_{ref}	kWh	Travail au cours du cycle d'essai de référence
X_0	m ³ /r	Fonction d'étalonnage de la pompe volumétrique

3.3 Symboles et abréviations concernant la composition du carburant

w_{ALF}	Teneur en hydrogène du carburant, en % de la masse
w_{BET}	Teneur en carbone du carburant, en % de la masse
w_{GAM}	Teneur en soufre du carburant, en % de la masse
w_{DEL}	Teneur en azote du carburant, en % de la masse
w_{EPS}	Teneur en oxygène du carburant, en % de la masse
α	Rapport molaire pour l'hydrogène (H/C)
γ	Rapport molaire pour le soufre (S/C)
δ	Rapport molaire pour l'azote (N/C)
ε	Rapport molaire pour l'oxygène (O/C)

sur la base d'un carburant CH _{α} O _{ε} N _{δ} S _{γ}

3.4 Symboles et abréviations pour les constituants chimiques

Cl	Hydrocarbures équivalents en carbone 1
CH ₄	Méthane
C ₂ H ₆	Éthane
C ₃ H ₈	Propane
CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	Dioxyde de carbone
DOP	Di-octylphtalate
HC	Hydrocarbures
H ₂ O	Eau
NMHC	Hydrocarbures non méthaniques
NO _x	Oxydes d'azote
NO	Oxyde nitrique
NO ₂	Dioxyde d'azote
MP	Matières particulaires

3.5 Abréviations

CFV	Tube de venturi à écoulement critique
CLD	Détecteur par chimiluminescence
CVS	Prélèvement à volume constant
DeNO _x	Système de traitement aval des NO _x
EGR	Recyclage des gaz d'échappement
FID	Détecteur à ionisation de flamme
CG	Chromatographie en phase gazeuse
HCLD	Détecteur à chimiluminescence chauffé
HEC	Cycle du moteur hybride
HFID	Détecteur à ionisation de flamme chauffé
HILS	Simulation avec matériel dans la boucle
HPC	Cycle du groupe motopropulseur hybride
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
NDIR	Analyseur de gaz infrarouge non dispersif
GN	Gaz naturel

NMC	Convertisseur de HCNM
PDP	Pompe volumétrique
% FS	Pourcentage de l'amplitude totale
SFP	Système à flux partiel
SRSE	Système rechargeable de stockage de l'énergie
REESS	SRSE électrique
RHESS	SRSE hydraulique
RMESS	SRSE mécanique
RPES	SRSE pneumatique
SSV	Venturi subsonique
VG	Turbine à géométrie variable
WHSC	Cycle d'essai mondial harmonisé en conditions stabilisées
WHTC	Cycle mondial harmonisé en conditions transitoires
WHVC	Cycle d'essai harmonisé à l'échelle mondiale

4. Prescriptions générales

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

5. Prescriptions fonctionnelles

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

5.1 Émission de polluants gazeux et particuliers

Les émissions de polluants gazeux et particuliers du moteur doivent être déterminées conformément aux cycles d'essai WHTC et WHSC, tels qu'ils sont définis au paragraphe 7.

Dans le cas des véhicules hybrides, les émissions de polluants gazeux et de particules polluantes doivent être déterminées en fonction des cycles dérivés conformément à l'annexe 9 pour le HEC ou à l'annexe 10 pour le HPC.

Les systèmes de mesure doivent satisfaire aux conditions de linéarité énoncées au paragraphe 9.2 et aux caractéristiques énoncées au paragraphe 9.3 (mesure

des émissions gazeuses), au paragraphe 9.4 (mesure des particules) et à l'annexe 3.

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

5.1.1 Équivalence

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

Par «résultats», on entend la valeur spécifique des émissions pondérées par cycle. Les essais de corrélation doivent être effectués par le même laboratoire, dans la même chambre d'essai et sur le même moteur et de préférence conjointement. L'équivalence des moyennes de paires d'échantillons doit être déterminée sur la base de statistiques de test-*F* et de test-*t* comme décrit au paragraphe A.4.3 de l'annexe 4, obtenues dans la chambre d'essai et avec les conditions moteur décrites ci-dessus. Les valeurs aberrantes seront déterminées conformément à la norme ISO 5725 et exclues de la base de données. Les systèmes utilisés pour les essais de corrélation doivent être soumis à l'agrément de l'autorité d'homologation de type.

5.2 Famille de moteurs

5.2.1 Dispositions générales

Une famille de moteurs est caractérisée par ses paramètres de conception. Ceux-ci doivent être communs à tous les moteurs d'une famille. Le constructeur de moteurs peut décider des moteurs qui appartiennent à une famille, pour autant que les critères d'appartenance énumérés au paragraphe 5.2.3 soient respectés. La famille de moteurs doit être agréée par l'autorité d'homologation de type. Le constructeur doit fournir à cette autorité les informations utiles relatives aux niveaux d'émissions des membres de cette famille.

5.2.2 Cas spéciaux

Dans certains cas, il peut y avoir interaction entre paramètres. Ce facteur doit être pris en considération pour garantir que seuls les moteurs ayant des caractéristiques semblables en matière d'émissions d'échappement soient inclus dans la même famille. Ces cas doivent être identifiés par le constructeur et notifiés à l'autorité d'homologation de type. Ils seront pris alors en considération comme critères pour l'établissement d'une nouvelle famille de moteurs.

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

Outre les paramètres énumérés au paragraphe 5.2.3, le constructeur peut introduire 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:
- Cycle à deux temps;
 - Cycle à quatre temps;
 - Moteur à piston rotatif;
 - Autres.
- 5.2.3.2 Configuration des cylindres
- 5.2.3.2.1 Disposition des cylindres dans le bloc:
- En V;
 - En ligne;
 - En étoile;
 - 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
- Par air;
 - Par eau;
 - Par huile.
- 5.2.3.4 Cylindrée unitaire
- 5.2.3.4.1 Moteurs ayant une cylindrée unitaire $\geq 0,75 \text{ dm}^3$
- Pour que des moteurs ayant une cylindrée unitaire $\geq 0,75 \text{ dm}^3$ soient considérés comme appartenant à la même famille, l'amplitude de variation de leurs cylindrées unitaires ne doit pas dépasser 15 % de la plus forte variation de cylindrée unitaire dans la famille.
- 5.2.3.4.2 Moteurs ayant une cylindrée unitaire $< 0,75 \text{ dm}^3$
- Pour que des moteurs ayant une cylindrée unitaire $< 0,75 \text{ dm}^3$ soient considérés comme appartenant à la même famille, l'amplitude de variation de leurs cylindrées unitaires ne doit pas dépasser 30 % de la plus forte variation de cylindrée unitaire dans la famille.
- 5.2.3.4.3 Moteurs ne répondant pas à ces limites de variation
- Les moteurs qui, du point de vue de variation de la cylindrée unitaire, sortent des limites de variation définies aux paragraphes 5.2.3.4.1 et 5.2.3.4.2 peuvent être considérés comme appartenant à la même famille avec l'accord de l'autorité d'homologation de type. Cet accord doit se fonder sur des éléments techniques (calculs, simulations, résultats d'essais, etc.) démontrant que le dépassement des limites n'a pas d'incidence notable sur les émissions d'échappement.

- 5.2.3.5 Modes d'aspiration
 - a) Aspiration naturelle;
 - b) Suralimentation;
 - c) Suralimentation avec refroidisseur intermédiaire.
- 5.2.3.6 Types de carburant
 - a) Gazole;
 - b) Gaz naturel (GN);
 - c) Gaz de pétrole liquéfié (GPL);
 - d) Éthanol.
- 5.2.3.7 Types de chambre de combustion
 - a) Chambre ouverte;
 - b) Chambre fractionnée;
 - c) Autres types.
- 5.2.3.8 Modes d'allumage
 - a) Allumage commandé;
 - b) Allumage par compression.
- 5.2.3.9 Soupapes et conduits
 - a) Configuration;
 - b) Nombre de soupapes par cylindre.
- 5.2.3.10 Modes d'alimentation en carburant
 - a) Alimentation en carburant liquide:
 - i) Pompe, tuyauterie (haute pression) et injecteur;
 - ii) Pompe en ligne ou à distributeur;
 - iii) Pompe unitaire ou injecteur unitaire;
 - iv) Rampe haute pression;
 - v) Carburateur(s);
 - vi) Autres;
 - b) Alimentation en carburant gazeux:
 - i) Gaz;
 - ii) Liquide;
 - iii) Mélangeurs;
 - iv) Autres;
 - c) Autres types.
- 5.2.3.11 Dispositifs divers
 - a) Système de recyclage des gaz d'échappement (EGR);
 - b) Injection d'eau;

- c) Injection d'air;
- d) Autres.

5.2.3.12 Stratégie de gestion électronique

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

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

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

Des exemples de paramètres commandés par la gestion électronique sont:

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

5.2.3.13 Systèmes de traitement aval des gaz d'échappement

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

- a) Catalyseur d'oxydation;
- b) Catalyseur trifonctionnel;
- c) Système DeNOx avec réduction sélective des NOx (adjonction d'un agent réducteur);
- d) Autre système DeNOx;
- e) Filtre à particules avec régénération passive;
- f) Filtre à particules avec régénération active;
- g) Autres filtres à particules;
- h) Autres dispositifs.

Lorsqu'un moteur a été homologué sans système de traitement aval, que ce soit en tant que moteur parent ou en tant que membre d'une famille, il peut, lorsqu'il est équipé d'un catalyseur d'oxydation, 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 doit se fonder sur les éléments techniques communiqués par le constructeur. Ces éléments doivent indiquer que le

niveau d'émissions prévu du moteur équipé respecte les valeurs limites s'appliquant aux moteurs non équipés.

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

5.2.4 Choix du moteur parent

5.2.4.1 Moteurs à allumage par compression

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

5.2.4.2 Moteurs à allumage commandé

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

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

5.2.4.3 Remarques concernant le choix du moteur parent

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

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

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

5.3 Famille de groupes motopropulseurs hybrides

5.3.1 Une famille de groupes motopropulseurs hybrides est caractérisée par ses paramètres de conception et par les interactions entre eux. Ces paramètres de conception doivent être communs à tous les groupes motopropulseurs hybrides de la famille. Le constructeur peut décider des groupes motopropulseurs hybrides qui appartiennent à une famille, pour

autant que les critères d'appartenance énumérés au paragraphe 5.3.3 soient respectés. La famille de groupes motopropulseurs hybrides doit être agréée par l'autorité d'homologation de type. Le constructeur doit fournir à cette autorité toutes les informations utiles relatives aux niveaux d'émissions des membres de cette famille.

5.3.2 Prescriptions spéciales

Dans le cas d'un groupe motopropulseur hybride, il appartient au constructeur d'identifier les interactions entre ses paramètres de conception pour garantir que seules des groupes motopropulseurs hybrides ayant des caractéristiques semblables en matière d'émissions d'échappement soient incluses dans la même famille. Ces interactions doivent être notifiées à l'autorité d'homologation de type ou de certification. Elles doivent ensuite être prises en compte comme critère supplémentaire, outre les paramètres énumérés au paragraphe 5.3.3, pour l'établissement de la famille de groupes motopropulseurs hybrides.

Les cycles d'essai HEC ou HPC individuels dépendent de la configuration de chaque groupe motopropulseur hybride. Afin de déterminer si un groupe motopropulseur hybride appartient à la même famille, ou si un autre de configuration nouvelle doit être ajouté à une famille existante, le constructeur doit procéder à un essai de simulation HIL ou effectuer un essai avec cette configuration de groupe motopropulseur hybride et enregistrer le cycle d'essai qui en résulte. Ce cycle d'essai doit être comparé avec celui du groupe motopropulseur hybride de base et respecter les critères énoncés au paragraphe 5.3.2.1.

5.3.2.1 Réserve

5.3.2.2 Outre les paramètres énumérés au paragraphe 5.3.3, le constructeur 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.

5.3.3 Paramètres définissant la famille de groupes motopropulseurs hybrides

5.3.3.1 Moteur à combustion interne

Les critères concernant la famille de moteurs énoncés au paragraphe 5.2 doivent être respectés lorsqu'on choisit le moteur pour la famille de groupes de motopropulseurs hybrides.

Des moteurs de familles différentes en vertu des paragraphes 5.2.3.2, 5.2.3.4 et 5.2.3.9 peuvent être combinés en une famille de groupes motopropulseurs hybrides sur la base de leur comportement d'ensemble en matière d'émissions.

5.3.3.2 Puissance du moteur à combustion interne

Réserve.

5.3.3.3 Convertisseur d'énergie

- a) Électrique;
- b) Hydraulique;
- c) Autre.

5.3.3.4 SRSE

- a) **Électrique;**
- b) **Hydraulique;**
- c) **À volant;**
- c) **Autre.**

5.3.3.5 Transmission

- a) **Manuelle;**
- b) **Automatique;**
- c) **À double embrayage;**
- d) **Autre.**

5.3.3.6 Stratégie de limitation hybride

La stratégie de contrôle hybride constitue un paramètre essentiel de la famille de groupes motopropulseurs hybrides. Le constructeur doit exposer les arguments techniques justifiant de regrouper ces groupes motopropulseurs hybrides dans une même famille, c'est-à-dire les raisons pour lesquelles il est prévisible qu'elles satisfassent aux mêmes exigences en matière d'émissions.

Ces éléments peuvent être des calculs, des simulations, des estimations, une description de l'unité de contrôle électronique hybride, des résultats expérimentaux, etc.

Exemples de paramètres commandés par le contrôle électronique:

- a) **Stratégie de limitation des émissions du moteur;**
- b) **Gestion de la consommation;**
- c) **Gestion de l'énergie.**

5.3.3.7 Autre

Réservé.

5.3.4 Choix du groupes motopropulseurs hybride de base

Réservé.

6. Conditions d'essai**6.1 Conditions d'essai en laboratoire**

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

a) Moteurs à allumage par compression:

Moteurs à aspiration naturelle et moteurs à suralimentation mécanique:

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

Moteurs à turbocompresseur avec ou sans refroidisseur intermédiaire:

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

b) Moteurs à allumage commandé:

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

6.2 Moteurs à refroidisseur intermédiaire

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

Si l'on utilise un système appartenant au laboratoire d'essai ou un ventilateur extérieur, le débit du fluide de refroidissement doit être réglé de telle sorte que la température de l'air d'admission se situe à ± 5 K de la température maximale de l'air d'admission spécifiée par le constructeur au régime nominal et à pleine charge. La température du fluide de refroidissement et le débit du fluide du refroidisseur intermédiaire au point de consigne ci-dessus ne doivent pas être modifiés pendant le cycle d'essai, sauf si ces conditions provoquent un refroidissement excessif de l'air d'admission par rapport aux conditions réelles. Le volume du refroidisseur intermédiaire doit être déterminé dans les règles de l'art et doit être représentatif de l'installation du moteur en service. L'équipement de laboratoire doit être conçu de façon à réduire le plus possible l'accumulation de condensat. Tout condensat accumulé doit être drainé et tous les drains doivent être hermétiquement fermés avant les essais de mesure des émissions.

Si le constructeur du moteur précise les limites de la perte de pression de l'air à travers le refroidisseur, il faut faire en sorte que la perte de pression aux conditions moteur spécifiées par le constructeur se situe bien à l'intérieur de ces limites. La chute de pression doit être mesurée aux endroits spécifiés par le constructeur.

6.3 Puissance du moteur

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

Dans le cas d'un groupes motopropulseurs hybride, la base de la mesure des émissions spécifiques est la puissance du système et le travail au

cours du cycle déterminés conformément aux paragraphes A.9.2.5.1 ou A.10.7, respectivement.

- 6.3.1 Généralités concernant l'installation du moteur
- Le moteur doit être essayé avec les accessoires et les équipements énumérés à l'annexe 7.
- Si les accessoires et les équipements ne sont pas installés comme requis, leur puissance doit être prise en considération conformément aux paragraphes 6.3.2 à 6.3.5.
- 6.3.2 Accessoires et équipements devant être montés pour l'essai de mesure des émissions
- S'il n'est pas possible d'installer sur le banc d'essai les accessoires et les équipements prévus conformément à l'annexe 7, la puissance qu'ils absorbent doit être déterminée et soustraite de la puissance mesurée du moteur (de référence et réelle) sur la totalité de la plage de régime moteur du WHTC et sur les vitesses d'essai du WHSC.
- 6.3.3 Accessoires et équipements devant être démontés pour l'essai
- Lorsque les accessoires et les équipements ne figurant pas parmi ceux qui doivent être montés conformément à l'annexe 7 ne peuvent pas être démontés, la puissance qu'ils absorbent peut être déterminée et ajoutée à la puissance mesurée du moteur (de référence et réelle) sur la totalité de la plage de régime moteur du WHTC et sur les vitesses d'essai du WHSC. Si cette valeur est supérieure à 3 % de la puissance maximale au régime d'essai, il doit en être donné la preuve à l'autorité d'homologation de type.
- 6.3.4 Détermination de la puissance absorbée par les accessoires
- La puissance absorbée par les accessoires et les équipements ne doit être déterminée que si:
- Les accessoires et équipements qui doivent être montés conformément à l'annexe 7 ne sont pas montés sur le moteur; et/ou si
 - Des accessoires et équipements qui ne figurent pas parmi ceux qui doivent être montés conformément à l'annexe 7 sont montés sur le moteur.
- Les valeurs de la puissance absorbée par les accessoires et la méthode de calcul ou de mesure utilisées pour déterminer cette puissance doivent être communiquées par le constructeur du moteur pour toute la plage de fonctionnement des cycles d'essai et approuvées par l'autorité d'homologation de type.
- 6.3.5 Travail au cours du cycle du moteur
- Le calcul du travail de référence et du travail effectif au cours du cycle (voir par. 7.4.8 et 7.8.6) doit être effectué sur la base de la puissance du moteur conformément au paragraphe 6.3.1. Dans ce cas, P_f et P_r dans l'équation 4 sont nuls, et P est égal à P_m .
- Si des accessoires/équipements sont installés conformément aux paragraphes 6.3.2 et/ou 6.3.3, la puissance qu'ils absorbent doit être utilisée pour corriger comme suit chaque puissance instantanée $P_{m,i}$ au cours du cycle:

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

où:

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

$P_{f,i}$ est la puissance absorbée par les accessoires/équipements à monter, en kW;

$P_{r,i}$ est la puissance absorbée par les accessoires/équipements à démonter, en kW.

6.4 Système d'admission d'air du moteur

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

6.5 Système d'échappement du moteur

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

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

Si le moteur est équipé d'un système de traitement aval des gaz d'échappement, le tuyau d'échappement doit avoir le même diamètre que le tuyau de série, ou le diamètre spécifié par le constructeur, sur une longueur égale à au moins quatre diamètres de tuyau en amont de l'entrée de la section divergente contenant le dispositif de traitement aval. La distance entre la bride du collecteur d'échappement ou la bride de sortie du turbocompresseur et le dispositif de traitement aval doit être la même que sur le véhicule ou être conforme aux spécifications du constructeur. La contre-pression ou la restriction à l'échappement doit satisfaire aux critères énoncés plus haut, et elle peut être réglable au moyen d'une soupape. Pour les dispositifs de traitement aval à contre-pression variable, la contre-pression maximale des gaz d'échappement doit être déterminée aux conditions du système de traitement aval (niveau de rodage/vieillessement et de régénération/encrassement) spécifiées par le constructeur. Si la contre-pression maximale est égale ou inférieure à 5 kPa, la valeur de réglage ne doit pas être située à moins de 1,0 kPa du maximum. Le système de traitement aval peut être retiré lors des essais à blanc et pendant l'établissement de la cartographie du moteur et 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

Les émissions doivent être mesurées sur un système de traitement aval dont les caractéristiques ont été stabilisées de manière à garantir la répétabilité du comportement des émissions.

L'opération de régénération doit se produire au moins une fois au cours de l'essai **de démarrage à chaud pertinent (WHTC pour les moteurs classiques, HEC ou HPC pour les groupes motopropulseurs hybrides)** et le constructeur doit déclarer les conditions dans lesquelles la régénération a normalement lieu (charge en particules, température, contrepression d'échappement, etc.).

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

Le système de traitement aval est considéré comme étant du type à régénération continue si les conditions déclarées par le constructeur sont respectées au cours de l'essai pendant une durée suffisante et si les résultats en matière d'émissions n'offrent pas une dispersion excédant $\pm 25\%$ ou 0,005 g/kWh, selon la valeur qui est la plus élevée.

Si le système de traitement aval comporte un mode défaut qui consiste en un passage à un mode de régénération périodique, il doit être contrôlé conformément au paragraphe 6.6.2. Dans ce cas particulier, les limites d'émissions applicables pourront être dépassées et ne devront pas être pondérées.

6.6.2 Régénération périodique

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

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

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

Le constructeur doit fournir un système de traitement aval qui a subi un traitement préliminaire d'encrassage de manière à ce que la régénération se produise au cours d'un essai de **démarrage à chaud**. La régénération ne doit pas avoir lieu au cours de cette phase de mise en température.

Aux fins de cette vérification, le moteur doit être mis en température conformément au paragraphe 7.4.1, subir une phase de stabilisation à chaud conformément au paragraphe 7.6.3 et subir l'essai de démarrage à chaud.

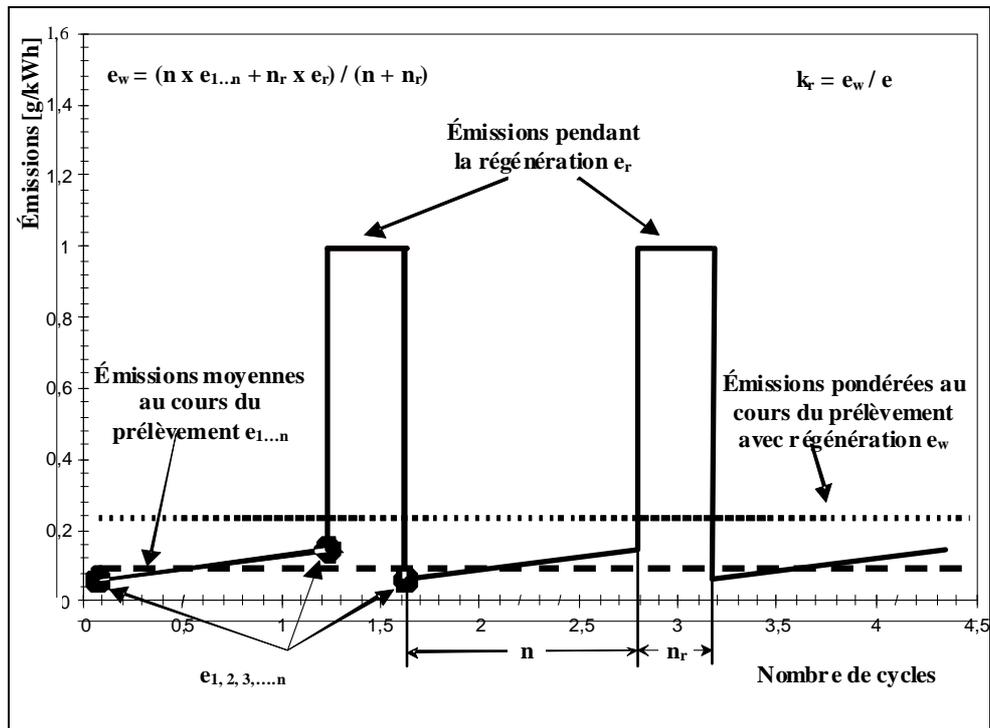
Les émissions spécifiques moyennes au banc de freinage entre phases de régénération doivent être déterminées sur la base de la moyenne arithmétique de plusieurs résultats d'essais de démarrage à chaud également espacés (g/kWh). IL faut procéder à au moins un essai de démarrage à chaud le plus tard possible avant un essai avec régénération et à un essai de démarrage à chaud immédiatement après un tel essai. Le constructeur peut aussi communiquer des données démontrant que les émissions demeurent constantes ($\pm 25\%$ ou 0,005 g/kWh, la plus grande de ces deux valeurs étant retenue) entre phases de régénération. Dans ce cas, on peut ne prendre en compte que les émissions d'un seul essai de démarrage à chaud.

Au cours de l'essai avec régénération, toutes les données nécessaires pour détecter cette phase doivent être enregistrées (émissions de CO ou NO_x, température en amont et en aval du système de traitement, contre-pression d'échappement, etc.).

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

La procédure d'essai est schématisée à la figure 2.

Figure 2
Représentation schématique de la régénération périodique



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

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

où:

- n est le nombre d'essais de démarrage à chaud sans régénération;
- n_r est le nombre d'essais de démarrage à chaud avec régénération (un essai au minimum);
- \bar{e} est la valeur moyenne des émissions spécifiques sans régénération, en g/kWh;
- \bar{e}_r est la valeur moyenne des émissions spécifiques avec régénération, en g/kWh.

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

- a) Si la régénération prend plus d'un essai de démarrage à chaud, il faut effectuer des essais complets successifs et continuer à mesurer les émissions, sans exécuter de phase de stabilisation ni arrêter le moteur, jusqu'à l'achèvement de la régénération, puis calculer la moyenne des résultats des essais de démarrage à chaud;
- b) Si la régénération se termine pendant l'un quelconque des cycles de démarrage à chaud, il faut poursuivre l'essai jusqu'à son terme;

En accord avec l'autorité d'homologation de type, on peut appliquer un facteur de correction de régénération multiplicatif c) ou additif d) sur la base des principes techniques reconnus;

- c) Le facteur de correction multiplicatif doit être calculé comme suit:

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

$$k_{r,d} = \frac{e_w}{e_r} \quad (\text{vers le bas}) \quad (7)$$

- d) Le facteur de correction additif doit être calculé comme suit:

$$k_{r,u} = e_w - e \quad (\text{vers le haut}) \quad (8)$$

$$k_{r,d} = e_w - e_r \quad (\text{vers le bas}) \quad (9)$$

Eu égard au calcul des émissions spécifiques visé au paragraphe 8.6.3, les facteurs d'ajustement de la régénération doivent être appliqués comme suit:

- e) Pour un essai sans régénération, $k_{r,u}$ doit être multiplié par l'émission spécifique e ou lui être ajouté dans les équations 69 ou 70, respectivement;
- f) Pour un essai avec régénération, $k_{r,d}$ doit être multiplié par l'émission spécifique e ou lui être soustrait dans les équations 69 ou 70, respectivement.

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

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

6.7 Système de refroidissement

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

6.8 Lubrifiant moteur

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

6.9 Caractéristiques techniques du carburant de référence

L'utilisation d'un carburant de référence unique est considérée depuis toujours comme une condition impérative pour garantir la reproductibilité des essais réglementaires de contrôle des émissions, et il est recommandé

aux Parties contractantes d'utiliser un tel carburant pour leurs essais de contrôle de la conformité. Toutefois en attendant que des prescriptions fonctionnelles (valeurs limites) soient introduites dans le présent RTM, les Parties contractantes à l'Accord de 1998 sont autorisées à définir leur propre carburant de référence aux fins de l'application de leur législation nationale, pour tenir compte des carburants réellement commercialisés pour les véhicules en service.

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

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

6.10 Émissions de gaz de carter

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

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

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

- a) Les tuyaux doivent avoir une paroi lisse, être électriquement conducteurs et ne pas être réactifs au contact des gaz de carter. Ils doivent être aussi courts que possible;
- b) Les tuyaux utilisés dans le laboratoire pour recueillir les émissions de gaz de carter doivent présenter le moins de coudes possible et lorsqu'un coude est inévitable, son rayon de courbure doit être aussi grand que possible;
- c) Les tuyaux utilisés dans le laboratoire pour recueillir les émissions de gaz de carter doivent être chauffés, avoir une paroi mince ou être isolés et satisfaire aux spécifications du constructeur du moteur relatives à la contre-pression dans le carter;
- d) Les tuyaux utilisés pour recueillir les émissions de gaz de carter doivent être raccordés au dispositif d'évacuation des gaz d'échappement bruts en aval de tout système de traitement aval, en aval de tout dispositif engendrant une contre-pression, et

suffisamment en amont des sondes de prélèvement pour garantir un mélange intime avec les gaz d'échappement du moteur avant le prélèvement. Le tuyau qui achemine les émissions de gaz de carter doit pénétrer jusque dans la veine libre de gaz d'échappement afin d'éviter les effets de couche limite et faciliter le brassage. L'orifice de sortie du tuyau acheminant les émissions de gaz de carter peut être orienté dans n'importe quelle direction par rapport au flux des gaz d'échappement.

7. Modes opératoires

7.1 Principes de la mesure des émissions

Pour mesurer les émissions spécifiques, il faut:

- a) **Faire effectuer au moteur les cycles d'essai définis aux paragraphes 7.2.1 et 7.2.2 s'il s'agit d'un moteur classique; ou**
- b) **Faire effectuer au moteur le cycle d'essai défini au paragraphe 7.2.3.1 dans le cas des groupes motopropulseurs hybrides, ou**
- c) **Faire effectuer au groupe motopropulseur hybride le cycle d'essai défini au paragraphe 7.2.3.2 dans le cas des groupes motopropulseurs hybrides.**

La mesure des émissions spécifiques au frein requiert la détermination de la masse des constituants des gaz d'échappements et du travail au cours du cycle du moteur ou du système (pour les groupes motopropulseurs hybrides) correspondant. Les constituants sont prélevés par les méthodes décrites aux paragraphes 7.1.1 et 7.1.2.

Dans le cas des véhicules hybrides, la dérivation des cycles d'essai applicables aux moteurs individuels ou aux groupes motopropulseurs est décrite à l'annexe 9 ou à l'annexe 10, respectivement.

7.1.1 Prélèvement continu

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

7.1.2 Prélèvement par lot

Dans le cadre d'un prélèvement par lot, un échantillon de gaz d'échappement bruts ou dilués est prélevé en continu et stocké avant d'être mesuré. L'échantillon prélevé doit être proportionnel au débit des gaz d'échappement bruts ou dilués. Les méthodes de prélèvement par lot consistent par exemple à collecter des constituants gazeux dilués dans un sac et des matières particulaires (MP) sur un filtre. Les concentrations recueillies par prélèvement par lot sont multipliées par la masse totale ou le débit massique des gaz d'échappement (bruts ou dilués) d'où elles ont été extraites pendant le cycle d'essai. Ce produit équivaut à la masse totale ou le débit massique des constituants émis. Pour calculer la concentration de matières

particulaires, la quantité de matières particulaires déposées sur un filtre à partir des gaz d'échappement extraits proportionnellement doit être divisée par la quantité de gaz d'échappement filtrés.

7.1.3 Méthodes de mesure

Le présent RTM prévoit l'emploi de deux méthodes de mesure qui sont fonctionnellement équivalentes. L'une et l'autre peuvent être appliquées indifféremment aux cycles d'essai WHTC, WHSC, HEC ou HPC:

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

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

7.2 Cycles d'essai

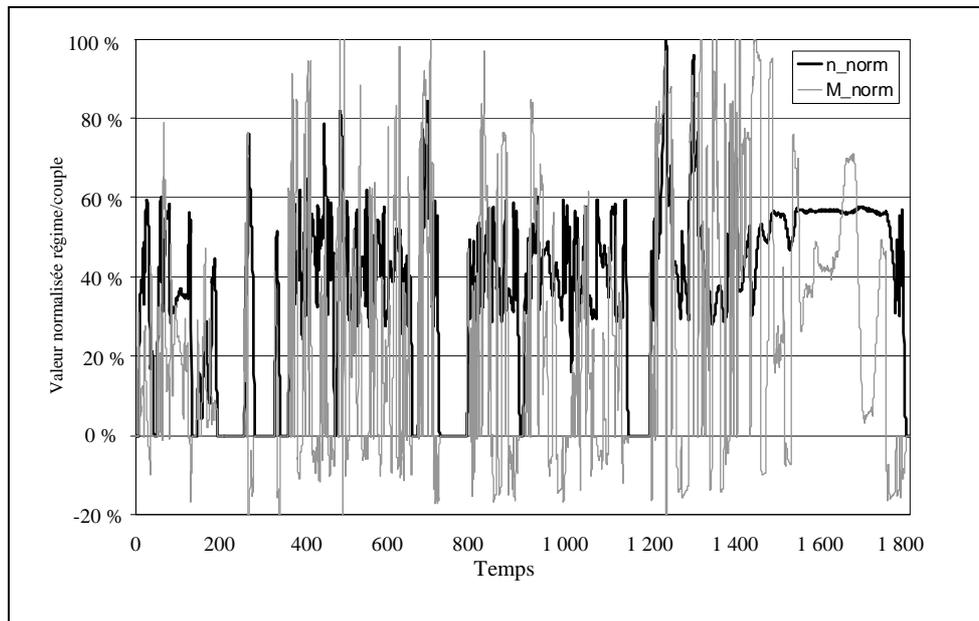
7.2.1 Cycle d'essai en conditions transitoires (WHTC)

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

Pour calculer les émissions spécifiques au banc de freinage, il faut calculer le travail réel au cours du cycle d'essai par intégration de la puissance réelle du moteur au cours de ce cycle. Pour que le cycle soit validé, il faut que le travail réel au cours de ce cycle soit situé dans les limites prescrites pour le travail au cours du cycle de référence.

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

Figure 3
Cycle d'essai WHTC



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

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

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

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

Le cycle WHSC est défini au tableau 1. À l'exception du mode 1, le début de chaque mode est défini comme le début de la transition à partir du mode précédent.

Tableau 1
Cycle d'essai WHSC

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

7.2.3 Cycle d'essai transitoire WHVC (groupes motopropulseurs hybrides seulement)

Le cycle d'essai en conditions transitoires WHVC est défini dans l'appendice 1b sous la forme d'une séquence seconde par seconde de vitesses du véhicule et de déclivités. Pour effectuer l'essai dans une chambre d'essai de moteurs ou de groupes motopropulseurs, les valeurs du cycle doivent être converties en valeurs de référence de vitesse rotationnelle et de couple pour le moteur ou le groupe motopropulseur soumis à l'essai conformément à l'une des méthodes des sections 7.2.3.1 ou 7.2.3.2.

Il est à relever que les cycles d'essais appelés HEC et HPC dans le présent RTM ne sont pas des cycles normalisés comme les sont les cycles WHVC et WHSC, mais des cycles d'essai élaborés séparément à partir du cycle WHVC pour le groupe motopropulseur hybride soumis à l'essai.

7.2.3.1 Méthode de simulation HIL

La conversion s'effectue conformément à l'annexe 9 et le cycle d'essai ainsi élaboré constitue le cycle de référence du moteur à essayer (HEC). Il faut exécuter le cycle dans la chambre d'essai avec ces valeurs de références de régime et de couple et les valeurs réelles de régime, de couple et de puissance doivent être enregistrées. Pour valider l'essai, une analyse de régression entre les valeurs de référence et les valeurs réelles de régime, de couple et de puissance doit être effectuée après la fin de l'essai.

7.2.3.2 Méthode applicable au groupe motopropulseur

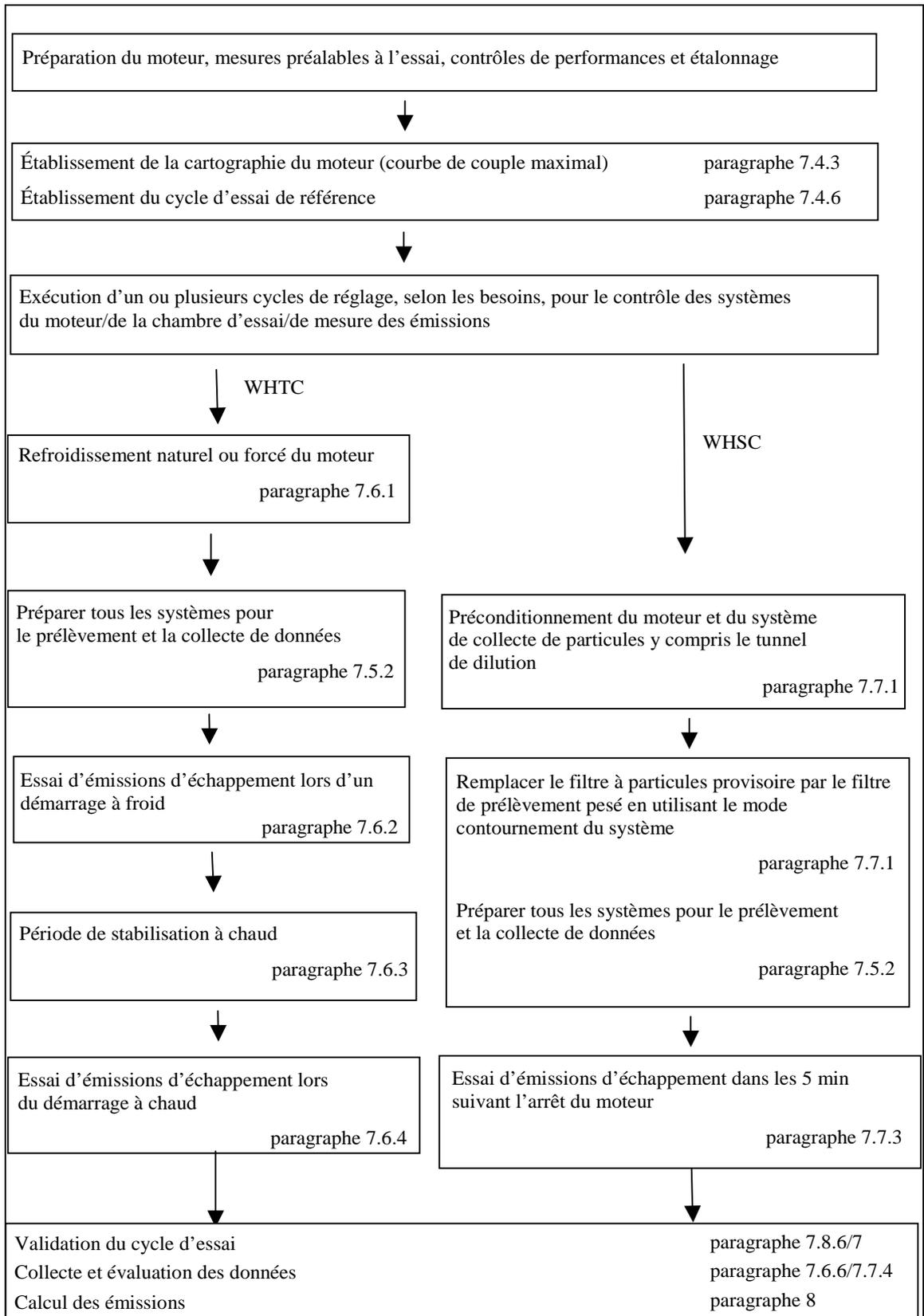
La conversion s'effectue conformément à l'annexe 10 et le cycle d'essai ainsi élaboré constitue le cycle de référence du groupe motopropulseur à essayer (HPC). On exécute le cycle HPC en utilisant les points de réglage calculé à partir du cycle WHVC et de la gestion en ligne de la charge.

7.3 Instructions générales concernant la séquence d'essai

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

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

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



- 7.4 Établissement de la cartographie du moteur et cycle de référence
- Les mesures moteur préalables à l'essai, les contrôles de performances préalables du moteur et les opérations d'étalonnage préalables du système doivent être effectués avant l'exécution de la cartographie du moteur conformément au diagramme logique d'ensemble du paragraphe 7.3.
- En tant que base pour la génération du cycle de référence WHTC et WHSC, la cartographie du moteur fonctionnant à pleine charge doit être établie pour déterminer les courbes régime/couple maximal et régime/puissance maximale. La courbe de conversion doit être utilisée pour dénormaliser le régime du moteur (par. 7.4.6) et le couple du moteur (par. 7.4.7).
- Pour les groupes motopropulseurs des véhicules hybrides, il faut suivre les procédures de cartographie décrites au paragraphe A.9.4.1 ou A.10.4.1, respectivement. Les paragraphes 7.4.1 à 7.4.8 ne s'appliquent pas.**
- 7.4.1 Mise en température du moteur
- Le moteur doit être mis en température par fonctionnement entre 75 % et 100 % de sa puissance maximale conformément aux recommandations du constructeur et aux pratiques reconnues. Vers la fin de la mise en température, le moteur doit fonctionner de manière à ce que les températures du liquide de refroidissement et de l'huile de lubrification se situent à ± 2 % de leur valeur moyenne pendant au moins 2 min ou jusqu'à ce que le thermostat du moteur règle sa température.
- 7.4.2 Détermination de la plage de régime de la cartographie
- Le régime minimal et le régime maximal de la cartographie sont définis comme suit:
- Régime minimal = régime de ralenti;
- Régime maximal = $n_{hi} \times 1,02$, ou régime où le couple à pleine charge s'annule, la valeur la plus basse étant retenue.
- 7.4.3 Traçage des courbes moteur
- Lorsque les conditions moteur sont stationnaires conformément au paragraphe 7.4.1, la cartographie doit être exécutée comme suit:
- Le moteur doit tourner à vide au régime de ralenti;
 - Le moteur doit fonctionner avec une demande maximale de puissance de l'opérateur au régime minimal de la cartographie;
 - Le régime doit être progressivement accéléré au taux moyen de $8 \pm 1 \text{ min}^{-1}/\text{s}$ depuis le régime minimal jusqu'au régime maximal de la cartographie, ou à un taux constant tel qu'il faille entre 4 et 6 min pour passer du régime maximal au régime minimal de la cartographie. Les points régime/couple sont enregistrés à une fréquence d'échantillonnage d'au moins un point par seconde.
- Lorsque l'option b) du paragraphe 7.4.7 est choisie pour déterminer les valeurs négatives du couple de référence, la courbe de conversion peut continuer directement avec une demande minimale de puissance de l'opérateur depuis le régime maximal jusqu'au régime minimal de la cartographie.

7.4.4 Autres techniques de cartographie

Si un constructeur estime que les techniques de cartographie décrites ci-dessus présentent un risque pour le moteur ou ne sont pas représentatives d'un moteur donné, d'autres techniques peuvent être appliquées. Ces autres techniques doivent répondre à l'intention des procédures de cartographie spécifiées, à savoir déterminer le couple maximal disponible à tous les régimes moteur atteints au cours des cycles d'essai. Tout écart par rapport aux techniques spécifiées dans le présent paragraphe, pour des raisons de sécurité du moteur ou de représentativité, doit être approuvé par l'autorité d'homologation de type, de même que les motifs avancés. En aucun cas, toutefois, la courbe de couple ne doit être tracée en suivant un régime décroissant pour les moteurs à régulateur ou à turbocompresseur.

7.4.5 Répétition des essais

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

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

7.4.6 Dénormalisation du régime moteur

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

$$n_{ref} = n_{norm} \times (0,45 \times n_{lo} + 0,45 \times n_{pref} + 0,1 \times n_{hi} - n_{idle}) \times 2,0327 + n_{idle} \quad (10)$$

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

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

- n_{lo} est le régime inférieur où la puissance est égale à 55 % de la puissance maximale;
- n_{pref} est le régime où l'intégrale du couple maximal selon la cartographie est égale à 51 % de l'intégrale totale entre n_{idle} et n_{95h} ;
- n_{hi} est le régime supérieur où la puissance est égale à 70 % de la puissance maximale;
- n_{idle} est le régime de ralenti;
- n_{95h} est le régime le plus élevé où la puissance est égale à 95 % de la puissance maximale.

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

- n_{hi} dans l'équation 9 est remplacé par $n_{pmax} \times 1,02$;
- n_{95h} est remplacé par $n_{pmax} \times 1,02$.

Figure 4
Définition des régimes d'essai

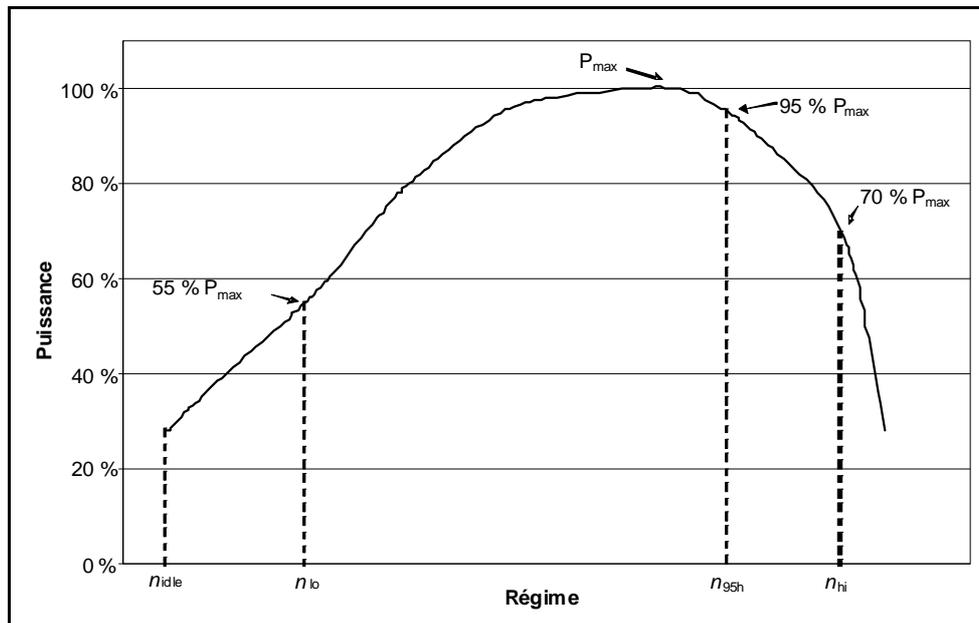
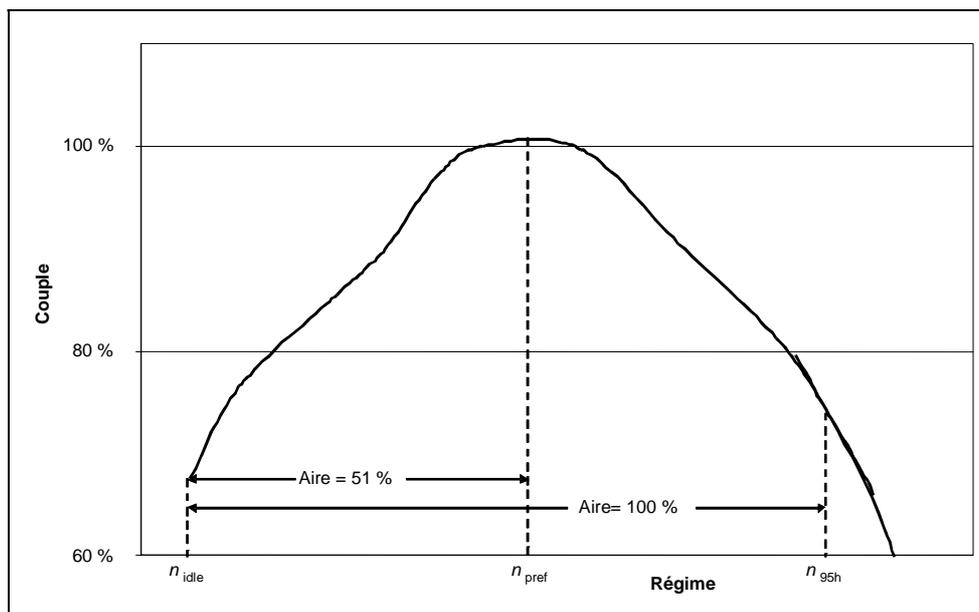


Figure 5
Définition de n_{pref}



7.4.7 Dénormalisation des valeurs de couple

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

$$M_{ref,i} = \frac{M_{norm,i}}{100} \times M_{max,i} + M_{f,i} - M_{r,i} \quad (11)$$

où:

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

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

$M_{f,i}$ est le couple absorbé par les accessoires/équipements à monter, en Nm;

$M_{r,i}$ est le couple absorbé par les accessoires/équipements à démonter, en Nm.

Si les accessoires/équipements sont montés conformément au paragraphe 6.3.1 et à l'annexe 7, M_f et M_r sont nuls.

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

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

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

On détermine le travail au cours du cycle d'essai de référence pour la durée du cycle en calculant, d'une manière synchrone, les valeurs instantanées de la puissance du moteur obtenues à partir du régime de référence et du couple de référence, comme défini aux paragraphes 7.4.6 et 7.4.7. Les valeurs instantanées de la puissance du moteur doivent être intégrées sur la durée du cycle pour calculer le cycle de référence W_{ref} (kWh). Si les accessoires ne sont pas montés conformément au paragraphe 6.3.1, les valeurs instantanées de la puissance doivent être corrigées au moyen de l'équation (4) du paragraphe 6.3.5.

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

calculée et ramenée à zéro. La portion positive doit être incluse dans la valeur intégrée.

7.5 Opérations préalables à l'essai

7.5.1 Installation de l'équipement de mesure

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

7.5.2 Préparation de l'équipement de mesure pour le prélèvement

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

- a) Des contrôles d'étanchéité doivent être effectués dans les 8 h précédant le prélèvement des émissions conformément au paragraphe 9.3.4;
- b) Pour le prélèvement par lot, des moyens de stockage propres doivent être raccordés au système de prélèvement, tels que des sacs vidés d'air;
- c) Tous les instruments de mesure doivent être mis en marche conformément aux instructions du constructeur et dans les règles de l'art;
- d) Les systèmes de dilution, les pompes de prélèvement, les ventilateurs et les systèmes de collecte des données doivent être mis en marche;
- e) Le débit d'écoulement des échantillons doit être réglé pour atteindre le niveau souhaité en utilisant, s'il y a lieu, un écoulement dérivé;
- f) Les échangeurs de chaleur présents dans le système de prélèvement doivent être préchauffés ou prérefroidis de telle sorte que leur température se situe à l'intérieur de la plage de températures de fonctionnement prévue pour l'essai;
- g) Les éléments chauffés ou refroidis tels que les conduites de prélèvement, les filtres, les refroidisseurs et les pompes doivent pouvoir être stabilisés à leur température de fonctionnement;
- h) Le flux du système de dilution des émissions d'échappement doit être mis en marche au moins 10 min avant une séquence d'essai;
- i) Tous les dispositifs électroniques d'intégration doivent être mis à zéro ou remis à zéro avant le début de toute période d'essai.

7.5.3 Vérification des analyseurs de gaz

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

La réponse à la mise à zéro et la réponse au calibrage doivent être déterminées pour tous les analyseurs à l'aide de gaz internationalement traçables qui satisfont aux spécifications du paragraphe 9.3.3. Les analyseurs FID doivent être étalonnés sur une base carbone 1 (C1).

- 7.5.4 Préparation du filtre de collecte des particules
- Une heure au moins avant l'essai, le filtre doit être déposé dans une boîte de Pétri protégée contre la contamination par les poussières mais permettant la circulation de l'air et placée dans une chambre de pesée pendant une période de stabilisation. À la fin de cette période, le filtre doit être pesé et la tare enregistrée. Le filtre doit alors être stocké dans une boîte de Pétri fermée ou dans un porte-filtre scellé jusqu'à l'essai. Le filtre doit être utilisé dans les 8 h suivant son retrait de la chambre de pesée.
- 7.5.5 Réglage du système de dilution
- Le débit total de gaz d'échappement dilués dans un système de dilution du débit total ou le débit de gaz d'échappement dilués dans un système de dilution du flux partiel doit être réglé de manière à éviter toute condensation d'eau dans le système et à obtenir une température maximale au passage dans le filtre comprise entre 315 et 325 K (42 et 52 °C).
- 7.5.6 Mise en marche du système de collecte des particules
- Le système de collecte des particules doit être mis en marche et réglé sur le mode dérivation. Le niveau ambiant de particules dans l'agent diluant peut être déterminé par prélèvement sur l'agent diluant en amont de l'entrée des gaz d'échappement dans le tunnel de dilution. La mesure peut se faire avant ou après l'essai. Si elle est effectuée au début et à la fin du cycle, on peut prendre la moyenne des valeurs. Si un système de prélèvement différent est utilisé pour la mesure de la concentration ambiante, elle doit être effectuée parallèlement à l'essai lui-même.
- 7.6 Exécution du cycle WHTC
- Le présent paragraphe s'applique également aux essais HEC et HPC des véhicules hybrides. Différents cycles de démarrage à froid et à chaud sont autorisés, s'ils découlent de la procédure de conversion décrite à l'annexe 9 ou à l'annexe 10.**
- 7.6.1 Refroidissement du moteur
- On peut utiliser une méthode de refroidissement naturel ou de refroidissement forcé. Pour un refroidissement forcé, on doit utiliser un système conforme aux techniques reconnues de soufflage d'air froid sur le moteur, de circulation d'huile froide dans le circuit de graissage du moteur, de refroidissement du liquide de refroidissement dans le circuit du moteur et d'extraction de la chaleur d'un système de traitement aval. Dans le cas d'un refroidissement forcé du système de traitement aval, l'air de refroidissement ne doit pas être appliqué avant que la température de ce système ne soit retombée au-dessous de sa température d'activation catalytique. L'emploi d'une méthode de refroidissement donnant des résultats d'émissions non représentatifs n'est pas admis.
- 7.6.2 Démarrage à froid
- L'essai de démarrage à froid s'effectue lorsque les températures du lubrifiant moteur, du liquide de refroidissement et des systèmes de traitement aval sont toutes comprises entre 293 et 303 K (20 et 30 °C). Il faut démarrer le moteur conformément à l'une des deux méthodes suivantes:
- On démarre le moteur comme le recommande le constructeur dans le manuel d'utilisation, au moyen du démarreur de série et d'une batterie chargée ou d'un système d'alimentation extérieur; ou

- b) On démarre le moteur au moyen du dynamomètre. Le moteur est entraîné par le banc à sa vitesse normale de démarrage en service $\pm 25\%$. L'entraînement doit être coupé dans un délai d'une seconde après le démarrage du moteur. Si le moteur ne démarre pas après 15 s d'entraînement, il faut l'interrompre et déterminer la raison du non-démarrage, à moins que le manuel d'utilisation ou le manuel de service et de réparation ne décrivent comme normale une durée de démarrage plus longue.

7.6.3. Période de stabilisation à chaud

Immédiatement après l'exécution de l'essai de démarrage à froid, le moteur doit être conditionné pour l'essai de démarrage à chaud et soumis à une période de stabilisation à chaud d'une durée de 10 ± 1 min.

7.6.4 Essai de démarrage à chaud

Il faut démarrer le moteur à la fin de la période de stabilisation à chaud comme il est précisé au paragraphe 7.6.3 en appliquant les méthodes décrites au paragraphe 7.6.2.

7.6.5 Séquence d'essai

La séquence d'essai de l'essai de démarrage à froid et de l'essai de démarrage à chaud commence lors du démarrage du moteur. Une fois le moteur démarré, l'exécution du cycle doit être lancée de telle sorte que le fonctionnement du moteur corresponde au premier point de consigne du cycle.

Il doit être procédé à l'essai WHTC conformément au cycle de référence tel qu'il est décrit **aux paragraphes 7.4.6 et 7.4.7**. Les valeurs de consigne de régime et de couple sont émises à une fréquence égale ou supérieure à 5 Hz (valeur recommandée 10 Hz). Les valeurs de consigne doivent être calculées par interpolation linéaire entre les valeurs de consigne à 1 Hz du cycle de référence. Les valeurs réelles de régime et de couple doivent être enregistrées au moins une fois par seconde (fréquence 1 Hz) pendant le cycle d'essai, les signaux pouvant être filtrés par voie électronique.

Les cycles HEC et HPC doivent être effectués conformément aux paragraphes A.9.2.4 ou A.10.5, respectivement.

7.6.5.1 Système arrêt-démarrage

Si un système arrêt-démarrage est utilisé ou si le cycle du moteur hybride exige un arrêt du moteur, le moteur peut être arrêté au ralenti et/ou au point de contrôle par l'unité de contrôle électronique du moteur. La mesure des émissions et la collecte des données doivent se poursuivre jusqu'à la fin de l'essai.

7.6.6 Collecte des données d'émission pertinentes

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

- a) Collecte ou analyse du diluant, si un système de dilution à flux total est utilisé;
- b) Collecte ou analyse des gaz d'échappement bruts ou dilués, selon la méthode utilisée;

- c) Mesure de la quantité de gaz d'échappement dilués ainsi que des températures et pressions requises;
- d) Enregistrement du débit massique de gaz d'échappement, si l'analyse des gaz d'échappement bruts est utilisée;
- e) Enregistrement des données réelles de régime et de couple du dynamomètre.

Si la mesure des émissions est effectuée sur les gaz d'échappement bruts, les concentrations de polluants (HCNM, CO et NO_x) et le débit massique de gaz d'échappement doivent être mesurés en continu et enregistrés à une fréquence minimale de 2 Hz sur un système informatique. Toutes les autres données peuvent être enregistrées à une fréquence minimale de 1 Hz. Pour les analyseurs analogiques, les caractéristiques de réponse doivent être enregistrées et les données de calibrage peuvent être appliquées en ligne ou hors ligne au cours de l'évaluation des données.

Si la mesure s'effectue avec un système de dilution du flux total, les HC et NO_x doivent être mesurés en continu dans le tunnel de dilution à une fréquence minimale de 2 Hz. Les concentrations moyennes doivent être déterminées par intégration des signaux de l'analyseur au cours du cycle d'essai. Le temps de réponse du système ne doit pas être supérieur à 20 s, et il doit être coordonné si nécessaire avec les fluctuations de débit du système de prélèvement à volume constant (CVS) et les décalages s'appliquant à la durée de prélèvement et au cycle d'essai. Les valeurs de CO, CO₂ et de HCNM peuvent être déterminées par intégration des signaux de mesure en continu ou par analyse des concentrations recueillies dans le sac de prélèvement au cours du cycle. Les concentrations de polluants gazeux dans l'agent diluant doivent être déterminées en amont du point où les gaz d'échappement entrent dans le tunnel de dilution, par intégration ou par collecte dans le sac de prélèvement pour les concentrations ambiantes. Tous les autres paramètres à mesurer doivent être enregistrés à une fréquence minimale d'une mesure par seconde (1 Hz).

7.6.7 Collecte des particules

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

Si l'on utilise un système de dilution du flux partiel, il faut régler la ou les pompes de prélèvement de telle manière que le débit dans la sonde de prélèvement ou dans le tube de transfert soit proportionnel au débit massique de gaz d'échappement qui est déterminé conformément au paragraphe 9.4.6.1.

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

- 7.6.8 Calage du moteur et défaut de fonctionnement de l'équipement
- Si le moteur cale à un stade quelconque de l'essai de démarrage à froid, **sauf en cas d'un arrêt du moteur commandé par le module électronique de gestion conformément au paragraphe 7.6.5.1**, l'essai doit être annulé. Le moteur doit subir un préconditionnement et être démarré à nouveau conformément aux méthodes de démarrage du paragraphe 7.6.2, et l'essai doit être répété.
- Si le moteur cale à un stade quelconque de l'essai de démarrage à chaud, **sauf en cas d'un arrêt du moteur commandé par le module électronique de gestion conformément au paragraphe 7.6.5.1**, l'essai de démarrage à chaud doit être annulé. Après une période de stabilisation à chaud conformément au paragraphe 7.6.3, l'essai de démarrage à chaud doit être répété. Dans ce cas l'essai de démarrage à froid n'a pas à être répété.
- S'il survient au cours du cycle un défaut de fonctionnement de l'un quelconque des équipements d'essai prescrits, l'essai doit être annulé et répété conformément aux dispositions ci-dessus.
- 7.7 Exécution du cycle WHSC
- Le présent paragraphe ne s'applique pas aux véhicules hybrides.**
- 7.7.1 Préconditionnement du système de dilution et du moteur
- Le système de dilution et le moteur doivent être mis en marche et portés à la température requise conformément au paragraphe 7.4.1. Après mise en température, le moteur et le système de prélèvement doivent être préconditionnés par un fonctionnement du moteur sur le mode 9 (voir par. 7.2.2, tableau 1) pendant une durée d'au moins 10 min, avec fonctionnement simultané du système de dilution. Des échantillons provisoires de particules peuvent être collectés. Les filtres utilisés à cette fin n'ont pas à être stabilisés ou pesés et ils peuvent être mis au rebut après usage. Les débits doivent être réglés approximativement aux valeurs de débit prévues pour l'essai. Le moteur doit être arrêté après le préconditionnement.
- 7.7.2 Démarrage du moteur
- 5 ± 1 min après la fin du préconditionnement sur le mode 9 comme décrit dans le paragraphe 7.7.1, il faut démarrer le moteur conformément à la méthode de démarrage recommandée par le constructeur dans le manuel d'utilisation, soit au moyen du démarreur de série, soit par entraînement par le banc conformément au paragraphe 7.6.2.
- 7.7.3 Séquence d'essai
- La séquence d'essai commence après le démarrage du moteur et dans un délai d'une minute à compter du moment où il est vérifié que le fonctionnement du moteur correspond au premier mode du cycle (ralenti).
- L'essai WHSC doit être effectué conformément à l'ordre des modes d'essai indiqué au tableau 1 du paragraphe 7.2.2.
- 7.7.4 Collecte des données d'émissions pertinentes
- Au début de la séquence d'essai, l'équipement de mesure doit être mis en marche pour effectuer simultanément les opérations suivantes:
- a) Collecte ou analyse du diluant, si un système de dilution à flux total est utilisé;

- b) Collecte ou analyse des gaz d'échappement bruts ou dilués, selon la méthode utilisée;
- c) Mesure de la quantité de gaz d'échappement dilués ainsi que des températures et pressions requises;
- d) Enregistrement du débit massique de gaz d'échappement, si l'analyse des gaz d'échappement bruts est utilisée;
- e) Enregistrement des données réelles de régime et de couple du dynamomètre.

Si la mesure des émissions est effectuée sur les gaz d'échappement bruts, les concentrations de polluants (HCNM, CO et NO_x) et le débit massique de gaz d'échappement doivent être mesurés en continu et enregistrés à une fréquence minimale de 2 Hz sur un système informatique. Toutes les autres données peuvent être enregistrées à une fréquence minimale de 1 Hz. Pour les analyseurs analogiques, les caractéristiques de réponse doivent être enregistrées, et les données de calibrage peuvent être appliquées en ligne ou hors ligne au cours de l'évaluation des données.

Si la mesure s'effectue avec un système de dilution du flux total, les HC et NO_x doivent être mesurés en continu dans le tunnel de dilution à une fréquence minimale de 2 Hz. Les concentrations moyennes doivent être déterminées par intégration des signaux de l'analyseur au cours du cycle d'essai. Le temps de réponse du système ne doit pas être supérieur à 20 s et il doit être coordonné si nécessaire avec les fluctuations de débit du système de prélèvement à volume constant (CVS) et les décalages s'appliquant à la durée de prélèvement et au cycle d'essai. Les valeurs de CO, CO₂ et de HCNM peuvent être déterminées par intégration des signaux de mesure en continu ou par analyse des concentrations recueillies dans le sac de prélèvement au cours du cycle. Les concentrations de polluants gazeux dans l'agent diluant doivent être déterminées par intégration ou par collecte dans le sac de prélèvement pour les concentrations ambiantes. Tous les autres paramètres à mesurer doivent être enregistrés à une fréquence minimale d'une mesure par seconde (1 Hz).

7.7.5 Collecte des particules

Au début de la séquence d'essai, le système de collecte des particules doit être commuté du mode dérivation au mode collecte. Si l'on utilise un système de dilution du flux partiel, il faut régler la ou les pompes de prélèvement de telle manière que le débit dans la sonde de prélèvement ou dans le tube de transfert soit proportionnel au débit massique de gaz d'échappement qui est déterminé conformément au paragraphe 9.4.6.1.

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

- 7.7.6 Calage du moteur et défaut de fonctionnement de l'équipement
- Si le moteur cale à un stade quelconque du cycle, l'essai doit être annulé. Le moteur doit subir un préconditionnement conformément au paragraphe 7.7.1 et être démarré à nouveau conformément au paragraphe 7.7.2, et l'essai doit être répété.
- S'il survient un défaut de fonctionnement de l'un quelconque des équipements d'essai prescrits au cours du cycle, l'essai doit être annulé et répété conformément aux dispositions ci-dessus.
- 7.8 Procédures effectuées après l'essai
- 7.8.1 Opérations exécutées après l'essai
- À la fin de l'essai, la mesure du débit massique de gaz d'échappement et du volume de gaz d'échappement dilués, du débit de gaz prélevé dans les sacs de collecte et dans la pompe de prélèvement des particules est arrêtée. Dans le cas d'un système d'analyseur intégrateur la procédure de prélèvement doit être poursuivie jusqu'à ce que les temps de réponse du système se soient écoulés.
- 7.8.2 Vérification de l'échantillon proportionnel
- Pour tout prélèvement par lot proportionnel, tel que le prélèvement d'un sac de collecte ou un prélèvement de matières particulaires, il doit être vérifié que le prélèvement d'un échantillon proportionnel a été maintenu conformément aux paragraphes 7.6.7 et 7.7.5. Tout échantillon qui ne satisfait pas aux prescriptions doit être écarté.
- 7.8.3 Conditionnement et pesée des matières particulaires
- Les filtres à particules doivent être placés dans des récipients recouverts ou fermés hermétiquement ou les porte-filtres doivent être fermés eux-mêmes, afin de protéger les filtres contre toute contamination ambiante. Ainsi protégés, les filtres doivent être ramenés dans la chambre de pesée et conditionnés pendant au moins une heure, puis pesés conformément au paragraphe 9.4.5. Le poids brut du filtre doit être enregistré.
- 7.8.4 Vérification de la dérive
- Dès que possible mais au plus tard 30 min après l'achèvement du cycle d'essai ou pendant la phase de stabilisation à chaud, la réponse à la mise à zéro et la réponse au calibrage de l'analyseur de gaz doivent être déterminées. Aux fins du présent paragraphe, le cycle d'essai est défini comme suit:
- Pour les essais WHTC, **HEC**, **HPC**: la séquence complète démarrage à froid – phase de stabilisation à chaud – démarrage à chaud;
 - Pour l'essai de démarrage à chaud des cycles WHTC, **HEC**, **HPC** (par. 6.6): la séquence phase de stabilisation à chaud – démarrage à chaud;
 - Pour l'essai de démarrage à chaud des cycles WHTC, **HEC**, **HPC** avec régénération multiple (par. 6.6): le nombre total d'essais de démarrage à chaud;
 - Pour l'essai WHSC: le cycle d'essai.

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

- e) Les réponses à la mise à zéro et au calibrage avant l'essai et après l'essai peuvent être directement appliquées dans les calculs de dérive prescrits au paragraphe 8.6.1 sans déterminer la dérive;
- f) Si la différence entre les résultats avant essai et après essai est de moins de 1 % de l'amplitude totale, la concentration mesurée peut être utilisée non corrigée ou peut être corrigée pour la dérive conformément au paragraphe 8.6.1;
- g) Si la différence entre les résultats avant essai et après essai est égale ou supérieure à 1 % de l'amplitude totale, l'essai est annulé ou les concentrations mesurées sont corrigées pour la dérive conformément au paragraphe 8.6.1.

7.8.5 Analyse des échantillons de gaz recueillis dans les sacs

Dès que possible, les opérations suivantes doivent être effectuées:

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

7.8.6 Validation du travail au cours du cycle

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

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

7.8.7 Opérations statistiques de validation du cycle d'essai

Le travail au cours du cycle réel W_{act} est utilisé pour la comparaison avec le travail au cours du cycle de référence W_{ref} et pour le calcul des émissions spécifiques au banc de freinage (voir par. 8.6.3).

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

La présente section ne s'applique pas aux moteurs utilisés dans des véhicules hybrides ni aux groupes motopropulseurs hybrides.

7.8.8 Statistiques de validation du cycle d'essai

On doit effectuer des régressions linéaires des valeurs réelles (n_{act} , M_{act} , P_{act}) en fonction des valeurs de référence (n_{ref} , M_{ref} , P_{ref}) pour **les cycles d'essai WHTC, WHSC et HEC.**

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

Il faut appliquer la méthode des moindres carrés, l'équation de meilleur ajustement ayant la forme:

$$y = a_1x + a_0 \quad (12)$$

Où:

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

a_1 est la pente de la droite de régression;

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

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

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

L'analyse doit être effectuée à 1 Hz ou davantage. Pour qu'un essai soit jugé valide, il doit satisfaire aux critères du tableau 2 (WHTC, HEC) ou du tableau 3 (WHSC).

Tableau 2
Tolérances de la droite de régression pour les essais WHTC et HEC

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

Tableau 3
Tolérances de la droite de régression pour le WHSC

	Régime	Couple	Puissance
Erreur type d'estimation (SEE) de y sur x	au maximum 1 % du régime d'essai maximal	au maximum 2 % du couple maximal du moteur	au maximum 2 % de la puissance maximale du moteur
Pente de la droite de régression, a_1	0,99 à 1,01	0,98 – 1,02	0,98 – 1,02
Coefficient de détermination, r^2	minimum 0,990	minimum 0,950	minimum 0,950
Ordonnée à l'origine de la droite de régression, a_0	au maximum 1 % du régime d'essai maximal	± 20 Nm ou ± 2 % du couple maximal, la valeur supérieure étant retenue	± 4 kW ou ± 2 % de la puissance maximale, la valeur supérieure étant retenue

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

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

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

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

8. Mesure des émissions

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

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

Le calcul des émissions sur une base molaire conformément à l'annexe 7 du RTM n° 11 (NRMM) est admis avec l'accord préalable de l'autorité d'homologation de type.

8.1 Correction base sèche/base humide

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

$$c_w = k_w \cdot c_d \quad (13)$$

où:

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

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

8.1.1 Gaz d'échappement bruts

$$k_{w,a} = \left(1 - \frac{1,2442 \times H_a + 111,19 \times w_{ALF} \times \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}}}{773,4 + 1,2442 \times H_a + \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}} \times k_f \times 1000} \right) \times 1,008 \quad (14)$$

ou

$$k_{w,a} = \left(1 - \frac{1,2442 \times H_a + 111,19 \times w_{ALF} \times \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}}}{773,4 + 1,2442 \times H_a + \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}} \times k_f \times 1000} \right) \left(1 - \frac{P_r}{P_b} \right) \quad (15)$$

ou

$$k_{w,a} = \left(1 - \frac{1}{1 + a \times 0,005 \times (c_{CO_2} + c_{CO})} - k_{w1} \right) \times 1,008 \quad (16)$$

avec

$$k_{fw} = 0,055594 \times W_{ALF} + 0,0080021 \times W_{DEL} + 0,0070046 \times W_{EPS} \quad (17)$$

et

$$k_{w1} = \frac{1,608 \times H_a}{1000 + (1,608 \times H_a)} \quad (18)$$

où:

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

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

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

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

p_r est la pression de vapeur après le bain de refroidissement, en kPa;

p_b est la pression atmosphérique totale, en kPa;

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

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

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

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

c_{CO} est la concentration de CO en conditions sèches, en %.

Les équations (14) et (15) sont pour l'essentiel identiques, le facteur de 1,008 utilisé dans les équations (14) et (16) étant une approximation pour le dénominateur plus précis utilisé dans l'équation (15).

8.1.2 Gaz d'échappement dilués

$$k_{w,e} = \left[\left(1 - \frac{a \times c_{CO_2w}}{200} \right) \right] - k_{w2} \times 1,008 \quad (19)$$

ou

$$k_{w,e} = \left[\left(\frac{(1 - k_{w2})}{1 + \frac{a \times c_{CO_2d}}{200}} \right) \right] \times 1,008 \quad (20)$$

avec

$$k_{w2} = \frac{1,608 \times \left[H_d \times \left(1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \times \left(\frac{1}{D} \right) \right]}{1000 + \left\{ 1,608 \times \left[H_d \times \left(1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \times \left(\frac{1}{D} \right) \right] \right\}} \quad (21)$$

où:

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

$c_{\text{CO}_2\text{w}}$ est la concentration de CO_2 en conditions humides, en %;

$c_{\text{CO}_2\text{d}}$ est la concentration de CO_2 en conditions sèches, en %;

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

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

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

8.1.3 Air de dilution

$$k_{w,d} = (1 - k_{w3}) \times 1,008 \quad (22)$$

avec

$$k_{w3} = \frac{1,608 \times H_d}{1\,000 + (1,608 \times H_d)} \quad (23)$$

où:

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

8.2 Correction des valeurs de NO_x pour l'humidité

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

8.2.1 Moteurs à allumage par compression

$$k_{h,D} = \frac{15,698 \times H_a}{1\,000} + 0,832 \quad (24)$$

où:

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

8.2.2 Moteurs à allumage commandé

$$k_{h,G} = 0,6272 + 44,030 \times 10^{-3} \times H_a - 0,862 \times 10^{-3} \times H_a^2 \quad (25)$$

où:

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

8.3 Correction pour les effets de flottabilité du filtre à particules

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

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

- Filtre en fibre de verre revêtu de PTFE: 2,300 kg/m³;
- Filtre à membrane en PTFE: 2,144 kg/m³;
- Filtre à membrane en PTFE avec anneau support en polyméthylpentène: 920 kg/m³.

Pour les poids de tarage en acier inoxydable, on doit utiliser un matériau ayant une masse volumique de 8,000 kg/m³. Si le matériau est différent, sa masse volumique doit être connue.

L'équation suivante doit être appliquée:

$$m_f = m_{\text{uncor}} \times \left(\frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_w}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho_f}} \right) \quad (26)$$

avec

$$\rho_a = \frac{p_b \times 28,836}{8,3144 \times T_a} \quad (27)$$

où:

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

ρ_a est la masse volumique de l'air, en kg/m³;

ρ_w est la masse volumique du poids de tarage de la balance, en kg/m³;

ρ_f est la masse volumique du filtre de collecte des particules, en kg/m³;

p_b est la pression atmosphérique totale, en kPa;

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

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

8,3144 est la constante molaire des gaz.

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

$$m_p = m_{i,G} - m_{i,T} \quad (28)$$

où:

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

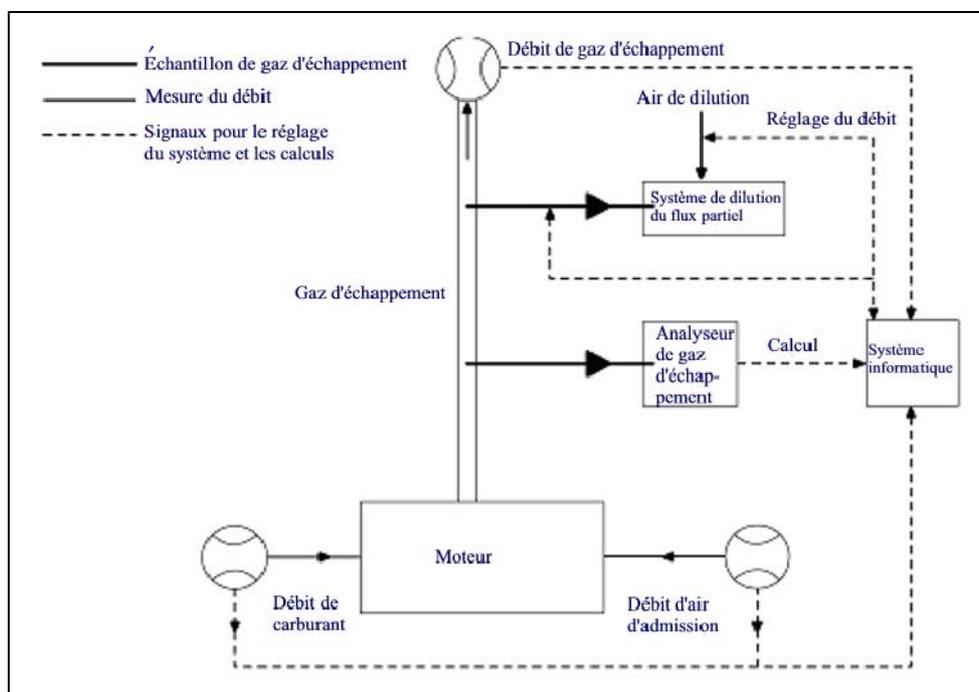
$m_{i,T}$ est la masse à vide du filtre à particules corrigée pour les effets de la flottabilité, en mg.

8.4 Dilution du flux partiel et mesure des émissions gazeuses brutes

Les signaux instantanés indiquant la concentration des constituants gazeux sont utilisés pour le calcul des émissions massiques par multiplication avec le

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

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



8.4.1 Détermination du débit massique de gaz d'échappement

8.4.1.1 Introduction

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

8.4.1.2 Temps de réponse

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

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

8.4.1.3 Méthode de la mesure directe

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

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

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

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

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

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

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} + q_{mf,i} \quad (29)$$

où:

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

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

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

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

8.4.1.5 Méthode de mesure avec un gaz témoin

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

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

tuyau d'échappement. La concentration de gaz témoin doit être ensuite mesurée dans l'échantillon de gaz d'échappement.

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

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

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

$$q_{mew,i} = \frac{q_{vt} \times \rho_e}{60 \times (c_{mix,i} - c_b)} \quad (30)$$

où:

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

q_{vt} est le débit de gaz témoin, en cm³/min;

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

ρ_e est la masse volumique des gaz d'échappement, en kg/m³ (voir tableau 4);

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

On peut déterminer la concentration ambiante du gaz témoin (c_b) en prenant la moyenne de la concentration ambiante mesurée immédiatement avant l'essai et après l'essai.

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

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

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

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

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} \times \left(1 + \frac{1}{A/F_{st} \times \lambda_1} \right) \quad (31)$$

avec

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

$$\lambda_i = \frac{\left(100 \cdot \frac{c_{\text{COd}} \times 10^{-4}}{2} - c_{\text{HCw}} \times 10^{-4}\right) + \left(\frac{\alpha}{4} \times \frac{1 - \frac{2 \times c_{\text{COd}} \times 10^{-4}}{3,5 \times c_{\text{CO2d}}}}{1 + \frac{c_{\text{CO}} \times 10^{-4}}{3,5 \times c_{\text{CO2d}}}} - \frac{\varepsilon}{2} - \frac{\delta}{2}\right) \times (c_{\text{CO2d}} + c_{\text{COd}} \times 10^{-4})}{4,764 \left(1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma\right) \times (c_{\text{CO2d}} + c_{\text{COd}} \times 10^{-4} + c_{\text{HCw}} \times 10^{-4})} \quad (33)$$

où:

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

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

λ_i est le taux d'excédent d'air instantané;

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

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

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

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

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

8.4.1.7 Méthode du bilan carbone

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

$$q_{\text{mew},i} = q_{\text{mf},i} \times \left(\frac{w_{\text{BET}}^2 \times 1,4}{(1,0828 \times w_{\text{BET}} + k_{\text{fd}} \times k_c) \times k_c} \left(1 + \frac{H_a}{1000}\right) + 1 \right) \quad (34)$$

avec

$$k_c = (c_{\text{CO2d}} - c_{\text{CO2d,a}}) \times 0,5441 + \frac{c_{\text{COd}}}{18,522} + \frac{c_{\text{HCw}}}{17,355} \quad (35)$$

et

$$k_{\text{fd}} = -0,055594 \times w_{\text{ALF}} + 0,0080021 \times w_{\text{DEL}} + 0,0070046 \times w_{\text{EPS}} \quad (36)$$

où:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8.4.2 Mesure des constituants gazeux

8.4.2.1 Introduction

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

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

8.4.2.2 Évaluation des données

Pour l'évaluation des émissions gazeuses, les concentrations de polluants bruts (HC, CO et NO_xB) et le débit-masse de gaz d'échappement doivent être enregistrés et mémorisés à une fréquence d'au moins 2 Hz sur un système informatique. Toutes les autres données doivent être enregistrées à une fréquence d'au moins 1 Hz. Pour les analyseurs analogiques, la réponse doit être enregistrée, et les données d'étalonnage peuvent être appliquées en ligne ou hors ligne au cours de l'évaluation des données.

Pour le calcul des émissions massiques des constituants gazeux, les traces des concentrations enregistrées et la trace du débit-masse de gaz d'échappement peuvent être recalées du temps de transformation tel qu'il est défini au paragraphe 3.1.28. Le temps de réponse de chaque analyseur d'émissions gazeuses et du système de mesure du débit-masse de gaz d'échappement doit être déterminé conformément aux paragraphes 8.3.1.2 et 9.3.5 respectivement et enregistré.

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

On doit déterminer la masse des polluants (en g/essai) en calculant les émissions massiques instantanées à partir des concentrations brutes des polluants et du débit massique de gaz d'échappement, alignées pour tenir compte du temps de transformation comme déterminé conformément au paragraphe 8.4.2.2, en intégrant les valeurs instantanées sur tout le cycle et en multipliant les valeurs intégrées par les valeurs de u indiquées dans le tableau 5. Si la mesure s'effectue sur base sèche, l'opération de correction base sèche/base humide conformément au paragraphe 8.1 doit être appliquée aux valeurs de concentration instantanées avant tout autre calcul.

Pour le calcul des valeurs de NO_x, les émissions massiques doivent être multipliées, s'il y a lieu, par le facteur de correction d'humidité $k_{h,D}$ ou $k_{h,G}$ déterminé conformément au paragraphe 8.2.

L'équation suivante doit être appliquée:

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

où:

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

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

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

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

n est le nombre de mesures.

Tableau 5

Valeurs de u pour les gaz d'échappement bruts et masses volumiques des constituants

	Gaz						
	NO_x	CO	HC	CO_2	O_2	CH_4	
	$\rho_{\text{gas}} [\text{kg/m}^3]$						
	2,053	1,250	^a	1,9636	1,4277	0,716	
Carburant	ρ_e	u_{gas}^b					
Gazole	1,2943	0,001586	0,000966	0,000479	0,001517	0,001103	0,000553
Éthanol	1,2757	0,001609	0,000980	0,000805	0,001539	0,001119	0,000561
GNG ^c	1,2661	0,001621	0,000987	0,000558 ^d	0,001551	0,001128	0,000565
Propane	1,2805	0,001603	0,000976	0,000512	0,001533	0,001115	0,000559
Butane	1,2832	0,001600	0,000974	0,000505	0,001530	0,001113	0,000558
GPL ^e	1,2811	0,001602	0,000976	0,000510	0,001533	0,001115	0,000559

^a Selon le carburant.

^b À $\lambda = 2$, air sec, 273 K, 101,3 kPa.

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

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

^e u avec une précision inférieure à 0,2 % pour la composition (en masse) suivante: C3 = 70-90 %; C4 = 10-30 %.

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

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

Pour le calcul des NO_x, les émissions massiques doivent être multipliées par le facteur de correction d'humidité $k_{h,D}$, ou $k_{h,G}$, déterminé conformément au paragraphe 8.2.

Pour les calculs, on applique l'équation suivante:

$$m_{\text{gas}} = \sum_{i=1}^{i=n} u_{\text{gas},i} \times c_{\text{gas},i} \times q_{\text{mew},i} \times \frac{1}{f} \quad (\text{en g/essai}) \quad (38)$$

où:

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

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

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

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

n est le nombre de mesures.

Les valeurs u instantanées sont calculées comme suit:

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

ou

$$u_{\text{gas},i} = \rho_{\text{gas}} / (\rho_{e,i} \times 1000) \quad (40)$$

avec

$$\rho_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} / 22,414 \quad (41)$$

où:

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

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

ρ_{gas} est la masse volumique des constituants gazeux, en kg/m³;

$\rho_{e,i}$ est la masse volumique instantanée des gaz d'échappement, en kg/m³.

La masse molaire des gaz d'échappement (M_e) est calculée, pour une composition générale du combustible de CH_αO_εN_δS_γ, dans l'hypothèse d'une combustion complète, comme suit:

$$M_{e,i} = \frac{1 + \frac{q_{mf,i}}{q_{maw,i}}}{\frac{q_{mf,i}}{q_{maw,i}} \times \frac{\frac{\alpha}{4} + \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\delta}{2}}{12,011 + 1,00794 \times \alpha + 15,9994 \times \varepsilon + 14,0067 \times \delta + 32,065 \times \gamma} + \frac{H_a \times 10^{-3}}{2 \times 1,00794 + 15,9994} + \frac{1}{M_a}} \quad (42)$$

où:

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

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

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

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

La masse volumique des gaz d'échappement (ρ_e) est calculée comme suit:

$$\rho_{e,i} = \frac{1\,000 + H_a + 1\,000 \times (q_{mf,i}/q_{mad,i})}{773,4 + 1,2434 \times H_a + k_{fw} \times 1\,000 \times (q_{mf,i}/q_{mad,i})} \quad (43)$$

où:

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

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

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

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

8.4.3 Mesure des émissions en particules

8.4.3.1 Évaluation des données

La masse de particules doit être calculée conformément à l'équation 27 du paragraphe 8.3. Pour l'évaluation de la concentration des particules, la masse totale du prélèvement (m_{sep}) ayant traversé le filtre pendant le cycle d'essai doit être enregistrée.

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

8.4.3.2 Calcul des émissions massiques

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

8.4.3.2.1 Calcul sur la base du taux de prélèvement

$$m_{PM} = m_p / (r_s \times 1\,000) \quad (44)$$

où:

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

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

avec

$$r_s = \frac{m_{se}}{m_{ew}} \times \frac{m_{sep}}{m_{sed}} \quad (45)$$

où:

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

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

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

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

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

8.4.3.2.2 Calcul sur la base du taux de dilution

$$m_{PM} = \frac{m_p}{m_{sep}} \times \frac{m_{edf}}{1\,000} \quad (46)$$

où:

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

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

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

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

$$m_{edf} = \sum_{i=1}^{i=n} q_{medf,i} \times \frac{1}{f} \quad (47)$$

$$q_{medf,i} = q_{mew,i} \times r_{d,i} \quad (48)$$

$$r_{d,i} = \frac{q_{mdew,i}}{(q_{mdew,i} - q_{mdw,i})} \quad (49)$$

où:

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

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

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

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

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

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

n est le nombre de mesures.

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

Il faut utiliser les signaux de mesure des concentrations des constituants gazeux, obtenus soit par intégration sur tout le cycle, soit par collecte dans des sacs de prélèvement, pour calculer les émissions massiques par multiplication avec le débit massique de gaz d'échappement dilués. Le débit

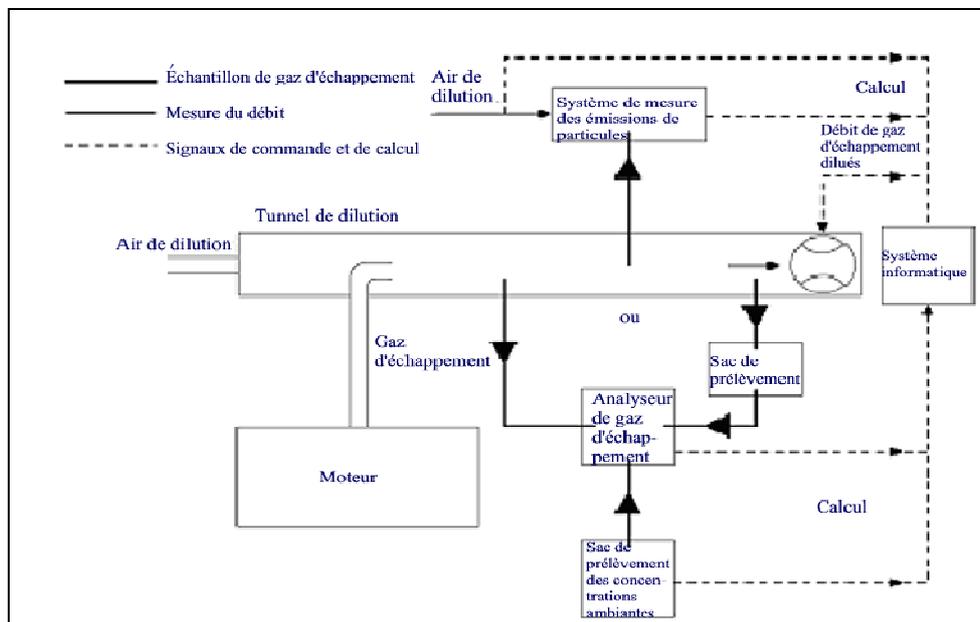
massique de gaz d'échappement doit être mesuré avec un système de prélèvement à volume constant (CVS), qui peut être basé sur une pompe volumétrique, un tube de venturi à écoulement critique (CFV), ou un venturi subsonique (SSV) avec ou sans compensation du débit.

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

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

Figure 7

Schéma de principe du système de mesure sur le flux total



8.5.1 Détermination du débit des gaz d'échappement dilués

8.5.1.1 Introduction

Pour calculer les émissions présentes dans les gaz d'échappement dilués, il faut connaître le débit massique de ces gaz. Le débit massique total des gaz d'échappement dilués au cours du cycle (en kg/essai) doit être calculé à partir des valeurs de mesure obtenues durant le cycle et des données de calibrage correspondantes du dispositif de mesure du débit (V_0 pour PDP, K_v pour CFV, C_d pour SSV) par l'une des méthodes décrites aux paragraphes 8.5.1.2 à 8.5.1.4. Si le débit total de particules (m_{sep}) dans le prélèvement dépasse 0,5 % du débit total du système CVS (m_{ed}), ce dernier doit être corrigé pour m_{sep} ou le débit de prélèvement des particules doit être renvoyé dans le système CVS en amont du dispositif de mesure du débit.

8.5.1.2 Système PDP-CVS

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

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

où:

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

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

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

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

Si l'on utilise un système à compensation de débit (c'est-à-dire sans échangeur de chaleur), les émissions massiques instantanées doivent être déterminées et intégrées sur la durée du cycle. Dans ce cas, la masse instantanée de gaz d'échappement dilués doit être calculée comme suit:

$$m_{ed,i} = 1,293 \times V_0 \times n_{p,i} \times p_p \times 273 / (101,3 \times T) \quad (51)$$

où:

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

8.5.1.3 Système CFV-CVS

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

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

où:

t est la durée du cycle, en s;

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

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

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

S'il est utilisé un système à compensation de débit (c'est-à-dire sans échangeur de chaleur), les émissions massiques instantanées doivent être déterminées et intégrées sur la durée du cycle. Dans ce cas, la masse instantanée des gaz d'échappement dilués doit être calculée comme suit:

$$m_{ed,i} = 1,293 \times \Delta t_i \times K_v \times p_p / T^{0,5} \quad (53)$$

où:

Δt_i est l'intervalle de temps, en s.

8.5.1.4 Système SSV-CVS

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

$$m_{ed} = 1,293 \times Q_{SSV} \quad (54)$$

avec

$$Q_{ssv} = A_0 \times d_v \times {}^2C_d p_p \times \sqrt{\left[\frac{1}{T} \times (r_p^{1,4286} - r_p^{1,7143}) \times \left(\frac{1}{1 - r_D^4 \times r_p^{1,4286}} \right) \right]} \quad (55)$$

où:

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

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

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

C_d est le coefficient de décharge du SSV;

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

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

r_p est le rapport de la pression au col du SSV à la pression statique absolue à l'entrée,

$$1 - \frac{\Delta p}{p_a};$$

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

S'il est utilisé un système à compensation de débit (c'est-à-dire sans échangeur de chaleur), les émissions massiques instantanées doivent être déterminées et intégrées sur la durée du cycle. Dans ce cas, la masse instantanée de gaz d'échappement dilués doit être calculée comme suit:

$$m_{ed} = 1,293 \times Q_{SSV} \times \Delta t_i \quad (56)$$

où:

Δt_i est l'intervalle de temps, en s.

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

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

8.5.2 Mesure des constituants gazeux

8.5.2.1 Introduction

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

8.5.2.2 Évaluation des données

Pour le prélèvement continu, les concentrations (HC, CO et NO_x) doivent être enregistrées à une fréquence minimale de 1 Hz sur un système informatique; pour la collecte dans des sacs de prélèvement, il faut une valeur moyenne par essai. Le débit-masse de gaz d'échappement dilués et toutes les autres données doivent être enregistrés à une fréquence minimale de 1 Hz. Pour les analyseurs analogiques, la réponse doit être enregistrée et les données d'étalonnage peuvent être appliquées en ligne ou hors ligne au cours de l'évaluation des données.

8.5.2.3 Calcul des émissions massiques

8.5.2.3.1 Systèmes à débit massique constant

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

$$m_{\text{gas}} = u_{\text{gas}} \times c_{\text{gas}} \times m_{\text{ed}} \text{ (en g/essai)} \quad (57)$$

où:

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

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

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

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

Pour le calcul des valeurs de NO_x, les émissions massiques doivent être multipliées, s'il y a lieu, par le facteur de correction d'humidité $k_{\text{h,D}}$ ou $k_{\text{h,G}}$ déterminé conformément au paragraphe 8.2.

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

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

Carburant	ρ_{de}	Gaz					
		NO_x	CO	HC	CO_2	O_2	CH_4
		$\rho_{gas} [kg/m^3]$					
		2,053	1,250	^a	1,9636	1,4277	0,716
		u_{gas}^b					
Gazole	1,293	0,001588	0,000967	0,000480	0,001519	0,001104	0,000553
Éthanol	1,293	0,001588	0,000967	0,000795	0,001519	0,001104	0,000553
GNC ^c	1,293	0,001588	0,000967	0,000517 ^d	0,001519	0,001104	0,000553
Propane	1,293	0,001588	0,000967	0,000507	0,001519	0,001104	0,000553
Butane	1,293	0,001588	0,000967	0,000501	0,001519	0,001104	0,000553
GPL ^e	1,293	0,001588	0,000967	0,000505	0,001519	0,001104	0,000553

^a Selon le carburant.

^b À $\lambda = 2$, air sec, 273 K, 101,3 kPa.

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

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

^e u avec une précision inférieure à 0,2 % pour la composition (en masse) suivante: C3 = 70-90 %; C4 = 10-30 %.

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

$$u_{gas} = \frac{M_{gas}}{M_d \times \left(1 - \frac{1}{D}\right) + M_e \times \left(\frac{1}{D}\right)} \quad (58)$$

où:

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

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

M_d est la masse molaire du diluant = 28,965 g/mol;

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

8.5.2.3.2 Détermination des concentrations ambiantes corrigées

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

$$c_{gas} = c_{gas,e} - c_d \times (1 - (1/D)) \quad (59)$$

où:

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

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

D est le facteur de dilution.

Le facteur de dilution est calculé comme suit:

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

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

- b) Pour les moteurs à allumage commandé alimentés au GN

$$D = \frac{F_S}{c_{\text{CO}_2,e} + (c_{\text{NMHC},e} + c_{\text{CO},e}) \times 10^{-4}} \quad (61)$$

où:

$c_{\text{CO}_2,e}$ est la concentration de CO₂ dans les gaz d'échappement dilués en conditions humides, en % vol.;

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

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

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

F_S est le facteur stœchiométrique.

Le facteur stœchiométrique est calculé comme suit:

$$F_S = 100 \times \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{2} + 3,76 \times \left(1 + \frac{\alpha}{4}\right)} \quad (62)$$

où:

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

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

FS (gazole) = 13,4;

FS (GPL) = 11,6;

FS (GN) = 9,5.

8.5.2.3.3 Systèmes à compensation de débit

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

$$m_{\text{gas}} = \sum_{i=1}^n [(m_{\text{ed},i} \times c_{\text{gas},e} \times u_{\text{gas}})] - [(m_{\text{ed}} \times c_d \times (1 - 1/D) \times u_{\text{gas}})] \quad (63)$$

où:

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

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

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

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

u_{gas} est la valeur indiquée dans le tableau 6;

D est le facteur de dilution.

8.5.3 Mesure des émissions de particules

8.5.3.1 Calcul des émissions massiques

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

$$m_{\text{PM}} = \frac{m_p}{m_{\text{sep}}} \times \frac{m_{\text{ed}}}{1000} \quad (64)$$

où:

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

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

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

avec

$$m_{\text{sep}} = m_{\text{set}} - m_{\text{ssd}} \quad (65)$$

où:

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

m_{ssd} est la masse du diluant secondaire, en kg.

Si la concentration ambiante de particules dans le diluant est déterminée conformément au paragraphe 7.5.6, la masse des particules peut être corrigée en fonction de la concentration ambiante. Dans ce cas, la masse des particules (en g/essai) doit être calculée comme suit:

$$m_{PM} = \left[\frac{m_p}{m_{sep}} - \left(\frac{m_b}{m_{sd}} \times \left(1 - \frac{1}{D} \right) \right) \right] \times \frac{m_{ed}}{1\,000} \quad (66)$$

où:

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

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

m_{sd} est la masse du diluant prélevé pour la mesure des concentrations ambiantes en particules, en kg;

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

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

8.6 Calculs généraux

8.6.1 Correction de la dérive

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

$$c_{cor} = c_{ref,z} + (c_{ref,s} - c_{ref,z}) \left(\frac{2 \cdot c_{gas} - (c_{pre,z} + c_{post,z})}{(c_{pre,s} + c_{post,s}) - (c_{pre,z} + c_{post,z})} \right) \quad (67)$$

où:

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

$c_{ref,s}$ est la concentration de référence du gaz de calibrage, en ppm;

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

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

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

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

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

Deux séries de résultats de mesures d'émissions spécifiques doivent être calculées pour chaque constituant conformément aux paragraphes 8.3 et/ou 8.4, après application de toute autre correction nécessaire. On calcule l'une des séries en utilisant des concentrations non corrigées et l'autre en utilisant des concentrations corrigées pour les effets de la dérive conformément à l'équation 59.

Les résultats des émissions non corrigées sont calculés au moyen des équations 31, 32, 51, 52 ou 56, respectivement, en fonction du système de mesure et de la méthode de calcul utilisés. Pour le calcul des émissions corrigées, c_{gas} , dans les équations 31, 32, 51, 52 ou 56, respectivement, doit être remplacé par c_{cor} de l'équation 60. Si les valeurs de concentration instantanées $c_{\text{gas},i}$ sont utilisées dans l'équation respective, la valeur corrigée doit aussi être appliquée en tant que valeur instantanée $c_{\text{cor},i}$. Dans l'équation 52, la correction doit être appliquée à la fois à la concentration mesurée et à la concentration ambiante.

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

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

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

Le calcul des HCNM et du CH_4 dépend de la méthode d'étalonnage utilisée. L'analyseur FID pour la mesure sans convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques (circuit inférieur de la figure 11 de l'annexe 3) doit être étalonné avec du propane. Pour l'étalonnage de l'analyseur FID en série avec convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques (circuit supérieur de la figure 11 de l'annexe 3), les méthodes suivantes sont autorisées:

- Gaz d'étalonnage – propane; le propane contourne le convertisseur;
- Gaz d'étalonnage – méthane; le méthane traverse le convertisseur.

Les concentrations de HCNM et de CH_4 doivent être calculées comme suit a):

$$c_{\text{NMHC}} = \frac{c_{\text{HC}(w/o\text{NMC})} \times (1 - E_M) - c_{\text{HC}(w/\text{NMC})}}{E_E - E_M} \quad (68)$$

$$c_{\text{CH}_4} = \frac{c_{\text{HC}(w/\text{NMC})} - c_{\text{HC}(w/o\text{NMC})} \times (1 - E_E)}{r_h \times (E_E - E_M)} \quad (69)$$

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

$$c_{\text{NMHC}} = \frac{c_{\text{HC}(w/o\text{NMC})} \times (1 - E_M) - c_{\text{HC}(w/\text{NMC})} \times r_h \times (1 - E_M)}{E_E - E_M} \quad (70)$$

$$c_{\text{CH}_4} = \frac{c_{\text{HC}(w/\text{NMC})} \times r_h \times (1 - E_M) - c_{\text{HC}(w/o\text{NMC})} \times (1 - E_E)}{r_h \times (E_E - E_M)} \quad (71)$$

où:

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

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

r_h est le facteur de réponse pour le méthane comme déterminé selon le paragraphe 9.3.7.2;

E_M est l'efficacité pour le méthane comme déterminé selon le paragraphe 9.3.8.1;

E_E est l'efficacité pour l'éthane comme déterminé selon le paragraphe 9.3.8.2.

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

8.6.3 Calcul des émissions spécifiques

8.6.3.1 Moteurs classiques

Les émissions spécifiques e_{gas} ou e_{PM} (en g/kWh) doivent être calculées pour chaque constituant individuel d'une manière indiquée ci-après qui dépend du type de cycle d'essai.

Pour l'essai WHSC, l'essai WHTC à chaud, ou l'essai WHTC à froid, il faut utiliser l'équation suivante:

$$e = \frac{m}{W_{\text{act}}} \quad (72)$$

où:

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

W_{act} est le travail effectif au cours du cycle, déterminé conformément au paragraphe 7.8.6, en kWh.

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

$$e = \frac{(0.14 \times m_{\text{cold}}) + (0.86 \times m_{\text{hot}})}{(0.14 \times W_{\text{act,cold}}) + (0.86 \times W_{\text{act,hot}})} \quad (73)$$

où:

m_{cold} est la masse des émissions du constituant pendant l'essai de démarrage à froid, en g/essai;

m_{hot} est la masse des émissions du constituant pendant l'essai de démarrage à chaud, en g/essai;

$W_{\text{act,cold}}$ est le travail effectif au cours du cycle pendant l'essai de démarrage à froid, en kWh;

$W_{\text{act,hot}}$ est le travail effectif au cours du cycle pendant l'essai de démarrage à chaud, en kWh.

8.6.3.2 Véhicules hybrides

Les émissions spécifiques e_{gas} ou e_{PM} (en g/kWh) doivent être calculées pour chaque constituant individuel conformément aux paragraphes A.9.2.6 ou A.10.2.4.

8.6.3.3 Facteurs d'ajustement de la régénération

Si la régénération périodique conformément au paragraphe 6.6.2 s'applique, les facteurs d'ajustement $k_{r,u}$ ou $k_{r,d}$ doivent, respectivement, être multipliés par la valeur e des émissions spécifiques ou lui être ajoutés comme indiqué dans les équations 72 et 73, **ou encore dans les équations 109 et 110 du paragraphe A.9.2.6. ou les équations xxx et xxx du paragraphe A.10.7.**

9. Spécifications et vérification des équipements

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

9.1 Caractéristiques du banc dynamométrique

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

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

9.2 Conditions de linéarité

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

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

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

9.2.1 Vérification de la linéarité

9.2.1.1 Introduction

Une vérification de la linéarité doit être exécutée pour chaque système de mesure énuméré au tableau 7. Il faut introduire dans le système au moins 10 valeurs de référence, ou selon ce qui est spécifié, et les valeurs mesurées doivent être comparées aux valeurs de référence au moyen d'une régression linéaire par les moindres carrés conformément à l'équation 11. Les limites maximales du tableau 6 sont les limites maximales à prévoir lors des essais.

9.2.1.2 Conditions générales

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

9.2.1.3 Procédure

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

- a) L'appareil doit être mis à zéro par application d'un signal de mise à zéro. Pour les analyseurs de gaz, de l'air synthétique purifié ou de l'azote est introduit directement par le raccord d'entrée de l'analyseur;
- b) On effectue l'étalonnage de l'appareil en appliquant le signal approprié. Pour les analyseurs de gaz, un gaz de calibrage approprié doit être introduit directement par le raccord d'entrée de l'analyseur;
- c) L'opération a) de réglage de mise à zéro doit être répétée;

- d) On doit effectuer la vérification en introduisant au moins 10 valeurs de référence (y compris zéro) qui se situent dans la plage comprise entre le zéro et les valeurs les plus élevées qu'il est prévu de rencontrer au cours des essais de mesure des émissions. Pour les analyseurs de gaz, des concentrations de gaz connues doivent être introduites directement par le raccord d'entrée de l'analyseur;
- e) Les valeurs de référence doivent être mesurées et les valeurs mesurées doivent être enregistrées pendant 30 s à une fréquence d'enregistrement d'au moins 1 Hz;
- f) Les valeurs moyennes arithmétiques sur la période de 30 s doivent être utilisées pour calculer les paramètres de régression linéaire par les moindres carrés conformément à l'équation 11 du paragraphe 7.8.7;
- g) Les paramètres de régression linéaire doivent satisfaire aux conditions du tableau 7 du paragraphe 9.2;
- h) La mise à zéro doit être à nouveau contrôlée et la procédure de vérification répétée si nécessaire.

9.3 Système de mesure et de prélèvement des émissions gazeuses

9.3.1 Caractéristiques des analyseurs

9.3.1.1 Caractéristiques générales

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

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

9.3.1.2 *Justesse*

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

9.3.1.3 Précision

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

9.3.1.4 Bruit

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

9.3.1.5 Dérive de la réponse à la mise à zéro

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

- 9.3.1.6 Dérive de la réponse au calibrage
La dérive de la réponse au calibrage doit être spécifiée par le constructeur de l'appareillage.
- 9.3.1.7 Temps de montée
Le temps de montée de l'analyseur installé dans le système de mesure ne doit pas dépasser 2,5 s.
- 9.3.1.8 *Séchage des gaz***
Les gaz d'échappement peuvent être mesurés en conditions humides ou en conditions sèches. Si un dispositif de séchage est utilisé, il doit avoir un effet minimal sur la composition des gaz mesurés. Les procédés chimiques de déshumidification de l'échantillon ne sont pas acceptables.
- 9.3.2 Analyseurs de gaz
- 9.3.2.1 Introduction
Les paragraphes 9.3.2.2 à 9.3.2.7 décrivent les principes de mesure à appliquer. Une description détaillée des systèmes de mesure est donnée à l'annexe 3. Les gaz à mesurer doivent être analysés à l'aide des appareils énumérés ci-après. Pour les analyseurs à caractéristique non linéaire, l'utilisation de circuits de linéarisation est autorisée.
- 9.3.2.2 Analyse du monoxyde de carbone (CO)
L'analyseur de monoxyde de carbone doit être du type non dispersif à absorption de l'infrarouge (NDIR).
- 9.3.2.3 Analyse du dioxyde de carbone (CO₂)
L'analyseur de dioxyde de carbone doit être du type non dispersif à absorption dans l'infrarouge (NDIR).
- 9.3.2.4 Analyse des hydrocarbures (HC)
L'analyseur d'hydrocarbures doit être du type détecteur à ionisation de flamme chauffé (HFID), dans lequel le détecteur, les vannes et les tuyauteries, etc., sont chauffés de manière à maintenir une température des gaz de 463 ± 10 K (190 ± 10 °C). Éventuellement, pour les moteurs alimentés au GN et à allumage commandé, l'analyseur d'hydrocarbures peut être du type détecteur à ionisation de flamme (FID) non chauffé si la méthode appliquée le permet (voir l'annexe 3, par. A.3.1.3).
- 9.3.2.5 Analyse du méthane (CH₄) et des hydrocarbures non méthaniques (HCNM)
La mesure de la fraction de méthane et d'hydrocarbures non méthaniques doit être exécutée à l'aide d'un convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques chauffé et deux analyseurs FID, conformément au système décrit à l'annexe 3, paragraphes A.3.1.4 et A.3.1.5, fonctionnant par soustraction du méthane des hydrocarbures. Pour la détermination des HCNM et du CH₄, le détecteur à ionisation de flamme peut être étalonné à l'aide d'un gaz d'étalonnage CH₄.
- 9.3.2.6 Analyse des oxydes d'azote (NO_x)
Deux instruments de mesure sont spécifiés pour la mesure des NO_x; il est possible d'utiliser l'un ou l'autre de ces instruments pourvu qu'il réponde aux critères énoncés au paragraphe 9.3.2.6.1 ou au paragraphe 9.3.2.6.2,

respectivement. Pour la détermination de l'équivalence d'une autre méthode de mesure conformément au paragraphe 5.1.1, seul le détecteur CLD est autorisé.

9.3.2.6.1 Détecteur par chimiluminescence (CLD)

Si la mesure se fait sur base sèche, l'analyseur d'oxydes d'azote doit être du type détecteur par chimiluminescence (CLD) ou détecteur par chimiluminescence chauffé (HCLD) avec convertisseur NO₂/NO. Si la mesure se fait sur base humide, il doit être utilisé un HCLD avec convertisseur chauffé à une température supérieure à 328 K (55 °C); à condition qu'il soit satisfait au contrôle du facteur d'extinction par l'eau (voir par. 9.3.9.2.2). Tant pour le CLD que pour le HCLD, la température de la paroi du canal de prélèvement doit être maintenue entre 328 et 473 K (55 et 200 °C) jusqu'au convertisseur pour la mesure sur base sèche et jusqu'à l'analyseur pour la mesure sur base humide.

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

Un analyseur non dispersif à absorption dans l'ultraviolet (NDUV) doit être utilisé pour mesurer les concentrations de NO_x. Si l'analyseur ne mesure que le NO, il faut placer un convertisseur NO₂/NO en amont de l'analyseur. La température de l'analyseur doit être maintenue à un niveau tel qu'il ne puisse pas y avoir de condensation aqueuse, à moins qu'un sécheur d'échantillons ne soit placé à l'amont du convertisseur NO₂/NO, si celui-ci est utilisé, ou à l'amont de l'analyseur.

9.3.2.7 Mesure du rapport air/carburant

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

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

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

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

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

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

9.3.3 Gaz

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

9.3.3.1 Gaz purs

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

a) Pour les gaz d'échappement bruts

Azote purifié

(Contamination ≤ 1 ppm C1, ≤ 1 ppm CO, ≤ 400 ppm

CO₂, $\leq 0,1$ ppm NO)

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

Mélange hydrogène-hélium (carburant du brûleur du DIF
(de l'analyseur FID))
(Hydrogène 40 ± 1 %, reste hélium)
(Contamination ≤ 1 ppm C1, ≤ 400 ppm CO₂)

Air synthétique purifié
(Contamination ≤ 1 ppm C1, ≤ 1 ppm CO, ≤ 400 ppm
CO₂, ≤ 0,1 ppm NO)
(Teneur en oxygène 18-21 % vol.)

- b) Pour les gaz d'échappement dilués (à titre facultatif pour les gaz d'échappement bruts)

Azote purifié
(Contamination ≤ 0,05 ppm C1, ≤ 1 ppm CO, ≤ 10 ppm
CO₂, ≤ 0,02 ppm NO)

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

Mélange hydrogène-hélium (carburant du brûleur du DIF
(de l'analyseur FID))
(Hydrogène 40 ± 1 %, reste hélium)
(Contamination ≤ 0,05 ppm C1, ≤ 10 ppm CO₂)

Air synthétique purifié
(Contamination ≤ 0,05 ppm C1, ≤ 1 ppm CO, ≤ 10 ppm
CO₂, ≤ 0,02 ppm NO)
(Teneur en oxygène 20,5 - 21,5 % vol.).

Si l'on ne dispose pas de gaz en bouteilles, on peut utiliser du gaz traité dans un purificateur à condition que les niveaux de contamination puissent être démontrés.

9.3.3.2 Gaz de calibrage

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

C₃H₈ et air synthétique purifié (voir par. 9.3.3.1);

CO et azote purifié;

NO et azote purifié;

NO₂ et air synthétique purifié;

CO₂ et azote purifié;

CH₄ et air synthétique purifié;

C₂H₆ et air synthétique purifié.

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

9.3.3.3 *Mélangeurs-doseurs de gaz*

Les gaz utilisés pour le calibrage peuvent être aussi obtenus au moyen de mélangeurs-doseurs de précision, par dilution avec du N₂ purifié ou de l'air synthétique purifié. La justesse du mélangeur-doseur doit être telle que la concentration des gaz de calibrage produits par mélange soit juste à ± 2 % près. Cette condition implique que les gaz primaires utilisés pour produire le mélange soient d'une concentration connue à ± 1 % près et correspondant à des normes nationales ou internationales. La vérification doit être effectuée à une valeur comprise entre 15 et 50 % de l'amplitude totale pour chaque opération de calibrage incluant un mélangeur-doseur. Une vérification supplémentaire peut être exécutée avec un autre gaz de calibrage, en cas d'échec de la première.

Éventuellement, le mélangeur peut être contrôlé à l'aide d'un appareil qui est par nature linéaire (exemple: mesure de NO à l'aide d'un CLD). La valeur de l'amplitude de l'instrument doit être ajustée lorsque le gaz de calibrage y est directement introduit. Les mélangeurs-doseurs de gaz doivent être contrôlés aux valeurs de réglage utilisées et la valeur nominale doit être comparée à la concentration mesurée par l'instrument. L'écart doit en chaque point être au maximum de ± 1 % de la valeur nominale.

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

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

Le contrôle de l'interférence avec l'oxygène s'effectue à l'aide de mélanges de propane, d'oxygène et d'azote. Ces gaz doivent contenir du propane titrant 350 ppm C \pm 75 ppm C d'hydrocarbures. La valeur de concentration doit être déterminée aux tolérances s'appliquant aux gaz de calibrage par analyse chromatographique des hydrocarbures totaux plus les impuretés, ou par mélange dynamique. Les concentrations d'oxygène nécessaires pour les essais de moteurs à allumage commandé et à allumage par compression sont indiquées dans le tableau 8, le reste étant constitué d'azote purifié.

Tableau 8
Gaz de contrôle de l'interférence avec l'oxygène

<i>Type de moteur</i>	<i>Concentration de O₂ (%)</i>
Allumage par compression	21 (20 à 22)
Allumage par compression et allumage commandé	10 (9 à 11)
Allumage par compression et allumage commandé	5 (4 à 6)
Allumage commandé	0 (0 à 1)

9.3.4 *Essai d'étanchéité*

Il faut procéder à un essai d'étanchéité. Pour cela, la sonde doit être déconnectée du système d'échappement et son extrémité doit être bouchée. La pompe de l'analyseur doit être mise en marche. Après une période initiale de stabilisation, tous les débitmètres affichent environ zéro en l'absence de fuite. Dans le cas contraire, les tuyaux de prélèvement doivent être contrôlés et le défaut corrigé.

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

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

$$\Delta p = p / V_s \times 0,005 \times q_{vs} \quad (74)$$

où:

V_s est le volume dans le système, en l;

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

Une autre méthode encore consiste à appliquer un signal en échelon de variation de la concentration à l'entrée du tuyau de prélèvement en passant du gaz de mise à zéro au gaz de calibrage. Si pour un analyseur correctement étalonné, après un laps de temps suffisant, la mesure est ≤ 99 % de la concentration appliquée, cela indique un problème de fuite qui doit être corrigé.

9.3.5 Contrôle du temps de réponse du système d'analyse

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

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

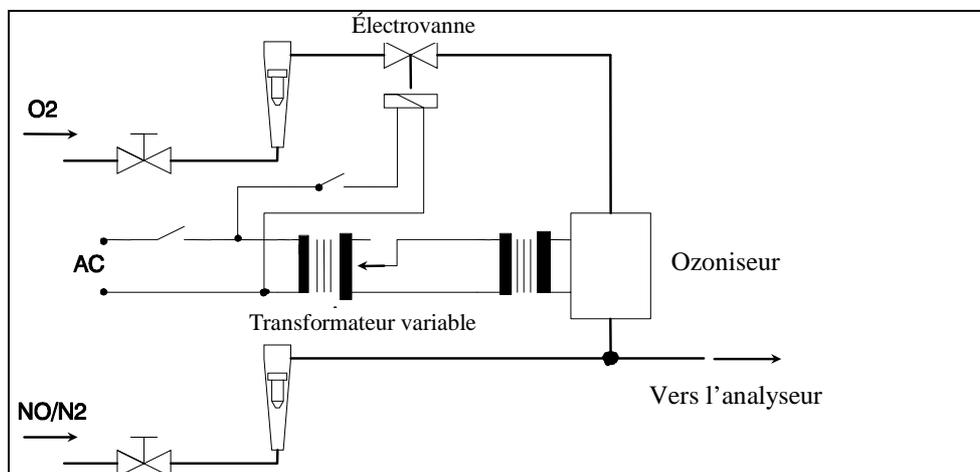
Pour la synchronisation des signaux de l'analyseur et du débit de gaz d'échappement, le temps de transformation est défini comme le temps écoulé entre l'instant de la variation (t_0) et celui où la réponse est de 50 % de la valeur finale affichée (t_{50}).

Le temps de réponse du système doit être ≤ 10 s et le temps de montée $\leq 2,5$ s conformément aux dispositions du paragraphe 9.3.1.7 pour tous les constituants réglementés (CO, NO_x, HC ou HCNM) et toutes les gammes utilisées. Lors de l'utilisation d'un NMC pour la mesure des HCNM, le temps de réponse du système peut dépasser 10 s.

9.3.6 Essai d'efficacité du convertisseur de NO_x

L'efficacité du convertisseur utilisé pour convertir NO₂ en NO doit être vérifiée comme indiqué aux paragraphes 9.3.6.1 à 9.3.6.8 (voir fig. 8).

Figure 8

Schéma du système de contrôle de l'efficacité du convertisseur de NO₂

9.3.6.1 Montage d'essai

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

9.3.6.2 Étalonnage

Les analyseurs CLD et HCLD doivent être étalonnés sur la gamme la plus courante conformément aux instructions du fabricant, au moyen d'un gaz de mise à zéro et d'un gaz de calibrage (la teneur en NO doit correspondre à 80 % approximativement de la valeur maximale de la gamme utilisée et la teneur en NO₂ du mélange de gaz doit être inférieure à 5 % de la teneur en NO). L'analyseur de NO_x doit être réglé sur le mode NO de manière que le gaz de calibrage ne traverse pas le convertisseur. La concentration indiquée doit être enregistrée.

9.3.6.3 Calcul

L'efficacité en % du convertisseur doit être calculée comme suit:

$$E_{\text{NO}_x} = \left(1 + \frac{a-b}{c-d} \right) \times 100 \quad (75)$$

où:

a est la concentration de NO_x conformément au paragraphe 9.3.6.6;

b est la concentration de NO_x conformément au paragraphe 9.3.6.7;

c est la concentration de NO conformément au paragraphe 9.3.6.4;

d est la concentration de NO conformément au paragraphe 9.3.6.5.

- 9.3.6.4 Addition d'oxygène
- De l'oxygène ou de l'air de mise à zéro est ajouté en continu au flux de gaz par un raccord en T jusqu'à ce que la concentration indiquée soit inférieure de 20 % environ à la concentration de calibrage spécifiée au paragraphe 9.3.6.2 (l'analyseur est réglé sur le mode NO).
- La concentration indiquée *c* doit être enregistrée. L'ozoniseur est maintenu hors fonction pendant toute cette opération.
- 9.3.6.5 Mise en fonction de l'ozoniseur
- L'ozoniseur doit alors être mis en fonction de manière à produire suffisamment d'ozone pour faire diminuer la concentration de NO à environ 20 % (valeur minimale 10 %) de la concentration de calibrage spécifiée au paragraphe 9.3.6.2. La concentration indiquée *d* doit être enregistrée (l'analyseur est sur le mode NO).
- 9.3.6.6 Mode NO_x
- L'analyseur est alors commuté sur le mode NO_x, de telle manière que le mélange de gaz (constitué de NO, NO₂, O₂ et N₂) traverse maintenant le convertisseur. La concentration indiquée *a* doit être enregistrée (l'analyseur est sur le mode NO_x).
- 9.3.6.7 Mise hors fonction de l'ozoniseur
- L'ozoniseur est ensuite mis hors fonction. Le mélange de gaz mentionné au paragraphe 9.3.6.6 traverse le convertisseur et parvient au détecteur. La concentration indiquée *b* doit être enregistrée (l'analyseur est sur le mode NO_x).
- 9.3.6.8 Mode NO
- L'analyseur étant commuté sur le mode NO et l'ozoniseur hors fonction, le débit d'oxygène ou d'air synthétique doit être coupé. La valeur de NO_x indiquée par l'analyseur ne doit pas s'écarter de plus de ±5 % de la valeur mesurée conformément au paragraphe 9.3.6.2 (l'analyseur est sur le mode NO).
- 9.3.6.9 Périodicité d'essai
- L'efficacité du convertisseur doit être vérifiée au moins une fois par mois.
- 9.3.6.10 Efficacité minimale prescrite
- L'efficacité du convertisseur E_{NOx} ne doit pas être inférieure à 95 %.
- Si, lorsque l'analyseur est réglé sur la gamme la plus courante, l'ozoniseur ne permet pas d'obtenir une réduction de la concentration de 80 à 20 % comme prescrit au paragraphe 9.3.6.5, on doit utiliser la gamme la plus élevée qui permette d'obtenir cette réduction.
- 9.3.7 Réglage de l'analyseur FID
- 9.3.7.1 Optimisation de la réponse du détecteur
- L'analyseur FID doit être réglé conformément aux spécifications du constructeur de l'instrument. Un gaz de calibrage constitué par un mélange air/propane doit être utilisé pour optimiser la réponse sur la gamme d'utilisation la plus courante.
- Les débits de carburant et d'air étant réglés selon les recommandations du fabricant, il faut introduire un gaz de calibrage de 350 ± 75 ppm C dans

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

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

9.3.7.2 Facteurs de réponse aux hydrocarbures

Il faut procéder à une vérification de la linéarité de l'analyseur à l'aide d'un mélange propane/air et d'air synthétique purifié conformément au paragraphe 9.2.1.3.

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

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

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

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

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

9.3.7.3 Contrôle de l'interférence avec l'oxygène

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

Il faut choisir une gamme de mesure sur laquelle les valeurs des gaz de contrôle de l'interférence avec l'oxygène se situent dans la moitié supérieure. L'essai doit être exécuté lorsque la température de l'enceinte chauffée est

réglée comme il est prescrit. Les caractéristiques des gaz de contrôle de l'interférence avec l'oxygène sont définies au paragraphe 9.3.3.4.

- a) L'analyseur doit être mis à zéro.
- b) L'analyseur doit être étalonné à la valeur d'étalonnage à l'aide du mélange à 0 % d'oxygène pour les moteurs à allumage commandé et du mélange à 21 % d'oxygène pour les moteurs à allumage par compression.
- c) La réponse à la mise à zéro doit être contrôlée à nouveau. Si elle a varié de plus de 0,5 % de l'amplitude totale, les étapes a) et b) du présent paragraphe doivent être répétées.
- d) Les gaz de contrôle de l'interférence avec l'oxygène à 5 et à 10 % doivent être introduits.
- e) La réponse à la mise à zéro doit être à nouveau contrôlée. Si elle a varié de plus de ± 1 % de l'amplitude totale, l'essai doit être répété.
- f) L'effet de l'interférence avec l'oxygène E_{O_2} doit être calculé pour chaque mélange utilisé à l'étape d) comme suit:

$$E_{O_2} = (c_{\text{ref,d}} - c) \times 100 / c_{\text{ref,d}} \quad (76)$$

avec c , réponse de l'analyseur:

$$c = \frac{c_{\text{ref,b}} \times c_{\text{FS,b}}}{c_{\text{m,b}}} \times \frac{c_{\text{m,d}}}{c_{\text{FS,d}}} \quad (77)$$

où:

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

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

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

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

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

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

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

9.3.8 *Efficacité du convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques*

Le convertisseur est utilisé pour éliminer les hydrocarbures non méthaniques du gaz prélevé en oxydant tous les hydrocarbures sauf le méthane. Dans

l'idéal, l'efficacité de la conversion est de 0 % pour le méthane et de 100 % pour les autres hydrocarbures, représentés par l'éthane. Pour la mesure précise des HCNM, les deux efficacités doivent être déterminées et servir de base au calcul du débit massique d'émissions de HCNM (voir par. 8.6.2).

9.3.8.1 Efficacité pour le méthane

Il faut faire passer le gaz de calibration méthane dans l'analyseur FID, respectivement avec et sans contournement du convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques et enregistrer les deux concentrations mesurées. L'efficacité doit être calculée comme suit:

$$E_M = 1 - \frac{c_{HC(w/NMC)}}{c_{HC(w/o NMC)}} \quad (78)$$

où:

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

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

9.3.8.2 Efficacité pour l'éthane

Il faut faire passer le gaz de calibration éthane dans l'analyseur FID, respectivement avec et sans contournement du convertisseur et enregistrer les deux concentrations. L'efficacité doit être déterminée comme suit:

$$E_E = 1 - \frac{c_{HC(w/NMC)}}{c_{HC(w/o NMC)}} \quad (79)$$

où:

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

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

9.3.9 Effets d'interférence

D'autres gaz que celui qui est analysé peuvent interférer de plusieurs manières avec les valeurs indiquées. Il y a interférence positive dans les analyseurs NDIR lorsque le gaz parasite cause le même effet que le gaz mesuré mais à un degré moindre. Il y a interférence négative dans les analyseurs NDIR lorsque le gaz parasite élargit la bande d'absorption du gaz mesuré, et dans les analyseurs CLD lorsque ce gaz cause l'extinction de la réaction. Les contrôles d'interférence prescrits aux paragraphes 9.3.9.1 et 9.3.9.3 doivent être effectués avant la mise en service d'un analyseur et après les principales opérations d'entretien.

9.3.9.1 Contrôle d'interférence pour l'analyseur de CO

L'eau et le CO_2 peuvent interférer avec les résultats donnés par l'analyseur de CO. C'est pourquoi il faut effectuer un contrôle avec un gaz de calibration CO_2 ayant une concentration de 80 à 100 % de l'amplitude totale utilisée

pendant les essais, qui est envoyé dans l'analyseur après barbotage dans un bain d'eau à température ambiante; la réponse de l'analyseur est alors enregistrée. Elle ne doit pas dépasser 2 % de la concentration moyenne de CO escomptée lors de l'essai.

Les procédures de contrôle de l'interférence pour CO₂ et H₂O peuvent aussi être menées séparément. Si les niveaux de CO₂ et H₂O utilisés sont supérieurs aux niveaux maximaux escomptés pendant l'essai, il faut réduire chaque valeur observée subissant une interférence en la multipliant par le rapport entre la valeur de concentration escomptée maximale et la valeur réelle utilisée pendant cette procédure. On peut appliquer des procédures séparées de contrôle de l'interférence pour les concentrations de H₂O qui sont inférieures aux niveaux maximaux escomptés pendant l'essai, mais on doit corriger la valeur observée d'interférence avec H₂O vers le haut en la multipliant par le rapport entre la valeur de la concentration de H₂O maximale escomptée et la valeur réelle utilisée pendant cette procédure. La somme de ces deux valeurs observées ainsi corrigées doit satisfaire aux limites de tolérance indiquées dans le présent paragraphe.

9.3.9.2 Contrôle des effets d'extinction pour les analyseurs de NO_x en ce qui concerne les analyseurs CLD

Les deux gaz à considérer pour les analyseurs CLD (et HCLD) sont le CO₂ et la vapeur d'eau, qui provoquent des effets d'extinction proportionnels à leur concentration, ce qui nécessite des méthodes d'essai permettant de déterminer l'extinction aux plus fortes concentrations rencontrées lors de l'essai. Si l'analyseur CLD utilise des algorithmes de compensation des effets d'extinction qui utilisent des instruments de mesure de H₂O et/ou CO₂, l'effet d'extinction doit être évalué avec ces instruments et en appliquant les algorithmes de compensation.

9.3.9.2.1 Contrôle de l'effet d'extinction par le CO₂

Un gaz de calibrage CO₂ ayant une concentration de 80 à 100 % de l'amplitude totale utilisée doit être envoyé dans l'analyseur NDIR et la valeur de CO₂ enregistrée comme *A*. Il doit ensuite être dilué à 50 % environ avec le gaz de calibrage NO et envoyé dans l'analyseur NDIR et l'analyseur (H)CLD, les valeurs de CO₂ et de NO étant enregistrées comme *B* et *C* respectivement. L'arrivée de CO₂ doit alors être coupée et seul le gaz de calibrage NO passe par l'analyseur (H)CLD; la valeur mesurée de NO étant enregistrée comme *D*.

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

$$E_{\text{CO}_2} = \left[1 - \left(\frac{C \times A}{(D \times A) - (D \times B)} \right) \right] \times 100 \quad (80)$$

où:

- A* est la concentration de gaz CO₂ non dilué mesurée avec l'analyseur NDIR, en %;
- B* est la concentration de gaz CO₂ dilué mesurée avec l'analyseur NDIR, en %;
- C* est la concentration de gaz NO dilué mesurée avec l'analyseur (H)CLD, en ppm;

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

D'autres méthodes de dilution et de quantification des valeurs des gaz de calibrage CO₂ et NO, par exemple mélange/dosage dynamique, peuvent être utilisées avec l'accord de l'autorité compétente.

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

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

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

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

$$H = 100 \times (G/p_b) \quad (81)$$

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

$$D_e = D \times (1 - H/100) \quad (82)$$

Pour les gaz d'échappement des moteurs diesel, la concentration maximale de vapeur d'eau dans les gaz d'échappement (H_m , en %) escomptée lors de l'essai doit être évaluée, sur la base d'un rapport atomique H/C du carburant de 1,8/1, à partir de la concentration maximale de CO₂ dans les gaz d'échappement A , comme suit:

$$H_m = 0,9 \times A \quad (83)$$

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

$$E_{H_2O} = 100 \times ((D_e - C)/D_e) \times (H_m/H) \quad (84)$$

où:

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

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

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

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

9.3.9.2.3 Coefficient d'extinction maximal admis

Le coefficient combiné pour le CO₂ et pour l'eau ne doit pas être supérieur à 2 % de l'amplitude totale.

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

Les hydrocarbures et le H₂O peuvent interagir positivement avec un analyseur NDUV en causant une réaction similaire à NO_x. Si l'analyseur NDUV utilise des algorithmes de compensation qui utilisent des mesures d'autres gaz pour satisfaire à cette vérification d'interférence, de telles mesures doivent être effectuées simultanément pour vérifier les algorithmes lors du contrôle de l'interférence.

9.3.9.3.1 Procédure

L'analyseur NDUV doit être démarré, mis à zéro et étalonné conformément aux instructions du constructeur de l'appareil. Il est recommandé de prélever des gaz d'échappement du moteur pour procéder à cette vérification. Un CLD doit être utilisé pour calculer la quantité de NO_x dans les gaz d'échappement. La réponse du CLD doit être utilisée comme valeur de référence. Les HC présents dans les gaz d'échappement doivent également être mesurés à l'aide d'un analyseur FID. La réponse de l'analyseur FID doit servir de valeur de référence pour les hydrocarbures.

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

La valeur moyenne donnée par le CLD doit être soustraite de la valeur moyenne donnée par le NDUV. Cette différence doit être multipliée par le rapport entre la concentration moyenne de HC escomptée et la concentration de HC mesurée pendant la vérification, au moyen de la formule suivante:

$$E_{\text{HC/H}_2\text{O}} = (c_{\text{NO}_x,\text{CLD}} - c_{\text{NO}_x,\text{NDUV}}) \times \left(\frac{c_{\text{HC,e}}}{c_{\text{HC,m}}} \right) \quad (85)$$

où:

$c_{\text{NO}_x,\text{CLD}}$ est la concentration de NO_x mesurée avec le CLD, en ppm;

$c_{\text{NO}_x,\text{NDUV}}$ est la concentration de NO_x mesurée avec le NDUV, en ppm;

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

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

9.3.9.3.2 Coefficient d'extinction maximal admis

L'effet d'extinction combiné par les HC et par l'eau ne doit pas dépasser 2 % de la concentration de NO_x escomptée pendant l'essai.

9.3.9.4 Sécheur de l'échantillon

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

9.3.9.4.1 Efficacité du sécheur d'échantillon

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

9.3.9.4.2 Pénétration de NO_2 dans le sécheur d'échantillon

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

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

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

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

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

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

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

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

Le prélèvement peut se faire de deux manières principales:

- a) Les émissions sont recueillies dans un sac de collecte sur tout le cycle et mesurées après l'essai; pour les HC, le sac de collecte doit être chauffé à 464 ± 11 K (191 ± 11 °C); pour les NO_x, la température du sac doit être située au-dessus du point de rosée;
- b) Les émissions sont prélevées en continu et leurs concentrations intégrées sur tout le cycle.

Le prélèvement des échantillons de concentrations ambiantes s'effectue en amont du tunnel de dilution dans un sac de collecte; les concentrations ambiantes mesurées doivent être soustraites des concentrations d'émissions déterminées conformément au paragraphe 8.5.2.3.2.

9.4 Système de collecte et de mesure des particules

9.4.1 Caractéristiques générales

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

9.4.2 Prescriptions générales concernant le système de dilution

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

- a) Éliminer complètement toute condensation d'eau dans les systèmes de dilution et de prélèvement;
- b) Maintenir la température des gaz d'échappement dilués à une valeur comprise entre 315 K (42 °C) et 325 K (52 °C) dans les 20 cm situés en amont ou en aval de l'avant du ou des porte-filtres;
- c) Maintenir la température de l'agent diluant entre 293 K et 325 K (20 °C et 42 °C) à proximité immédiate de l'entrée dans le tunnel de dilution; à l'intérieur de cette plage, les Parties contractantes peuvent exiger des spécifications plus strictes pour les moteurs dont le type est homologué sur leur territoire;
- d) Le taux de dilution minimum doit se situer entre 5:1 et 7:1 et ne pas être inférieur à 2:1 pour la phase de dilution primaire sur la base du débit maximal des émissions d'échappement du moteur;
- e) Pour un système à dilution du flux partiel, le temps de séjour dans le système entre le point d'introduction de l'agent diluant et le ou les porte-filtres doit être compris entre 0,5 et 5 s;
- f) Pour un système à dilution du flux total, le temps de séjour total dans le système entre l'introduction de l'agent diluant et le ou les porte-filtres doit être compris entre 1 et 5 s, et le temps de séjour dans le système de dilution secondaire, si un tel système est utilisé, entre le point d'introduction de l'agent diluant secondaire et le ou les porte-filtres doit être d'au moins 0,5 s.

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

9.4.3 Prélèvement de l'échantillon de particules

9.4.3.1 Système de dilution du flux partiel

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

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

9.4.3.2 Système de dilution du flux total

La sonde de prélèvement de l'échantillon de particules doit être installée à proximité de la sonde de prélèvement des échantillons d'émissions gazeuses, mais à une distance suffisante pour qu'il n'y ait pas d'interférence, dans le tunnel de dilution. Les dispositions concernant l'installation énoncées au paragraphe 9.3.11 s'appliquent donc également au prélèvement des particules. La tuyauterie de prélèvement doit être conforme aux conditions énoncées à l'annexe 3.

9.4.4 Filtre de collecte des particules

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

9.4.4.1 Spécifications des filtres

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

- a) Fibre de verre revêtue de fluorocarbone (PTFE);
- b) Membrane à base de fluorocarbone (PTFE).

9.4.4.2 Dimension des filtres

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

9.4.4.3 Vitesse d'entrée dans le filtre

La vitesse d'entrée dans le filtre doit être comprise entre 0,90 et 1,00 m/s, la proportion de valeurs de vitesse mesurées excédant cette limite devant être inférieure à 5 %. Si la masse totale des matières particulaires présentes sur le filtre est supérieure à 400 µg, la vitesse d'entrée dans le filtre peut être abaissée à 0,50 m/s. La vitesse d'entrée doit être calculée en divisant le débit volumique de l'échantillon à la pression en amont du filtre et à la température à la surface du filtre par la superficie exposée du filtre.

9.4.5 Caractéristiques de la chambre de pesée et de la balance

L'atmosphère de la chambre doit être exempte de tout contaminant ambiant (tel que poussière, aérosol, ou matériau semi-volatil) susceptible de contaminer les filtres à particules. La chambre de pesée doit satisfaire aux conditions prescrites pendant au minimum les 60 min précédant la pesée des filtres.

9.4.5.1 Conditions dans la chambre de pesée

La température de la chambre où les filtres à particules sont conditionnés et pesés doit être maintenue constante à $295 \text{ K} \pm 1 \text{ K}$ ($22 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) pendant toutes les opérations de conditionnement et de pesée. L'humidité doit être maintenue au point de rosée à $282,5 \pm 1 \text{ K}$ ($9,5 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$).

Si l'environnement de stabilisation et l'environnement de pesée sont séparés, la température de l'environnement de stabilisation doit être maintenue à 295 K avec une marge de tolérance de $\pm 3 \text{ K}$ ($22 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$), mais la prescription relative au point de rosée reste à $282,5 \text{ K} \pm 1 \text{ K}$ ($9,5 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$).

L'humidité et la température ambiante doivent être enregistrées.

9.4.5.2 *Pesée des filtres de référence*

Au moins deux filtres de référence non utilisés doivent être pesés, de préférence en même temps que les filtres de collecte, mais en tout cas dans les 12 h qui précèdent. Ils doivent être du même matériau que les filtres de collecte. Les résultats des pesées doivent être corrigés pour les effets de la flottabilité.

Si le poids de l'un quelconque des filtres de référence change de plus de 10 µg entre les pesées des filtres de collecte, tous les filtres de collecte doivent être rejetés et l'essai de mesure des émissions répété.

Les filtres de référence doivent être remplacés périodiquement conformément aux règles d'usage mais au moins une fois par an.

9.4.5.3 *Balance de laboratoire*

La balance utilisée pour déterminer le poids des filtres doit satisfaire aux critères de vérification de la linéarité formulés au tableau 7 du paragraphe 9.2. Cela implique une précision (écart type) d'au moins 2 µg et une résolution d'au moins 1 µg (1 chiffre = 1 µg).

Pour garantir la justesse de la pesée des filtres, il est recommandé de prendre les mesures suivantes:

- a) Installer la balance sur un socle isolé à l'égard des bruits extérieurs et des vibrations;
- b) Protéger la balance contre les courants d'air convectifs au moyen d'un pare-vent antistatique mis à la terre.

9.4.5.4 Élimination des effets de l'électricité statique

Le filtre doit être neutralisé électrostatiquement avant la pesée, par exemple à l'aide d'un éliminateur au polonium ou par un autre procédé également efficace. Si un filtre muni d'une membrane de PTFE est utilisé, le potentiel statique doit être mesuré; il est recommandé qu'il soit neutre à $\pm 2,0$ V près.

À proximité de la balance, les charges d'électricité statique doivent être réduites au minimum, notamment par les mesures suivantes:

- a) La balance doit être mise à la terre électriquement;
- b) Des pincettes en acier inoxydable doivent être utilisées lorsque les prélèvements de matières particulaires sont manipulés à la main;
- c) Les pincettes doivent être mises à la terre au moyen d'une sangle, ou l'opérateur doit porter un bracelet de mise à la terre commune avec la balance. Les bracelets de mise à la terre doivent être munis d'une résistance appropriée pour protéger les opérateurs contre les chocs électriques accidentels.

9.4.5.5 Autres conditions prescrites

Tous les éléments du système de dilution et du système de prélèvement compris entre le tuyau d'échappement et le porte-filtre qui entrent en contact avec les gaz d'échappement bruts et dilués doivent être conçus pour minimiser les dépôts ou l'altération des matières particulaires. Ils doivent être réalisés en matériaux électriquement conducteurs qui ne réagissent pas avec les constituants des gaz d'échappement, et ils doivent être mis à la terre électriquement pour prévenir les effets électrostatiques.

9.4.5.6 Étalonnage de l'appareillage de mesure du débit

Chaque débitmètre utilisé dans le cadre d'un prélèvement de particules et dans un système de dilution du flux partiel doit faire l'objet d'une vérification de la linéarité, telle que décrite au paragraphe 9.2.1, aussi fréquemment qu'il est nécessaire pour satisfaire aux prescriptions de justesse énoncées dans le présent RTM. Pour les valeurs de référence du débit, on doit utiliser un débitmètre précis certifié conforme aux normes internationales et/ou nationales. Pour l'étalonnage de l'appareil de mesure de la différence de débit, voir le paragraphe 9.4.6.2.

9.4.6 Conditions spéciales relatives au système de dilution du flux partiel

Le système de dilution du flux partiel doit être conçu pour prélever un échantillon proportionnel de gaz d'échappement bruts dans le flux des gaz d'échappement du moteur, ce prélèvement devant donc suivre les variations du débit des gaz d'échappement. À cette fin, il est indispensable que le taux de dilution ou le taux de prélèvement r_d ou r_s soit déterminé de telle manière que les conditions de justesse du paragraphe 9.4.6.2 soient remplies.

9.4.6.1 Temps de réponse du système

Pour le réglage d'un système de dilution du flux partiel, une réponse rapide du système est nécessaire. Le temps de transformation du système doit être déterminé conformément à la procédure du paragraphe 9.4.6.6. Si le temps de transformation combiné de la mesure du débit de gaz d'échappement (voir par. 8.3.1.2) et du système de dilution du flux partiel est $\leq 0,3$ s, un réglage en ligne doit être appliqué. Si le temps de transformation est supérieur à 0,3 s, une commande par réglage prédictif basé sur un essai

préenregistré doit être utilisée. Dans ce cas, le temps de montée combiné doit être ≤ 1 s et le temps de retard combiné ≤ 10 s.

La réponse totale du système doit être conçue pour garantir l'obtention d'un échantillon représentatif des particules, $q_{mp,i}$, proportionnel au débit massique des gaz d'échappement. Pour déterminer la proportionnalité, une analyse de régression de $q_{mp,i}$ par rapport à $q_{mew,i}$ doit être effectuée à une fréquence d'acquisition des données d'au moins 5 Hz, et les critères suivants doivent être remplis:

- Le coefficient de détermination r^2 de la régression linéaire entre $q_{mp,i}$ et $q_{mew,i}$ ne doit pas être inférieur à 0,95;
- L'erreur type d'estimation de $q_{mp,i}$ par rapport à $q_{mew,i}$ ne doit pas dépasser 5 % de q_{mp} maximum;
- L'ordonnée à l'origine q_{mp} de la droite de régression ne doit pas être inférieure à ± 2 % de q_{mp} maximum.

Une commande par réglage prédictif est nécessaire si les temps de transformation combinés du système de mesure des particules, $t_{50,P}$ et du signal de débit massique de gaz d'échappement, $t_{50,F}$ sont $> 0,3$ s. Dans ce cas, un essai préalable doit être effectué et le signal de débit massique de gaz d'échappement obtenu lors de l'essai préalable doit être utilisé pour régler le débit de prélèvement dans le système de mesure des particules. On considère qu'un réglage correct du système de dilution partielle a été obtenu si la trace temporelle de $q_{mew,pre}$ de l'essai préalable est corrigée d'un décalage prédictif de $t_{50,P} + t_{50,F}$.

Pour contrôler la corrélation entre $q_{mp,i}$ et $q_{mew,i}$, on utilise les données collectées au cours de l'essai réel, en alignant dans le temps $q_{mew,i}$ de $t_{50,F}$ par rapport à $q_{mp,i}$ (la synchronisation ne fait pas intervenir $t_{50,P}$). C'est-à-dire que le décalage temporaire entre q_{mew} et q_{mp} correspond à la différence des temps de transformation déterminés au paragraphe 9.4.6.6.

9.4.6.2 Conditions relatives à la mesure de la différence de débit

Pour les systèmes de dilution du flux partiel, la précision de la mesure du débit de prélèvement q_{mp} doit faire l'objet d'une attention particulière, si cette mesure n'est pas effectuée directement, mais par calcul de la différence de débit selon la formule:

$$q_{mp} = q_{mdew} - q_{mdw} \quad (86)$$

Dans ce cas, l'erreur maximale sur le calcul de la différence doit être telle que la précision de la valeur de q_{mp} reste dans les limites de ± 5 % lorsque le taux de dilution est inférieur à 15. Cette erreur peut être calculée sur la base de la valeur moyenne quadratique de l'erreur de chaque instrument.

Une valeur acceptable de la précision de q_{mp} peut être obtenue si l'une des conditions suivantes est remplie:

- Si les précisions absolues de q_{mdew} et q_{mdw} sont de $\pm 0,2$ %, ce qui garantit une précision de $q_{mp} \leq 5$ % à un taux de dilution de 15. Les erreurs, toutefois, seront supérieures à des taux de dilution plus élevés;
- Si l'étalonnage de q_{mdw} par rapport à q_{mdew} est effectué de telle manière que les mêmes valeurs de précision pour q_{mp} soient obtenues que dans le cas a) ci-dessus. Pour plus de précisions, voir le paragraphe 9.4.6.2;

- c) Si la précision de q_{mp} est déterminée indirectement d'après la précision du taux de dilution, tel qu'il est déterminé au moyen d'un gaz témoin comme le CO₂. Des valeurs de précision équivalant au cas a) ci-dessus pour q_{mp} sont requises;
- d) Si la précision absolue de q_{mdew} et q_{mdw} reste dans les limites de $\pm 2\%$ de l'amplitude totale, si l'erreur maximale sur la différence entre q_{mdew} et q_{mdw} ne dépasse pas 0,2 %, et si l'erreur de linéarité ne dépasse pas $\pm 0,2\%$ de la valeur la plus élevée de q_{mdew} observée au cours de l'essai.

9.4.6.3 Étalonnage du système de mesure de la différence de débit

Le débitmètre ou l'appareillage de mesure du débit doit être étalonné selon une des méthodes suivantes, de telle manière que le débit de prélèvement q_{mp} entrant dans le tunnel satisfasse aux conditions de justesse énoncées au paragraphe 9.4.6.2:

- a) Le débitmètre de mesure de q_{mdw} doit être raccordé en série au débitmètre de mesure de q_{mdew} , la différence entre les valeurs des deux débitmètres devant être étalonnée en au moins cinq points de réglage correspondant à des valeurs de débit également espacées entre la plus basse valeur q_{mdw} utilisée lors de l'essai et la valeur de q_{mdew} utilisée lors de l'essai. Pour la mesure, le tunnel de dilution peut être contourné;
- b) Un débitmètre étalonné doit être raccordé en série au débitmètre de mesure de q_{mdew} , et la précision de la mesure doit être contrôlée pour la valeur utilisée lors de l'essai. Le débitmètre étalonné doit être raccordé en série au débitmètre de mesure de q_{mdw} , et la précision doit être contrôlée en au moins cinq points de réglage correspondant à un taux de dilution variant entre 3 et 50, par rapport à la valeur de q_{mdew} utilisée lors de l'essai;
- c) Le tube de transfert TT doit être déconnecté de l'échappement et un dispositif étalonné de mesure du débit ayant une plage de mesure appropriée pour la mesure de q_{mp} doit être raccordé au tube de transfert. La valeur de q_{mdew} doit être réglée à la valeur utilisée lors de l'essai et celle de q_{mdw} doit être successivement réglée sur au moins cinq valeurs correspondant à des taux de dilution variant entre 3 et 50. Autre variante possible, on peut installer un circuit spécial d'étalonnage, contournant le tunnel, mais où le débit total et le débit du diluant passent par les débitmètres correspondants, comme lors de l'essai réel;
- d) Un gaz témoin doit être introduit dans le tube de transfert TT. Ce gaz témoin peut être un constituant du gaz d'échappement tel que CO₂ ou NO_x. Après dilution dans le tunnel, la concentration du gaz témoin doit être mesurée. Cette mesure doit s'effectuer pour cinq taux de dilution variant entre 3 et 50. La précision du débit de prélèvement doit être déterminée d'après le taux de dilution r_d :

$$q_{mp} = q_{mdew}/r_d \quad (87)$$

Il faut tenir compte des valeurs de justesse respectives des analyseurs de gaz pour pouvoir garantir la précision de q_{mp} .

9.4.6.4 Contrôle du débit de carbone

Il est vivement recommandé d'effectuer un contrôle du débit de carbone sur les gaz d'échappement réels pour détecter les éventuels problèmes de mesure et de réglage du système et contrôler le bon fonctionnement du système de dilution du flux partiel. Le contrôle du débit de carbone doit être effectué au moins à chaque installation d'un nouveau moteur ou à chaque modification notable apportée à la configuration de la chambre d'essai.

Le moteur doit fonctionner à pleine charge au régime de couple maximal ou sur tout autre mode stabilisé produisant un taux de CO₂ de 5 % ou plus. Le système de prélèvement du flux partiel doit fonctionner avec un rapport de dilution d'environ 15 à 1.

Si un contrôle du débit de carbone est effectué, la procédure décrite à l'annexe 5 doit être appliquée. Les débits de carbone doivent être calculés conformément aux équations 80 à 82 de l'annexe 5. Toutes les valeurs de débit de carbone doivent concorder à 3 % près.

9.4.6.5 Contrôle préliminaire à l'essai

Un contrôle préliminaire doit être effectué 2 heures au maximum avant l'essai dans les conditions suivantes.

La précision des débitmètres doit être contrôlée par la même méthode que celle appliquée pour l'étalonnage (voir par. 9.4.6.2) pour au moins deux points, y compris les valeurs de débit de q_{mdw} qui correspondent à des taux de dilution compris entre 5 et 15 pour la valeur de q_{mdew} utilisée lors de l'essai.

Le contrôle préliminaire peut être omis s'il est possible de démontrer sur la base des enregistrements concernant les opérations d'étalonnage effectuées conformément au paragraphe 9.4.6.2 que l'étalonnage des débitmètres est stable pendant une longue durée.

9.4.6.6 Détermination du temps de transformation

Les réglages du système pour l'évaluation du temps de transformation doivent être exactement les mêmes que ceux s'appliquant à la mesure lors de l'essai réel. Le temps de transformation doit être déterminé conformément à la méthode suivante.

Un débitmètre de référence indépendant ayant une plage de mesure appropriée pour le débit de la sonde doit être raccordé en série à la sonde à proximité immédiate d'elle. Ce débitmètre doit avoir un temps de transformation inférieur à 100 ms pour la dimension de l'échelon de débit utilisé pour la mesure du temps de réponse, et ne doit restreindre le débit que très faiblement de manière à ne pas affecter le comportement dynamique du système de dilution du flux partiel; il doit être installé conformément aux règles d'usage.

Une variation en échelon du débit doit être appliquée à l'entrée des gaz d'échappement (ou à l'entrée d'air si le débit de gaz d'échappement est déterminé par calcul) du système de dilution du flux partiel, depuis une valeur de débit faible jusqu'à 90 % au moins du débit maximal de gaz d'échappement. Le signal de déclenchement de l'échelon doit être le même que celui qui est utilisé pour déclencher le réglage prédictif lors de l'essai réel. Le signal d'accroissement du débit de gaz d'échappement et la réponse du débitmètre doivent être enregistrés à une fréquence d'échantillonnage d'au moins 10 Hz.

À partir de ces données, on doit déterminer le temps de transformation pour le système de dilution du flux partiel, qui est le temps écoulé depuis l'amorçage de l'échelon jusqu'au point 50 % de la réponse du débitmètre. Il faut déterminer de la même manière les temps de transformation du signal q_{mp} du débitmètre du système de dilution du flux partiel et du signal $q_{mew,i}$ du débitmètre de gaz d'échappement. Ces signaux sont utilisés pour les opérations de contrôle par régression effectuées après chaque essai (voir par. 9.4.6.1).

Les calculs doivent être répétés pour au moins cinq signaux de montée et de descente, et il faut calculer la moyenne des résultats. Le temps de transformation interne (<100 ms) du débitmètre de référence doit être déduit de cette valeur, ce qui donne la valeur «prédictive» du système de dilution du flux partiel, qui doit être appliquée conformément au paragraphe 9.4.6.1.

9.5 *Étalonnage du système CVS*

9.5.1 Dispositions générales

Le système CVS doit être étalonné au moyen d'un débitmètre juste et d'un dispositif réducteur de débit. Le débit traversant le système doit être mesuré pour différents réglages du réducteur et les paramètres de réglage du système doivent être mesurés et rapportés au débit.

On peut utiliser divers types de débitmètre: tube de venturi étalonné, débitmètre laminaire étalonné, débitmètre à turbine étalonné.

9.5.2 Étalonnage de la pompe volumétrique (PDP)

Tous les paramètres relatifs à la pompe doivent être mesurés simultanément avec les paramètres relatifs à un tube de venturi étalonné qui est raccordé en série avec la pompe. La courbe du débit calculé (en m³/s à l'entrée de la pompe aux valeurs mesurées de pression absolue et de température) doit être rapportée à une fonction de corrélation qui représente une combinaison donnée de paramètres de la pompe. L'équation linéaire entre le débit de la pompe et la fonction de corrélation doit alors être déterminée. Si le système CVS a plusieurs vitesses d'entraînement, il faut procéder à l'étalonnage pour chaque vitesse utilisée.

Une température constante doit être maintenue au cours de l'étalonnage.

Les fuites totales dans les raccords et tuyauteries raccordant le tube de venturi étalonné et la pompe CVS doivent être maintenues à moins de 0,3 % de la valeur de débit la plus basse (réduction maximale du débit et vitesse de rotation minimale de la pompe PDP).

9.5.2.1 Analyse des données

Le débit d'air ($q_{v, CVS}$) à chaque réglage du réducteur de débit (six réglages minimum) doit être calculé en m³/s normaux à partir des données du débitmètre conformément à la méthode prescrite par le fabricant. Le débit d'air doit ensuite être converti en débit de la pompe (V_0) en m³/tr aux valeurs mesurées de pression absolue et de température à l'entrée de la pompe, comme suit:

$$V_0 = \frac{q_{v, CVS}}{n} \times \frac{T}{273} \times \frac{101,3}{p_p} \quad (88)$$

où:

$q_{v\text{CVS}}$ est le débit d'air aux conditions normales (101,3 kPa, 273 K), en m³/s;

T est la température à l'entrée de la pompe, en K;

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

n est la vitesse de rotation de la pompe, en tr/s.

Pour tenir compte de l'interaction des variations de pression à la pompe et du taux de glissement de celle-ci, on détermine la fonction de corrélation X_0 entre la vitesse de rotation de la pompe, la différence de pression entre entrée et sortie et la pression absolue de sortie de la pompe, comme suit:

$$X_0 = \frac{1}{n} \times \sqrt{\frac{\Delta p_p}{p_p}} \quad (89)$$

où:

Δp_p est la différence de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe, en kPa;

p_p est la pression absolue de sortie de la pompe, en kPa.

On exécute ensuite un ajustement linéaire par les moindres carrés en vue d'établir l'équation d'étalonnage, comme suit:

$$V_0 = D_0 - m \times X_0 \quad (90)$$

D_0 et m sont l'ordonnée à l'origine et la pente, respectivement, décrivant les droites de régression.

Pour un système CVS à plusieurs vitesses d'entraînement, les courbes d'étalonnage établies pour les différentes plages de débit de la pompe doivent être sensiblement parallèles, et la valeur de l'ordonnée à l'origine (D_0) doit augmenter lorsque la gamme de débit de la pompe diminue.

Les valeurs calculées au moyen de l'équation ne doivent pas s'écarter de plus de $\pm 0,5$ % de la valeur mesurée de V_0 . Les valeurs de m varient d'une pompe à l'autre. Avec le temps, l'encrassement par les particules cause une diminution du glissement, ce qui est reflété par des valeurs plus basses de m . Il faut donc effectuer un étalonnage à la mise en service de la pompe, et après tout entretien majeur, ainsi que si la vérification du système complet indique un changement du taux de glissement.

9.5.3 Étalonnage du tube de venturi à écoulement critique (CFV)

L'étalonnage du tube de venturi est basé sur l'équation de son débit en régime critique. Le débit de gaz est fonction de la pression et de la température d'entrée.

Pour déterminer la plage de régime critique, on doit tracer la courbe de K_v en fonction de la pression à l'entrée du venturi. En régime critique, K_v a une valeur relativement constante. Lorsque la pression diminue (accroissement de la dépression), le venturi se débloque et K_v diminue, ce qui indique que le venturi fonctionne en dehors de la plage admissible.

9.5.3.1 Analyse des données

Le débit d'air (q_{vCVS}) à chaque réglage du réducteur de débit (8 réglages minimum) doit être calculé en m^3/s normaux à partir des données du débitmètre conformément à la méthode prescrite par le fabricant. Le coefficient d'étalonnage doit être calculé à partir des données de calibrage pour chaque réglage comme suit:

$$K_v = \frac{q_{vCVS} \times \sqrt{T}}{p_p} \quad (91)$$

où:

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

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

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

La valeur moyenne de K_v et l'écart type doivent être calculés. L'écart type ne doit pas dépasser $\pm 0,3\%$ de la valeur moyenne de K_v .

9.5.4 Étalonnage du venturi subsonique (SSV)

L'étalonnage du SSV est basé sur l'équation de débit d'un venturi subsonique. Le débit de gaz est fonction de la pression et de la température d'entrée, de la chute de pression entre l'entrée et le col du SSV, selon l'équation 43 (voir par. 8.5.1.4).

9.5.4.1 Analyse des données

Le débit d'air (Q_{SSV}) à chaque réglage du réducteur du débit (16 réglages minimum) doit être calculé en m^3/s normaux à partir des données du débitmètre conformément à la méthode prescrite par le fabricant. Le coefficient de décharge doit être calculé à partir des données de calibrage pour chaque réglage, comme suit:

$$C_d = \frac{Q_{SSV}}{d_v^2 \times p_p \times \sqrt{\left[\frac{1}{T} \times (r_p^{1,4286} - r_p^{1,7143}) \times \left(\frac{1}{1 - r_D^4 \times r_p^{1,4286}} \right) \right]}} \quad (92)$$

où:

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

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

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

r_p est le rapport de la pression au col du SSV à la pression statique absolue à l'entrée =

$$1 - \frac{\Delta p}{p_p};$$

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

Pour déterminer la plage d'écoulement subsonique, il faut tracer la courbe de C_d en fonction du nombre de Reynolds Re , au col du SSV. La valeur de Re au col du SSV doit être calculée au moyen de l'équation suivante:

$$Re = A_1 \times \frac{Q_{SSV}}{d_v \times \mu} \quad (93)$$

avec

$$\mu = \frac{b \times T^{1.5}}{S + T} \quad (94)$$

où:

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

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

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

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

b est $1,458 \times 10^6$ (constante empirique), en $kg/ms K^{0.5}$;

S est 110,4 (constante empirique), en K.

Étant donné que la valeur Q_{SSV} est une valeur d'entrée de l'équation Re , les calculs doivent initialement se fonder sur une estimation de Q_{SSV} ou du facteur C_d du venturi étalonné, à partir de laquelle on procède par itération jusqu'à ce qu'il y ait convergence de la valeur Q_{SSV} . La méthode de convergence doit être juste à 0,1 % de point ou mieux.

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

9.5.5 Vérification du système complet

Pour déterminer la justesse totale du système de prélèvement CVS et du système d'analyse, on doit introduire une masse connue d'un gaz polluant dans le système lorsqu'il fonctionne de manière normale. Le polluant est analysé, et sa masse déterminée conformément au paragraphe 8.5.2.3, sauf dans le cas du propane, pour lequel on applique un facteur u de 0,000507 au lieu de 0,000480 pour les HC. L'une ou l'autre des deux méthodes suivantes doit être appliquée.

9.5.5.1 Dosage à l'aide d'un orifice à écoulement critique

Il faut introduire dans le système CVS par l'intermédiaire d'un orifice à écoulement critique étalonné une quantité connue d'un gaz pur (monoxyde de carbone ou propane). Si la pression d'entrée est suffisamment élevée, le débit, qui est réglé par l'ajutage en régime critique, est indépendant de la pression à la sortie de l'ajutage (régime critique). Le système CVS doit fonctionner pendant 5 à 10 min comme pour un essai normal de mesure des émissions d'échappement. Un échantillon de gaz doit être analysé à l'aide de l'équipement habituel (sac de collecte ou mesure par intégration), et la masse de gaz doit être calculée.

La valeur ainsi obtenue ne doit pas s'écarter de plus de ± 3 % de la masse connue de gaz injecté.

9.5.5.2 Dosage par méthode gravimétrique

Il faut mesurer avec une précision de $\pm 0,01$ g la masse d'une petite bouteille à gaz remplie de monoxyde de carbone ou de propane. Pendant 5 à 10 min, il faut faire fonctionner le système CVS comme pour un essai normal de mesure des émissions d'échappement, tout en injectant dans le système du monoxyde de carbone ou du propane. La quantité de gaz pur introduite dans le système doit être déterminée par pesée différentielle. L'échantillon de gaz doit être analysé par les moyens habituels (sac de collecte ou mesure par intégration) et la masse de gaz doit être calculée.

La valeur ainsi obtenue ne doit pas s'écarter de plus de ± 3 % de la masse connue de gaz injecté.

Annexe 1

a) Fiche de programmation du dynamomètre pour l'essai WHTC

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

<i>Régime</i>			<i>Couple</i>			<i>Régime</i>			<i>Couple</i>		
<i>Temps</i>	<i>normalisé</i>	<i>normalisé</i>									
<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>									
139	0,0	0,0	189	0,0	5,9	239	0,0	0,0			
140	0,0	0,0	190	0,0	0,0	240	0,0	0,0			
141	0,0	0,0	191	0,0	0,0	241	0,0	0,0			
142	0,0	4,9	192	0,0	0,0	242	0,0	0,0			
143	0,0	7,3	193	0,0	0,0	243	0,0	0,0			
144	4,4	28,7	194	0,0	0,0	244	0,0	0,0			
145	11,1	26,4	195	0,0	0,0	245	0,0	0,0			
146	15,0	9,4	196	0,0	0,0	246	0,0	0,0			
147	15,9	0,0	197	0,0	0,0	247	0,0	0,0			
148	15,3	0,0	198	0,0	0,0	248	0,0	0,0			
149	14,2	0,0	199	0,0	0,0	249	0,0	0,0			
150	13,2	0,0	200	0,0	0,0	250	0,0	0,0			
151	11,6	0,0	201	0,0	0,0	251	0,0	0,0			
152	8,4	0,0	202	0,0	0,0	252	0,0	0,0			
153	5,4	0,0	203	0,0	0,0	253	0,0	31,6			
154	4,3	5,6	204	0,0	0,0	254	9,4	13,6			
155	5,8	24,4	205	0,0	0,0	255	22,2	16,9			
156	9,7	20,7	206	0,0	0,0	256	33,0	53,5			
157	13,6	21,1	207	0,0	0,0	257	43,7	22,1			
158	15,6	21,5	208	0,0	0,0	258	39,8	0,0			
159	16,5	21,9	209	0,0	0,0	259	36,0	45,7			
160	18,0	22,3	210	0,0	0,0	260	47,6	75,9			
161	21,1	46,9	211	0,0	0,0	261	61,2	70,4			
162	25,2	33,6	212	0,0	0,0	262	72,3	70,4			
163	28,1	16,6	213	0,0	0,0	263	76,0	m			
164	28,8	7,0	214	0,0	0,0	264	74,3	m			
165	27,5	5,0	215	0,0	0,0	265	68,5	m			
166	23,1	3,0	216	0,0	0,0	266	61,0	m			
167	16,9	1,9	217	0,0	0,0	267	56,0	m			
168	12,2	2,6	218	0,0	0,0	268	54,0	m			
169	9,9	3,2	219	0,0	0,0	269	53,0	m			
170	9,1	4,0	220	0,0	0,0	270	50,8	m			
171	8,8	3,8	221	0,0	0,0	271	46,8	m			
172	8,5	12,2	222	0,0	0,0	272	41,7	m			
173	8,2	29,4	223	0,0	0,0	273	35,9	m			
174	9,6	20,1	224	0,0	0,0	274	29,2	m			
175	14,7	16,3	225	0,0	0,0	275	20,7	m			
176	24,5	8,7	226	0,0	0,0	276	10,1	m			
177	39,4	3,3	227	0,0	0,0	277	0,0	m			
178	39,0	2,9	228	0,0	0,0	278	0,0	0,0			
179	38,5	5,9	229	0,0	0,0	279	0,0	0,0			
180	42,4	8,0	230	0,0	0,0	280	0,0	0,0			
181	38,2	6,0	231	0,0	0,0	281	0,0	0,0			
182	41,4	3,8	232	0,0	0,0	282	0,0	0,0			
183	44,6	5,4	233	0,0	0,0	283	0,0	0,0			
184	38,8	8,2	234	0,0	0,0	284	0,0	0,0			
185	37,5	8,9	235	0,0	0,0	285	0,0	0,0			
186	35,4	7,3	236	0,0	0,0	286	0,0	0,0			
187	28,4	7,0	237	0,0	0,0	287	0,0	0,0			
188	14,8	7,0	238	0,0	0,0	288	0,0	0,0			

<i>Régime normalisé</i>			<i>Couple normalisé</i>			<i>Régime normalisé</i>			<i>Couple normalisé</i>		
<i>Temps</i>	<i>Régime normalisé</i>	<i>Couple normalisé</i>									
<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>									
289	0,0	0,0	339	0,0	0,0	389	25,2	14,7			
290	0,0	0,0	340	0,0	0,0	390	28,6	28,4			
291	0,0	0,0	341	0,0	0,0	391	35,5	65,0			
292	0,0	0,0	342	0,0	0,0	392	43,8	75,3			
293	0,0	0,0	343	0,0	0,0	393	51,2	34,2			
294	0,0	0,0	344	0,0	0,0	394	40,7	0,0			
295	0,0	0,0	345	0,0	0,0	395	30,3	45,4			
296	0,0	0,0	346	0,0	0,0	396	34,2	83,1			
297	0,0	0,0	347	0,0	0,0	397	37,6	85,3			
298	0,0	0,0	348	0,0	0,0	398	40,8	87,5			
299	0,0	0,0	349	0,0	0,0	399	44,8	89,7			
300	0,0	0,0	350	0,0	0,0	400	50,6	91,9			
301	0,0	0,0	351	0,0	0,0	401	57,6	94,1			
302	0,0	0,0	352	0,0	0,0	402	64,6	44,6			
303	0,0	0,0	353	0,0	0,0	403	51,6	0,0			
304	0,0	0,0	354	0,0	0,5	404	38,7	37,4			
305	0,0	0,0	355	0,0	4,9	405	42,4	70,3			
306	0,0	0,0	356	9,2	61,3	406	46,5	89,1			
307	0,0	0,0	357	22,4	40,4	407	50,6	93,9			
308	0,0	0,0	358	36,5	50,1	408	53,8	33,0			
309	0,0	0,0	359	47,7	21,0	409	55,5	20,3			
310	0,0	0,0	360	38,8	0,0	410	55,8	5,2			
311	0,0	0,0	361	30,0	37,0	411	55,4	m			
312	0,0	0,0	362	37,0	63,6	412	54,4	m			
313	0,0	0,0	363	45,5	90,8	413	53,1	m			
314	0,0	0,0	364	54,5	40,9	414	51,8	m			
315	0,0	0,0	365	45,9	0,0	415	50,3	m			
316	0,0	0,0	366	37,2	47,5	416	48,4	m			
317	0,0	0,0	367	44,5	84,4	417	45,9	m			
318	0,0	0,0	368	51,7	32,4	418	43,1	m			
319	0,0	0,0	369	58,1	15,2	419	40,1	m			
320	0,0	0,0	370	45,9	0,0	420	37,4	m			
321	0,0	0,0	371	33,6	35,8	421	35,1	m			
322	0,0	0,0	372	36,9	67,0	422	32,8	m			
323	0,0	0,0	373	40,2	84,7	423	45,3	0,0			
324	4,5	41,0	374	43,4	84,3	424	57,8	m			
325	17,2	38,9	375	45,7	84,3	425	50,6	m			
326	30,1	36,8	376	46,5	m	426	41,6	m			
327	41,0	34,7	377	46,1	m	427	47,9	0,0			
328	50,0	32,6	378	43,9	m	428	54,2	m			
329	51,4	0,1	379	39,3	m	429	48,1	m			
330	47,8	m	380	47,0	m	430	47,0	31,3			
331	40,2	m	381	54,6	m	431	49,0	38,3			
332	32,0	m	382	62,0	m	432	52,0	40,1			
333	24,4	m	383	52,0	m	433	53,3	14,5			
334	16,8	m	384	43,0	m	434	52,6	0,8			
335	8,1	m	385	33,9	m	435	49,8	m			
336	0,0	m	386	28,4	m	436	51,0	18,6			
337	0,0	0,0	387	25,5	m	437	56,9	38,9			
338	0,0	0,0	388	24,6	11,0	438	67,2	45,0			

<i>Régime</i>			<i>Couple</i>			<i>Régime</i>			<i>Couple</i>		
<i>Temps</i>	<i>normalisé</i>	<i>normalisé</i>									
<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>									
439	78,6	21,5	489	45,5	m	539	56,7	m			
440	65,5	0,0	490	40,4	m	540	46,9	m			
441	52,4	31,3	491	49,7	0,0	541	37,5	m			
442	56,4	60,1	492	59,0	m	542	30,3	m			
443	59,7	29,2	493	48,9	m	543	27,3	32,3			
444	45,1	0,0	494	40,0	m	544	30,8	60,3			
445	30,6	4,2	495	33,5	m	545	41,2	62,3			
446	30,9	8,4	496	30,0	m	546	36,0	0,0			
447	30,5	4,3	497	29,1	12,0	547	30,8	32,3			
448	44,6	0,0	498	29,3	40,4	548	33,9	60,3			
449	58,8	m	499	30,4	29,3	549	34,6	38,4			
450	55,1	m	500	32,2	15,4	550	37,0	16,6			
451	50,6	m	501	33,9	15,8	551	42,7	62,3			
452	45,3	m	502	35,3	14,9	552	50,4	28,1			
453	39,3	m	503	36,4	15,1	553	40,1	0,0			
454	49,1	0,0	504	38,0	15,3	554	29,9	8,0			
455	58,8	m	505	40,3	50,9	555	32,5	15,0			
456	50,7	m	506	43,0	39,7	556	34,6	63,1			
457	42,4	m	507	45,5	20,6	557	36,7	58,0			
458	44,1	0,0	508	47,3	20,6	558	39,4	52,9			
459	45,7	m	509	48,8	22,1	559	42,8	47,8			
460	32,5	m	510	50,1	22,1	560	46,8	42,7			
461	20,7	m	511	51,4	42,4	561	50,7	27,5			
462	10,0	m	512	52,5	31,9	562	53,4	20,7			
463	0,0	0,0	513	53,7	21,6	563	54,2	13,1			
464	0,0	1,5	514	55,1	11,6	564	54,2	0,4			
465	0,9	41,1	515	56,8	5,7	565	53,4	0,0			
466	7,0	46,3	516	42,4	0,0	566	51,4	m			
467	12,8	48,5	517	27,9	8,2	567	48,7	m			
468	17,0	50,7	518	29,0	15,9	568	45,6	m			
469	20,9	52,9	519	30,4	25,1	569	42,4	m			
470	26,7	55,0	520	32,6	60,5	570	40,4	m			
471	35,5	57,2	521	35,4	72,7	571	39,8	5,8			
472	46,9	23,8	522	38,4	88,2	572	40,7	39,7			
473	44,5	0,0	523	41,0	65,1	573	43,8	37,1			
474	42,1	45,7	524	42,9	25,6	574	48,1	39,1			
475	55,6	77,4	525	44,2	15,8	575	52,0	22,0			
476	68,8	100,0	526	44,9	2,9	576	54,7	13,2			
477	81,7	47,9	527	45,1	m	577	56,4	13,2			
478	71,2	0,0	528	44,8	m	578	57,5	6,6			
479	60,7	38,3	529	43,9	m	579	42,6	0,0			
480	68,8	72,7	530	42,4	m	580	27,7	10,9			
481	75,0	m	531	40,2	m	581	28,5	21,3			
482	61,3	m	532	37,1	m	582	29,2	23,9			
483	53,5	m	533	47,0	0,0	583	29,5	15,2			
484	45,9	58,0	534	57,0	m	584	29,7	8,8			
485	48,1	80,0	535	45,1	m	585	30,4	20,8			
486	49,4	97,9	536	32,6	m	586	31,9	22,9			
487	49,7	m	537	46,8	0,0	587	34,3	61,4			
488	48,7	m	538	61,5	m	588	37,2	76,6			

<i>Temps</i>	<i>Régime normalisé</i>	<i>Couple normalisé</i>	<i>Temps</i>	<i>Régime normalisé</i>	<i>Couple normalisé</i>	<i>Temps</i>	<i>Régime normalisé</i>	<i>Couple normalisé</i>
<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>	<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>	<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>
589	40,1	27,5	639	39,8	m	689	46,6	0,0
590	42,3	25,4	640	36,0	m	690	32,3	34,6
591	43,5	32,0	641	29,7	m	691	32,7	68,6
592	43,8	6,0	642	21,5	m	692	32,6	67,0
593	43,5	m	643	14,1	m	693	31,3	m
594	42,8	m	644	0,0	0,0	694	28,1	m
595	41,7	m	645	0,0	0,0	695	43,0	0,0
596	40,4	m	646	0,0	0,0	696	58,0	m
597	39,3	m	647	0,0	0,0	697	58,9	m
598	38,9	12,9	648	0,0	0,0	698	49,4	m
599	39,0	18,4	649	0,0	0,0	699	41,5	m
600	39,7	39,2	650	0,0	0,0	700	48,4	0,0
601	41,4	60,0	651	0,0	0,0	701	55,3	m
602	43,7	54,5	652	0,0	0,0	702	41,8	m
603	46,2	64,2	653	0,0	0,0	703	31,6	m
604	48,8	73,3	654	0,0	0,0	704	24,6	m
605	51,0	82,3	655	0,0	0,0	705	15,2	m
606	52,1	0,0	656	0,0	3,4	706	7,0	m
607	52,0	m	657	1,4	22,0	707	0,0	0,0
608	50,9	m	658	10,1	45,3	708	0,0	0,0
609	49,4	m	659	21,5	10,0	709	0,0	0,0
610	47,8	m	660	32,2	0,0	710	0,0	0,0
611	46,6	m	661	42,3	46,0	711	0,0	0,0
612	47,3	35,3	662	57,1	74,1	712	0,0	0,0
613	49,2	74,1	663	72,1	34,2	713	0,0	0,0
614	51,1	95,2	664	66,9	0,0	714	0,0	0,0
615	51,7	m	665	60,4	41,8	715	0,0	0,0
616	50,8	m	666	69,1	79,0	716	0,0	0,0
617	47,3	m	667	77,1	38,3	717	0,0	0,0
618	41,8	m	668	63,1	0,0	718	0,0	0,0
619	36,4	m	669	49,1	47,9	719	0,0	0,0
620	30,9	m	670	53,4	91,3	720	0,0	0,0
621	25,5	37,1	671	57,5	85,7	721	0,0	0,0
622	33,8	38,4	672	61,5	89,2	722	0,0	0,0
623	42,1	m	673	65,5	85,9	723	0,0	0,0
624	34,1	m	674	69,5	89,5	724	0,0	0,0
625	33,0	37,1	675	73,1	75,5	725	0,0	0,0
626	36,4	38,4	676	76,2	73,6	726	0,0	0,0
627	43,3	17,1	677	79,1	75,6	727	0,0	0,0
628	35,7	0,0	678	81,8	78,2	728	0,0	0,0
629	28,1	11,6	679	84,1	39,0	729	0,0	0,0
630	36,5	19,2	680	69,6	0,0	730	0,0	0,0
631	45,2	8,3	681	55,0	25,2	731	0,0	0,0
632	36,5	0,0	682	55,8	49,9	732	0,0	0,0
633	27,9	32,6	683	56,7	46,4	733	0,0	0,0
634	31,5	59,6	684	57,6	76,3	734	0,0	0,0
635	34,4	65,2	685	58,4	92,7	735	0,0	0,0
636	37,0	59,6	686	59,3	99,9	736	0,0	0,0
637	39,0	49,0	687	60,1	95,0	737	0,0	0,0
638	40,2	m	688	61,0	46,7	738	0,0	0,0

<i>Régime normalisé</i>			<i>Couple normalisé</i>			<i>Régime normalisé</i>			<i>Couple normalisé</i>		
<i>Temps</i>	<i>Régime normalisé</i>	<i>Couple normalisé</i>									
<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>									
739	0,0	0,0	789	17,2	m	839	38,1	m			
740	0,0	0,0	790	14,0	37,6	840	37,2	42,7			
741	0,0	0,0	791	18,4	25,0	841	37,5	70,8			
742	0,0	0,0	792	27,6	17,7	842	39,1	48,6			
743	0,0	0,0	793	39,8	6,8	843	41,3	0,1			
744	0,0	0,0	794	34,3	0,0	844	42,3	m			
745	0,0	0,0	795	28,7	26,5	845	42,0	m			
746	0,0	0,0	796	41,5	40,9	846	40,8	m			
747	0,0	0,0	797	53,7	17,5	847	38,6	m			
748	0,0	0,0	798	42,4	0,0	848	35,5	m			
749	0,0	0,0	799	31,2	27,3	849	32,1	m			
750	0,0	0,0	800	32,3	53,2	850	29,6	m			
751	0,0	0,0	801	34,5	60,6	851	28,8	39,9			
752	0,0	0,0	802	37,6	68,0	852	29,2	52,9			
753	0,0	0,0	803	41,2	75,4	853	30,9	76,1			
754	0,0	0,0	804	45,8	82,8	854	34,3	76,5			
755	0,0	0,0	805	52,3	38,2	855	38,3	75,5			
756	0,0	0,0	806	42,5	0,0	856	42,5	74,8			
757	0,0	0,0	807	32,6	30,5	857	46,6	74,2			
758	0,0	0,0	808	35,0	57,9	858	50,7	76,2			
759	0,0	0,0	809	36,0	77,3	859	54,8	75,1			
760	0,0	0,0	810	37,1	96,8	860	58,7	36,3			
761	0,0	0,0	811	39,6	80,8	861	45,2	0,0			
762	0,0	0,0	812	43,4	78,3	862	31,8	37,2			
763	0,0	0,0	813	47,2	73,4	863	33,8	71,2			
764	0,0	0,0	814	49,6	66,9	864	35,5	46,4			
765	0,0	0,0	815	50,2	62,0	865	36,6	33,6			
766	0,0	0,0	816	50,2	57,7	866	37,2	20,0			
767	0,0	0,0	817	50,6	62,1	867	37,2	m			
768	0,0	0,0	818	52,3	62,9	868	37,0	m			
769	0,0	0,0	819	54,8	37,5	869	36,6	m			
770	0,0	0,0	820	57,0	18,3	870	36,0	m			
771	0,0	22,0	821	42,3	0,0	871	35,4	m			
772	4,5	25,8	822	27,6	29,1	872	34,7	m			
773	15,5	42,8	823	28,4	57,0	873	34,1	m			
774	30,5	46,8	824	29,1	51,8	874	33,6	m			
775	45,5	29,3	825	29,6	35,3	875	33,3	m			
776	49,2	13,6	826	29,7	33,3	876	33,1	m			
777	39,5	0,0	827	29,8	17,7	877	32,7	m			
778	29,7	15,1	828	29,5	m	878	31,4	m			
779	34,8	26,9	829	28,9	m	879	45,0	0,0			
780	40,0	13,6	830	43,0	0,0	880	58,5	m			
781	42,2	m	831	57,1	m	881	53,7	m			
782	42,1	m	832	57,7	m	882	47,5	m			
783	40,8	m	833	56,0	m	883	40,6	m			
784	37,7	37,6	834	53,8	m	884	34,1	m			
785	47,0	35,0	835	51,2	m	885	45,3	0,0			
786	48,8	33,4	836	48,1	m	886	56,4	m			
787	41,7	m	837	44,5	m	887	51,0	m			
788	27,7	m	838	40,9	m	888	44,5	m			

<i>Régime normalisé</i>			<i>Couple normalisé</i>			<i>Régime normalisé</i>			<i>Couple normalisé</i>		
<i>Temps</i>	<i>Régime normalisé</i>	<i>Couple normalisé</i>									
<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>									
889	36,4	m	939	32,7	56,5	989	32,6	m			
890	26,6	m	940	33,4	62,8	990	30,9	m			
891	20,0	m	941	34,6	68,2	991	29,9	m			
892	13,3	m	942	35,8	68,6	992	29,2	m			
893	6,7	m	943	38,6	65,0	993	44,1	0,0			
894	0,0	0,0	944	42,3	61,9	994	59,1	m			
895	0,0	0,0	945	44,1	65,3	995	56,8	m			
896	0,0	0,0	946	45,3	63,2	996	53,5	m			
897	0,0	0,0	947	46,5	30,6	997	47,8	m			
898	0,0	0,0	948	46,7	11,1	998	41,9	m			
899	0,0	0,0	949	45,9	16,1	999	35,9	m			
900	0,0	0,0	950	45,6	21,8	1 000	44,3	0,0			
901	0,0	5,8	951	45,9	24,2	1 001	52,6	m			
902	2,5	27,9	952	46,5	24,7	1 002	43,4	m			
903	12,4	29,0	953	46,7	24,7	1 003	50,6	0,0			
904	19,4	30,1	954	46,8	28,2	1 004	57,8	m			
905	29,3	31,2	955	47,2	31,2	1 005	51,6	m			
906	37,1	10,4	956	47,6	29,6	1 006	44,8	m			
907	40,6	4,9	957	48,2	31,2	1 007	48,6	0,0			
908	35,8	0,0	958	48,6	33,5	1 008	52,4	m			
909	30,9	7,6	959	48,8	m	1 009	45,4	m			
910	35,4	13,8	960	47,6	m	1 010	37,2	m			
911	36,5	11,1	961	46,3	m	1 011	26,3	m			
912	40,8	48,5	962	45,2	m	1 012	17,9	m			
913	49,8	3,7	963	43,5	m	1 013	16,2	1,9			
914	41,2	0,0	964	41,4	m	1 014	17,8	7,5			
915	32,7	29,7	965	40,3	m	1 015	25,2	18,0			
916	39,4	52,1	966	39,4	m	1 016	39,7	6,5			
917	48,8	22,7	967	38,0	m	1 017	38,6	0,0			
918	41,6	0,0	968	36,3	m	1 018	37,4	5,4			
919	34,5	46,6	969	35,3	5,8	1 019	43,4	9,7			
920	39,7	84,4	970	35,4	30,2	1 020	46,9	15,7			
921	44,7	83,2	971	36,6	55,6	1 021	52,5	13,1			
922	49,5	78,9	972	38,6	48,5	1 022	56,2	6,3			
923	52,3	83,8	973	39,9	41,8	1 023	44,0	0,0			
924	53,4	77,7	974	40,3	38,2	1 024	31,8	20,9			
925	52,1	69,6	975	40,8	35,0	1 025	38,7	36,3			
926	47,9	63,6	976	41,9	32,4	1 026	47,7	47,5			
927	46,4	55,2	977	43,2	26,4	1 027	54,5	22,0			
928	46,5	53,6	978	43,5	m	1 028	41,3	0,0			
929	46,4	62,3	979	42,9	m	1 029	28,1	26,8			
930	46,1	58,2	980	41,5	m	1 030	31,6	49,2			
931	46,2	61,8	981	40,9	m	1 031	34,5	39,5			
932	47,3	62,3	982	40,5	m	1 032	36,4	24,0			
933	49,3	57,1	983	39,5	m	1 033	36,7	m			
934	52,6	58,1	984	38,3	m	1 034	35,5	m			
935	56,3	56,0	985	36,9	m	1 035	33,8	m			
936	59,9	27,2	986	35,4	m	1 036	33,7	19,8			
937	45,8	0,0	987	34,5	m	1 037	35,3	35,1			
938	31,8	28,8	988	33,9	m	1 038	38,0	33,9			

<i>Temps</i>	<i>Régime normalisé</i>	<i>Couple normalisé</i>	<i>Temps</i>	<i>Régime normalisé</i>	<i>Couple normalisé</i>	<i>Temps</i>	<i>Régime normalisé</i>	<i>Couple normalisé</i>
<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>	<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>	<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>
1 039	40,1	34,5	1 089	46,3	24,0	1 139	51,7	0,0
1 040	42,2	40,4	1 090	47,8	20,6	1 140	59,2	m
1 041	45,2	44,0	1 091	47,2	3,8	1 141	47,2	m
1 042	48,3	35,9	1 092	45,6	4,4	1 142	35,1	0,0
1 043	50,1	29,6	1 093	44,6	4,1	1 143	23,1	m
1 044	52,3	38,5	1 094	44,1	m	1 144	13,1	m
1 045	55,3	57,7	1 095	42,9	m	1 145	5,0	m
1 046	57,0	50,7	1 096	40,9	m	1 146	0,0	0,0
1 047	57,7	25,2	1 097	39,2	m	1 147	0,0	0,0
1 048	42,9	0,0	1 098	37,0	m	1 148	0,0	0,0
1 049	28,2	15,7	1 099	35,1	2,0	1 149	0,0	0,0
1 050	29,2	30,5	1 100	35,6	43,3	1 150	0,0	0,0
1 051	31,1	52,6	1 101	38,7	47,6	1 151	0,0	0,0
1 052	33,4	60,7	1 102	41,3	40,4	1 152	0,0	0,0
1 053	35,0	61,4	1 103	42,6	45,7	1 153	0,0	0,0
1 054	35,3	18,2	1 104	43,9	43,3	1 154	0,0	0,0
1 055	35,2	14,9	1 105	46,9	41,2	1 155	0,0	0,0
1 056	34,9	11,7	1 106	52,4	40,1	1 156	0,0	0,0
1 057	34,5	12,9	1 107	56,3	39,3	1 157	0,0	0,0
1 058	34,1	15,5	1 108	57,4	25,5	1 158	0,0	0,0
1 059	33,5	m	1 109	57,2	25,4	1 159	0,0	0,0
1 060	31,8	m	1 110	57,0	25,4	1 160	0,0	0,0
1 061	30,1	m	1 111	56,8	25,3	1 161	0,0	0,0
1 062	29,6	10,3	1 112	56,3	25,3	1 162	0,0	0,0
1 063	30,0	26,5	1 113	55,6	25,2	1 163	0,0	0,0
1 064	31,0	18,8	1 114	56,2	25,2	1 164	0,0	0,0
1 065	31,5	26,5	1 115	58,0	12,4	1 165	0,0	0,0
1 066	31,7	m	1 116	43,4	0,0	1 166	0,0	0,0
1 067	31,5	m	1 117	28,8	26,2	1 167	0,0	0,0
1 068	30,6	m	1 118	30,9	49,9	1 168	0,0	0,0
1 069	30,0	m	1 119	32,3	40,5	1 169	0,0	0,0
1 070	30,0	m	1 120	32,5	12,4	1 170	0,0	0,0
1 071	29,4	m	1 121	32,4	12,2	1 171	0,0	0,0
1 072	44,3	0,0	1 122	32,1	6,4	1 172	0,0	0,0
1 073	59,2	m	1 123	31,0	12,4	1 173	0,0	0,0
1 074	58,3	m	1 124	30,1	18,5	1 174	0,0	0,0
1 075	57,1	m	1 125	30,4	35,6	1 175	0,0	0,0
1 076	55,4	m	1 126	31,2	30,1	1 176	0,0	0,0
1 077	53,5	m	1 127	31,5	30,8	1 177	0,0	0,0
1 078	51,5	m	1 128	31,5	26,9	1 178	0,0	0,0
1 079	49,7	m	1 129	31,7	33,9	1 179	0,0	0,0
1 080	47,9	m	1 130	32,0	29,9	1 180	0,0	0,0
1 081	46,4	m	1 131	32,1	m	1 181	0,0	0,0
1 082	45,5	m	1 132	31,4	m	1 182	0,0	0,0
1 083	45,2	m	1 133	30,3	m	1 183	0,0	0,0
1 084	44,3	m	1 134	29,8	m	1 184	0,0	0,0
1 085	43,6	m	1 135	44,3	0,0	1 185	0,0	0,0
1 086	43,1	m	1 136	58,9	m	1 186	0,0	0,0
1 087	42,5	25,6	1 137	52,1	m	1 187	0,0	0,0
1 088	43,3	25,7	1 138	44,1	m	1 188	0,0	0,0

<i>Régime normalisé</i>			<i>Couple normalisé</i>			<i>Régime normalisé</i>			<i>Couple normalisé</i>		
<i>Temps</i>	<i>Temps</i>	<i>Temps</i>									
<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>									
1 189	0,0	0,0	1 239	58,5	85,4	1 289	61,9	76,1			
1 190	0,0	0,0	1 240	59,5	85,6	1 290	65,6	73,7			
1 191	0,0	0,0	1 241	61,0	86,6	1 291	69,9	79,3			
1 192	0,0	0,0	1 242	62,6	86,8	1 292	74,1	81,3			
1 193	0,0	0,0	1 243	64,1	87,6	1 293	78,3	83,2			
1 194	0,0	0,0	1 244	65,4	87,5	1 294	82,6	86,0			
1 195	0,0	0,0	1 245	66,7	87,8	1 295	87,0	89,5			
1 196	0,0	20,4	1 246	68,1	43,5	1 296	91,2	90,8			
1 197	12,6	41,2	1 247	55,2	0,0	1 297	95,3	45,9			
1 198	27,3	20,4	1 248	42,3	37,2	1 298	81,0	0,0			
1 199	40,4	7,6	1 249	43,0	73,6	1 299	66,6	38,2			
1 200	46,1	m	1 250	43,5	65,1	1 300	67,9	75,5			
1 201	44,6	m	1 251	43,8	53,1	1 301	68,4	80,5			
1 202	42,7	14,7	1 252	43,9	54,6	1 302	69,0	85,5			
1 203	42,9	7,3	1 253	43,9	41,2	1 303	70,0	85,2			
1 204	36,1	0,0	1 254	43,8	34,8	1 304	71,6	85,9			
1 205	29,3	15,0	1 255	43,6	30,3	1 305	73,3	86,2			
1 206	43,8	22,6	1 256	43,3	21,9	1 306	74,8	86,5			
1 207	54,9	9,9	1 257	42,8	19,9	1 307	76,3	42,9			
1 208	44,9	0,0	1 258	42,3	m	1 308	63,3	0,0			
1 209	34,9	47,4	1 259	41,4	m	1 309	50,4	21,2			
1 210	42,7	82,7	1 260	40,2	m	1 310	50,6	42,3			
1 211	52,0	81,2	1 261	38,7	m	1 311	50,6	53,7			
1 212	61,8	82,7	1 262	37,1	m	1 312	50,4	90,1			
1 213	71,3	39,1	1 263	35,6	m	1 313	50,5	97,1			
1 214	58,1	0,0	1 264	34,2	m	1 314	51,0	100,0			
1 215	44,9	42,5	1 265	32,9	m	1 315	51,9	100,0			
1 216	46,3	83,3	1 266	31,8	m	1 316	52,6	100,0			
1 217	46,8	74,1	1 267	30,7	m	1 317	52,8	32,4			
1 218	48,1	75,7	1 268	29,6	m	1 318	47,7	0,0			
1 219	50,5	75,8	1 269	40,4	0,0	1 319	42,6	27,4			
1 220	53,6	76,7	1 270	51,2	m	1 320	42,1	53,5			
1 221	56,9	77,1	1 271	49,6	m	1 321	41,8	44,5			
1 222	60,2	78,7	1 272	48,0	m	1 322	41,4	41,1			
1 223	63,7	78,0	1 273	46,4	m	1 323	41,0	21,0			
1 224	67,2	79,6	1 274	45,0	m	1 324	40,3	0,0			
1 225	70,7	80,9	1 275	43,6	m	1 325	39,3	1,0			
1 226	74,1	81,1	1 276	42,3	m	1 326	38,3	15,2			
1 227	77,5	83,6	1 277	41,0	m	1 327	37,6	57,8			
1 228	80,8	85,6	1 278	39,6	m	1 328	37,3	73,2			
1 229	84,1	81,6	1 279	38,3	m	1 329	37,3	59,8			
1 230	87,4	88,3	1 280	37,1	m	1 330	37,4	52,2			
1 231	90,5	91,9	1 281	35,9	m	1 331	37,4	16,9			
1 232	93,5	94,1	1 282	34,6	m	1 332	37,1	34,3			
1 233	96,8	96,6	1 283	33,0	m	1 333	36,7	51,9			
1 234	100,0	m	1 284	31,1	m	1 334	36,2	25,3			
1 235	96,0	m	1 285	29,2	m	1 335	35,6	m			
1 236	81,9	m	1 286	43,3	0,0	1 336	34,6	m			
1 237	68,1	m	1 287	57,4	32,8	1 337	33,2	m			
1 238	58,1	84,7	1 288	59,9	65,4	1 338	31,6	m			

<i>Régime</i>			<i>Couple</i>			<i>Régime</i>			<i>Couple</i>		
<i>Temps</i>	<i>normalisé</i>	<i>normalisé</i>									
<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>									
1 339	30,1	m	1 389	50,4	50,2	1 439	36,3	98,8			
1 340	28,8	m	1 390	53,0	26,1	1 440	37,7	100,0			
1 341	28,0	29,5	1 391	59,5	0,0	1 441	39,2	100,0			
1 342	28,6	100,0	1 392	66,2	38,4	1 442	40,9	100,0			
1 343	28,8	97,3	1 393	66,4	76,7	1 443	42,4	99,5			
1 344	28,8	73,4	1 394	67,6	100,0	1 444	43,8	98,7			
1 345	29,6	56,9	1 395	68,4	76,6	1 445	45,4	97,3			
1 346	30,3	91,7	1 396	68,2	47,2	1 446	47,0	96,6			
1 347	31,0	90,5	1 397	69,0	81,4	1 447	47,8	96,2			
1 348	31,8	81,7	1 398	69,7	40,6	1 448	48,8	96,3			
1 349	32,6	79,5	1 399	54,7	0,0	1 449	50,5	95,1			
1 350	33,5	86,9	1 400	39,8	19,9	1 450	51,0	95,9			
1 351	34,6	100,0	1 401	36,3	40,0	1 451	52,0	94,3			
1 352	35,6	78,7	1 402	36,7	59,4	1 452	52,6	94,6			
1 353	36,4	50,5	1 403	36,6	77,5	1 453	53,0	65,5			
1 354	37,0	57,0	1 404	36,8	94,3	1 454	53,2	0,0			
1 355	37,3	69,1	1 405	36,8	100,0	1 455	53,2	m			
1 356	37,6	49,5	1 406	36,4	100,0	1 456	52,6	m			
1 357	37,8	44,4	1 407	36,3	79,7	1 457	52,1	m			
1 358	37,8	43,4	1 408	36,7	49,5	1 458	51,8	m			
1 359	37,8	34,8	1 409	36,6	39,3	1 459	51,3	m			
1 360	37,6	24,0	1 410	37,3	62,8	1 460	50,7	m			
1 361	37,2	m	1 411	38,1	73,4	1 461	50,7	m			
1 362	36,3	m	1 412	39,0	72,9	1 462	49,8	m			
1 363	35,1	m	1 413	40,2	72,0	1 463	49,4	m			
1 364	33,7	m	1 414	41,5	71,2	1 464	49,3	m			
1 365	32,4	m	1 415	42,9	77,3	1 465	49,1	m			
1 366	31,1	m	1 416	44,4	76,6	1 466	49,1	m			
1 367	29,9	m	1 417	45,4	43,1	1 467	49,1	8,3			
1 368	28,7	m	1 418	45,3	53,9	1 468	48,9	16,8			
1 369	29,0	58,6	1 419	45,1	64,8	1 469	48,8	21,3			
1 370	29,7	88,5	1 420	46,5	74,2	1 470	49,1	22,1			
1 371	31,0	86,3	1 421	47,7	75,2	1 471	49,4	26,3			
1 372	31,8	43,4	1 422	48,1	75,5	1 472	49,8	39,2			
1 373	31,7	m	1 423	48,6	75,8	1 473	50,4	83,4			
1 374	29,9	m	1 424	48,9	76,3	1 474	51,4	90,6			
1 375	40,2	0,0	1 425	49,9	75,5	1 475	52,3	93,8			
1 376	50,4	m	1 426	50,4	75,2	1 476	53,3	94,0			
1 377	47,9	m	1 427	51,1	74,6	1 477	54,2	94,1			
1 378	45,0	m	1 428	51,9	75,0	1 478	54,9	94,3			
1 379	43,0	m	1 429	52,7	37,2	1 479	55,7	94,6			
1 380	40,6	m	1 430	41,6	0,0	1 480	56,1	94,9			
1 381	55,5	0,0	1 431	30,4	36,6	1 481	56,3	86,2			
1 382	70,4	41,7	1 432	30,5	73,2	1 482	56,2	64,1			
1 383	73,4	83,2	1 433	30,3	81,6	1 483	56,0	46,1			
1 384	74,0	83,7	1 434	30,4	89,3	1 484	56,2	33,4			
1 385	74,9	41,7	1 435	31,5	90,4	1 485	56,5	23,6			
1 386	60,0	0,0	1 436	32,7	88,5	1 486	56,3	18,6			
1 387	45,1	41,6	1 437	33,7	97,2	1 487	55,7	16,2			
1 388	47,7	84,2	1 438	35,2	99,7	1 488	56,0	15,9			

<i>Régime normalisé</i>			<i>Couple normalisé</i>			<i>Régime normalisé</i>			<i>Couple normalisé</i>		
<i>Temps</i>	<i>Temps</i>	<i>Temps</i>									
<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>									
1 489	55,9	21,8	1 539	57,0	59,5	1 589	56,8	42,9			
1 490	55,8	20,9	1 540	56,7	57,0	1 590	56,5	42,8			
1 491	55,4	18,4	1 541	56,7	69,8	1 591	56,7	43,2			
1 492	55,7	25,1	1 542	56,8	58,5	1 592	56,5	42,8			
1 493	56,0	27,7	1 543	56,8	47,2	1 593	56,9	42,2			
1 494	55,8	22,4	1 544	57,0	38,5	1 594	56,5	43,1			
1 495	56,1	20,0	1 545	57,0	32,8	1 595	56,5	42,9			
1 496	55,7	17,4	1 546	56,8	30,2	1 596	56,7	42,7			
1 497	55,9	20,9	1 547	57,0	27,0	1 597	56,6	41,5			
1 498	56,0	22,9	1 548	56,9	26,2	1 598	56,9	41,8			
1 499	56,0	21,1	1 549	56,7	26,2	1 599	56,6	41,9			
1 500	55,1	19,2	1 550	57,0	26,6	1 600	56,7	42,6			
1 501	55,6	24,2	1 551	56,7	27,8	1 601	56,7	42,6			
1 502	55,4	25,6	1 552	56,7	29,7	1 602	56,7	41,5			
1 503	55,7	24,7	1 553	56,8	32,1	1 603	56,7	42,2			
1 504	55,9	24,0	1 554	56,5	34,9	1 604	56,5	42,2			
1 505	55,4	23,5	1 555	56,6	34,9	1 605	56,8	41,9			
1 506	55,7	30,9	1 556	56,3	35,8	1 606	56,5	42,0			
1 507	55,4	42,5	1 557	56,6	36,6	1 607	56,7	42,1			
1 508	55,3	25,8	1 558	56,2	37,6	1 608	56,4	41,9			
1 509	55,4	1,3	1 559	56,6	38,2	1 609	56,7	42,9			
1 510	55,0	m	1 560	56,2	37,9	1 610	56,7	41,8			
1 511	54,4	m	1 561	56,6	37,5	1 611	56,7	41,9			
1 512	54,2	m	1 562	56,4	36,7	1 612	56,8	42,0			
1 513	53,5	m	1 563	56,5	34,8	1 613	56,7	41,5			
1 514	52,4	m	1 564	56,5	35,8	1 614	56,6	41,9			
1 515	51,8	m	1 565	56,5	36,2	1 615	56,8	41,6			
1 516	50,7	m	1 566	56,5	36,7	1 616	56,6	41,6			
1 517	49,9	m	1 567	56,7	37,8	1 617	56,9	42,0			
1 518	49,1	m	1 568	56,7	37,8	1 618	56,7	40,7			
1 519	47,7	m	1 569	56,6	36,6	1 619	56,7	39,3			
1 520	47,3	m	1 570	56,8	36,1	1 620	56,5	41,4			
1 521	46,9	m	1 571	56,5	36,8	1 621	56,4	44,9			
1 522	46,9	m	1 572	56,9	35,9	1 622	56,8	45,2			
1 523	47,2	m	1 573	56,7	35,0	1 623	56,6	43,6			
1 524	47,8	m	1 574	56,5	36,0	1 624	56,8	42,2			
1 525	48,2	0,0	1 575	56,4	36,5	1 625	56,5	42,3			
1 526	48,8	23,0	1 576	56,5	38,0	1 626	56,5	44,4			
1 527	49,1	67,9	1 577	56,5	39,9	1 627	56,9	45,1			
1 528	49,4	73,7	1 578	56,4	42,1	1 628	56,4	45,0			
1 529	49,8	75,0	1 579	56,5	47,0	1 629	56,7	46,3			
1 530	50,4	75,8	1 580	56,4	48,0	1 630	56,7	45,5			
1 531	51,4	73,9	1 581	56,1	49,1	1 631	56,8	45,0			
1 532	52,3	72,2	1 582	56,4	48,9	1 632	56,7	44,9			
1 533	53,3	71,2	1 583	56,4	48,2	1 633	56,6	45,2			
1 534	54,6	71,2	1 584	56,5	48,3	1 634	56,8	46,0			
1 535	55,4	68,7	1 585	56,5	47,9	1 635	56,5	46,6			
1 536	56,7	67,0	1 586	56,6	46,8	1 636	56,6	48,3			
1 537	57,2	64,6	1 587	56,6	46,2	1 637	56,4	48,6			
1 538	57,3	61,9	1 588	56,5	44,4	1 638	56,6	50,3			

<i>Régime normalisé</i>			<i>Couple normalisé</i>			<i>Régime normalisé</i>			<i>Couple normalisé</i>		
<i>Temps</i>	<i>Régime normalisé</i>	<i>Couple normalisé</i>									
<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>									
1 639	56,3	51,9	1 689	57,6	8,9	1 739	56,1	46,8			
1 640	56,5	54,1	1 690	57,5	8,0	1 740	56,1	45,8			
1 641	56,3	54,9	1 691	57,5	5,8	1 741	56,2	46,0			
1 642	56,4	55,0	1 692	57,3	5,8	1 742	56,3	45,9			
1 643	56,4	56,2	1 693	57,6	5,5	1 743	56,3	45,9			
1 644	56,2	58,6	1 694	57,3	4,5	1 744	56,2	44,6			
1 645	56,2	59,1	1 695	57,2	3,2	1 745	56,2	46,0			
1 646	56,2	62,5	1 696	57,2	3,1	1 746	56,4	46,2			
1 647	56,4	62,8	1 697	57,3	4,9	1 747	55,8	m			
1 648	56,0	64,7	1 698	57,3	4,2	1 748	55,5	m			
1 649	56,4	65,6	1 699	56,9	5,5	1 749	55,0	m			
1 650	56,2	67,7	1 700	57,1	5,1	1 750	54,1	m			
1 651	55,9	68,9	1 701	57,0	5,2	1 751	54,0	m			
1 652	56,1	68,9	1 702	56,9	5,5	1 752	53,3	m			
1 653	55,8	69,5	1 703	56,6	5,4	1 753	52,6	m			
1 654	56,0	69,8	1 704	57,1	6,1	1 754	51,8	m			
1 655	56,2	69,3	1 705	56,7	5,7	1 755	50,7	m			
1 656	56,2	69,8	1 706	56,8	5,8	1 756	49,9	m			
1 657	56,4	69,2	1 707	57,0	6,1	1 757	49,1	m			
1 658	56,3	68,7	1 708	56,7	5,9	1 758	47,7	m			
1 659	56,2	69,4	1 709	57,0	6,6	1 759	46,8	m			
1 660	56,2	69,5	1 710	56,9	6,4	1 760	45,7	m			
1 661	56,2	70,0	1 711	56,7	6,7	1 761	44,8	m			
1 662	56,4	69,7	1 712	56,9	6,9	1 762	43,9	m			
1 663	56,2	70,2	1 713	56,8	5,6	1 763	42,9	m			
1 664	56,4	70,5	1 714	56,6	5,1	1 764	41,5	m			
1 665	56,1	70,5	1 715	56,6	6,5	1 765	39,5	m			
1 666	56,5	69,7	1 716	56,5	10,0	1 766	36,7	m			
1 667	56,2	69,3	1 717	56,6	12,4	1 767	33,8	m			
1 668	56,5	70,9	1 718	56,5	14,5	1 768	31,0	m			
1 669	56,4	70,8	1 719	56,6	16,3	1 769	40,0	0,0			
1 670	56,3	71,1	1 720	56,3	18,1	1 770	49,1	m			
1 671	56,4	71,0	1 721	56,6	20,7	1 771	46,2	m			
1 672	56,7	68,6	1 722	56,1	22,6	1 772	43,1	m			
1 673	56,8	68,6	1 723	56,3	25,8	1 773	39,9	m			
1 674	56,6	68,0	1 724	56,4	27,7	1 774	36,6	m			
1 675	56,8	65,1	1 725	56,0	29,7	1 775	33,6	m			
1 676	56,9	60,9	1 726	56,1	32,6	1 776	30,5	m			
1 677	57,1	57,4	1 727	55,9	34,9	1 777	42,8	0,0			
1 678	57,1	54,3	1 728	55,9	36,4	1 778	55,2	m			
1 679	57,0	48,6	1 729	56,0	39,2	1 779	49,9	m			
1 680	57,4	44,1	1 730	55,9	41,4	1 780	44,0	m			
1 681	57,4	40,2	1 731	55,5	44,2	1 781	37,6	m			
1 682	57,6	36,9	1 732	55,9	46,4	1 782	47,2	0,0			
1 683	57,5	34,2	1 733	55,8	48,3	1 783	56,8	m			
1 684	57,4	31,1	1 734	55,6	49,1	1 784	47,5	m			
1 685	57,5	25,9	1 735	55,8	49,3	1 785	42,9	m			
1 686	57,5	20,7	1 736	55,9	47,7	1 786	31,6	m			
1 687	57,6	16,4	1 737	55,9	47,4	1 787	25,8	m			
1 688	57,6	12,4	1 738	55,8	46,9	1 788	19,9	m			

<i>Temps</i>	<i>Régime normalisé</i>	<i>Couple normalisé</i>	<i>Temps</i>	<i>Régime normalisé</i>	<i>Couple normalisé</i>	<i>Temps</i>	<i>Régime normalisé</i>	<i>Couple normalisé</i>
<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>	<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>	<i>s</i>	<i>%</i>	<i>%</i>
1 789	14,0	m						
1 790	8,1	m						
1 791	2,2	m						
1 792	0,0	0,0						
1 793	0,0	0,0						
1 794	0,0	0,0						
1 795	0,0	0,0						
1 796	0,0	0,0						
1 797	0,0	0,0						
1 798	0,0	0,0						
1 799	0,0	0,0						
1 800	0,0	0,0						

m = entraînement par le banc.

b) Fiche de programmation du véhicule pour l'essai WHVC

P = puissance nominale du système hybride telle qu'elle est spécifiée à l'annexe 9 ou à l'annexe 10, respectivement.

Il faut utiliser la déclivité de la route du pas de temps précédent lorsque (...) est indiqué.

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Vitesse du véhicule</i> <i>km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Vitesse du véhicule</i> <i>km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
1	0	$+5,02E-06 * p^2 - 6,80E-03 * p + 0,77$	21	18,4	...
2	0	...	22	19,86	...
3	0	...	23	20,85	...
4	0	...	24	21,52	...
5	0	...	25	21,89	...
6	0	...	26	21,98	...
7	2,35	...	27	21,91	$+1,67E-06 * p^2 - 2,27E-03 * p + 0,26$
8	5,57	...	28	21,68	$-1,67E-06 * p^2 + 2,27E-03 * p - 0,26$
9	8,18	...	29	21,21	$-5,02E-06 * p^2 + 6,80E-03 * p - 0,77$
10	9,37	...	30	20,44	...
11	9,86	...	31	19,24	...
12	10,18	...	32	17,57	...
13	10,38	...	33	15,53	...
14	10,57	...	34	13,77	...
15	10,95	...	35	12,95	...
16	11,56	...	36	12,95	...
17	12,22	...	37	13,35	...
18	12,97	...	38	13,75	...
19	14,33	...	39	13,82	...
20	16,38	...	40	13,41	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
41	12,26	...	81	48,19	...
42	9,82	...	82	49,32	...
43	5,96	...	83	49,7	...
44	2,2	...	84	49,5	...
45	0	...	85	48,98	...
46	0	...	86	48,65	...
47	0	$-1,40E-06*p^2 + 2,31E-03*p - 0,81$	87	48,65	...
48	0	$+2,22E-06*p^2 - 2,19E-03*p - 0,86$	88	48,87	...
49	0	$+5,84E-06*p^2 - 6,68E-03*p - 0,91$	89	48,97	...
50	1,87	...	90	48,96	...
51	4,97	...	91	49,15	...
52	8,4	...	92	49,51	...
53	9,9	...	93	49,74	...
54	11,42	...	94	50,31	...
55	15,11	...	95	50,78	...
56	18,46	...	96	50,75	...
57	20,21	...	97	50,78	...
58	22,13	...	98	51,21	...
59	24,17	...	99	51,6	...
60	25,56	...	100	51,89	...
61	26,97	...	101	52,04	...
62	28,83	...	102	51,99	...
63	31,05	...	103	51,99	...
64	33,72	...	104	52,36	...
65	36	...	105	52,58	...
66	37,91	...	106	52,47	...
67	39,65	...	107	52,03	...
68	41,23	...	108	51,46	...
69	42,85	...	109	51,31	...
70	44,1	...	110	51,45	...
71	44,37	...	111	51,48	...
72	44,3	...	112	51,29	...
73	44,17	...	113	51,12	...
74	44,13	...	114	50,96	...
75	44,17	...	115	50,81	...
76	44,51	$+3,10E-06*p^2 - 3,89E-03*p - 0,76$	116	50,86	...
77	45,16	$+3,54E-07*p^2 - 1,10E-03*p - 0,61$	117	51,34	...
78	45,64	$-2,39E-06*p^2 + 1,69E-03*p - 0,47$	118	51,68	...
79	46,16	...	119	51,58	...
80	46,99	...	120	51,36	...

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Vitesse du</i> <i>véhicule</i> <i>km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Vitesse du</i> <i>véhicule</i> <i>km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
121	51,39	...	161	6,76	...
122	50,98	$-1,91E-06*p^2 + 1,91E-03*p - 0,06$	162	7,7	...
123	48,63	$-1,43E-06*p^2 + 2,13E-03*p + 0,34$	163	8,34	...
124	44,83	$-9,50E-07*p^2 + 2,35E-03*p + 0,74$	164	8,51	...
125	40,3	...	165	8,22	...
126	35,65	...	166	7,22	...
127	30,23	...	167	5,82	...
128	24,08	...	168	4,75	...
129	18,96	...	169	4,24	...
130	14,19	...	170	4,05	...
131	8,72	...	171	3,98	...
132	3,41	...	172	3,91	...
133	0,64	...	173	3,86	...
134	0	...	174	4,17	...
135	0	...	175	5,32	...
136	0	...	176	7,53	...
137	0	...	177	10,89	...
138	0	$+2,18E-06*p^2 - 1,58E-03*p + 1,27$	178	14,81	...
139	0	$+5,31E-06*p^2 - 5,52E-03*p + 1,80$	179	17,56	...
140	0	$+8,44E-06*p^2 - 9,46E-03*p + 2,33$	180	18,38	$+2,81E-06*p^2 - 3,15E-03*p + 0,78$
141	0	...	181	17,49	$-2,81E-06*p^2 + 3,15E-03*p - 0,78$
142	0,63	...	182	15,18	$-8,44E-06*p^2 + 9,46E-03*p - 2,33$
143	1,56	...	183	13,08	...
144	2,99	...	184	12,23	...
145	4,5	...	185	12,03	...
146	5,39	...	186	11,72	...
147	5,59	...	187	10,69	...
148	5,45	...	188	8,68	...
149	5,2	...	189	6,2	...
150	4,98	...	190	4,07	...
151	4,61	...	191	2,65	...
152	3,89	...	192	1,92	...
153	3,21	...	193	1,69	...
154	2,98	...	194	1,68	...
155	3,31	...	195	1,66	...
156	4,18	...	196	1,53	...
157	5,07	...	197	1,3	...
158	5,52	...	198	1	...
159	5,73	...	199	0,77	...
160	6,06	...	200	0,63	...

<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Vitesse du</i> <i>véhicule</i> <i>km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps</i> <i>s</i>	<i>Vitesse du</i> <i>véhicule</i> <i>km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
201	0,59	...	241	0	...
202	0,59	...	242	0	+6,51E-06*p ² -6,76E-03*p +1,50
203	0,57	...	243	0	+1,30E-05*p ² -1,35E-02*p +3,00
204	0,53	...	244	0	+1,95E-05*p ² -2,03E-02*p +4,49
205	0,5	...	245	0	...
206	0	...	246	0	...
207	0	...	247	0	...
208	0	...	248	0	...
209	0	...	249	0	...
210	0	...	250	0	...
211	0	...	251	0	...
212	0	...	252	0	...
213	0	...	253	1,51	...
214	0	...	254	4,12	...
215	0	...	255	7,02	...
216	0	...	256	9,45	...
217	0	-5,63E-06*p ² +6,31E-03*p -1,56	257	11,86	...
218	0	-2,81E-06*p ² +3,15E-03*p -0,78	258	14,52	...
219	0	+0,00E+00*p ² +0,00E+00*p +0,00	259	17,01	...
220	0	...	260	19,48	...
221	0	...	261	22,38	...
222	0	...	262	24,75	...
223	0	...	263	25,55	+6,51E-06*p ² -6,76E-03*p +1,50
224	0	...	264	25,18	-6,51E-06*p ² +6,76E-03*p -1,50
225	0	...	265	23,94	-1,95E-05*p ² +2,03E-02*p -4,49
226	0,73	...	266	22,35	...
227	0,73	...	267	21,28	...
228	0	...	268	20,86	...
229	0	...	269	20,65	...
230	0	...	270	20,18	...
231	0	...	271	19,33	...
232	0	...	272	18,23	...
233	0	...	273	16,99	...
234	0	...	274	15,56	...
235	0	...	275	13,76	...
236	0	...	276	11,5	...
237	0	...	277	8,68	...
238	0	...	278	5,2	...
239	0	...	279	1,99	...
240	0	...	280	0	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
281	0	$-1,30E-05*p^2 + 1,35E-02*p - 3,00$	321	0	...
282	0	$-6,51E-06*p^2 + 6,76E-03*p - 1,50$	322	0	...
283	0,5	$+0,00E+00*p^2 + 0,00E+00*p + 0,00$	323	0	...
284	0,57	...	324	3,01	...
285	0,6	...	325	8,14	...
286	0,58	...	326	13,88	...
287	0	...	327	18,08	...
288	0	...	328	20,01	...
289	0	...	329	20,3	$+5,21E-06*p^2 - 5,86E-03*p - 0,21$
290	0	...	330	19,53	$-5,21E-06*p^2 + 5,86E-03*p + 0,21$
291	0	...	331	17,92	$-1,56E-05*p^2 + 1,76E-02*p + 0,62$
292	0	...	332	16,17	...
293	0	...	333	14,55	...
294	0	...	334	12,92	...
295	0	...	335	11,07	...
296	0	...	336	8,54	...
297	0	...	337	5,15	...
298	0	...	338	1,96	...
299	0	...	339	0	...
300	0	...	340	0	...
301	0	...	341	0	...
302	0	...	342	0	...
303	0	...	343	0	...
304	0	...	344	0	...
305	0	$+5,21E-06*p^2 - 5,86E-03*p - 0,21$	345	0	...
306	0	$+1,04E-05*p^2 - 1,17E-02*p - 0,42$	346	0	$-6,53E-06*p^2 + 7,62E-03*p + 1,11$
307	0	$+1,56E-05*p^2 - 1,76E-02*p - 0,62$	347	0	$+2,58E-06*p^2 - 2,34E-03*p + 1,60$
308	0	...	348	0	$+1,17E-05*p^2 - 1,23E-02*p + 2,08$
309	0	...	349	0	...
310	0	...	350	0	...
311	0	...	351	0	...
312	0	...	352	0	...
313	0	...	353	0	...
314	0	...	354	0,9	...
315	0	...	355	2	...
316	0	...	356	4,08	...
317	0	...	357	7,07	...
318	0	...	358	10,25	...
319	0	...	359	12,77	...
320	0	...	360	14,44	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
361	15,73	...	401	31,36	...
362	17,23	...	402	33,51	...
363	19,04	...	403	35,33	...
364	20,96	...	404	36,94	...
365	22,94	...	405	38,6	...
366	25,05	...	406	40,44	...
367	27,31	...	407	42,29	...
368	29,54	...	408	43,73	...
369	31,52	...	409	44,47	...
370	33,19	...	410	44,62	...
371	34,67	...	411	44,41	+8,17E-06*p ² -8,13E-03*p +2,32
372	36,13	...	412	43,96	+3,39E-06*p ² -2,94E-03*p +1,18
373	37,63	...	413	43,41	-1,39E-06*p ² +2,25E-03*p +0,04
374	39,07	...	414	42,83	...
375	40,08	...	415	42,15	...
376	40,44	...	416	41,28	...
377	40,26	+6,91E-06*p ² -7,10E-03*p +0,94	417	40,17	...
378	39,29	+2,13E-06*p ² -1,91E-03*p -0,20	418	38,9	...
379	37,23	-2,65E-06*p ² +3,28E-03*p -1,33	419	37,59	...
380	34,14	...	420	36,39	...
381	30,18	...	421	35,33	...
382	25,71	...	422	34,3	...
383	21,58	...	423	33,07	...
384	18,5	...	424	31,41	...
385	16,56	...	425	29,18	...
386	15,39	...	426	26,41	...
387	14,77	+2,55E-06*p ² -2,25E-03*p +0,26	427	23,4	...
388	14,58	+7,75E-06*p ² -7,79E-03*p +1,86	428	20,9	...
389	14,72	+1,30E-05*p ² -1,33E-02*p +3,46	429	19,59	+8,47E-07*p ² -6,08E-04*p +0,36
390	15,44	...	430	19,36	+3,09E-06*p ² -3,47E-03*p +0,69
391	16,92	...	431	19,79	+5,33E-06*p ² -6,33E-03*p +1,01
392	18,69	...	432	20,43	...
393	20,26	...	433	20,71	...
394	21,63	...	434	20,56	...
395	22,91	...	435	19,96	...
396	24,13	...	436	20,22	...
397	25,18	...	437	21,48	...
398	26,16	...	438	23,67	...
399	27,41	...	439	26,09	...
400	29,18	...	440	28,16	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
441	29,75	...	481	36,73	...
442	30,97	...	482	38,08	...
443	31,99	...	483	39,11	...
444	32,84	...	484	40,16	...
445	33,33	...	485	41,18	...
446	33,45	...	486	41,75	...
447	33,27	+5,50E-07*p ² -1,13E-03*p -0,13	487	41,87	+8,26E-06*p ² -8,29E-03*p +1,09
448	32,66	-4,23E-06*p ² +4,06E-03*p -1,26	488	41,43	+3,47E-06*p ² -3,10E-03*p -0,05
449	31,73	-9,01E-06*p ² +9,25E-03*p -2,40	489	39,99	-1,31E-06*p ² +2,09E-03*p -1,19
450	30,58	...	490	37,71	...
451	29,2	...	491	34,93	...
452	27,56	...	492	31,79	...
453	25,71	...	493	28,65	...
454	23,76	...	494	25,92	...
455	21,87	...	495	23,91	...
456	20,15	...	496	22,81	+6,20E-07*p ² -2,47E-04*p -0,38
457	18,38	...	497	22,53	+2,55E-06*p ² -2,58E-03*p +0,43
458	15,93	...	498	22,62	+4,48E-06*p ² -4,92E-03*p +1,23
459	12,33	...	499	22,95	...
460	7,99	...	500	23,51	...
461	4,19	...	501	24,04	...
462	1,77	...	502	24,45	...
463	0,69	-1,66E-06*p ² +1,67E-03*p -0,86	503	24,81	...
464	1,13	+5,69E-06*p ² -5,91E-03*p +0,68	504	25,29	...
465	2,2	+1,30E-05*p ² -1,35E-02*p +2,23	505	25,99	...
466	3,59	...	506	26,83	...
467	4,88	...	507	27,6	...
468	5,85	...	508	28,17	...
469	6,72	...	509	28,63	...
470	8,02	...	510	29,04	...
471	10,02	...	511	29,43	...
472	12,59	...	512	29,78	...
473	15,43	...	513	30,13	...
474	18,32	...	514	30,57	...
475	21,19	...	515	31,1	...
476	24	...	516	31,65	...
477	26,75	...	517	32,14	...
478	29,53	...	518	32,62	...
479	32,31	...	519	33,25	...
480	34,8	...	520	34,2	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
521	35,46	...	561	29,23	...
522	36,81	...	562	30,06	...
523	37,98	...	563	30,31	...
524	38,84	...	564	30,29	+1,21E-07*p ² -4,06E-04*p +0,33
525	39,43	...	565	30,05	-4,66E-06*p ² +4,79E-03*p -0,81
526	39,73	...	566	29,44	-9,44E-06*p ² +9,98E-03*p -1,95
527	39,8	...	567	28,6	...
528	39,69	-3,04E-07*p ² +2,73E-04*p +0,09	568	27,63	...
529	39,29	-5,09E-06*p ² +5,46E-03*p -1,04	569	26,66	...
530	38,59	-9,87E-06*p ² +1,07E-02*p -2,18	570	26,03	-4,66E-06*p ² +4,79E-03*p -0,81
531	37,63	...	571	25,85	+1,21E-07*p ² -4,06E-04*p +0,33
532	36,22	...	572	26,14	+4,90E-06*p ² -5,60E-03*p +1,47
533	34,11	...	573	27,08	...
534	31,16	...	574	28,42	...
535	27,49	...	575	29,61	...
536	23,63	...	576	30,46	...
537	20,16	...	577	30,99	...
538	17,27	...	578	31,33	...
539	14,81	...	579	31,65	...
540	12,59	...	580	32,02	...
541	10,47	...	581	32,39	...
542	8,85	-5,09E-06*p ² +5,46E-03*p -1,04	582	32,68	...
543	8,16	-1,63E-07*p ² +4,68E-05*p +0,17	583	32,84	...
544	8,95	+4,76E-06*p ² -5,37E-03*p +1,39	584	32,93	...
545	11,3	+4,90E-06*p ² -5,60E-03*p +1,47	585	33,22	...
546	14,11	...	586	33,89	...
547	15,91	...	587	34,96	...
548	16,57	...	588	36,28	...
549	16,73	...	589	37,58	...
550	17,24	...	590	38,58	...
551	18,45	...	591	39,1	...
552	20,09	...	592	39,22	...
553	21,63	...	593	39,11	...
554	22,78	...	594	38,8	...
555	23,59	...	595	38,31	...
556	24,23	...	596	37,73	...
557	24,9	...	597	37,24	...
558	25,72	...	598	37,06	...
559	26,77	...	599	37,1	...
560	28,01	...	600	37,42	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
601	38,17	...	641	21,85	$-9,44E-06*p^2 + 9,98E-03*p - 1,95$
602	39,19	...	642	17,45	...
603	40,31	...	643	12,34	...
604	41,46	...	644	7,59	...
605	42,44	...	645	4	...
606	42,95	...	646	1,76	...
607	42,9	...	647	0	...
608	42,43	...	648	0	...
609	41,74	...	649	0	...
610	41,04	...	650	0	...
611	40,49	...	651	0	...
612	40,8	...	652	0	$-3,90E-06*p^2 + 4,11E-03*p - 1,07$
613	41,66	...	653	0	$+1,64E-06*p^2 - 1,77E-03*p - 0,19$
614	42,48	...	654	0	$+7,18E-06*p^2 - 7,64E-03*p + 0,70$
615	42,78	$+1,21E-07*p^2 - 4,06E-04*p + 0,33$	655	0	...
616	42,39	$-4,66E-06*p^2 + 4,79E-03*p - 0,81$	656	0	...
617	40,78	$-9,44E-06*p^2 + 9,98E-03*p - 1,95$	657	0	...
618	37,72	...	658	2,96	...
619	33,29	...	659	7,9	...
620	27,66	...	660	13,49	...
621	21,43	...	661	18,36	...
622	15,62	...	662	22,59	...
623	11,51	...	663	26,26	...
624	9,69	$-4,66E-06*p^2 + 4,79E-03*p - 0,81$	664	29,4	...
625	9,46	$+1,21E-07*p^2 - 4,06E-04*p + 0,33$	665	32,23	...
626	10,21	$+4,90E-06*p^2 - 5,60E-03*p + 1,47$	666	34,91	...
627	11,78	...	667	37,39	...
628	13,6	...	668	39,61	...
629	15,33	...	669	41,61	...
630	17,12	...	670	43,51	...
631	18,98	...	671	45,36	...
632	20,73	...	672	47,17	...
633	22,17	...	673	48,95	...
634	23,29	...	674	50,73	...
635	24,19	...	675	52,36	...
636	24,97	...	676	53,74	...
637	25,6	...	677	55,02	...
638	25,96	...	678	56,24	...
639	25,86	$+1,21E-07*p^2 - 4,06E-04*p + 0,33$	679	57,29	...
640	24,69	$-4,66E-06*p^2 + 4,79E-03*p - 0,81$	680	58,18	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
681	58,95	...	721	0	...
682	59,49	...	722	0	...
683	59,86	...	723	0	...
684	60,3	...	724	0	...
685	61,01	...	725	0	...
686	61,96	...	726	0	...
687	63,05	...	727	0	...
688	64,16	...	728	0	...
689	65,14	...	729	0	...
690	65,85	...	730	0	...
691	66,22	...	731	0	...
692	66,12	$+2,39E-06*p^2 - 2,55E-03*p + 0,23$	732	0	...
693	65,01	$-2,39E-06*p^2 + 2,55E-03*p - 0,23$	733	0	...
694	62,22	$-7,18E-06*p^2 + 7,64E-03*p - 0,70$	734	0	...
695	57,44	...	735	0	...
696	51,47	...	736	0	...
697	45,98	...	737	0	...
698	41,72	...	738	0	...
699	38,22	...	739	0	$-2,53E-06*p^2 + 2,43E-03*p + 0,05$
700	34,65	...	740	0	$+2,12E-06*p^2 - 2,78E-03*p + 0,81$
701	30,65	...	741	0	$+6,77E-06*p^2 - 7,99E-03*p + 1,56$
702	26,46	...	742	0	...
703	22,32	...	743	0	...
704	18,15	...	744	0	...
705	13,79	...	745	0	...
706	9,29	...	746	0	...
707	4,98	...	747	0	...
708	1,71	...	748	0	...
709	0	...	749	0	...
710	0	...	750	0	...
711	0	...	751	0	...
712	0	...	752	0	...
713	0	...	753	0	...
714	0	...	754	0	...
715	0	...	755	0	...
716	0	...	756	0	...
717	0	...	757	0	...
718	0	...	758	0	...
719	0	...	759	0	...
720	0	...	760	0	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
761	0	...	801	24,2	...
762	0	...	802	25,17	...
763	0	...	803	26,28	...
764	0	...	804	27,69	...
765	0	...	805	29,72	...
766	0	...	806	32,17	...
767	0	...	807	34,22	...
768	0	...	808	35,31	...
769	0	...	809	35,74	...
770	0	...	810	36,23	...
771	0	...	811	37,34	...
772	1,6	...	812	39,05	...
773	5,03	...	813	40,76	...
774	9,49	...	814	41,82	...
775	13	...	815	42,12	...
776	14,65	...	816	42,08	...
777	15,15	...	817	42,27	...
778	15,67	...	818	43,03	...
779	16,76	...	819	44,14	...
780	17,88	...	820	45,13	...
781	18,33	...	821	45,84	...
782	18,31	$+2,26E-06*p^2 - 2,66E-03*p + 0,52$	822	46,4	...
783	18,05	$-2,26E-06*p^2 + 2,66E-03*p - 0,52$	823	46,89	...
784	17,39	$-6,77E-06*p^2 + 7,99E-03*p - 1,56$	824	47,34	...
785	16,35	...	825	47,66	...
786	14,71	...	826	47,77	...
787	11,71	...	827	47,78	...
788	7,81	...	828	47,64	$+2,26E-06*p^2 - 2,66E-03*p + 0,52$
789	5,25	$-2,26E-06*p^2 + 2,66E-03*p - 0,52$	829	47,23	$-2,26E-06*p^2 + 2,66E-03*p - 0,52$
790	4,62	$+2,26E-06*p^2 - 2,66E-03*p + 0,52$	830	46,66	$-6,77E-06*p^2 + 7,99E-03*p - 1,56$
791	5,62	$+6,77E-06*p^2 - 7,99E-03*p + 1,56$	831	46,08	...
792	8,24	...	832	45,45	...
793	10,98	...	833	44,69	...
794	13,15	...	834	43,73	...
795	15,47	...	835	42,55	...
796	18,19	...	836	41,14	...
797	20,79	...	837	39,56	...
798	22,5	...	838	37,93	...
799	23,19	...	839	36,69	...
800	23,54	...	840	36,27	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
841	36,42	...	881	43,66	...
842	37,14	...	882	40,91	...
843	38,13	...	883	37,78	...
844	38,55	...	884	34,89	...
845	38,42	...	885	32,69	...
846	37,89	...	886	30,99	...
847	36,89	...	887	29,31	...
848	35,53	...	888	27,29	...
849	34,01	...	889	24,79	...
850	32,88	$-2,26E-06*p^2 + 2,66E-03*p - 0,52$	890	21,78	...
851	32,52	$+2,26E-06*p^2 - 2,66E-03*p + 0,52$	891	18,51	...
852	32,7	$+6,77E-06*p^2 - 7,99E-03*p + 1,56$	892	15,1	...
853	33,48	...	893	11,06	...
854	34,97	...	894	6,28	...
855	36,78	...	895	2,24	...
856	38,64	...	896	0	...
857	40,48	...	897	0	...
858	42,34	...	898	0	...
859	44,16	...	899	0	$-3,61E-06*p^2 + 4,12E-03*p - 0,93$
860	45,9	...	900	0	$-4,47E-07*p^2 + 2,44E-04*p - 0,31$
861	47,55	...	901	0	$+2,71E-06*p^2 - 3,63E-03*p + 0,32$
862	49,09	...	902	2,56	...
863	50,42	...	903	4,81	...
864	51,49	...	904	6,38	...
865	52,23	...	905	8,62	...
866	52,58	...	906	10,37	...
867	52,63	...	907	11,17	...
868	52,49	$+2,26E-06*p^2 - 2,66E-03*p + 0,52$	908	13,32	...
869	52,19	$-2,26E-06*p^2 + 2,66E-03*p - 0,52$	909	15,94	...
870	51,82	$-6,77E-06*p^2 + 7,99E-03*p - 1,56$	910	16,89	...
871	51,43	...	911	17,13	...
872	51,02	...	912	18,04	...
873	50,61	...	913	19,96	...
874	50,26	...	914	22,05	...
875	50,06	...	915	23,65	...
876	49,97	...	916	25,72	...
877	49,67	...	917	28,62	...
878	48,86	...	918	31,99	...
879	47,53	...	919	35,07	...
880	45,82	...	920	37,42	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
921	39,65	...	961	58,52	+8,03E-07*p ² +1,26E-03*p +0,75
922	41,78	...	962	57,82	...
923	43,04	...	963	56,68	...
924	43,55	...	964	55,36	...
925	42,97	...	965	54,63	...
926	41,08	...	966	54,04	...
927	40,38	...	967	53,15	...
928	40,43	...	968	52,02	+1,44E-06*p ² -3,72E-04*p +0,61
929	40,4	...	969	51,37	+2,08E-06*p ² -2,00E-03*p +0,46
930	40,25	...	970	51,41	+2,71E-06*p ² -3,63E-03*p +0,32
931	40,32	...	971	52,2	...
932	40,8	...	972	53,52	...
933	41,71	...	973	54,34	...
934	43,16	...	974	54,59	...
935	44,84	...	975	54,92	...
936	46,42	...	976	55,69	...
937	47,91	...	977	56,51	...
938	49,08	...	978	56,73	+2,08E-06*p ² -2,00E-03*p +0,46
939	49,66	...	979	56,33	+1,44E-06*p ² -3,72E-04*p +0,61
940	50,15	...	980	55,38	+8,03E-07*p ² +1,26E-03*p +0,75
941	50,94	...	981	54,99	...
942	51,69	...	982	54,75	...
943	53,5	...	983	54,11	...
944	55,9	...	984	53,32	...
945	57,11	...	985	52,41	...
946	57,88	...	986	51,45	...
947	58,63	...	987	50,86	...
948	58,75	...	988	50,48	...
949	58,26	...	989	49,6	...
950	58,03	...	990	48,55	...
951	58,28	...	991	47,87	...
952	58,67	...	992	47,42	...
953	58,76	...	993	46,86	...
954	58,82	...	994	46,08	...
955	59,09	...	995	45,07	...
956	59,38	...	996	43,58	...
957	59,72	...	997	41,04	...
958	60,04	...	998	38,39	...
959	60,13	+2,08E-06*p ² -2,00E-03*p +0,46	999	35,69	...
960	59,33	+1,44E-06*p ² -3,72E-04*p +0,61	1000	32,68	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
1001	29,82	...	1041	39,88	...
1002	26,97	...	1042	41,25	...
1003	24,03	...	1043	42,07	...
1004	21,67	...	1044	43,03	...
1005	20,34	...	1045	44,4	...
1006	18,9	...	1046	45,14	...
1007	16,21	...	1047	45,44	...
1008	13,84	...	1048	46,13	...
1009	12,25	...	1049	46,79	...
1010	10,4	...	1050	47,45	...
1011	7,94	...	1051	48,68	...
1012	6,05	$+1,48E-07*p^2 + 2,76E-04*p + 0,25$	1052	50,13	...
1013	5,67	$-5,06E-07*p^2 - 7,04E-04*p - 0,26$	1053	51,16	...
1014	6,03	$-1,16E-06*p^2 - 1,68E-03*p - 0,77$	1054	51,37	...
1015	7,68	...	1055	51,3	...
1016	10,97	...	1056	51,15	...
1017	14,72	...	1057	50,88	...
1018	17,32	...	1058	50,63	...
1019	18,59	...	1059	50,2	...
1020	19,35	...	1060	49,12	...
1021	20,54	...	1061	48,02	...
1022	21,33	...	1062	47,7	...
1023	22,06	...	1063	47,93	...
1024	23,39	...	1064	48,57	...
1025	25,52	...	1065	48,88	...
1026	28,28	...	1066	49,03	...
1027	30,38	...	1067	48,94	...
1028	31,22	...	1068	48,32	...
1029	32,22	...	1069	47,97	...
1030	33,78	...	1070	47,92	$-1,80E-06*p^2 - 5,59E-05*p - 0,62$
1031	35,08	...	1071	47,54	$-2,43E-06*p^2 + 1,57E-03*p - 0,48$
1032	35,91	...	1072	46,79	$-3,07E-06*p^2 + 3,20E-03*p - 0,34$
1033	36,06	...	1073	46,13	...
1034	35,5	...	1074	45,73	...
1035	34,76	...	1075	45,17	...
1036	34,7	...	1076	44,43	...
1037	35,41	...	1077	43,59	...
1038	36,65	...	1078	42,68	...
1039	37,57	...	1079	41,89	...
1040	38,51	...	1080	41,09	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
1081	40,38	...	1121	49,47	...
1082	39,99	...	1122	49,28	...
1083	39,84	...	1123	48,58	...
1084	39,46	...	1124	48,03	...
1085	39,15	...	1125	48,2	...
1086	38,9	...	1126	48,72	...
1087	38,67	...	1127	48,91	...
1088	39,03	...	1128	48,93	...
1089	40,37	...	1129	49,05	...
1090	41,03	...	1130	49,23	...
1091	40,76	...	1131	49,28	$-1,80E-06*p^2 -5,59E-05*p -0,62$
1092	40,02	...	1132	48,84	$-2,43E-06*p^2 +1,57E-03*p -0,48$
1093	39,6	...	1133	48,12	$-3,07E-06*p^2 +3,20E-03*p -0,34$
1094	39,37	...	1134	47,8	...
1095	38,84	...	1135	47,42	...
1096	37,93	...	1136	45,98	...
1097	37,19	...	1137	42,96	...
1098	36,21	$-2,43E-06*p^2 +1,57E-03*p -0,48$	1138	39,38	...
1099	35,32	$-1,80E-06*p^2 -5,59E-05*p -0,62$	1139	35,82	...
1100	35,56	$-1,16E-06*p^2 -1,68E-03*p -0,77$	1140	31,85	...
1101	36,96	...	1141	26,87	...
1102	38,12	...	1142	21,41	...
1103	38,71	...	1143	16,41	...
1104	39,26	...	1144	12,56	...
1105	40,64	...	1145	10,41	...
1106	43,09	...	1146	9,07	...
1107	44,83	...	1147	7,69	...
1108	45,33	...	1148	6,28	...
1109	45,24	...	1149	5,08	...
1110	45,14	...	1150	4,32	...
1111	45,06	...	1151	3,32	...
1112	44,82	...	1152	1,92	...
1113	44,53	...	1153	1,07	...
1114	44,77	...	1154	0,66	...
1115	45,6	...	1155	0	...
1116	46,28	...	1156	0	...
1117	47,18	...	1157	0	...
1118	48,49	...	1158	0	...
1119	49,42	...	1159	0	...
1120	49,56	...	1160	0	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
1161	0	...	1201	12,07	...
1162	0	...	1202	11,64	...
1163	0	...	1203	11,69	...
1164	0	...	1204	12,91	...
1165	0	...	1205	15,58	...
1166	0	...	1206	18,69	...
1167	0	...	1207	21,04	...
1168	0	...	1208	22,62	...
1169	0	...	1209	24,34	...
1170	0	...	1210	26,74	...
1171	0	...	1211	29,62	...
1172	0	...	1212	32,65	...
1173	0	...	1213	35,57	...
1174	0	...	1214	38,07	...
1175	0	$-7,73E-07*p^2 + 5,68E-04*p + 0,07$	1215	39,71	...
1176	0	$+1,53E-06*p^2 - 2,06E-03*p + 0,47$	1216	40,36	...
1177	0	$+3,82E-06*p^2 - 4,70E-03*p + 0,87$	1217	40,6	...
1178	0	...	1218	41,15	...
1179	0	...	1219	42,23	...
1180	0	...	1220	43,61	...
1181	0	...	1221	45,08	...
1182	0	...	1222	46,58	...
1183	0	...	1223	48,13	...
1184	0	...	1224	49,7	...
1185	0	...	1225	51,27	...
1186	0	...	1226	52,8	...
1187	0	...	1227	54,3	...
1188	0	...	1228	55,8	...
1189	0	...	1229	57,29	...
1190	0	...	1230	58,73	...
1191	0	...	1231	60,12	...
1192	0	...	1232	61,5	...
1193	0	...	1233	62,94	...
1194	0	...	1234	64,39	...
1195	0	...	1235	65,52	...
1196	1,54	...	1236	66,07	...
1197	4,85	...	1237	66,19	...
1198	9,06	...	1238	66,19	...
1199	11,8	...	1239	66,43	...
1200	12,42	...	1240	67,07	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
1241	68,04	...	1281	51,75	...
1242	69,12	...	1282	50,92	...
1243	70,08	...	1283	49,9	...
1244	70,91	...	1284	48,68	...
1245	71,73	...	1285	47,41	...
1246	72,66	...	1286	46,5	+9,40E-06*p ² -8,92E-03*p +1,50
1247	73,67	...	1287	46,22	+5,22E-06*p ² -5,32E-03*p +1,16
1248	74,55	...	1288	46,44	+1,04E-06*p ² -1,72E-03*p +0,82
1249	75,18	...	1289	47,35	...
1250	75,59	...	1290	49,01	...
1251	75,82	...	1291	50,93	...
1252	75,9	...	1292	52,79	...
1253	75,92	...	1293	54,66	...
1254	75,87	...	1294	56,6	...
1255	75,68	...	1295	58,55	...
1256	75,37	...	1296	60,47	...
1257	75,01	+7,07E-06*p ² -7,30E-03*p +1,19	1297	62,28	...
1258	74,55	+1,03E-05*p ² -9,91E-03*p +1,51	1298	63,9	...
1259	73,8	+1,36E-05*p ² -1,25E-02*p +1,83	1299	65,2	...
1260	72,71	...	1300	66,02	...
1261	71,39	...	1301	66,39	...
1262	70,02	...	1302	66,74	...
1263	68,71	...	1303	67,43	...
1264	67,52	...	1304	68,44	...
1265	66,44	...	1305	69,52	...
1266	65,45	...	1306	70,53	...
1267	64,49	...	1307	71,47	...
1268	63,54	...	1308	72,32	...
1269	62,6	...	1309	72,89	...
1270	61,67	...	1310	73,07	...
1271	60,69	...	1311	73,03	...
1272	59,64	...	1312	72,94	...
1273	58,6	...	1313	73,01	...
1274	57,64	...	1314	73,44	...
1275	56,79	...	1315	74,19	...
1276	55,95	...	1316	74,81	...
1277	55,09	...	1317	75,01	...
1278	54,2	...	1318	74,99	...
1279	53,33	...	1319	74,79	...
1280	52,52	...	1320	74,41	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
1321	74,07	...	1361	70,09	+7,54E-06*p ² -6,94E-03*p +1,46
1322	73,77	...	1362	69,35	+1,08E-05*p ² -9,54E-03*p +1,78
1323	73,38	...	1363	68,27	...
1324	72,79	...	1364	67,09	...
1325	71,95	...	1365	65,96	...
1326	71,06	...	1366	64,87	...
1327	70,45	...	1367	63,79	...
1328	70,23	...	1368	62,82	+7,54E-06*p ² -6,94E-03*p +1,46
1329	70,24	...	1369	63,03	+4,29E-06*p ² -4,33E-03*p +1,14
1330	70,32	...	1370	63,62	+1,04E-06*p ² -1,72E-03*p +0,82
1331	70,3	...	1371	64,8	...
1332	70,05	...	1372	65,5	...
1333	69,66	...	1373	65,33	+4,29E-06*p ² -4,33E-03*p +1,14
1334	69,26	+4,29E-06*p ² -4,33E-03*p +1,14	1374	63,83	+7,54E-06*p ² -6,94E-03*p +1,46
1335	68,73	+7,54E-06*p ² -6,94E-03*p +1,46	1375	62,44	+1,08E-05*p ² -9,54E-03*p +1,78
1336	67,88	+1,08E-05*p ² -9,54E-03*p +1,78	1376	61,2	...
1337	66,68	...	1377	59,58	...
1338	65,29	...	1378	57,68	...
1339	63,95	...	1379	56,4	...
1340	62,84	+7,54E-06*p ² -6,94E-03*p +1,46	1380	54,82	...
1341	62,21	+4,29E-06*p ² -4,33E-03*p +1,14	1381	52,77	+8,89E-06*p ² -8,29E-03*p +2,21
1342	62,04	+1,04E-06*p ² -1,72E-03*p +0,82	1382	52,22	+6,99E-06*p ² -7,03E-03*p +2,63
1343	62,26	...	1383	52,48	+5,09E-06*p ² -5,77E-03*p +3,06
1344	62,87	...	1384	52,74	...
1345	63,55	...	1385	53,14	...
1346	64,12	...	1386	53,03	...
1347	64,73	...	1387	52,55	...
1348	65,45	...	1388	52,19	...
1349	66,18	...	1389	51,09	...
1350	66,97	...	1390	49,88	...
1351	67,85	...	1391	49,37	...
1352	68,74	...	1392	49,26	...
1353	69,45	...	1393	49,37	...
1354	69,92	...	1394	49,88	...
1355	70,24	...	1395	50,25	...
1356	70,49	...	1396	50,17	...
1357	70,63	...	1397	50,5	...
1358	70,68	...	1398	50,83	...
1359	70,65	...	1399	51,23	...
1360	70,49	+4,29E-06*p ² -4,33E-03*p +1,14	1400	51,67	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
1401	51,53	...	1441	71,89	...
1402	50,17	...	1442	73,35	...
1403	49,99	...	1443	74,64	...
1404	50,32	...	1444	75,81	...
1405	51,05	...	1445	77,24	...
1406	51,45	...	1446	78,63	...
1407	52	...	1447	79,32	...
1408	52,3	...	1448	80,2	...
1409	52,22	...	1449	81,67	...
1410	52,66	...	1450	82,11	...
1411	53,18	...	1451	82,91	...
1412	53,8	...	1452	83,43	...
1413	54,53	...	1453	83,79	...
1414	55,37	...	1454	83,5	...
1415	56,29	...	1455	84,01	...
1416	57,31	...	1456	83,43	...
1417	57,94	...	1457	82,99	...
1418	57,86	...	1458	82,77	...
1419	57,75	...	1459	82,33	...
1420	58,67	...	1460	81,78	...
1421	59,4	...	1461	81,81	...
1422	59,69	...	1462	81,05	...
1423	60,02	...	1463	80,72	$-6,93E-06*p^2 + 5,24E-03*p - 1,21$
1424	60,21	...	1464	80,61	$-1,05E-05*p^2 + 8,45E-03*p - 1,74$
1425	60,83	...	1465	80,46	$-1,42E-05*p^2 + 1,17E-02*p - 2,27$
1426	61,16	...	1466	80,42	...
1427	61,6	...	1467	80,42	...
1428	62,15	...	1468	80,24	...
1429	62,7	$+2,29E-06*p^2 - 3,17E-03*p + 1,81$	1469	80,13	...
1430	63,65	$-5,13E-07*p^2 - 5,70E-04*p + 0,57$	1470	80,39	...
1431	64,27	$-3,31E-06*p^2 + 2,03E-03*p - 0,68$	1471	80,72	...
1432	64,31	...	1472	81,01	...
1433	64,13	...	1473	81,52	...
1434	64,27	...	1474	82,4	...
1435	65,22	...	1475	83,21	...
1436	66,25	...	1476	84,05	...
1437	67,09	...	1477	84,85	...
1438	68,37	...	1478	85,42	...
1439	69,36	...	1479	86,18	...
1440	70,57	...	1480	86,45	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
1481	86,64	...	1521	78,52	$-5,24E-06*p^2 + 4,57E-03*p - 1,18$
1482	86,57	...	1522	78,52	$-6,08E-06*p^2 + 5,30E-03*p - 1,06$
1483	86,43	...	1523	78,81	$-6,91E-06*p^2 + 6,04E-03*p - 0,93$
1484	86,58	...	1524	79,26	...
1485	86,8	...	1525	79,61	...
1486	86,65	...	1526	80,15	...
1487	86,14	...	1527	80,39	...
1488	86,36	...	1528	80,72	...
1489	86,32	...	1529	81,01	...
1490	86,25	...	1530	81,52	...
1491	85,92	...	1531	82,4	...
1492	86,14	...	1532	83,21	...
1493	86,36	...	1533	84,05	...
1494	86,25	...	1534	85,15	...
1495	86,5	...	1535	85,92	...
1496	86,14	...	1536	86,98	...
1497	86,29	...	1537	87,45	...
1498	86,4	...	1538	87,54	...
1499	86,36	...	1539	87,25	...
1500	85,63	...	1540	87,04	...
1501	86,03	...	1541	86,98	...
1502	85,92	...	1542	87,05	...
1503	86,14	...	1543	87,1	...
1504	86,32	...	1544	87,25	...
1505	85,92	...	1545	87,25	...
1506	86,11	...	1546	87,07	...
1507	85,91	...	1547	87,29	...
1508	85,83	...	1548	87,14	...
1509	85,86	$-1,09E-05*p^2 + 9,06E-03*p - 1,95$	1549	87,03	...
1510	85,5	$-7,66E-06*p^2 + 6,45E-03*p - 1,63$	1550	87,25	...
1511	84,97	$-4,41E-06*p^2 + 3,84E-03*p - 1,31$	1551	87,03	...
1512	84,8	...	1552	87,03	...
1513	84,2	...	1553	87,07	...
1514	83,26	...	1554	86,81	...
1515	82,77	...	1555	86,92	...
1516	81,78	...	1556	86,66	...
1517	81,16	...	1557	86,92	...
1518	80,42	...	1558	86,59	...
1519	79,21	...	1559	86,92	...
1520	78,83	...	1560	86,59	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
1561	86,88	...	1601	86,99	...
1562	86,7	...	1602	86,96	...
1563	86,81	...	1603	87,03	...
1564	86,81	...	1604	86,85	...
1565	86,81	...	1605	87,1	...
1566	86,81	...	1606	86,81	...
1567	86,99	...	1607	87,03	...
1568	87,03	...	1608	86,77	...
1569	86,92	...	1609	86,99	...
1570	87,1	...	1610	86,96	...
1571	86,85	...	1611	86,96	...
1572	87,14	...	1612	87,07	...
1573	86,96	...	1613	86,96	...
1574	86,85	...	1614	86,92	...
1575	86,77	...	1615	87,07	...
1576	86,81	...	1616	86,92	...
1577	86,85	...	1617	87,14	...
1578	86,74	...	1618	86,96	...
1579	86,81	...	1619	87,03	...
1580	86,7	...	1620	86,85	...
1581	86,52	...	1621	86,77	...
1582	86,7	...	1622	87,1	...
1583	86,74	...	1623	86,92	...
1584	86,81	...	1624	87,07	...
1585	86,85	...	1625	86,85	...
1586	86,92	...	1626	86,81	...
1587	86,88	...	1627	87,14	...
1588	86,85	...	1628	86,77	...
1589	87,1	...	1629	87,03	...
1590	86,81	...	1630	86,96	...
1591	86,99	...	1631	87,1	...
1592	86,81	...	1632	86,99	...
1593	87,14	...	1633	86,92	...
1594	86,81	...	1634	87,1	...
1595	86,85	...	1635	86,85	...
1596	87,03	...	1636	86,92	...
1597	86,92	...	1637	86,77	...
1598	87,14	...	1638	86,88	...
1599	86,92	...	1639	86,63	...
1600	87,03	...	1640	86,85	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
1641	86,63	...	1681	87,61	$-8,97E-06*p^2 + 8,04E-03*p - 1,64$
1642	86,77	$-6,00E-06*p^2 + 5,11E-03*p - 0,41$	1682	87,76	$-1,14E-05*p^2 + 1,04E-02*p - 2,77$
1643	86,77	$-5,09E-06*p^2 + 4,19E-03*p + 0,10$	1683	87,65	...
1644	86,55	$-4,18E-06*p^2 + 3,26E-03*p + 0,61$	1684	87,61	...
1645	86,59	...	1685	87,65	...
1646	86,55	...	1686	87,65	...
1647	86,7	...	1687	87,76	...
1648	86,44	...	1688	87,76	...
1649	86,7	...	1689	87,8	...
1650	86,55	...	1690	87,72	...
1651	86,33	...	1691	87,69	...
1652	86,48	...	1692	87,54	...
1653	86,19	...	1693	87,76	...
1654	86,37	...	1694	87,5	...
1655	86,59	...	1695	87,43	...
1656	86,55	...	1696	87,47	...
1657	86,7	...	1697	87,5	...
1658	86,63	...	1698	87,5	...
1659	86,55	...	1699	87,18	...
1660	86,59	...	1700	87,36	...
1661	86,55	...	1701	87,29	...
1662	86,7	...	1702	87,18	...
1663	86,55	...	1703	86,92	...
1664	86,7	...	1704	87,36	...
1665	86,52	...	1705	87,03	...
1666	86,85	...	1706	87,07	...
1667	86,55	...	1707	87,29	...
1668	86,81	...	1708	86,99	...
1669	86,74	...	1709	87,25	...
1670	86,63	...	1710	87,14	...
1671	86,77	...	1711	86,96	...
1672	87,03	...	1712	87,14	...
1673	87,07	...	1713	87,07	...
1674	86,92	...	1714	86,92	...
1675	87,07	...	1715	86,88	...
1676	87,18	...	1716	86,85	...
1677	87,32	...	1717	86,92	...
1678	87,36	...	1718	86,81	...
1679	87,29	...	1719	86,88	...
1680	87,58	$-6,58E-06*p^2 + 5,65E-03*p - 0,51$	1720	86,66	...

<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>	<i>Temps s</i>	<i>Vitesse du véhicule km/h</i>	<i>Déclivité de la route %</i>
1721	86,92	...	1761	76,69	...
1722	86,48	...	1762	75,92	...
1723	86,66	...	1763	75,08	...
1724	86,74	$-1,01E-05*p^2 + 9,14E-03*p - 2,12$	1764	73,87	...
1725	86,37	$-8,83E-06*p^2 + 7,85E-03*p - 1,47$	1765	72,15	...
1726	86,48	$-7,56E-06*p^2 + 6,56E-03*p - 0,83$	1766	69,69	...
1727	86,33	...	1767	67,17	...
1728	86,3	...	1768	64,75	...
1729	86,44	...	1769	62,55	...
1730	86,33	...	1770	60,32	...
1731	86	...	1771	58,45	...
1732	86,33	...	1772	56,43	...
1733	86,22	...	1773	54,35	...
1734	86,08	...	1774	52,22	...
1735	86,22	...	1775	50,25	...
1736	86,33	...	1776	48,23	...
1737	86,33	...	1777	46,51	...
1738	86,26	...	1778	44,35	...
1739	86,48	...	1779	41,97	...
1740	86,48	...	1780	39,33	...
1741	86,55	...	1781	36,48	...
1742	86,66	...	1782	33,8	...
1743	86,66	...	1783	31,09	...
1744	86,59	...	1784	28,24	...
1745	86,55	...	1785	26,81	...
1746	86,74	$-4,31E-06*p^2 + 3,96E-03*p - 0,51$	1786	23,33	...
1747	86,21	$-1,06E-06*p^2 + 1,35E-03*p - 0,19$	1787	19,01	...
1748	85,96	$+2,19E-06*p^2 - 1,26E-03*p + 0,13$	1788	15,05	...
1749	85,5	...	1789	12,09	...
1750	84,77	...	1790	9,49	...
1751	84,65	...	1791	6,81	...
1752	84,1	...	1792	4,28	...
1753	83,46	...	1793	2,09	...
1754	82,77	...	1794	0,88	...
1755	81,78	...	1795	0,88	...
1756	81,16	...	1796	0	...
1757	80,42	...	1797	0	...
1758	79,21	...	1798	0	...
1759	78,48	...	1799	0	...
1760	77,49	...	1800	0	...

Annexe 2

Carburants de référence

A.2.1 Carburant de référence gazole européen

Caractéristique	Unité	Limites ¹		Méthode d'essai
		Minimum	Maximum	
Indice de cétane		52	54	ISO 5165
Masse volumique à 15 °C	kg/m ³	833	837	ISO 3675
Distillation:				
- Point 50 % vol.	°C	245		ISO 3405
- Point 95 % vol.	°C	345	350	
- Point d'ébullition final	°C		370	
Point d'éclair	°C	55		ISO 2719
Température limite de filtrabilité	°C		-5	EN 116
Viscosité cinématique à 40 °C	mm ² /s	2,3	3,3	ISO 3104
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	% (m/m)	2,0	6,0	EN 12916
Résidu de carbone Conradson (10 % DR)	% (mm)		0,2	ISO 10370
Teneur en cendres	% (mm)		0,01	EN-ISO 6245
Teneur en eau	% (m/m)		0,02	EN-ISO 12937
Teneur en soufre	mg/kg		10	EN-ISO 14596
Corrosion du cuivre à 50 °C			1	EN-ISO 2160
Lubrifiante (essai HFRR à 60 °C)	µm		400	CEC F-06-A-96
Indice de neutralisation	mg KOH/g		0,02	
Stabilité à l'oxydation à 110 °C ^{2,3}	h	20		EN 14112
FAME (biodiesel) ⁴	% v/v	4,5	5,5	EN 14078

¹ Les valeurs indiquées dans les caractéristiques sont les valeurs vraies. Lors de l'établissement des valeurs limites, les termes de la norme ISO 4259 «Produits pétroliers – détermination et application des données de précision relatives aux méthodes d'essai» ont été appliqués, et pour la fixation d'une valeur minimale la différence minimale de 2R par rapport à zéro a été prise en compte; pour la fixation d'une valeur maximale et d'une valeur minimale, la différence minimale a été prise comme égale à 4R (R = reproductibilité).

Nonobstant cette mesure, nécessaire pour des raisons statistiques, le constructeur d'un carburant devrait tendre vers une valeur zéro lorsque la valeur maximale stipulée est de 2R et une valeur moyenne lorsque des limites maximale et minimale sont spécifiées. S'il était nécessaire de vérifier le respect des caractéristiques prescrites, les termes de la norme ISO 4259 devraient être appliqués.

² Malgré les mesures prises pour assurer la stabilité à l'oxydation, il est vraisemblable que la durée de conservation des produits sera limitée. Des conseils devraient être demandés au fournisseur quant aux conditions de stockage et à la durée de conservation.

³ La stabilité à l'oxydation peut être démontrée conformément à la norme EN-ISO 12205 ou EN 14112. Cette prescription sera révisée sur la base d'évaluations du CEN/TC19 sur les performances de stabilité à l'oxydation et les limites d'essai.

⁴ Qualité FAME conformément à la norme EN 14214 (ASTM D 6751).

⁵ La version la plus récente de la méthode d'essai s'applique.

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

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

A.2.3 Carburant gazole de référence japonais

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

Annexe 3

Appareillage de mesure

A.3.1 Cette annexe contient les prescriptions de base et une description générale concernant les systèmes de prélèvement et d'analyse utilisés pour mesurer les émissions gazeuses et les émissions de particules. Des configurations différentes peuvent permettre d'obtenir des résultats équivalents et la stricte conformité aux figures de la présente annexe n'est donc pas exigée. Des éléments additionnels tels qu'appareils de mesure, robinets, électrovannes, pompes, régulateurs de débit et interrupteurs peuvent être utilisés pour la collecte d'informations supplémentaires et pour coordonner les fonctions du système. D'autres éléments qui, dans certains systèmes, ne sont pas nécessaires pour garantir la précision des mesures peuvent être omis si cela est compatible avec les principes techniques reconnus.

A.3.1.1 Système d'analyse

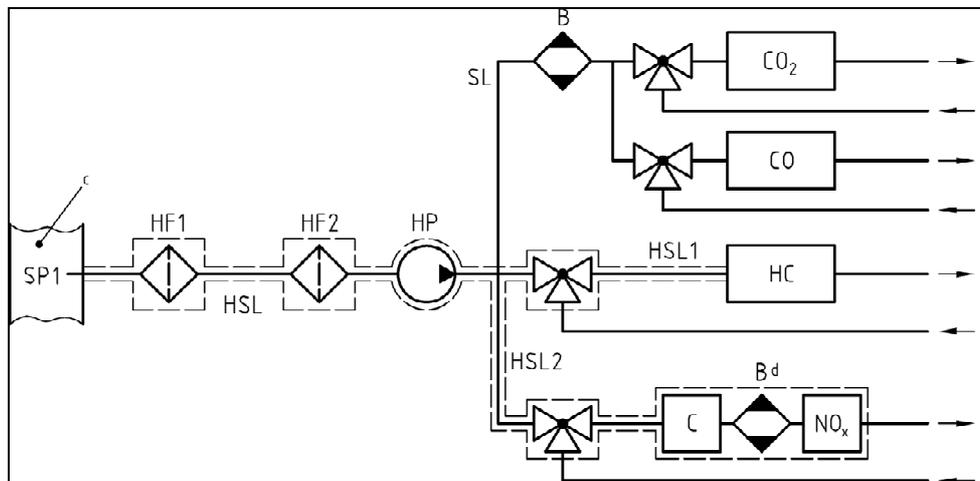
A.3.1.2 Description du système d'analyse

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

- a) Un analyseur HFID ou FID pour la mesure des hydrocarbures;
- b) Des analyseurs NDIR pour la mesure du monoxyde de carbone et du dioxyde de carbone;
- c) Un analyseur HCLD ou CLD pour la mesure des oxydes d'azote.

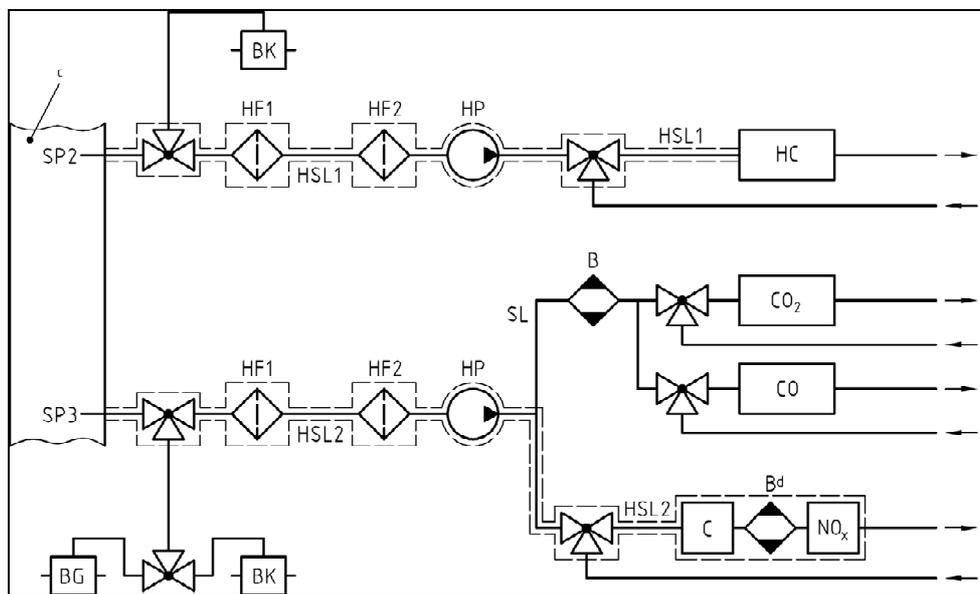
L'échantillon pour tous les constituants doit être prélevé avec une seule sonde et subdivisé plus en aval entre les différents analyseurs. On peut aussi utiliser deux sondes de prélèvement placées très près l'une de l'autre. Des précautions doivent être prises pour éviter toute condensation des constituants des gaz d'échappement (y compris l'eau et l'acide sulfurique) en un point quelconque du système d'analyse.

Figure 9
Schéma de principe du système d'analyse des gaz d'échappement bruts pour la mesure du CO₂, du CO, des NO_x et des HC



- a = vers l'atmosphère;
- b = gaz de mise à zéro, de calibration;
- c = tuyau d'échappement;
- d = facultatif.

Figure 10
Schéma de principe du système d'analyse des gaz d'échappement dilués pour la mesure du CO, du CO₂, des NO_x et des HC



- a = vers l'atmosphère;
- b = gaz de mise à zéro, de calibration;
- c = tuyau d'échappement;
- d = facultatif.

A.3.1.3 Éléments des figures 9 et 10

EP Tuyau d'échappement

SP1 Sonde de prélèvement des gaz d'échappement bruts (fig. 9 seulement)

L'utilisation d'une sonde droite à bout fermé et à trous multiples en acier inoxydable est recommandée. Son diamètre intérieur ne doit pas être supérieur au diamètre intérieur de la tuyauterie de prélèvement. L'épaisseur de la paroi de la sonde ne doit pas dépasser 1 mm. Elle doit comporter un minimum de trois trous situés dans trois plans radiaux différents et dimensionnés pour prélever sensiblement le même débit. La sonde doit couvrir au moins 80 % du diamètre du tuyau d'échappement. On peut utiliser une ou deux sondes de prélèvement.

SP2 Sonde de prélèvement des gaz d'échappement dilués pour la mesure des HC (fig. 10 seulement)

Cette sonde:

- a) Doit former la première section, longue de 254 mm à 762 mm, de la ligne de prélèvement chauffée HSL1;
- b) Doit avoir un diamètre intérieur minimal de 5 mm;
- c) Doit être installée dans le tunnel de dilution DT (voir fig. 15) en un point où le diluant et les gaz d'échappement sont intimement mélangés (c'est-à-dire approximativement à une distance de 10 diamètres du tunnel en aval du point où les gaz d'échappement entrent dans celui-ci);
- d) Doit être suffisamment éloignée (radialement) des autres sondes et de la paroi du tunnel pour ne pas subir d'effet de sillage ou de turbulence;
- e) Doit être chauffée de manière à ce que la température du courant de gaz soit portée à 463 ± 10 K (190 ± 10 °C) à la sortie de la sonde, ou à 385 ± 10 K (112 ± 10 °C) pour les moteurs à allumage commandé;
- f) Ne doit pas être chauffée dans le cas de la mesure avec un analyseur FID (à froid).

SP3 Sonde de prélèvement des gaz d'échappement dilués pour la mesure du CO, du CO₂ et des NO_x (fig. 10 seulement)

Cette sonde doit être:

- a) Située dans le même plan que SP2;
- b) Suffisamment éloignée (radialement) des autres sondes et de la paroi du tunnel pour ne pas subir d'effet de sillage ou de turbulence;
- c) Chauffée et isolée sur toute sa longueur pour être maintenue à une température minimale de 328 K (55 °C) de manière à éviter toute condensation d'eau.

HF1 Préfiltre chauffé (facultatif)

Il doit être à la même température que HSL1.

HF2 Filtre chauffé

Il extrait les particules solides éventuellement présentes dans l'échantillon de gaz avant l'entrée dans l'analyseur. Il doit être maintenu à la même température que HSL1. Il doit être changé dès que nécessaire.

HSL1 Tuyauterie de prélèvement chauffée

La tuyauterie de prélèvement transmet un échantillon de gaz d'une sonde individuelle au ou aux points de répartition et à l'analyseur de HC.

La tuyauterie de prélèvement:

- a) Doit avoir un diamètre intérieur de 4 mm au minimum et de 13,5 mm au maximum;
- b) Doit être en acier inoxydable ou en PTFE;
- c) Doit être maintenue à une température de paroi de 463 ± 10 K (190 ± 10 °C), mesurée au droit de chaque section à chauffage réglé séparément, si la température des gaz d'échappement à la sonde de prélèvement est égale ou inférieure à 463 K (190 °C);
- d) Doit être maintenue à une température de paroi supérieure à 453 K (180 °C) si la température des gaz d'échappement à la sonde de prélèvement est supérieure à 463 K (190 °C);
- e) Doit maintenir une température des gaz de 463 ± 10 K (190 ± 10 °C) immédiatement en amont du filtre chauffé HF₂ et de l'analyseur HFID.

HSL2 Tuyauterie de prélèvement chauffée pour les NO_x

La tuyauterie de prélèvement:

- a) Doit être maintenue à une température de paroi de 328 à 473 K (55 à 200 °C) jusqu'au convertisseur pour la mesure en conditions sèches, et jusqu'à l'analyseur pour la mesure en conditions humides;
- b) Doit être en acier inoxydable ou en PTFE.

HP Pompe de prélèvement chauffée

La pompe doit être maintenue à la même température que HSL.

SL Tuyauterie de prélèvement pour le CO et le CO₂

La tuyauterie doit être en PTFE ou en acier inoxydable. Elle peut être chauffée ou non.

HC Analyseur HFID

Détecteur à ionisation de flamme chauffé (HFID) ou non chauffé (FID) pour la mesure des hydrocarbures. L'analyseur HFID doit être maintenu à une température de 453 à 473 K (180 à 200 °C).

CO, 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 ou analyseur NDUV

Analyseur CLD, HCLD ou NDUV pour la mesure des oxydes d'azote. Si un analyseur HCLD est utilisé, il doit être maintenu à une température de 328 à 473 K (55 à 200 °C).

B Sécheur d'échantillon (facultatif pour la mesure de NO)

Il refroidit et condense l'eau pour l'extraire de l'échantillon de gaz d'échappement. Il est facultatif si l'analyseur ne subit pas d'interférence avec la vapeur d'eau comme il est défini au paragraphe 9.3.9.2.2. Si l'eau est extraite par condensation, la température ou le point de rosée de l'échantillon de gaz doivent être contrôlés soit dans le séparateur même, soit en aval. La température ou le point de rosée des gaz ne doit pas dépasser 280 K (7 °C). Les dessiccateurs chimiques ne sont pas autorisés pour l'extraction de l'eau de l'échantillon.

BK Sac de collecte pour la mesure des concentrations ambiantes (optionnel; fig. 10 seulement)

Servant au prélèvement pour la mesure des concentrations ambiantes.

BG Sac de collecte (facultatif; fig. 10 seulement)

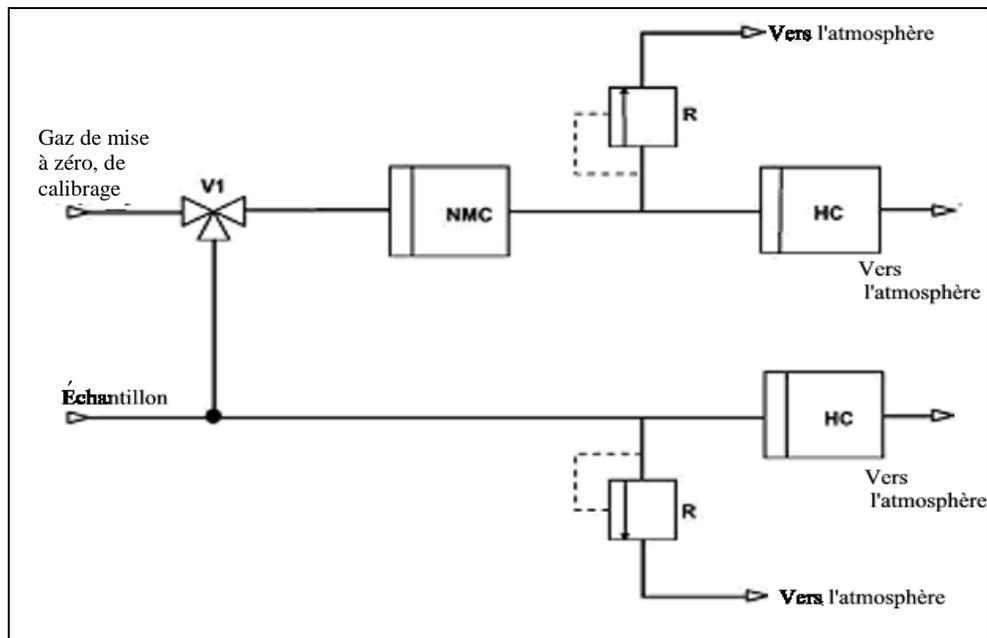
Servant au prélèvement de l'échantillon proprement dit.

A.3.1.4 Méthode du convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques (NMC)

Le convertisseur oxyde tous les hydrocarbures sauf le 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. 9 et 10), il faut installer un deuxième système de prélèvement des HC comportant un convertisseur, comme illustré à la figure 11. On peut ainsi mesurer simultanément les HC totaux, le CH₄ et les HCNM.

Le convertisseur doit être étalonné à une température égale ou supérieure à 600 K (327 °C) avant les essais réels en ce qui concerne son effet catalytique sur le CH₄ et le C₂H₆ à des valeurs de H₂O représentatives du courant de gaz d'échappement. 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 9.3.8.

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



A.3.1.5 Éléments de la figure 11

NMC Convertisseur d'hydrocarbures non méthaniques

Servant à oxyder tous les hydrocarbures à l'exception du méthane.

HC Analyseur (H)FID

Détecteur à ionisation de flamme chauffé (HFID) ou non chauffé (FID) servant à mesurer les concentrations de HC et de CH₄. Sa température doit être maintenue à 453-473 K (180-200 °C).

V1 Robinet de sélection

Servant à sélectionner l'échantillon, le gaz de mise à zéro et le gaz de calibrage.

R Régulateur de pression

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

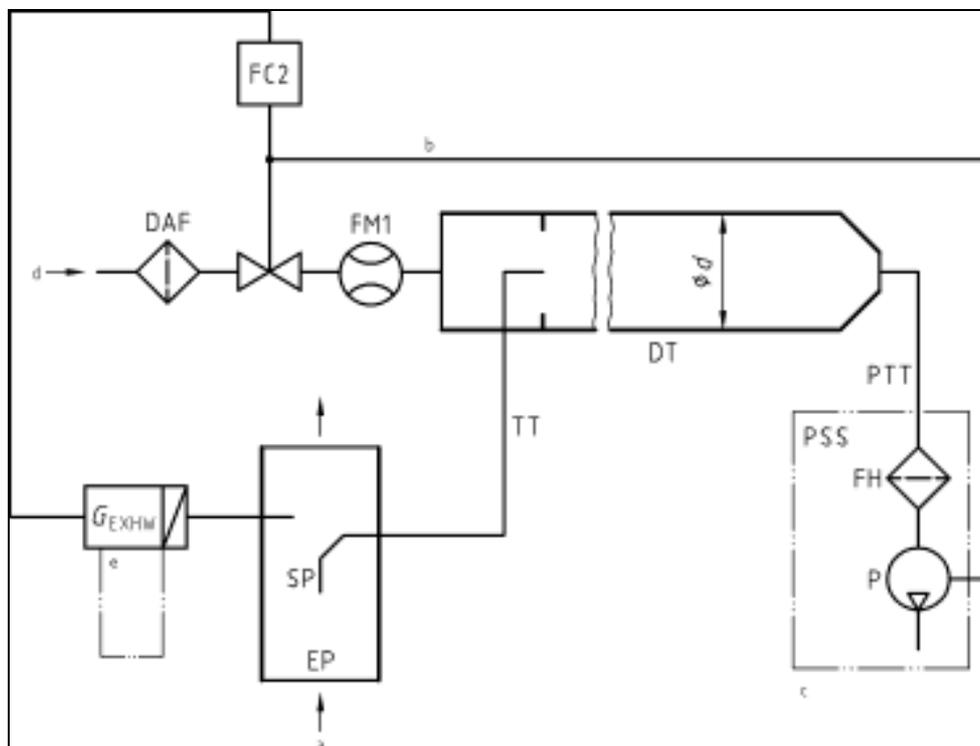
A.3.2 Système de dilution et de collecte des particules

A.3.2.1 Système de dilution du flux partiel

Les figures décrivent un système de dilution fonctionnant par dilution d'une partie du flux de gaz d'échappement. La division de ce courant et la dilution ultérieure peuvent être effectuées au moyen de différents systèmes. Pour l'opération ultérieure de collecte des particules, on peut faire passer dans le système de prélèvement le flux total ou une fraction seulement du flux de gaz d'échappement dilués. La première méthode est appelée «prélèvement total», la deuxième «prélèvement partiel». Le calcul du taux de dilution dépend du type de système utilisé.

Dans le système à prélèvement total décrit à la figure 12, les gaz d'échappement non dilués sont prélevés dans le tuyau d'échappement (EP) par la sonde (SP) et acheminés jusqu'au tunnel de dilution (DT) par le tube de transfert (TT). Le débit total traversant le tunnel est réglé au moyen du régulateur de débit FC2 et de la pompe de prélèvement (P) du système de collecte des particules (voir fig. 16). Le débit du diluant est réglé par le régulateur de débit FC1, qui peut être commandé par les signaux de mesure q_{mew} , q_{maw} , ou q_{mf} de manière à obtenir le rapport de division voulu des gaz d'échappement. Le débit de l'échantillon en DT est égal à la différence entre le débit total et le débit d'air de dilution. Le débit du diluant est mesuré avec le débitmètre FM1, le débit total de gaz avec le débitmètre FM3 du système de collecte des particules (voir fig. 16). Le taux de dilution est calculé à partir de ces deux débits.

Figure 12
Système à dilution du flux partiel (prélèvement total)



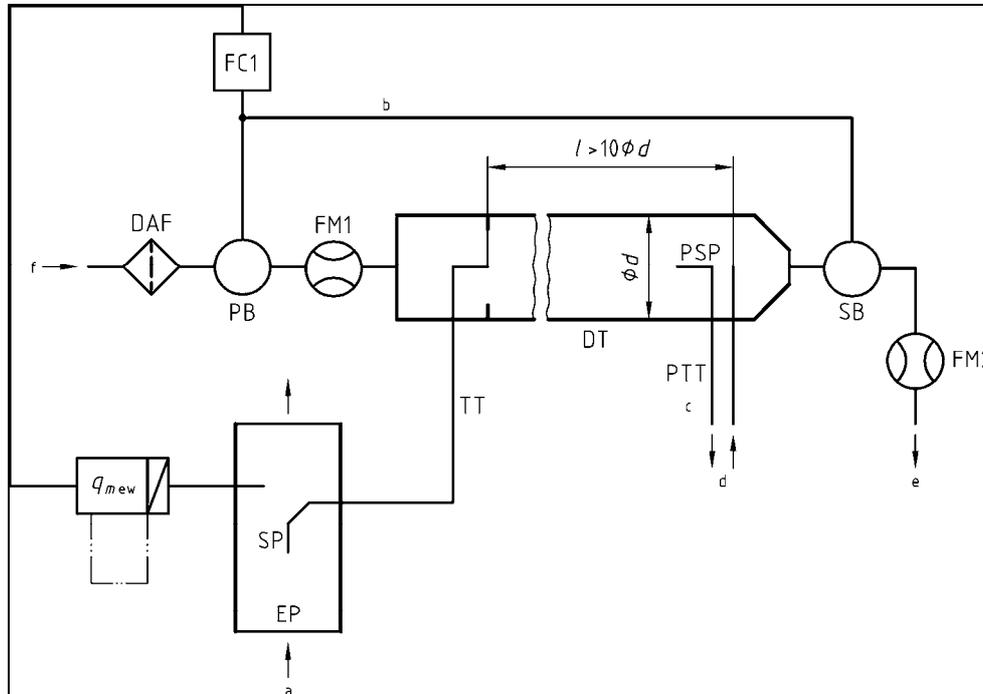
- a = gaz d'échappement.
- b = facultatif.
- c = installation détaillée, voir fig. 16.

Dans le système à prélèvement partiel décrit à la figure 13, les gaz d'échappement non dilués sont prélevés dans le tuyau d'échappement (EP) par la sonde (SP) et acheminés jusqu'au tunnel de dilution (DT) par le tube de transfert (TT). Le débit total traversant le tunnel est réglé par le régulateur de débit FC1 commandant soit le débit d'air de dilution, soit le ventilateur aspirant agissant sur le débit total dans le tunnel. Le régulateur de débit FC1 peut être commandé par les signaux de mesure q_{mew} , q_{maw} , ou q_{mf} de manière à obtenir le rapport de division voulu des gaz d'échappement. Le débit de l'échantillon en DT est égal à la différence entre le débit total et le débit d'air

de dilution. Le débit du diluant est mesuré avec le débitmètre FM1, le débit total de gaz avec le débitmètre FM2. Le taux de dilution est calculé à partir de ces deux débits. À partir de DT, un échantillon de particules est prélevé par le système de collecte des particules (voir fig. 16).

Figure 13

Schéma du système à dilution du flux partiel (prélèvement partiel)



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

A.3.2.2 Éléments des figures 12 et 13

EP Tuyau d'échappement

Le tuyau d'échappement peut être isolé. Pour réduire l'inertie thermique du tuyau d'échappement, un rapport épaisseur de paroi/diamètre ne dépassant pas 0,015 est recommandé. L'utilisation de sections flexibles doit être limitée à un rapport longueur/diamètre de 12. Les courbures doivent être aussi réduites que possible pour réduire les effets de dépôt par inertie. Si le système inclut un silencieux faisant partie du banc d'essai, le silencieux peut aussi être isolé. Il est recommandé d'utiliser un tuyau d'échappement droit sur une longueur de 6 diamètres du tuyau vers l'amont et 3 diamètres vers l'aval par rapport à l'extrémité de la sonde.

SP Sonde de prélèvement

La sonde doit être de l'un des types suivants:

- À tube ouvert à l'extrémité, orienté vers l'amont, placé sur l'axe médian du tuyau d'échappement;
- À tube ouvert orienté vers l'aval, placé sur l'axe médian du tuyau d'échappement;

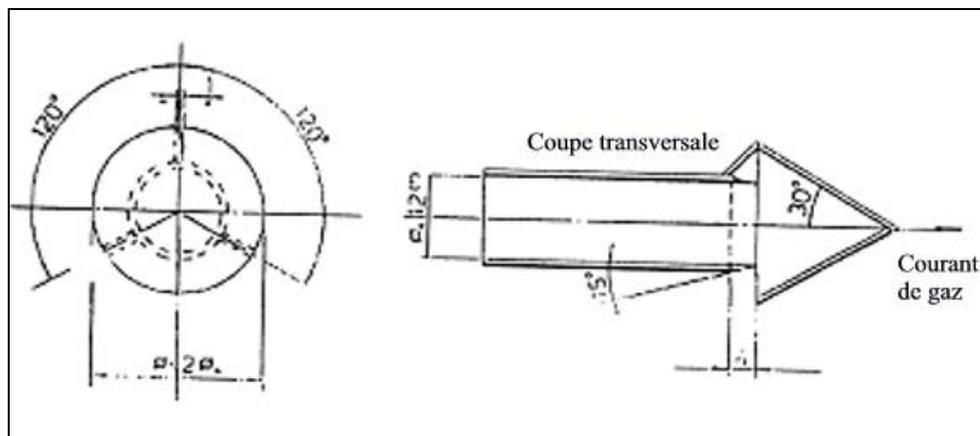
- c) À trous multiples comme décrit sous le point SP au paragraphe A.3.1.3;
- d) À chapeau conique orienté vers l'amont, placé sur l'axe médian du tuyau d'échappement, comme représenté à la figure 14.

Le diamètre intérieur minimal de l'extrémité de la sonde doit être de 4 mm. Le rapport entre le diamètre de la sonde et celui du tuyau d'échappement doit être au minimum de 4.

Si l'on utilise une sonde de type a), un séparateur primaire à inertie ou centrifuge (type pot à poussière ou cyclone) ayant un point de coupure à 50 % compris entre 2,5 et 10 μm doit être installé immédiatement en amont du porte-filtre.

Figure 14

Schéma d'une sonde à chapeau conique



TT Tube de transfert des gaz d'échappement

Le tube de transfert doit être aussi court que possible, mais:

- a) Sa longueur ne doit pas dépasser 0,26 m, s'il est isolé sur 80 % de sa longueur totale, mesurée entre l'extrémité de la sonde et l'étage de dilution;
- ou
- b) Sa longueur ne doit pas dépasser 1 m, s'il est chauffé à plus de 150 °C sur 90 % de sa longueur totale, mesurée entre l'extrémité de la sonde et l'étage de dilution.

Il doit avoir un diamètre intérieur égal ou supérieur au diamètre de la sonde, mais qui ne doit pas dépasser 25 mm, et avoir sa sortie située sur l'axe médian du tunnel de dilution et orientée vers l'aval.

Dans le cas a), l'isolation doit être constituée d'un matériau ayant une conductivité thermique maximale de 0,05 W/mK, l'épaisseur radiale d'isolant devant être égale au diamètre de la sonde.

FC1 Régulateur de débit

Un régulateur de débit doit être utilisé pour régler le débit du ventilateur soufflant PB et/ou du ventilateur aspirant SB. Il peut être asservi aux signaux de débit de gaz d'échappement mentionnés au paragraphe 8.4.1. Il peut être

installé en amont ou en aval du ventilateur respectif réglé. Dans le cas de l'utilisation d'une alimentation en air sous pression, FC1 agit directement sur le débit d'air.

FM1 Débitmètre

Compteur à gaz ou autre appareil de mesure du débit du diluant. Le débitmètre FM1 est facultatif si le ventilateur soufflant PB est étalonné pour la mesure du débit.

DAF Filtre à gaz diluant

L'agent diluant (air ambiant, air synthétique, ou azote) doit être filtré avec un filtre à particules à haut rendement ayant un taux de collecte initial minimum de 99,97 % conformément à la norme EN 1822-1 (filtre de la classe H14 ou supérieur), ASTM F 1471-93 ou une norme équivalente.

FM2 Débitmètre (prélèvement partiel, fig. 13 seulement)

Compteur à gaz ou autre appareil de mesure du débit de gaz d'échappement dilués. Le débitmètre FM2 est facultatif si le ventilateur aspirant SB est étalonné pour la mesure du débit.

PB Ventilateur soufflant (prélèvement partiel, fig. 13 seulement)

Pour le réglage du débit du diluant, on peut utiliser un ventilateur soufflant PB raccordé au régulateur de débit FC1 ou FC2. Le ventilateur PB n'est pas nécessaire si l'on utilise une vanne papillon. PB peut servir à mesurer le débit de diluant s'il est étalonné.

SB Ventilateur aspirant (prélèvement partiel, fig. 13 seulement)

Le ventilateur SB peut être utilisé pour mesurer le débit de gaz d'échappement dilués s'il est étalonné.

DT Tunnel de dilution (flux partiel)

Le tunnel de dilution:

- a) Doit avoir une longueur suffisante pour réaliser le brassage parfait des gaz d'échappement et du diluant dans des conditions d'écoulement turbulent (nombre de Reynolds Re supérieur à 4 000, où Re est fondé sur le diamètre intérieur du tunnel de dilution) dans le cas d'un système à prélèvement partiel (le brassage parfait n'est pas nécessaire pour un système à prélèvement total);
- b) Doit être en acier inoxydable;
- c) Peut être chauffé à une température de paroi ne dépassant pas 325 K (52 °C);
- d) Peut être isolé.

PSP Sonde de prélèvement des particules (prélèvement partiel, fig. 13 seulement)

La sonde, qui forme la section d'entrée du tube de transfert des particules PTT (voir par. A.3.2.6):

- a) Doit être installée ouverture vers l'amont en un point où le diluant et les gaz d'échappement sont intimement mélangés, c'est-à-dire sur l'axe médian du tunnel de dilution DT, approximativement à 10

diamètres de tunnel en aval du point où les gaz d'échappement entrent dans le tunnel de dilution;

- b) Doit avoir un diamètre intérieur minimal de 8 mm;
- c) Peut être chauffée à une température de paroi ne dépassant pas 325 K (52 °C), soit par chauffage direct, soit par préchauffage du diluant, étant entendu que la température de l'air ne doit pas dépasser 325 K (52 °C) avant l'introduction des gaz d'échappement dans le tunnel de dilution;
- d) Peut être isolée.

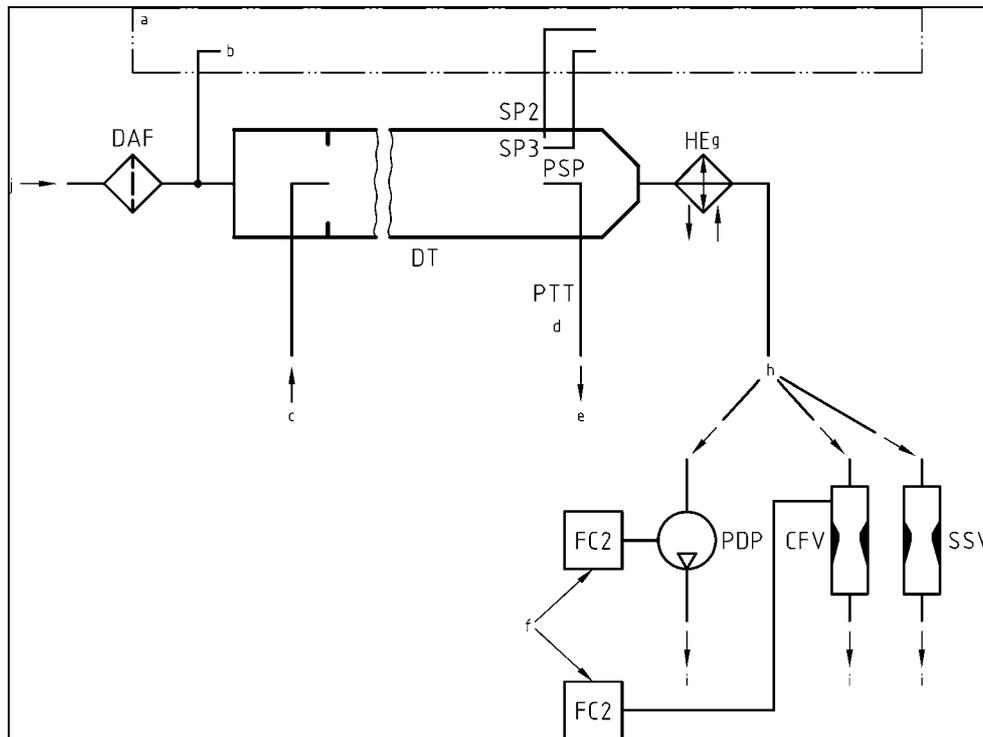
A.3.2.3 Description du système de dilution du flux total

La figure 15 décrit un système de dilution du flux total de gaz d'échappement dans le tunnel de dilution DT conformément au principe du prélèvement à volume constant (CVS).

Le débit de gaz d'échappement dilués doit être mesuré avec une pompe volumétrique (PDP), un tube de venturi à écoulement critique (CFV) ou un venturi subsonique (SSV). Un échangeur de chaleur (HE) ou un compensateur électronique de débit (EFC) peuvent être utilisés pour assurer un prélèvement proportionnel des particules et pour la détermination du débit. Étant donné que la détermination de la masse de particules se fait à partir du débit total de gaz d'échappement dilués, il n'est pas nécessaire de calculer le taux de dilution.

Pour la mesure ultérieure des particules, un échantillon des gaz d'échappement dilués doit être acheminé vers le système de prélèvement de particules à double dilution (voir fig. 17). Bien qu'il s'agisse en partie d'un système de dilution, le système à double dilution est traité comme modification d'un système de prélèvement de particules car la plupart de ses éléments sont communs à un système normal de prélèvement de particules.

Figure 15
Schéma du système de dilution du flux total (CVS)



a = analyseur; b = air ambiant; c = gaz d'échappement; d = installation détaillée, voir fig. 17;
e = vers le système à double dilution; f = si un compensateur électronique de débit est utilisé;
g = facultatif; h = variantes.

A.3.2.4 Éléments de la figure 15

EP Tuyau d'échappement

La longueur du tuyau d'échappement depuis la sortie du collecteur d'échappement du moteur, du turbocompresseur ou du dispositif de traitement aval, jusqu'au tunnel de dilution ne doit pas dépasser 10 m. Si le tuyau d'échappement en aval du collecteur d'échappement du moteur, de la sortie du turbocompresseur ou du dispositif de traitement aval a une longueur supérieure à 4 m, toute la tuyauterie située au-delà de cette longueur doit être isolée, sauf dans le cas où un opacimètre monté dans la ligne d'échappement est utilisé. La couche d'isolation doit avoir une épaisseur radiale d'au moins 25 mm. La conductivité thermique du matériau isolant doit avoir une valeur n'excédant pas 0,1 W/mK, mesurée à 673 K. Afin de réduire l'inertie thermique du tuyau d'échappement, il est recommandé que le rapport épaisseur de paroi/diamètre soit égal ou inférieur à 0,015. L'utilisation de sections flexibles doit être limitée à des rapports longueur/diamètre ne dépassant pas 12.

PDP Pompe volumétrique

La pompe volumétrique PDP sert à mesurer le débit total de gaz d'échappement dilués à partir du nombre de tours de la pompe et de son déplacement. La contre-pression d'échappement du moteur ne doit pas être artificiellement abaissée par la PDP ou par le système d'admission de diluant.

La contre-pression statique d'échappement lorsque le système de pompe volumétrique fonctionne ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 1,5$ kPa de la pression statique mesurée lorsque le système n'est pas raccordé à la pompe volumétrique pour un même régime et une même charge moteur. La température du mélange de gaz immédiatement en amont de la pompe PDP doit être égale à ± 6 K près à la température moyenne de fonctionnement observée au cours de l'essai lorsqu'il n'est pas utilisé de compensation du débit. La compensation du débit est seulement admise si la température à l'entrée de la pompe PDP ne dépasse pas 323 K (50 °C).

CFV Tube de venturi à écoulement critique

Le venturi CFV mesure le débit total de gaz d'échappement dilués en maintenant le débit en régime critique. La contre-pression statique d'échappement mesurée lorsque le système CFV fonctionne ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 1,5$ kPa de la pression statique mesurée lorsque le système CFV n'est pas raccordé pour un même régime et une même charge moteur. La température du mélange de gaz immédiatement en amont du venturi CFV doit être égale à ± 11 K près à la température moyenne de fonctionnement observée pendant l'essai lorsqu'il n'est pas utilisé de compensation du débit.

SSV Venturi subsonique

Le venturi subsonique SSV mesure le débit total de gaz d'échappement dilués à partir de la fonction de débit de gaz d'un venturi subsonique selon la pression et la température d'entrée et la chute de pression entre l'entrée et le col du venturi. La contre-pression statique d'échappement mesurée lorsque le système SSV fonctionne ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 1,5$ kPa de la pression statique mesurée lorsque le système SSV n'est pas raccordé pour un même régime et une même charge moteur. La température du mélange de gaz immédiatement en amont du venturi SSV doit être égale à ± 11 K près à la température moyenne de fonctionnement observée pendant l'essai lorsqu'il n'est pas utilisé de compensation du débit.

HE Échangeur de chaleur (facultatif)

L'échangeur de chaleur doit avoir une capacité suffisante pour maintenir la température dans les limites fixées ci-dessus. Il n'est pas nécessaire si EFC est utilisé.

EFC Système électronique de compensation du débit (optionnel)

S'il n'est pas possible de maintenir la température à l'entrée de la pompe volumétrique PDP, du venturi à écoulement critique CFV ou du venturi subsonique SSV dans les limites indiquées ci-dessus, il doit être utilisé un système électronique de compensation du débit permettant la mesure continue du débit et le maintien du prélèvement d'un échantillon proportionnel dans le système double dilution. À cette fin, les signaux de débit mesurés en continu sont appliqués pour maintenir la proportionnalité du débit de gaz prélevé passant par les filtres à particules du système de double dilution (voir fig. 17) dans une fourchette de $\pm 2,5$ %.

DT Tunnel de dilution (flux total)

Le tunnel de dilution:

- a) Doit avoir un diamètre intérieur suffisamment petit pour produire un écoulement turbulent (nombre de Reynolds Re supérieur à 4 000, où Re est fondé sur le diamètre intérieur du tunnel de dilution) et une longueur suffisante pour permettre le brassage parfait des gaz d'échappement et du diluant;
- b) Peut être isolé;
- c) Peut être chauffé jusqu'à une température de paroi suffisante pour éliminer la condensation d'eau.

Le courant de gaz d'échappement doit être dirigé vers l'aval au point où il est introduit dans le tunnel de dilution et les gaz doivent être intimement mélangés avec l'air de dilution. On peut utiliser un ajutage mélangeur.

Pour le système à double dilution, un échantillon prélevé dans le tunnel de dilution est envoyé dans le tunnel de dilution secondaire où il est dilué à nouveau, puis acheminé jusqu'aux filtres de collecte (fig. 17). Le système de dilution secondaire doit fournir une quantité suffisante de diluant pour permettre de maintenir les gaz d'échappement doublement dilués à une température comprise entre 315 et 325 K (42 et 52 °C) immédiatement avant le filtre à particules.

DAF Filtre à gaz diluant

L'agent diluant (air ambiant, air synthétique, ou azote) doit être filtré avec un filtre à particules à haut rendement ayant un taux de collecte initial minimum de 99,97 % conformément à la norme EN 1822-1 (filtre de la classe H14 ou supérieur), ASTM F 1471-93 ou norme équivalente.

PSP Sonde de prélèvement des particules

La sonde, qui forme la section d'entrée du tube de transfert des particules PTT:

- a) Doit être installée ouverture vers l'amont en un point où le diluant et les gaz d'échappement sont intimement mélangés, c'est-à-dire sur l'axe médian du tunnel de dilution DT, approximativement à 10 diamètres de tunnel en aval du point où les gaz d'échappement entrent dans le tunnel de dilution;
- b) Doit avoir un diamètre intérieur minimal de 8 mm;
- c) Peut être chauffée à une température de paroi ne dépassant pas 325 K (52 °C), soit par chauffage direct, soit par préchauffage du diluant, étant entendu que la température ne doit pas dépasser 325 K (52 °C) avant l'introduction des gaz d'échappement dans le tunnel de dilution;
- d) Peut être isolée.

A.3.2.5 Système de prélèvement des particules

Le système de prélèvement des particules décrit dans les figures 16 et 17 comprend les éléments nécessaires à la collecte des particules sur les filtres à particules. Dans le cas d'un système à dilution du flux partiel à prélèvement total, dans lequel tout l'échantillon de gaz dilués traverse les filtres, le système de dilution et le système de prélèvement forment en général une seule unité (voir fig. 12). Dans le cas des systèmes à dilution du flux partiel à

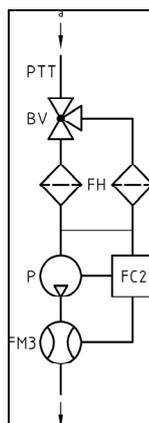
prélèvement partiel ou à dilution du flux total, dans lesquels on fait passer à travers les filtres une partie seulement des gaz d'échappement dilués, le système de dilution et le système de prélèvement forment en général des entités séparées.

Dans le cas d'un système à dilution du flux partiel, un échantillon de gaz d'échappement dilués est prélevé dans le tunnel de dilution DT par l'intermédiaire de la sonde PSP et du tube de transfert des particules PTT au moyen de la pompe de prélèvement P, comme le montre la figure 16. L'échantillon traverse le ou les porte-filtres FH qui contiennent les filtres à particules. Le débit des gaz prélevés est réglé par le régulateur de débit FC3.

Dans le cas d'un système à dilution du flux total, on doit utiliser un système de prélèvement des particules à double dilution comme décrit à la figure 17. Un échantillon de gaz d'échappement dilués est prélevé dans le tunnel de dilution DT par l'intermédiaire de la sonde de prélèvement PSP et du tube de transfert des particules PTT et envoyé dans le tunnel de dilution secondaire SDT, où il est dilué une seconde fois. L'échantillon passe ensuite par le ou les porte-filtres FH qui contiennent les filtres de collecte des particules. En général, le débit de diluant est constant alors que le débit des gaz prélevés est réglé par le régulateur de débit FC3. S'il existe un système électronique de compensation du débit EFC (voir fig. 15), le débit total de gaz d'échappement dilués est utilisé comme signal de commande de FC3.

Figure 16

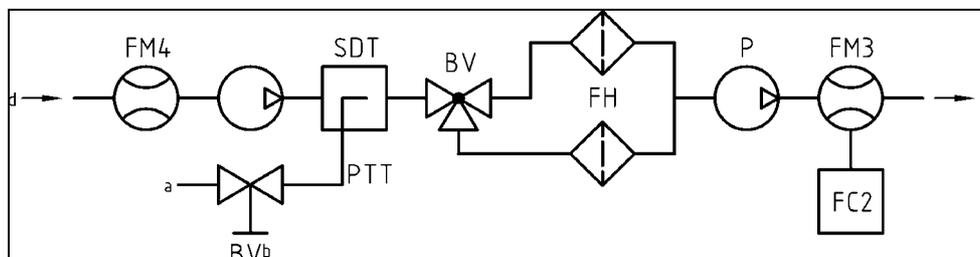
Schéma du système de prélèvement des particules



a = depuis le tunnel de dilution.

Figure 17

Schéma du système de prélèvement des particules à double dilution



a = gaz d'échappement dilués depuis DT; b = facultatif; c = vers l'atmosphère;
d = diluant secondaire.

A.3.2.6 Éléments des figures 16 (système à flux partiel seulement)
et 17 (système à flux total seulement)

PTT Tube de transfert pour les particules

Le tube de transfert:

- a) Doit être inerte au contact de matières particulaires;
- b) Peut être chauffé à une température de paroi ne dépassant pas 325 K (52 °C);
- c) Peut être isolé.

SDT Tunnel de dilution secondaire (fig. 17 seulement)

Le tunnel de dilution secondaire:

- a) Doit avoir une longueur et un diamètre suffisants pour satisfaire aux prescriptions du paragraphe 9.4.2 f) relatives au temps de séjour;
- b) Peut être chauffé à une température de paroi ne dépassant pas 325 K (52 °C);
- c) Peut être isolé.

FH Porte-filtre

Le porte-filtre:

- a) Doit former un angle de cône divergent de 12,5 ° (à partir du centre) par rapport à la transition entre le diamètre de la conduite de transfert et le diamètre exposé de la face avant du filtre;
- b) Peut être chauffé à une température de paroi ne dépassant pas 325 K (52 °C);
- c) Peut être isolé.

Les changeurs à filtres multiples (changeurs automatiques) sont admis à condition qu'il n'y ait pas d'interaction entre les filtres de collecte.

Les filtres à membrane de PTFE doivent être placés dans une cassette spécifique à l'intérieur du porte-filtre.

Un séparateur primaire à inertie ayant un point de coupure à 50 % compris entre 2,5 µm et 10 µm doit être installé immédiatement en amont du porte-filtre, si une sonde de prélèvement à tube ouvert orienté vers l'amont est utilisée.

P Pompe de prélèvement

FC2 Régulateur de débit

Un régulateur de débit doit être utilisé pour régler le débit de prélèvement des particules.

FM3 Débitmètre

Il s'agit d'un compteur à gaz ou d'un appareil de mesure du débit de prélèvement des particules passant par le filtre à particules. Il peut être installé en amont ou en aval de la pompe de prélèvement P.

FM4 Débitmètre

Compteur à gaz ou appareil de mesure du débit de diluant secondaire passant à travers le filtre à particules.

BV Robinet à boisseau sphérique (facultatif)

Le robinet à boisseau sphérique doit avoir un diamètre intérieur au moins égal à celui du tube de transfert des particules PTT, et un temps de manœuvre inférieur à 0,5 s.

Annexe 4

Statistiques

A.4.1 Valeur moyenne et écart type

La valeur moyenne arithmétique doit être calculée comme suit:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (95)$$

L'écart type doit être calculé comme suit:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (96)$$

A.4.2 Analyse de régression

La pente de la droite de régression doit être calculée comme suit:

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) \times (x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (97)$$

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

$$a_0 = \bar{y} - (a_1 \times \bar{x}) \quad (98)$$

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

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [y_i - a_0 - (a_1 \times x_i)]^2}{n-2}} \quad (99)$$

Le coefficient de détermination doit être calculé comme suit:

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [y_i - a_0 - (a_1 \times x_i)]^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (100)$$

A.4.3 Détermination de l'équivalence d'un système

La détermination de l'équivalence d'un système conformément aux prescriptions du paragraphe 5.1.1 doit se fonder sur une étude de corrélation portant sur sept paires (ou plus) d'échantillons entre le système à l'examen et l'un des systèmes de référence du présent RTM, au moyen du ou des cycle(s) d'essai approprié(s). Les critères d'équivalence à appliquer sont le test F et le test t (de Student) bilatéral.

Cette méthode statistique examine l'hypothèse selon laquelle l'écart type et la valeur moyenne de l'échantillon d'une émission mesurée par le système à l'examen ne s'écartent pas de l'écart type et de la valeur moyenne de l'échantillon pour ces émissions, mesurées avec le système de référence. L'hypothèse est vérifiée sur la base d'un niveau de signification de 10 % des valeurs F et t . Les valeurs critiques de F et t pour 7 à 10 paires d'échantillons sont indiquées au tableau 9. Si les valeurs F et t calculées selon la formule ci-dessous sont supérieures aux valeurs critiques de F et t , le système à l'examen n'est pas équivalent.

La procédure suivante doit être appliquée. Les indices R et C désignent respectivement le système de référence et le système à l'examen:

- Effectuer au moins sept essais au cours desquels le système à l'examen et le système de référence sont utilisés en parallèle. Le nombre d'essais est désigné par n_R et n_C , respectivement;
- Calculer les valeurs moyennes \bar{x}_R et \bar{x}_C et les écarts types s_R et s_C ;
- Calculer la valeur F comme suit:

$$F = \frac{s_{\text{major}}^2}{s_{\text{minor}}^2} \quad (101)$$

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

- Calculer la valeur t comme suit:

$$t = \frac{|x_C - x_R|}{\sqrt{(n_C - 1) \times s_C^2 + (n_R - 1) \times s_R^2}} \times \sqrt{\frac{n_C \times n_R \times (n_C + n_R - 2)}{n_C + n_R}} \quad (102)$$

- Comparer les valeurs F et t calculées avec les valeurs F et t critiques correspondant au nombre respectif d'essais indiqué au tableau 9. Si des tailles d'échantillons plus grandes sont utilisées, on doit se reporter à des tables statistiques pour un niveau de signification de 10 % (niveau de confiance: 90 %);
- Déterminer les degrés de liberté (df), comme suit:

$$\text{pour le test } F: \quad df1 = n_R - 1, df2 = n_C - 1 \quad (103)$$

$$\text{pour le test } t: \quad df = (n_C + n_R - 2)/2 \quad (104)$$

- g) Déterminer l'équivalence comme suit:
- i) Si $F < F_{\text{crit}}$ et $t < t_{\text{crit}}$, le système à l'examen est équivalent au système de référence du présent RTM;
 - ii) Si $F \geq F_{\text{crit}}$ ou $t \geq t_{\text{crit}}$, le système à l'examen n'est pas équivalent au système de référence du présent RTM.

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

Taille de l'échantillon	Test F		Test t	
	df	F_{crit}	df	t_{crit}
7	6/6	3,055	12	1,782
8	7/7	2,785	14	1,761
9	8/8	2,589	16	1,746
10	9/9	2,440	18	1,734

Annexe 5

Contrôle du flux de carbone

A.5.1 Introduction

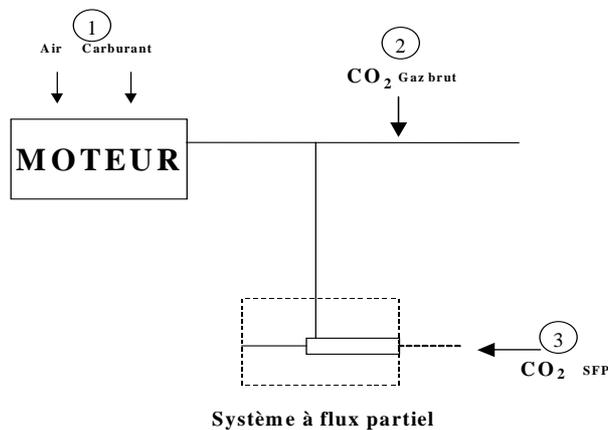
Tout le contenu de carbone des gaz d'échappement, à peu de chose près, provient du carburant et la quasi-totalité de ce carbone se retrouve dans les gaz d'échappement sous forme de CO_2 . C'est sur cette base que repose un système de contrôle par mesure du CO_2 .

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

À cet égard, le moteur constitue une source connue de flux de carbone, et le suivi de ce flux de carbone dans le tuyau d'échappement et à la sortie du système de prélèvement des particules à flux partiel permet de vérifier l'étanchéité aux fuites et la précision de la mesure du débit. L'avantage de cette méthode de contrôle est que les composants fonctionnent dans les conditions normales de fonctionnement du moteur en ce qui concerne la température et le débit.

La figure 18 indique les points de prélèvement où les flux de carbone doivent être contrôlés. Les équations spécifiques pour les flux de carbone en chacun des points de prélèvement sont données ci-après.

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



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

Le débit massique de carbone entrant dans le moteur pour un carburant $\text{CH}_\alpha\text{O}_\varepsilon$ est donné par la formule:

$$q_{mCf} = \frac{12\beta}{12\beta + \alpha + 16\varepsilon} \times q_{mf} \quad (105)$$

où:

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

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

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

$$q_{mCe} = \left(\frac{c_{\text{CO}_2,r} - c_{\text{CO}_2,a}}{100} \right) \times q_{mew} \times \frac{12,011}{M_e} \quad (106)$$

où:

$c_{\text{CO}_2,r}$ est la concentration de CO_2 en conditions humides dans les gaz d'échappement bruts, en %;

$c_{\text{CO}_2,a}$ est la concentration de CO_2 en conditions humides dans l'air ambiant, en %;

q_{mew} est le débit massique des gaz d'échappement en conditions humides, en kg/s;

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

Si le CO_2 est mesuré sur base sèche, les chiffres doivent être convertis en valeurs sur base humide conformément au paragraphe 8.1.

A.5.4 Débit de carbone dans le système de dilution (point de prélèvement 3)

Pour le système à dilution du flux partiel, il faut aussi tenir compte du rapport de division. Le débit de carbone doit être déterminé à partir de la concentration de CO_2 dans les gaz d'échappement dilués, du débit massique des gaz d'échappement et du débit de l'échantillon:

$$q_{mCp} = \left(\frac{c_{\text{CO}_2,d} - c_{\text{CO}_2,a}}{100} \right) \times q_{mdew} \times \frac{12,011}{M_e} \times \frac{q_{mew}}{q_{mp}} \quad (106a)$$

où:

$c_{\text{CO}_2,d}$ est la concentration de CO_2 en conditions humides dans les gaz d'échappement dilués à la sortie du tunnel de dilution, en %;

$c_{\text{CO}_2,a}$ est la concentration de CO_2 en conditions humides dans l'air ambiant, en %;

q_{mew} est le débit massique des gaz d'échappement en conditions humides, en kg/s;

q_{mp} est le débit de l'échantillon dans le système à dilution du flux partiel, en kg/s;

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

Si le CO₂ est mesuré sur base sèche, les chiffres doivent être convertis en valeurs sur base humide conformément au paragraphe 8.1.

A.5.5 Calcul de la masse molaire des gaz d'échappement

La masse molaire des gaz d'échappement doit être calculée conformément à l'équation 41 (voir par. 8.4.2.4).

Par défaut, les masses molaires suivantes peuvent être utilisées pour les gaz d'échappement:

$$M_e (\text{gazole}) = 28,9 \text{ g/mol};$$

$$M_e (\text{GPL}) = 28,6 \text{ g/mol};$$

$$M_e (\text{GN}) = 28,3 \text{ g/mol}.$$

Annexe 6

Exemple de procédure de calcul

A.6.1 Opération de dénormalisation du régime et du couple

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

$$\% \text{ régime} = 43 \%;$$

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

Sur la base des valeurs suivantes:

$$n_{lo} = 1\,015 \text{ min}^{-1};$$

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

$$n_{pref} = 1\,300 \text{ min}^{-1};$$

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

Ce qui donne:

Régime réel =

$$\frac{43 \times (0,45 \times 1\,015 + 0,45 \times 1\,300 + 0,1 \times 2\,200 - 600) \times 2,0327}{100} + 600 = 1\,178 \text{ min}^{-1}$$

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

$$\text{Couple réel} = \frac{82 \times 700}{100} = 574 \text{ Nm}.$$

A.6.2 Données de base pour les calculs stœchiométriques

Masse atomique de l'hydrogène	1,00794 g/atome
Masse atomique du carbone	12,011 g/atome
Masse atomique du soufre	32,065 g/atome
Masse atomique de l'azote	14,0067 g/atome
Masse atomique de l'oxygène	15,9994 g/atome
Masse atomique de l'argon	39,9 g/atome
Masse molaire de l'eau	18,01534 g/mol
Masse molaire du dioxyde de carbone	44,01 g/mol
Masse molaire du monoxyde de carbone	28,011 g/mol
Masse molaire de l'oxygène	31,9988 g/mol
Masse molaire de l'azote	28,011 g/mol
Masse molaire de l'oxyde nitrique	30,008 g/mol
Masse molaire du dioxyde d'azote	46,01 g/mol
Masse molaire du dioxyde de soufre	64,066 g/mol
Masse molaire de l'air sec	28,965 g/mol

En supposant l'absence d'effets de compressibilité, tous les gaz à prendre en compte dans le processus admission/combustion/échappement du moteur peuvent être considérés comme idéaux et tous les calculs volumétriques peuvent donc se baser sur un volume molaire de 22,414 l/mol selon l'hypothèse d'Avogadro.

A.6.3 Émissions gazeuses (gazole)

Les résultats de mesures en un point donné du cycle d'essai (fréquence d'échantillonnage des données de 1 Hz) pour le calcul des émissions massiques instantanées sont indiqués ci-dessous. Dans cet exemple, le CO et les NO_x sont mesurés sur base sèche, et les HC sur base humide. La concentration de HC est donnée en équivalent propane (C3) et doit être multipliée par trois pour obtenir l'équivalent C1. La procédure de calcul est identique pour les autres points du cycle.

Dans l'exemple ci-après, les résultats intermédiaires des différentes étapes sont présentés sous forme arrondie pour plus de clarté. Il doit être noté cependant que, pour les calculs réels, il n'est pas permis d'arrondir les résultats intermédiaires (voir par. 8).

$T_{a,i}$ (K)	$H_{a,i}$ (g/kg)	W_{act} (kWh)	$q_{mew,i}$ (kg/s)	$q_{maw,i}$ (kg/s)	$q_{mf,i}$ (kg/s)	$c_{HC,i}$ (ppm)	$c_{CO,i}$ (ppm)	$c_{NOx,i}$ (ppm)
295	8,0	40	0,155	0,150	0,005	10	40	500

La composition du carburant est prise en considération:

Constituant	Rapport molaire	% masse
H	$\alpha = 1,8529$	$w_{ALF} = 13,45$
C	$\beta = 1,0000$	$w_{BET} = 86,50$
S	$\gamma = 0,0002$	$w_{GAM} = 0,050$
N	$\delta = 0,0000$	$w_{DEL} = 0,000$
O	$\epsilon = 0,0000$	$w_{EPS} = 0,000$

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

$$\text{Équation (17): } k_f = 0,055584 \times 13,45 - 0,0001083 \times 86,5 - 0,0001562 \times 0,05 = 0,7382$$

$$\text{Équation (14): } k_{w,a} = \left(1 - \frac{1,2434 \times 8 + 111,12 \times 13,45 \times \frac{0,005}{0,148}}{773,4 + 1,2434 \times 8 + \frac{0,005}{0,148} \times 0,7382 \times 1000} \right) \times 1,008 = 0,9331$$

$$\begin{aligned} \text{Équation (13): } c_{CO,i} \text{ (humide)} &= 40 \times 0,9331 = 37,3 \text{ ppm} \\ c_{NOx,i} \text{ (humide)} &= 500 \times 0,9331 = 466,6 \text{ ppm} \end{aligned}$$

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

$$\text{Équation (24): } k_{h,D} = \frac{15,698 \times 8,00}{1\,000} + 0,832 = 0,9576$$

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

$$\text{Équation (37): } m_{\text{HC},i} = 10 \times 3 \times 0,155 = 4,650$$

$$m_{\text{CO},i} = 37,3 \times 0,155 = 5,782$$

$$m_{\text{NO}_x,i} = 466,6 \times 0,9576 \times 0,155 = 69,26$$

Étape 4: Calcul des émissions massiques sur tout le cycle par intégration des valeurs d'émissions instantanées et des valeurs de u indiquées dans le tableau 5 (par. 8.4.2.3).

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

$$\text{Équation (37): } m_{\text{HC}} = 0,000479 \times \sum_{i=1}^{1800} 4,650 = 4,01 \text{ g/essai}$$

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

$$m_{\text{NO}_x} = 0,001586 \times \sum_{i=1}^{1800} 69,26 = 197,72 \text{ g/essai}$$

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

$$\text{Équation (72): } e_{\text{HC}} = 4,01/40 = 0,10 \text{ g/kWh}$$

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

$$e_{\text{NO}_x} = 197,72/40 = 4,94 \text{ g/kWh}$$

A.6.4 Émission de particules (gazole)

p_b (kPa)	W_{acr} (kWh)	$q_{mew,i}$ (kg/s)	$q_{mf,i}$ (kg/s)	$q_{mdw,i}$ (kg/s)	$q_{mdew,i}$ (kg/s)	m_{uncor} (mg)	m_{sep} (kg)
99	40	0,155	0,005	0,0015	0,0020	1,7000	1,515

Étape 1: Calcul de m_{edf} (par. 8.4.3.5.2):

$$\text{Équation (49): } r_{d,i} = \frac{0,002}{(0,002 - 0,0015)} = 4$$

$$\text{Équation (48): } q_{medf,i} = 0,155 \times 4 = 0,620 \text{ kg/s}$$

$$\text{Équation (47): } m_{edf} = \sum_{i=1}^{1800} 0,620 = 1,116 \text{ kg/essai}$$

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

$$\text{Équation (27): } \rho_a = \frac{99 \times 28,836}{8,3144 \times 295} = 1,164 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Équation (26): } m_f = 1,7000 \times \frac{(1 - 1,164/8,000)}{(1 - 1,164/2,300)} = 1,7006 \text{ mg}$$

Étape 3: Calcul des émissions massiques de particules (par. 8.4.3.5.2):

$$\text{Équation (46): } m_{PM} = \frac{1,7006}{1,515} \times \frac{1,116}{1,000} = 1,253 \text{ g/essai}$$

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

$$\text{Équation (72): } e_{PM} = 1,253/40 = 0,031 \text{ g/kWh.}$$

Annexe 7

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

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

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

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

Annexe 8

Réservé

Annexe 9

Procédure d'essai de moteurs montés sur des véhicules à l'aide de la méthode de simulation HIL

A.9.1 La présente annexe décrit les essais des moteurs montés sur des véhicules hybrides et les prescriptions qui leur sont applicables lorsqu'on utilise la méthode de simulation HIL.

A.9.2 Procédure d'essai

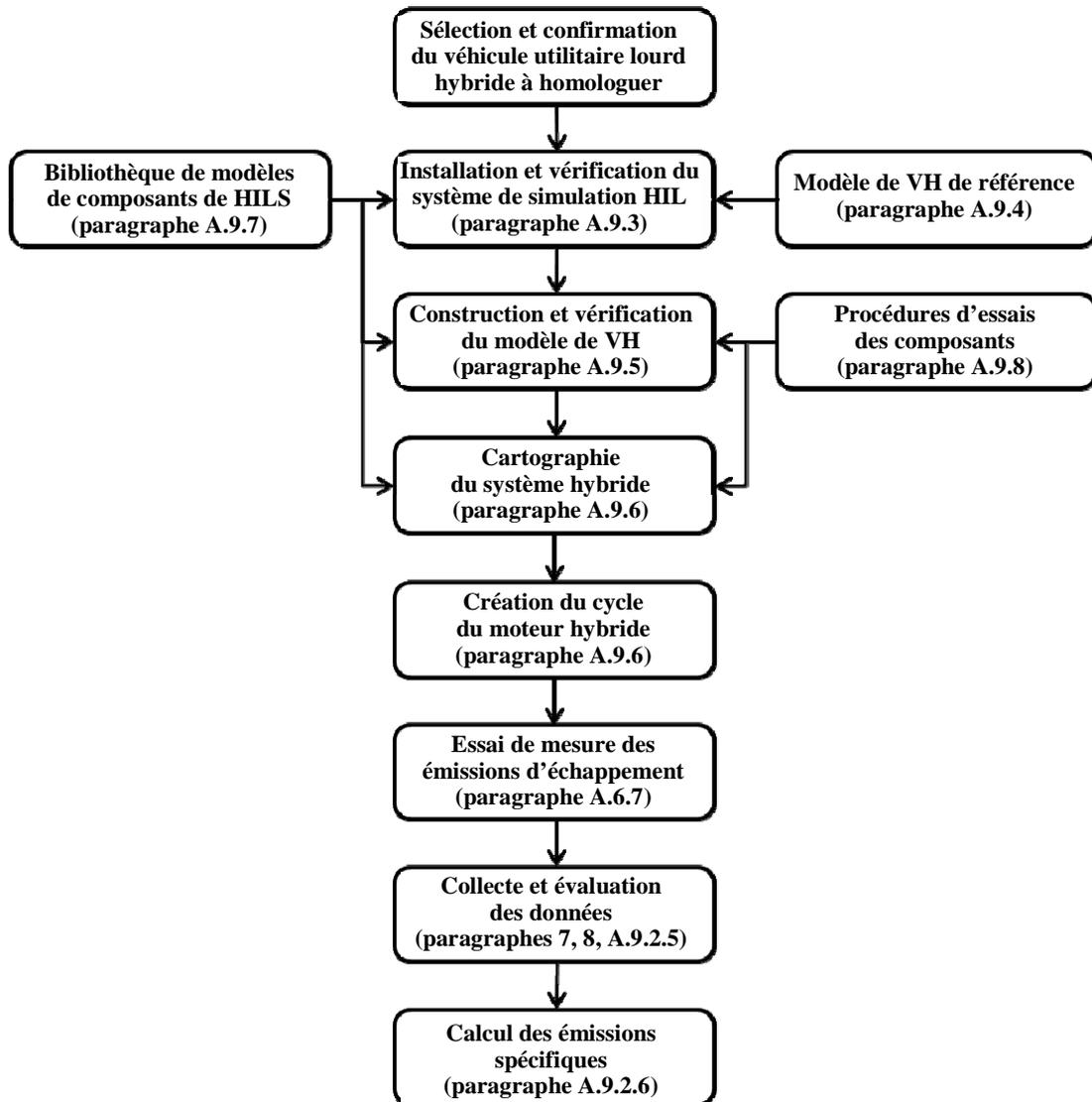
A.9.2.1 Méthode de simulation HIL

La méthode de simulation HIL doit suivre les grandes lignes des étapes de la procédure décrite ci-après et représentée schématiquement à la figure 16. Chaque étape est décrite en détail dans le paragraphe correspondant. Des écarts par rapport à la séquence recommandée sont autorisés en cas de besoin, mais les dispositions spécifiques des paragraphes pertinents doivent obligatoirement être appliquées.

Pour la méthode de simulation HIL, la procédure doit être la suivante:

- a) Sélection et confirmation du véhicule utilitaire lourd hybride à homologuer;
- b) Mise en place le système de simulation HIL;
- c) Vérification du fonctionnement du système de simulation HIL;
- d) Construction et vérification du modèle de VH;
- e) Procédures d'essais des composants;
- f) Cartographie du système hybride;
- g) Création du cycle du moteur hybride;
- h) Essai de mesure des émissions d'échappement;
- i) Collecte et évaluation des données;
- j) Calcul des émissions spécifiques.

Figure 16
Diagramme de la méthode de simulation HIL



A.9.2.2 Installation et vérification du système de simulation HIL

Le système de simulation HIL doit être construit et vérifié conformément aux dispositions du paragraphe A.9.3.

A.9.2.3 Construction et vérification du modèle de VH

Le modèle de VH de référence doit être remplacé par le modèle de VH spécifique représentant le véhicule utilitaire lourd/le groupe motopropulseur hybride à homologuer et, lorsque toutes ses autres parties sont en service, le système de simulation HIL doit respecter les dispositions du paragraphe A.9.5 pour reproduire les conditions de fonctionnement du véhicule utilitaire lourd hybride représentatif confirmé à homologuer.

A.9.2.4 Création du cycle du moteur hybride

Dans le cadre de la procédure de création du cycle d'essai du moteur hybride, il faut établir la cartographie du système hybride conformément aux dispositions du paragraphe A.9.6.3 ou A.10.4 afin d'obtenir sa puissance nominale. Le cycle du moteur hybride (HEC) doit être le résultat de la procédure de simulation HIL conformément aux dispositions du A.9.6.4.

A.9.2.5 Collecte et évaluation des données

A.9.2.5.1 Calcul du travail du système hybride

Il faut déterminer le travail du système hybride sur l'ensemble du cycle d'essai en utilisant de manière synchronisée les valeurs de régime et de couple du système hybride donnée par la simulation HIL décrite au paragraphe A.9.6.4 pour calculer les valeurs instantanées de la puissance de ce système. Les valeurs instantanées de la puissance doivent être intégrées sur l'ensemble du cycle d'essai pour calculer la travail du système hybride à partir de l'essai de simulation HIL, W_{sys_HILS} (kWh). Il faut procéder à l'intégration à une fréquence égale ou supérieure à 5 Hz (on recommande 10 Hz) et inclure toute les valeurs de puissance positives.

Le travail du système hybride W_{sys} doit être calculé comme suit:

- a) Lorsque $W_{act} < W_{eng_HILS}$:

$$W_{sys} = W_{sys_HILS} \times W_{act} / W_{eng_HILS} \quad (107)$$

- b) Lorsque $W_{act} \geq W_{eng_HILS}$

$$W_{sys} = W_{sys_HILS} \quad (108)$$

où:

W_{sys} : travail du système hybride (kWh);

W_{sys_HILS} : travail du système hybride tiré de l'essai de simulation HIL final (kWh);

W_{act} : travail du moteur au cours du cycle d'essai effectif (kWh);

W_{eng_HILS} : travail du moteur tiré de l'essai de simulation HIL final (kWh).

Tous les paramètres doivent être consignés.

A.9.2.6 Calcul des émissions spécifiques des véhicules hybrides

Les émissions spécifiques e_{gas} ou e_{PM} (g/kWh) doivent être calculées pour chaque constituant individuel comme suit:

$$e = \frac{m}{W_{sys}} \quad (109)$$

où:

e est l'émission spécifique (g/kWh);

m est la masse des émissions du constituant, (g/essai);

W_{sys} est le travail du cycle déterminé conformément au paragraphe A.9.2.5.1 (kWh).

Le résultat final de l'essai doit être une moyenne pondérée des résultats de l'essai de démarrage à froid et de l'essai de démarrage à chaud, calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$e = \frac{(0.14 \times m_{\text{cold}}) + (0.86 \times m_{\text{hot}})}{(0.14 \times W_{\text{sys,cold}}) + (0.86 \times W_{\text{sys,hot}}} \quad (110)$$

où:

m_{cold} est la masse des émissions du constituant pendant l'essai de démarrage à froid, (g/essai);

m_{hot} est la masse des émissions du constituant pendant l'essai de démarrage à chaud, (g/essai);

$W_{\text{sys,cold}}$ est le travail effectif au cours du cycle du système hybride pendant l'essai de démarrage à froid, (kWh);

$W_{\text{sys,hot}}$ est le travail effectif au cours du cycle du système hybride pendant l'essai de démarrage à chaud, (kWh).

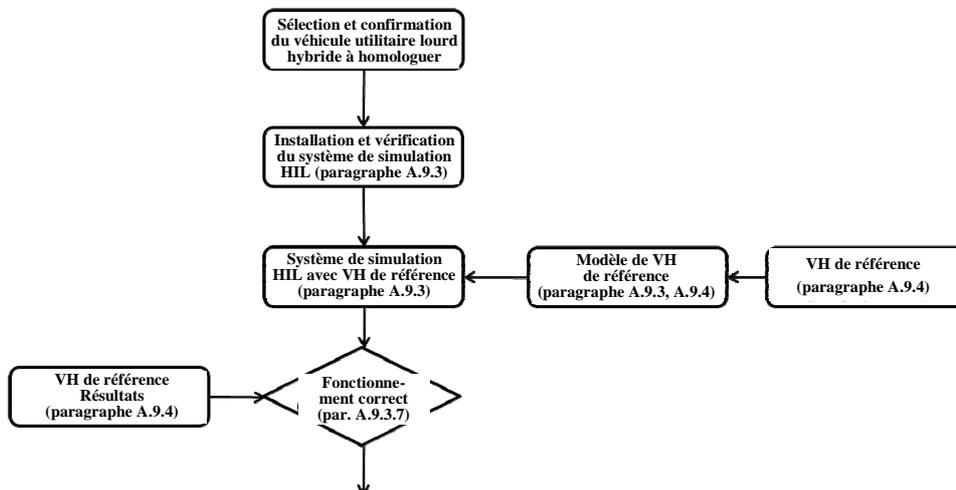
Si la régénération périodique conformément au paragraphe 6.6.2 s'applique, les facteurs d'ajustement $k_{r,u}$ ou $k_{r,d}$ doivent, respectivement, être multipliés par la valeur e des émissions spécifiques ou lui être ajoutés comme indiqué dans les équations 109 et 110.

A.9.3 Installation et vérification du système de simulation HIL

A.9.3.1 Introduction générale

La figure 17 ci-dessous illustre la marche à suivre pour construire et vérifier le système simulation HIL et indique les différentes étapes de la procédure qu'il convient de mettre en œuvre.

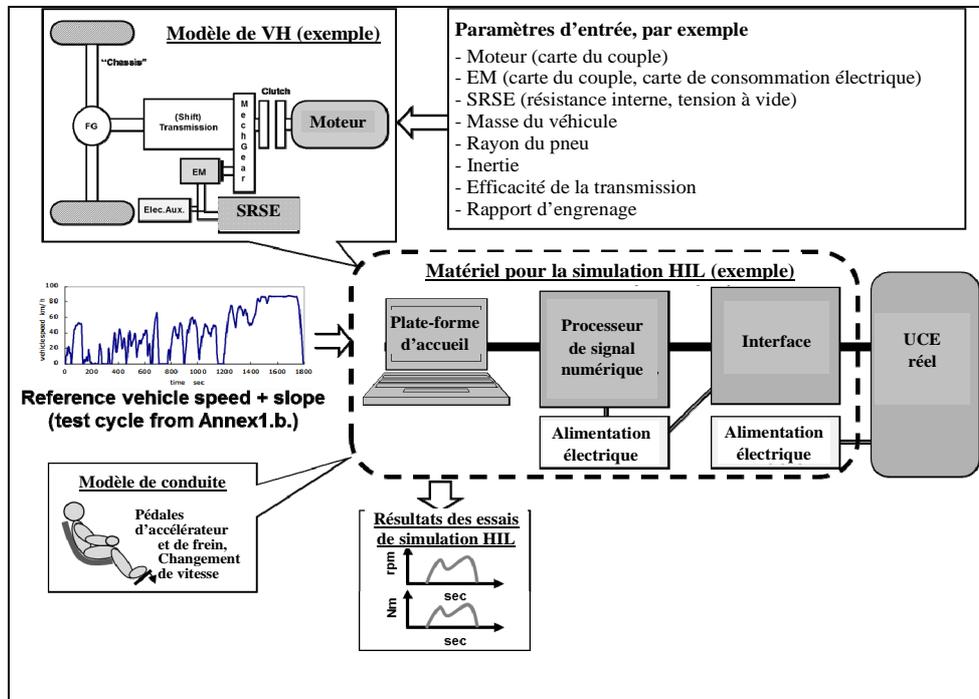
Figure 17
Diagramme d'installation et de vérification du système de simulation HIL



Le système de simulation HIL doit comporter, comme le montre la figure 18, tout le matériel nécessaire, un modèle de CVH et ses paramètres d'entrée, un modèle de conduite et le cycle d'essai tel qu'il est défini à l'annexe 1.b, ainsi que l'unité de contrôle électronique hybride du véhicule à moteur essayé (appelé ci-après «UCE réelle») et son alimentation électrique et la ou les interface(s) nécessaires. Le système de simulation HIL doit être défini conformément aux

paragraphes A.9.3.2 à A.9.3.6. et considéré comme valable lorsqu'il satisfait aux critères du paragraphe A.9.3.7. Le modèle de VH de référence (par. A.9.4.) et la bibliothèque de composants de la simulation HIL (par. A.9.7.) doivent être appliqués dans ce processus.

Figure 18
Aperçu de la configuration d'un système de simulation HIL



A.9.3.2 Matériel de simulation HIL

Le matériel de simulation HIL doit comporter tous les systèmes physique nécessaires pour construire le système de simulation HIL, mais sans le ou les UCE réel(s).

Le matériel de simulation HIL doit disposer des types de signaux et du nombre de canaux requis pour construire l'interface entre ce matériel et le ou les UCE réel(s), et il faut le vérifier et l'étalonner conformément aux procédures décrites au paragraphe A.9.3.7 et à l'aide du modèle de VH de référence du paragraphe A.9.4.

A.9.3.3 Interface logicielle du système de simulation HIL

L'interface logicielle du système de simulation HIL doit être spécifiée et établie conformément aux prescriptions applicables au modèle de véhicule (hybride) comme il est spécifié au paragraphe A.9.3.5 et en fonction de ce qui est nécessaire pour faire fonctionner le modèle de VH et le ou les UCE réel(s). Elle doit constituer la liaison fonctionnelle entre le modèle de VH, le modèle de conduite et le matériel du système de simulation HIL. Des signaux spécifiques peuvent en outre être définis dans le modèle d'interface pour permettre le fonctionnement correct du ou des UCE réel(s), par exemple des signaux ABS.

L'interface ne doit pas contenir de fonctionnalités de contrôle hybrides clefs comme il est spécifié au paragraphe A.9.3.4.1.

A.9.3.4 UCE réel(s)

Il faut utiliser le ou les UEC du système hybride pour mettre le système en place. Si les fonctionnalités du système hybride sont exécutées par plusieurs contrôleurs, ces contrôleurs peuvent être intégrés par interface ou par émulation logicielle. Toutefois, les fonctionnalités hybrides clefs doivent être exécutées par les contrôles matériels dans le cadre de la mise en place du système de simulation HIL.

A.9.3.4.1 Fonctionnalités hybrides clefs

Réservé.

A.9.3.5 Modèle de véhicule

Un modèle de véhicule doit être représentatif de toutes les caractéristiques du véhicule (utilitaire lourd)/groupe motopropulseur hybride à utiliser dans le système de simulation HIL. Le modèle de VH doit être construit en définissant ses composants conformément au paragraphe A.9.7.

La méthode de simulation HIL requiert deux modèles de VH qui doivent être construits comme suit:

- a) Un modèle de VH de référence conforme à la définition qu'en donne le paragraphe A.9.4. doit être utilisé pour effectuer une simulation avec logiciel dans la boucle (SILS) à l'aide du système de simulation HIL afin de confirmer les performances de ce système;
- b) Un modèle de VH spécifique défini conformément au paragraphe A.9.5 doit pouvoir être considéré comme représentatif du groupe motopropulseur hybride spécifique. Il doit être utilisé pour déterminer le cycle d'essai du moteur hybride conformément au paragraphe A.9.6 dans le cadre de la procédure de simulation HIL.

A.9.3.6 Modèle de conduite

Le modèle de conduite doit comporter toutes les fonctions nécessaires à la conduite du modèle de VH au cours de l'essai et notamment des signaux correspondant aux pédales d'accélérateur et de frein ainsi qu'un changement de vitesses et des positions bien définies en cas de transmission manuelle.

Les tâches du modèle de conduite peuvent être mises en œuvre à l'aide d'un système de contrôle en boucle fermé ou de tables de recherche en fonction de la durée de l'essai.

A.9.3.7 Vérification du fonctionnement de l'installation du système de simulation HIL

Il faut vérifier le fonctionnement de l'installation du système de simulation HIL tout au long de l'essai en utilisant le modèle de VH de référence (par. A.9.4).

Il faut établir une régression linéaire des valeurs calculées obtenue lors de l'essai de simulation HIL du modèle de VH par rapport aux valeurs de référence fournies (par. A.9.4.4). La méthode des moindres carrés

doit être appliquée, l'équation de meilleur ajustement ayant la forme suivante:

$$y = a \times x + b \quad (111)$$

où:

y = valeur réelle du signal;

x = valeur réelle du signal;

a = pente de la droite de régression;

b = l'ordonnée à l'origine de la droite de régression.

Pour que l'installation du système de simulation HIL soit considérée comme valable, les critères du tableau 10 doivent être respectés.

Si le langage de programmation utilisé pour le modèle de VH n'est pas Matlab®/Simulink®, il faut confirmer les performances de calcul de l'installation du système de simulation HIL en vérifiant le modèle de VH spécifique conformément au paragraphe A.9.5.

Tableau 10
Tolérances applicables à la vérification du fonctionnement de l'installation du système de simulation HIL

Éléments vérifiés	Critères		
	pente, a	ordonnée à l'origine y , b	coefficient de détermination, r^2
Vitesse du véhicule	0,9995 – 1,0005	±0,05 % ou moins de la valeur maximale	0,995 ou plus élevé
Régime du MCI			
Couple du MCI			
Régime du ME			
Couple du ME			
Tension du SRSE			
Courant du SRSE			
Charge du SRSE			

A.9.4 Modèle de véhicule hybride de référence

A.9.4.1 Introduction générale

Le modèle de VH de référence est destiné à être utilisé pour confirmer les performances de calcul (par exemple la justesse et la fréquence) de l'installation du système de simulation HIL (par. A.9.3) à l'aide d'une topologie hybride prédéfinie et d'une fonction de contrôle des valeurs calculées de la simulation HIL comparées aux valeurs de références prévues.

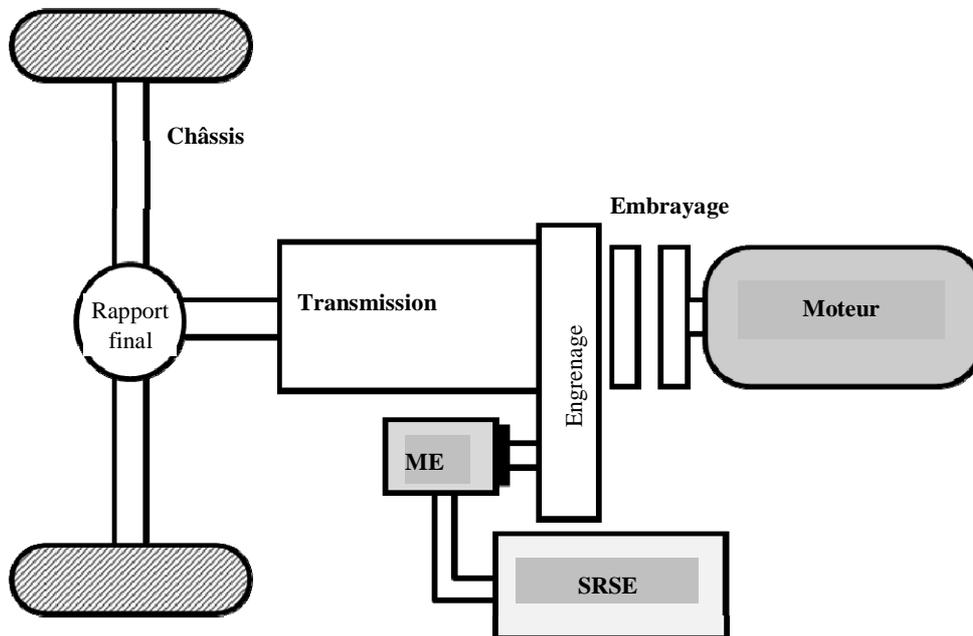
A.9.4.2 Description du modèle de VH de référence

Comme le montre la figure 19, le modèle de VH de référence dispose d'un groupe motopropulseur hybride parallèle composée des éléments ci-dessous et comporte sa propre stratégie de contrôle:

- a) Moteur à combustion interne;
- b) Embrayage;
- c) Batterie;
- d) Moteur électrique;
- e) Engrenage (pour relier le ME à l'embrayage et à la transmission);
- f) Transmission à embrayage;
- g) Rapport final;
- h) Châssis, y compris les roues et la carrosserie.

Le modèle de VH de référence se trouve dans la bibliothèque HIL, qui est consultable à l'adresse http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29glob_registry.html. Ce modèle est appelé «reference_hybrid_vehicle_model.mdl» et ses paramètres ainsi que les résultats de l'essai de simulation SIL se trouvent dans la bibliothèque HIL dans le répertoire «<root>\HILS_GTR\Vehicles\ReferenceHybridVehicleModel» (et dans tous ses sous-répertoires).

Figure 19
Topologie du groupe motopropulseur du modèle de VH de référence



A.9.4.3 Paramètres d'entrée du modèle de VH

Toutes les données d'entrée des composants du modèle de VH de référence sont prédéfinies et figurent dans le répertoire du modèle:

«<root>\HILS_GTR\Vehicles\ReferenceHybridVehicleModel\Parameter Data».

On trouve dans ce répertoire des fichiers contenant les données d'entrée spécifiques pour:

- a) Le modèle de moteur (à combustion interne): «para_engine_ref.m»;
- b) Le modèle d'embrayage: «para_clutch_ref.m»;
- c) Le modèle de batterie: «para_battery_ref.m»;
- d) Le modèle de moteur électrique: «para_elmachine_ref.m»;
- e) L'engrenage : «para_mechgear_ref.m»;
- f) Le modèle de transmission: «para_transmission_ref.m»;
- g) Le modèle de rapport final: «para_finalgear_ref.m»;
- h) Le modèle de châssis du véhicule: «para_chassis_ref.m»;
- i) Le cycle d'essai: «para_drivecycle_ref.m»;
- j) La stratégie de contrôle hybride: «ReferenceHVModel_Input.mat».

La stratégie de contrôle hybride fait partie intégrante du modèle de VH de référence et ses paramètres de contrôle du moteur, du moteur électrique, de l'embrayage et du reste sont définis dans des tables de recherche et classés dans le dossier indiqué.

A.9.4.4 Paramètres de sortie du VH de référence

L'annexe 1.b présente une partie du cycle d'essai couvrant les 140 premières secondes qui est utilisé pour effectuer la simulation SIL sur le modèle de VH de référence. Les données calculées pour l'essai SIL en utilisant le système de simulation HIL doivent être enregistrées à la fréquence d'au moins 5 Hz et comparées aux données de sortie de référence consignées dans le dossier «ReferenceHVModel_Output.mat» qui se trouve dans la bibliothèque HIL dans le répertoire: «<root>\HILS_GTR\Vehicles\ReferenceHybridVehicleModel\SimResults».

Les données de sortie de l'essai SIL doivent satisfaire aux critères énumérés au tableau 10.

A.9.5 Construction et vérification du modèle de VH spécifique

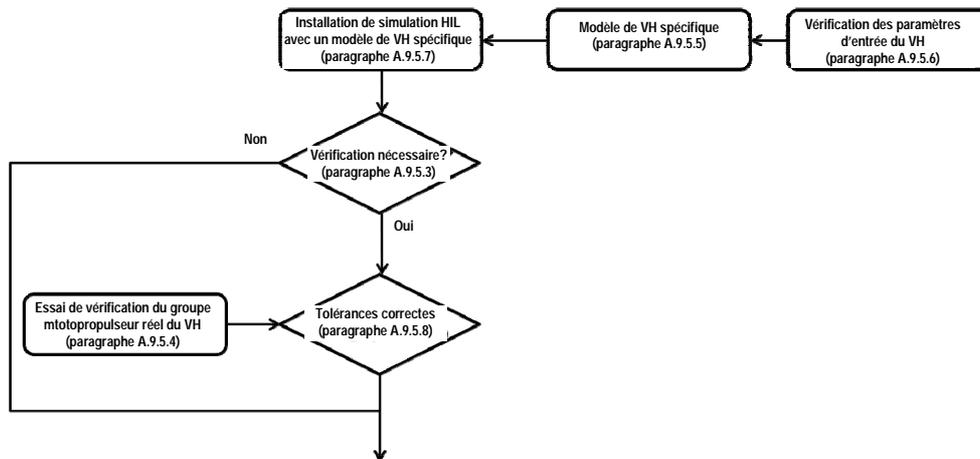
A.9.5.1 Introduction

La procédure ci-après doit s'appliquer à la construction et à la vérification d'un modèle de VH spécifique qui soit représentatif du groupe motopropulseur hybride réel pour utilisation dans le système de simulation HIL conformément au paragraphe A.9.3.

A.9.5.2 Procédure générale

Le diagramme de la figure 20 représente les diverses étapes qui permettent d'aboutir à un modèle de VH spécifique vérifié.

Figure 20
Schéma de principe de la construction et de la vérification d'un modèle de VH spécifique



A.9.5.3 Cas nécessitant de vérifier le modèle de VH spécifique et le système de simulation HIL

La vérification vise à s'assurer de la précision de la simulation du fonctionnement du modèle de VH spécifique. Il faut y procéder lorsqu'il est nécessaire de confirmer que l'installation du système de simulation HIL ou le modèle de VH spécifique correspondent bien au groupe motopropulseur hybride de l'essai.

Au cas où les conditions ci-après s'appliquent, il faut procéder à la vérification conformément aux paragraphes A.9.5.4 à A.9.5.8:

- a) On utilise le système de simulation et son ou ses UCE réels(s) pour la première fois, par exemple après des modifications apportées au matériel ou l'étalonnage du ou des UCE effectif(s);
- b) L'installation du système du VH a été modifiée;
- c) Des modifications ont été apportées à des modèles de composants (changements structurels, augmentation ou diminution du nombre des paramètres d'entrée du modèle);
- d) Les composants du modèle sont utilisés différemment (par exemple, passage de la transmission manuelle à la transmission automatisée);
- e) On a modifié les temps de réponse ou les constantes de temps des modèles (moteur à combustion interne ou moteur électrique, changement de vitesse, etc.);
- f) On a modifié le modèle d'interface;
- g) Un modèle de composant spécifique à un constructeur est utilisé pour la première fois.

L'autorité d'homologation de type peut décider que d'autres cas existent et exiger des vérifications.

Le système de simulation HIL et le modèle de VH spécifique doivent être soumis à l'approbation de l'autorité d'homologation de type ou de certification. Tout écart doit lui être communiqué, en même temps que sa justification et toutes les informations techniques pertinentes à

l'appui. Ces informations techniques doivent être fondées sur des calculs, estimations, descriptions des modèles, résultats expérimentaux, etc.

A.9.5.4 Essai réel du groupe motopropulseur hybride

A.9.5.4.1 Spécifications et choix du groupe motopropulseur hybride pour l'essai Réservé.

A.9.5.4.2 Procédure d'essai

L'essai de vérification utilisant le groupe motopropulseur hybride traction hybride d'essai, (désigné ci-après comme «essai réel du groupe motopropulseur hybride»), qui sert de norme de vérification du système de simulation HIL, doit être effectué par l'une des méthodes décrites aux paragraphes A.9.5.4.2.1 à A.9.5.4.2.2.

On peut omettre les dispositions relatives à la mesure des émissions d'échappement.

A.9.5.4.2.1 Essai du groupe motopropulseur hybride sur dynamomètre

Réservé.

A.9.5.4.2.2 Essai du châssis sur dynamomètre

Réservé.

A.9.5.4.3 Conditions d'essai

Il faut procéder en effectuant le cycle d'essai complet tel qu'il est défini à l'annexe 1.b en utilisant la puissance nominale du système hybride conformément à la spécification du fabricant. L'essai doit permettre d'analyser les données mesurées dans les deux circonstances suivantes:

- a) Une partie du cycle d'essai définie comme étant la période couvrant les 140 premières secondes;
- b) Le cycle d'essai complet.

A.9.5.4.4 Variables mesurées

Pour tous les composants concernés, il faut enregistrer au moins les variables ci-dessous à l'aide d'un équipement et d'appareils de mesures appropriés (de préférence) ou encore de données d'UCE (par exemple des signaux CAN). La précision des appareils de mesure doit être conforme aux dispositions des paragraphes 9.2 et A.8.8.3. La fréquence de prélèvements des données doit être de 5 Hz ou supérieure. Les données ainsi obtenues doivent devenir les données réellement mesurées pour la vérification du système de simulation HIL (appelées ci-après «valeurs de vérification réellement mesurées»):

- a) Vitesse du système hybride (min-1), couple du système hybride (Nm), puissance du système hybride (kW);
- b) Point de consigne et vitesse réelle du véhicule (km/h);
- c) Nombre de manipulations effectuées par le conducteur du véhicule (accélérations, freinages, embrayages et changements de vitesse) ou de manipulations sur le dynamomètre (angle d'ouverture du papillon des gaz). Tous les signaux doivent être exprimés en unités utilisables par le système et susceptibles d'être converties et interpolées selon les besoins;

- d) Régime du moteur (min^{-1}), valeurs de commande du moteur (-, %, Nm selon les cas);
- e) Régime du moteur électrique (min^{-1}), valeur de commande du couple (-, %, Nm selon les cas) (ou leurs signaux physiques équivalents respectifs);
- f) Puissance (kW), tension (V) et courant (A) du système de stockage d'énergie (rechargeable) (ou leurs signaux physiques équivalents respectifs).

A.9.5.5 Modèle de VH spécifique

Le modèle de VH spécifique à homologuer doit être défini conformément au paragraphe A.9.3.5 b) et ses paramètres d'entrée conformément au paragraphe A.9.5.6.

A.9.5.6 Paramètres d'entrée pour la vérification du modèle de VH spécifique

A.9.5.6.1 Introduction générale

Les paramètres d'entrée des composants du modèle de VH spécifique à homologuer doivent être définis comme il est indiqué aux paragraphes A.9.5.6.2 à A.9.5.6.16.

A.9.5.6.2 Caractéristiques du moteur

Les paramètres relatifs aux caractéristiques du couple du moteur doivent être les données obtenues conformément au paragraphe A.9.8.3. On peut toutefois ajouter des valeurs équivalentes ou inférieures à la vitesse de rotation minimale du moteur.

A.9.5.6.3 Caractéristiques du moteur électrique

Les paramètres relatifs aux caractéristiques du couple du moteur électrique et à la consommation d'énergie électrique doivent être les données obtenues conformément au paragraphe A.9.8.4. On peut toutefois ajouter des valeurs à une vitesse de rotation de 0 t/min.

A.9.5.6.4 Caractéristiques de la batterie

A.9.5.6.4.1 Modèle à résistance

Les paramètres de la résistance interne et de la tension à circuit ouvert de la batterie doivent être les données d'entrée obtenue conformément au paragraphe A.9.8.5.1.

A.9.5.6.4.2 Modèle à circuit RC

Les paramètres du modèle de batterie à circuit RC doivent être les données d'entrée obtenue conformément au paragraphe A.9.8.5.2.

A.9.5.6.5 Caractéristiques du condensateur

Les paramètres du modèle de condensateur doivent être les données d'entrée obtenue conformément au paragraphe A.9.8.5.3.

A.9.5.6.6 Masse d'essai et masse à vide du véhicule

Il faut calculer la masse d'essai du véhicule $m_{\text{véhicule}}$ à l'aide de la puissance nominale du système hybride P_{rated} , telle qu'elle est spécifiée par le constructeur pour le groupe motopropulseur hybride réel, au moyen de l'équation suivante:

$$m_{\text{véhicule}} = 15.1 \times P_{\text{rated}}^{1.31} \quad (112)$$

Il faut calculer la masse à vide du véhicule $m_{\text{véhicule},0}$ en fonction de la masse d'essai du véhicule au moyen des équations suivantes:

a) pour $m_{\text{véhicule}} \leq 35240$ kg:

$$m_{\text{véhicule},0} = 7.38 \times 10^{-6} \times m_{\text{véhicule}}^2 + 0.604 \times m_{\text{véhicule}} \quad (113)$$

ou

b) pour $m_{\text{véhicule}} > 35240$ kg:

$$m_{\text{véhicule},0} = 12120 \text{ kg} \quad (114)$$

A.9.5.6.7 Coefficients de résistance à l'air

Il faut calculer la surface frontale du véhicule en fonction de la masse d'essai du véhicule conformément au paragraphe A.9.5.6.6. au moyen des équations suivantes:

a) pour $m_{\text{véhicule}} \leq 18050$ kg:

$$A_{\text{front}} = -1.69 \times 10^{-8} \times m_{\text{véhicule}}^2 + 6.33 \times 10^{-4} \times m_{\text{véhicule}} + 1.67 \quad (115)$$

ou

b) pour $m_{\text{véhicule}} > 18050$ kg:

$$A_{\text{front}} = 7.59 \text{ m}^2 \quad (116)$$

Le coefficient de résistance à l'air du véhicule C_{drag} (-) doit être calculé comme suit:

$$C_{\text{drag}} = \frac{3.6^2 \times (0.00299 \times A_{\text{front}} - 0.000832) \times g}{0.5 \times \rho_a \times A_{\text{front}}} \quad (117)$$

où:

g : accélération gravitationnelle fixée à 9.80665 (m/s²);

ρ_a : masse volumique de l'air fixée à 1.17 kg/m³;

A.9.5.6.8 Coefficient de résistance au roulement

Le coefficient de résistance au roulement doit être calculé comme suit:

$$f_{\text{roll}} = 0.00513 + \frac{17.6}{m_{\text{véhicule}}} \quad (118)$$

où:

$m_{\text{véhicule}}$: masse d'essai du véhicule (kg) conformément au paragraphe A.9.5.6.7.

- A.9.5.6.9 Rayon des roues**
Le rayon des roues doit être la valeur spécifiée par le constructeur telle qu'elle est utilisée dans le groupe motopropulseur hybride réel soumis à l'essai.
- A.9.5.6.10 Rapport final**
Le rapport final doit être celui qui est spécifié par le constructeur comme représentatif du groupe motopropulseur réel soumis à l'essai.
- A.9.5.6.11 Rendement de la transmission**
Le rendement de la transmission doit être la valeur spécifiée par le constructeur pour le groupe motopropulseur réel soumis à l'essai.
- A.9.5.6.12 Couple maximal transmis par l'embrayage**
Pour le couple maximal transmis par l'embrayage et le synchroniseur, il faut utiliser la valeur spécifiée par le constructeur.
- A.9.5.6.13 Durée des changements de vitesse**
Les valeurs de durée des changements de vitesse pour une transmission manuelle doivent être celles de l'essai réel.
- A.9.5.6.14 Méthode de changement de vitesse**
Les positions des rapports de vitesse au démarrage, en accélération et en décélération au cours de l'essai de vérification doivent être celles qui correspondent aux méthodes spécifiées pour les types de transmission ci-dessous:
- a) **Transmission manuelle:** les positions sont définies par les valeurs réelles de l'essai;
 - b) **Transmission automatisée (AMT) ou boîte de vitesse automatique (AT):** les positions sont fixées automatiquement sous l'effet de la stratégie de changement de rapports de l'UCE de la transmission réelle au cours de l'essai de simulation HIL et ne doivent pas être les valeurs enregistrées lors de l'essai réel.
- A.9.5.6.15 Moment d'inertie des sections en rotation**
Les moments d'inertie de toutes les sections en rotation doivent être les valeurs spécifiées par le constructeur comme étant représentatives du groupe motopropulseur hybride réel soumis à l'essai.
- A.9.5.6.16 Autres paramètres d'entrée**
Les valeurs de tous les autres paramètres d'entrée doivent être celles que le constructeur a spécifiées comme étant représentatives du groupe motopropulseur hybride de l'essai réel.
- A.9.5.7 Simulation HIL du modèle de VH spécifique pour vérification**
- A.9.5.7.1 Méthode permettant d'effectuer la simulation HIL**
Il faut utiliser le système de simulation HIL conformément aux dispositions du paragraphe A.9.3 et inclure le modèle de VH spécifique à homologuer avec ses paramètres de vérification (paragraphe A.9.5.6) pour effectuer un essai conformément au paragraphe A.9.5.7.2 et enregistrer les données calculées qui concernent

le paragraphe A.9.5.4.4. Les données ainsi obtenues sont les résultats de l'essai de vérification du système de simulation HIL (appelés ci-après «valeurs de l'essai de simulation HIL»).

Les charges auxiliaires mesurées sur le groupe motopropulseur hybride réel soumis à l'essai peuvent être utilisées comme données d'entrée pour le modèle de charge auxiliaire (sois mécanique soit électrique).

A.9.5.7.2 Condition d'essai

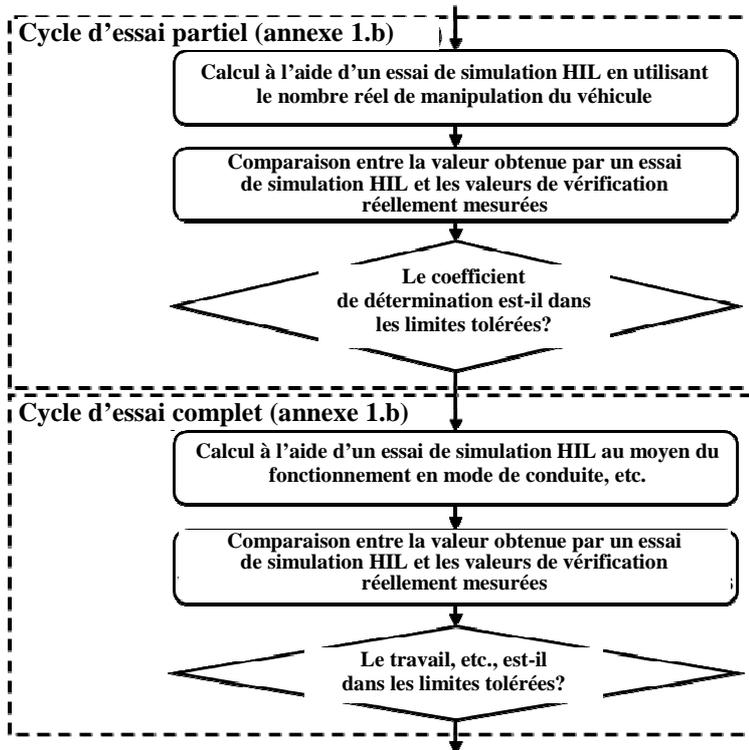
L'essai de simulation HIL doit être effectué en une ou deux fois pour permettre d'analyser les deux conditions suivantes (voir fig. 21):

- a) La partie du cycle d'essai choisie doit englober les 140 premières secondes de ce cycle comme il est défini à l'annexe 1.b pour lesquelles la déclivité est calculée à l'aide de la valeur de la puissance nominale du système hybride spécifiée par le constructeur et qui est aussi appliquée pour l'essai du groupe motopropulseur hybride réel. Le modèle de conduite doit transmettre les valeurs enregistrées obtenues lors de l'essai du groupe motopropulseur réel (paragraphe A.9.5.4) pour actionner le modèle de VH spécifique;
- b) Le cycle complet tel qu'il est défini à l'annexe 1.b pour lequel on calcule les déclivités à l'aide de la puissance nominale du système hybride spécifiée par le constructeur est également appliqué à l'essai du groupe motopropulseur hybride réel. Le modèle de conduite doit transmettre tous les signaux permettant d'actionner le modèle de VH spécifique sur la base soit de la vitesse du cycle d'essai de référence, soit sur la vitesse réelle du véhicule telle qu'elle est enregistrée conformément au paragraphe A.9.5.4.

Si les conditions de fonctionnement du moteur hybride sont différentes pour les cycles d'essai de démarrage à froid et de démarrage à chaud, les deux cycles doivent être vérifiés.

Afin de refléter les conditions d'essai réelles du groupe motopropulseur hybride (températures, SRSE, contenu énergétique disponible), les conditions initiales doivent être les mêmes que celles de l'essai réel et s'appliquer aux paramètres des composants et de l'interface, notamment, en fonction du modèle de VH spécifique.

Figure 21
Schéma de principe de l'essai de vérification à l'aide du système de simulation HIL
avec un modèle de VH spécifique



A.9.5.8 Statistiques de validation de la vérification du modèle de VH spécifique à homologuer

A.9.5.8.1 Confirmation de la corrélation sur certaines parties du cycle

La corrélation entre les valeurs de vérification effectivement mesurées et les valeurs de l'essai de simulation HIL doit être vérifiée pour la partie du cycle d'essai choisie conformément au paragraphe A.9.5.7.2 a). Le tableau 11 indique les prescriptions applicables aux critères de tolérance entre ces valeurs. Pour effectuer cette analyse de régression, on peut se passer des données collectées pendant les périodes de changement de rapports, à condition que leur durée ne dépasse pas 2 secondes par changement de rapport.

Tableau 11
Tolérances (pour des parties choisies du cycle d'essai) applicables aux valeurs effectivement mesurées et aux valeurs de l'essai de simulation HIL pour la vérification d'un modèle de VH spécifique

	<i>Moteur</i>			<i>Moteur électrique/hydraulique (ou équivalent)</i>			<i>Dispositif de stockage électrique/hydraulique (ou équivalent)</i>			
	<i>Vitesse du véhicule</i>	<i>Régime</i>	<i>Couple</i>	<i>Puissance</i>	<i>Régime</i>	<i>Couple</i>	<i>Puissance</i>	<i>Tension ou pression</i>	<i>Courant ou débit massique</i>	<i>Puissance</i>
Erreur type de l'estimation										
Pente, a_1										
Coefficient de détermination, r^2	> X	> X	> X	> X	> X	> X	> X	> X	> X	> X
Ordonnée à l'origine, a_0										

A.9.5.8.2 Vérification d'ensemble du cycle d'essai complet

A.9.5.8.2.1 Éléments à vérifier et tolérances

La corrélation entre les valeurs de vérification effectivement mesurées et les valeurs de l'essai de simulation HIL doit être vérifiée pour le cycle d'essai complet (conformément au paragraphe A.9.5.7.2 b)). Pour effectuer cette analyse de régression, on peut se passer des données collectées pendant les périodes de changement de rapports, à condition que leur durée ne dépasse pas 2 secondes par changement de rapport.

Pour que le modèle de VH spécifique soit considéré comme valable, il faut qu'il satisfasse aux critères du tableau 12 et à ceux du paragraphe A.9.5.8.1.

Tableau 12
Tolérances (pour le cycle d'essai complet) applicables aux valeurs effectivement mesurées et aux valeurs de l'essai de simulation HIL

	<i>Moteur</i>				<i>Rapport du travail du moteur</i>	<i>Rapport du travail du système</i>
	<i>Vitesse du véhicule</i>	<i>Régime</i>	<i>Couple</i>	<i>Puissance</i>	$\frac{W_{eng_HILS}}{W_{eng_test}}$	$\frac{W_{sys_HILS}}{W_{sys_test}}$
Erreur type de l'estimation						
Pente, a_1						
Coefficient de détermination, r^2	> X	> X	> X	> X		
Ordonnée à l'origine, a_0						
Taux de conversion					$X < \dots < Y$	$X < \dots < Y$

où:

- Weng_HILS:** travail du moteur lors de l'essai de simulation HILS (kWh);
- Weng_test:** travail du moteur lors de l'essai réel du groupe motopropulseur (kWh);
- Wsys_HILS:** travail du système hybride lors de l'essai de simulation HILS (kWh);
- Wsys_test:** travail du système hybride lors de l'essai réel du groupe motopropulseur (kWh).

A.9.5.8.2.2 Méthode de calcul des éléments à vérifier

Le couple, la puissance et le travail du moteur doivent être obtenus par les méthodes suivantes, respectivement, selon les données d'essai énumérées ci-dessous:

- a) Valeurs de vérification effectivement mesurées conformément au paragraphe A.9.5.4:

Des méthodes techniquement valables, comme celle par laquelle la valeur est calculée à partir des conditions de fonctionnement du système hybride (vitesse de rotation, couple de l'axe) obtenues à l'aide de l'essai réel du groupe motopropulseur hybride, utilisant la tension d'entrée et de sortie ainsi que le courant qui entre et sort du régulateur électronique du moteur électrique (de forte puissance), ou une méthode consistant à calculer la valeur à l'aide de données obtenues en appliquant les procédures d'essai des composants décrites au paragraphe A.9.8.

- b) Valeurs de l'essai de simulation HIL obtenues conformément au paragraphe A.9.5.7:

Une méthode consistant à calculer la valeur à partir des conditions de fonctionnement du moteur (régime, couple) déterminées par l'essai de simulation HIL.

A.9.5.8.2.3 Tolérance applicable à la variation énergétique nette du SRSE

La variation énergétique nette au cours de l'essai réel du groupe motopropulseur hybride et celle qui se produit au cours de l'essai de simulation HIL doit satisfaire à l'équation suivante:

$$|\Delta E_{HILS} - \Delta E_{test}| / W_{eng_HILS} < 0.01 \quad (119)$$

où:

- ΔE_{HILS} :** variation énergétique nette du SRSE au cours de l'essai de simulation HIL (kWh);
- ΔE_{test} :** variation énergétique nette du SRSE au cours de l'essai de simulation HIL (kWh);
- W_{eng_HILS} :** travail du moteur au cours de l'essai de simulation HIL (kWh);

et où la variation énergétique nette du SRSE doit être calculée comme suit dans les cas suivants:

a) Batterie

$$\Delta E = \Delta Ah \times V_{nominal} \quad (120)$$

où:

ΔAh : bilan électrique obtenu par intégration du courant de la batterie (Ah);

$V_{nominal}$: tension nominale (V);

b) Condensateur

$$\Delta E = 0.5 \times C_{cap} \times (U_{final}^2 - U_{init}^2) \quad (121)$$

où:

C_{cap} : capacité nominale du condensateur (F);

U_{init} : tension initiale au début de l'essai (V);

U_{final} : tension finale à la fin de l'essai (V);

c) Volant moteur

$$\Delta E = 0.5 \times J_{flywheel} \times \left(\frac{30}{\pi}\right)^2 \times (n_{final}^2 - n_{init}^2) \quad (122)$$

où:

$J_{flywheel}$: inertie du volant moteur (kgm^2);

n_{init} : vitesse initial au début de l'essai (min^{-1});

n_{final} : vitesse finale à la fin de l'essai (min^{-1});

d) Autre SRSE.

La variation énergétique nette doit être calculée à l'aide d'un signal physiquement équivalent à celui des cas a) à c) du présent paragraphe. Cette méthode doit être communiquée aux autorités d'homologation de type.

A.9.5.8.2.4 Disposition supplémentaire concernant les tolérances en cas de fonctionnement du moteur en des points fixes

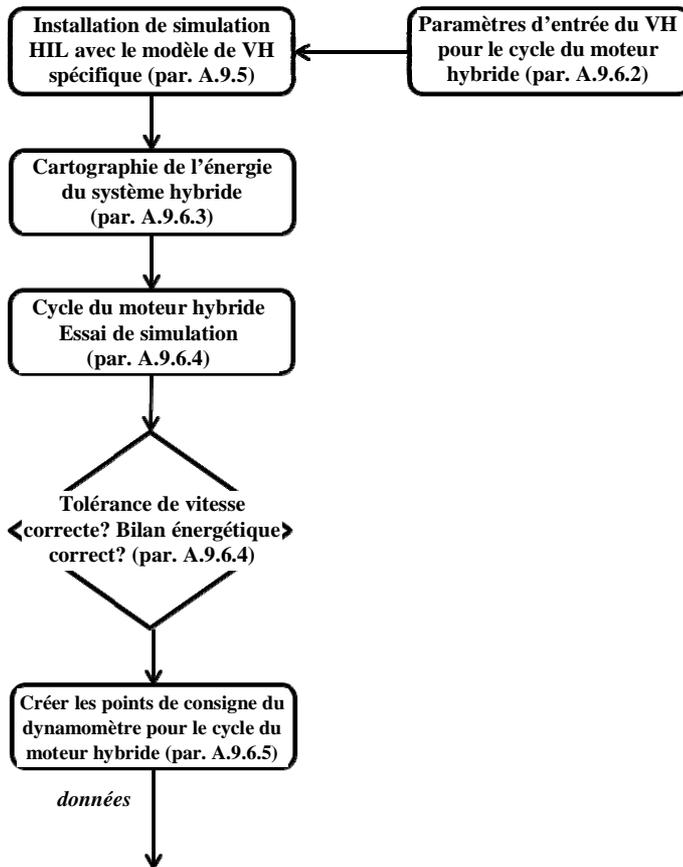
Dans des conditions (régime et couple) de fonctionnement du moteur en des points fixes, la vérification doit être valable lorsque sont remplis les critères relatifs à la vitesse du véhicule, au travail positif du moteur et à sa durée d'utilisation (même critères que pour le travail du moteur).

A.9.6 Création du cycle d'essai hybride

A.9.6.1 Introduction générale

Il faut créer le cycle d'essai hybride en utilisant l'installation du système de simulation HIL vérifiée et le modèle de VH spécifique à homologuer, conformément aux dispositions des paragraphes A.9.6.2 à A.9.6.5. La figure 22 contient un schéma de principe indiquant les étapes par lesquelles doit passer ce processus.

Figure 22
Schéma de principe de la création du cycle d'essai hybride



A.9.6.2 Paramètres d'entrée du cycle d'essai du moteur hybride pour un modèle de VH spécifique

A.9.6.2.1 Introduction générale

Les paramètres d'entrée d'un modèle de VH spécifique doivent être spécifiés comme il est indiqué aux paragraphes A.9.6.2.2 à A.9.6.2.16 de manière à représenter un véhicule utilitaire lourd générique avec un groupe motopropulseur hybride qui doit être homologué. Toutes les valeurs de ces paramètres doivent être arrondies au quatrième chiffre significatif (par exemple x.xxxEyy en notation scientifique).

A.9.6.2.2 Caractéristiques du moteur

Les paramètres relatifs aux caractéristiques du couple du moteur doivent être les valeurs des données mises en tableau obtenues conformément au paragraphe A.9.8.3. On peut toutefois ajouter des valeurs égales ou inférieures à la vitesse de rotation du moteur. En outre, il ne faut pas utiliser au moment de l'essai d'homologation la carte du couple des accessoires du modèle de moteur.

A.9.6.2.3 Caractéristiques du moteur électrique

Les paramètres relatifs aux caractéristiques du couple du moteur électrique et à la consommation d'énergie doivent être les données

obtenues conformément au paragraphe A.9.8.4. On peut toutefois ajouter des valeurs caractéristiques à une vitesse de rotation de 0 t/min.

A.9.6.2.4 Caractéristiques de la batterie

A.9.6.2.4.1 Modèle de batterie à résistance

Les paramètres d'entrée de la résistance interne et de la tension à circuit ouvert du modèle de batterie doivent être les valeurs des données obtenues conformément au paragraphe A.9.8.5.1.

A.9.6.2.4.2 Modèle de batterie à circuit RC

Les paramètres du modèle de batterie à circuit RC doivent être les données d'entrée obtenue conformément au paragraphe A.9.8.5.2.

A.9.6.2.5 Caractéristiques du condensateur

Les paramètres du modèle de condensateur doivent être les données d'entrée obtenue conformément au paragraphe A.9.8.6.

A.9.6.2.6 Masse d'essai et masse à vide du véhicule

Il faut calculer la masse d'essai du véhicule en fonction de la puissance nominale du système (A.10) telle qu'elle est déclarée par le constructeur, à l'aide de l'équation 112.

Il faut calculer la masse à vide du véhicule à l'aide des équations 113 et 114.

A.9.6.2.7 Surface frontale et coefficient de résistance à l'air du véhicule

Il faut calculer la surface frontale du véhicule à l'aide des équations 115 et 116 en utilisant la masse d'essai du véhicule conformément au paragraphe A.9.6.2.6.

Le coefficient de résistance à l'air du véhicule doit être calculé à l'aide de l'équation 117 et de la masse d'essai du véhicule conformément au paragraphe A.9.6.2.6.

A.9.6.2.8 Coefficient de résistance au roulement

Le coefficient de résistance au roulement doit être calculé à l'aide de l'équation 118 en utilisant la masse d'essai du véhicule conformément au paragraphe A.9.6.2.6.

A.9.6.2.9 Rayon des roues

Le rayon des roues doit être fixé à 0,40 m ou à une valeur spécifiée par le constructeur, en retenant le cas le plus défavorable du point de vue des émissions d'échappement.

A.9.6.2.10 Rapport final

Le rapport final doit être défini conformément aux dispositions applicables au type de VH spécifié:

a) Pour un VH parallèle dont le rayon des roues est normalisé, le rapport final doit être calculé comme suit:

$$r_{fg} = \frac{60 \times 2 \times \pi \times r_{wheel}}{1000 \times n_{max}} \times \frac{0.566 \times (0.45 \times n_{te} + 0.45 \times n_{pre} + 0.1 \times n_{ht} - n_{idle}) \times 2.0327 + n_{idle}}{r_{gear_high}} \quad (123)$$

où:

$r_{\text{gear_high}}$:	rapport de transmission le plus élevé pour le groupe motopropulseur (-);
r_{wheel} :	rayon dynamique du pneumatique (m) conformément au paragraphe A.9.6.2.9;
v_{max} :	vitesse maximale du véhicule, fixée à 87 km/h;
$n_{\text{lo}}, n_{\text{hi}}, n_{\text{idle}}, n_{\text{pref}}$:	régimes du moteur conformes au paragraphe 7.4.6;

- b) Pour un VH parallèle dont le rayon des roues est spécifié par le constructeur, le rapport du pont arrière doit être celui dont le constructeur indique qu'il est représentatif du cas le plus défavorable du point de vue des émissions d'échappement;
- c) Pour les VH de série, le rapport du pont arrière doit être celui dont le constructeur indique qu'il est représentatif du cas le plus défavorable du point de vue des émissions d'échappement.

A.9.6.2.11 Rendement de la transmission

Dans le cas d'un VH parallèle:

- a) L'efficacité de la transmission doit être de 0,98 pour une transmission directe et de 0,95 pour toutes les autres;
- b) Le rendement de l'engrenage de réduction finale doit être de 0,95.

Dans le cas d'un VH de série:

- 1) Le rendement de la transmission doit être de 0,95 ou avoir une valeur spécifiée par le constructeur pour une transmission à engrenage fixe ou une transmission à deux rapports. Le constructeur doit alors fournir toutes les informations et justifications pertinentes à l'autorité d'homologation de type;
- 2) Le rendement de l'engrenage de réduction finale doit être de 0,95 ou avoir une valeur spécifiée par le constructeur. Le constructeur doit alors fournir toutes les informations et justifications pertinentes à l'autorité d'homologation de type.

A.9.6.2.12 Couple maximal transmis par l'embrayage

Pour le couple maximal transmis par l'embrayage et le synchroniseur, il faut utiliser la valeur spécifiée par le constructeur.

A.9.6.2.13 Durée des changements de vitesse

La durée d'un changement de vitesse doit être fixée à 1 s pour une transmission manuelle.

A.9.6.2.14 Méthode de changement de vitesse

Les positions des rapports de vitesse au démarrage, en accélération et en décélération au cours de l'essai de vérification doivent être celles qui correspondent aux méthodes spécifiées pour les types de VH ci-dessous:

- a) VH parallèle à transmission manuelle: les positions sont déterminées par la stratégie de changement de rapports

conformément au paragraphe A.9.7.4 et doivent faire partie du modèle de conduite;

- b) **VH parallèle à transmission automatisée (AMT) ou boîte de vitesse automatique (AT):** les positions sont fixées automatiquement sous l'effet de la stratégie de changement de rapports de l'UCE de la transmission réelle au cours de l'essai de simulation HIL;
- c) **VH de série:** dans le cas où une transmission est appliquée, les positions à utiliser doivent être celles qui sont déterminée par la stratégie de changement de rapports de l'UCE de la transmission réelle.

A.9.6.2.15 Moment d'inertie des sections en rotation

Différents moments d'inertie (J in kgm^2) des sections en rotation doivent être utilisés selon les circonstances, comme indiqué ci-dessous:

Dans le cas d'un VH parallèle:

- a) **Le moment d'inertie de la section allant de l'engrenage côté sortie de la transmission jusqu'aux (et y compris les) pneumatiques doit être calculé de manière à être égal à 7 % de la masse du véhicule à vide $m_{\text{vehic},0}$ (par. A.9.6.2.6) multipliés par le carré du rayon des roues $m_{\text{vehic},0}$ (par. A.9.6.2.9) comme suit:**

$$I_{\text{drivetrain}} = 0.07 \times m_{\text{vehic},0} \times r_{\text{wheel}}^2 \quad (124)$$

- b) **Le moment d'inertie de la section allant du moteur à l'engrenage du côté entraînement de la transmission doit avoir la ou les valeur(s) spécifiée(s) par le constructeur.**

Dans le cas d'un VH de série:

Le moment d'inertie pour les générateurs, moteurs électriques sur moyeu de roue ou moteurs électriques centraux doit être celui qui est spécifié par le constructeur.

A.9.6.2.16 Autres paramètres d'entrée

Tous les autres paramètres doivent avoir la valeur dont le constructeur indique qu'elle est représentative du cas le plus défavorable du point de vue des émissions d'échappement.

A.9.6.3 Cartographie de la puissance hybride

Réservé.

A.9.6.4 Exécution du cycle d'essai de simulation HIL

A.9.6.4.1 Introduction générale

Le système de simulation HIL doit être utilisé conformément aux paragraphes A.9.6.4.2 à A.9.6.4.5 pour créer le cycle du moteur hybride à l'aide du cycle d'essai complet défini à l'annexe 1.b.

A.9.6.4.2 Données de simulation HIL à relever

Il faut enregistrer au moins les signaux d'entrée et calculés du système de simulation HIL à une fréquence égale ou supérieure à 5 Hz (valeur recommandée 10 Hz):

- a) Le point de consigne et la vitesse réelle du véhicule (km/h);
- b) La puissance (kW), la tension (V) et le courant (A) du système (rechargeable) de stockage de l'énergie (ou de leurs signaux physiques équivalents respectifs s'il y a un autre système rechargeable de stockage de l'énergie);
- c) La vitesse du système hybride (min^{-1}), le couple du système hybride (Nm), la puissance du système hybride (kW);
- d) Le régime du moteur (min^{-1}), le couple du moteur (Nm) et la puissance du moteur (kW);
- e) Le(s) régime(s) du moteur électrique (min^{-1}), le(s) couple(s) du moteur électrique (Nm) et la/les puissance(s) mécanique(s) du moteur électrique (kW) ainsi que le courant (A), la tension et la puissance électrique de la commande de puissance du moteur électrique (ou de leurs signaux physiques équivalents respectifs en cas de chaîne de transmission du VH non électrique);
- d) Le nombre de manipulations effectuées par le conducteur du véhicule (signaux d'accélération, de freinage, de changement de vitesse, etc.).

A.9.6.4.3 Ajustement des essais de simulation HIL

Afin de respecter les tolérances définies aux paragraphes A.9.6.4.4 et A.9.6.4.5, il peut être nécessaire de procéder aux ajustements suivants dans l'interface et le modèle de conduite pour effectuer l'essai de simulation HIL:

- a) Nombre de manipulations effectuées par le conducteur du véhicule (signaux d'accélération, de freinage, de changement de vitesse, etc.);
- b) Valeur initiale du contenu énergétique du système rechargeable de stockage de l'énergie.

Afin de refléter les conditions des cycles de démarrage à froid ou à chaud, il faut appliquer les conditions de température suivantes aux composants, aux paramètres de l'interface, etc.:

- 1) 25 °C pour un cycle de démarrage à froid;
- 2) Les conditions réchauffement spécifique pour un démarrage à chaud, soit à la suite d'un démarrage à froid et d'une période de stabilisation par exécution de la simulation HIL à chaud sur le modèle, soit conformément aux conditions spécifiées par le constructeur.

A.9.6.4.4 Validation de la vitesse du véhicule

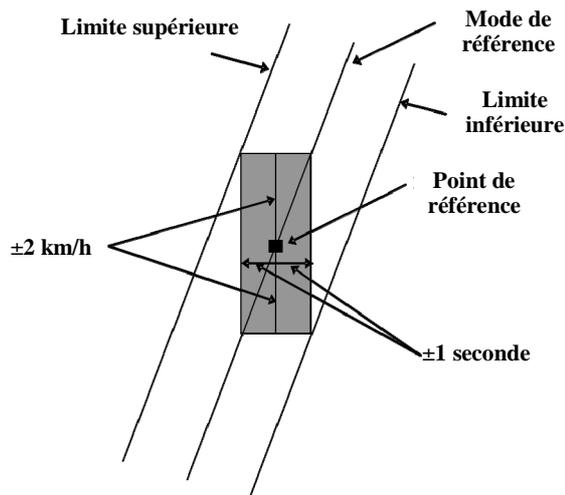
Les erreurs tolérées en matière de vitesse et de durée lors de l'essai de simulation doivent être en tout point de ± 2 km/h et de ± 1 s comme le montre la section colorée de la figure 23. En outre, si les écarts sont dans

les limites de tolérance correspondant aux points figurant dans la colonne de gauche du tableau 13, ils doivent être considérés comme étant dans les limites des erreurs tolérées. Les écarts de durée lors du démarrage et des opérations de changement de vitesse ne doivent cependant pas être inclus dans la durée totale cumulée. Cette disposition ne doit pas s'appliquer au cas où les accélérations et la vitesse exigée ne sont pas obtenues pendant les périodes au cours desquelles la pédale de l'accélérateur est complètement enfoncée (la performance maximale doit être exigée du groupe motopropulseur hybride).

Tableau 13
Tolérances admises pour les écarts de vitesse du véhicule

<i>Paramètres de réglage</i>	<i>Tolérance</i>
1. Fourchette de durée acceptable pour un écart	< ± 1 s
2. Fourchette de durée acceptable pour la valeur totale cumulée des écarts (absolus)	< 2 s
3. Fourchette de vitesse acceptable pour un écart	< ± 2 km/h

Figure 23
Tolérances admises pour les écarts de vitesse et de durée pendant un essai de simulation HIL



A.9.6.4.5 Validation de la variation énergétique nette du SRSE

Le contenu énergétique initialement disponible du SRSE doit être fixé à une valeur telle que le rapport entre la variation énergétique nette du SRSE et le travail (positif) du moteur soit conforme à l'équation suivante:

$$|\Delta E / W_{eng_ref}| < 0.03 \quad (125)$$

où:

ΔE : variation énergétique nette du SRSE conformément au paragraphe A.9.5.8.2.3 a)-d) (kWh);

W_{eng_ref} : puissance mécanique positive intégrée du moteur au cours de l'essai de simulation HIL (kWh).

- A.9.6.5** Points de consigne du dynamomètre pour le cycle du moteur hybride
- A.9.6.5.1** Sur la base des données produites par le système de simulation HIL conformément au paragraphe A.9.6.4, il faut choisir et définir les valeurs du régime et du couple du moteur à une fréquence égale ou supérieure à 5 Hz (valeur recommandée 10 Hz) comme points de consigne pour l'essai de mesure des émissions d'échappement sur le dynamomètre.
- A.9.6.5.2** Remplacement de la valeur du couple d'essai
- Lorsque la valeur de consigne du couple d'essai obtenue au paragraphe A.9.6.5.1 est négative, cette valeur négative du couple doit être remplacée par un ordre d'entraînement au dynamomètre du moteur.
- A.9.7** Modèle de composants de la simulation HIL
- A.9.7.1** Introduction générale
- Des modèles de composants conformes aux paragraphes A.9.7.2 à A.9.7.9 doivent être utilisés pour construire tant le modèle de VH de référence que le modèle de VH spécifique. Une bibliothèque Matlab®/Simulink® contenant des documents relatifs aux modèles de composants conformément à ces spécifications est accessible à l'adresse:
- http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29glob_registry.html.
- A.9.7.2** Modèle de systèmes auxiliaires
- A.9.7.2.1** Modèle de système auxiliaire électrique
- Le système auxiliaire électrique (susceptible de n'être requis que pour les charges haute tension) doit être modélisé en tant que perte d'énergie électrique $P_{el,aux}$ (réglable de préférence). Le courant de décharge du dispositif de stockage de l'énergie électrique, i_{aux} , est déterminé comme suit:
- $$i_{el,aux} = x P_{el,aux} / u \quad (126)$$
- où:
- $P_{el,aux}$: demande d'énergie électrique auxiliaire (W);
- x : signal interrupteur du cycle pour régler le niveau de charge auxiliaire (-);
- u : tension du rail de courant continu (V);
- $i_{el,aux}$: courant auxiliaire (A).
- Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 14.

Tableau 14
Paramètres et interface du modèle de système auxiliaire électrique

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	$P_{el,aux}$	W	Charge du système auxiliaire	dat.auxiliaryload.value
Signal de commande	x	0-1	Signal de commande du niveau de puissance du système auxiliaire	Aux_flgOnOff_B
Signal capteur	i_{aux}	A	Courant du système auxiliaire	Aux_iAct_A
Elec in [V]	u	V	Tension	phys_voltage_V
Elec fb out [A]	i_{aux}	A	Courant	phys_current_A

A.9.7.2.2 Modèle de système auxiliaire mécanique

Le système auxiliaire mécanique doit être modélisé en utilisant une perte d'énergie $P_{mech,aux}$ réglable. La perte d'énergie doit être mise en œuvre sous forme de perte de couple agissant sur l'arbre représentatif.

$$M_{mech,aux} = x P_{mech,aux} / \omega \quad (127)$$

où:

$P_{mech,aux}$: demande d'énergie mécanique auxiliaire (W);

x : signal interrupteur du cycle pour régler le niveau de charge auxiliaire (-);

ω : vitesse de rotation de l'arbre (min^{-1});

$M_{mech,aux}$: couple auxiliaire (Nm).

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 15.

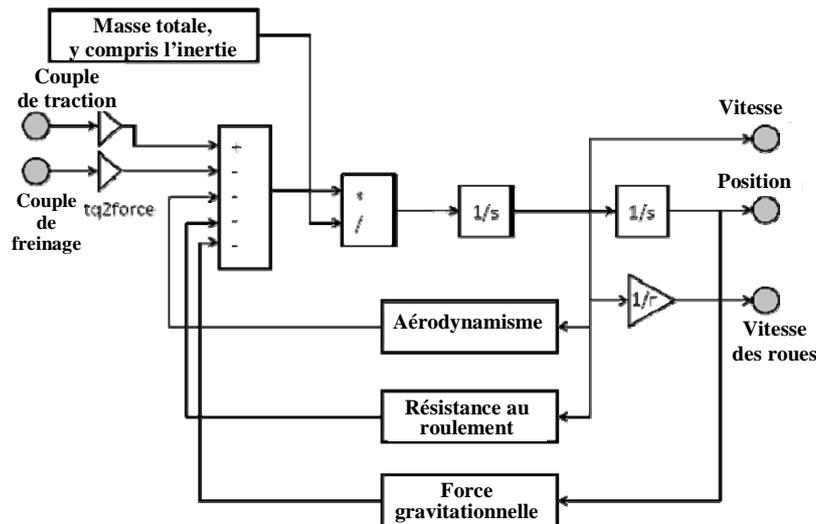
Tableau 15
Paramètres et interface du modèle auxiliaire mécanique

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	$P_{mech,aux}$	W	Charge du système auxiliaire	dat.auxiliaryload.value
	J_{aux}	kgm^2	Inertie	Dat.inertia.value
Signal de commande	x	0-1	Signal de commande du système auxiliaire	Aux_flgOnOff_B
Signal capteur	M_{out}	Nm	Couple de sortie du système auxiliaire	Aux_tqAct_A
Mech in [Nm]	M_{out}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	J_{out}	kgm^2	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech fb out [rad/s]	ω	rad/s	Régime	phys_speed_radps

A.9.7.3 Modèle de châssis

Un modèle de base du châssis (le véhicule) doit être représenté comme une inertie. Le modèle doit calculer la vitesse d'un véhicule à partir d'un couple de l'arbre de transmission et d'un couple de freinage. Le modèle doit inclure la résistance au roulement et la résistance à l'air et tenir compte de la résistance due à la déclivité. Un schéma est représenté à la figure 24.

Figure 24
Schéma du modèle de châssis (véhicule)



Le principe de base doit être un rapport fixe entre le couple d'entrée et une réduction d'engrenage (rapport final), r_{fg} .

$$M_{drive} = \eta_{fg} M_{in} r_{fg} \tag{128}$$

où:

η_{fg} est le rendement du rapport d'engrenage final.

Le couple de traction M_{drive} doit être compensé par le couple de freinage M_{brake} . Le couple résultant doit être transformé en force motrice à l'aide du rayon des roues r_{wheel} en appliquant l'équation 129 et il agit sur la route pour propulser le véhicule:

$$F_{drive} = \frac{M_{drive} - M_{brake}}{r_{wheel}} \tag{129}$$

On doit mettre la force F_{drive} en balance avec les forces de résistance aérodynamique F_{aero} , de résistance au roulement F_{roll} et de gravitation F_{grav} pour trouver la force d'accélération qui en résulte conformément à l'équation différentielle 130:

$$m_{tot} \dot{v}_{vehicle} = F_{drive} - F_{aero} - F_{roll} - F_{grav} \tag{130}$$

où:

m_{tot} : masse totale du véhicule (kg);

$\dot{v}_{vehicle}$: accélération du véhicule (m/s).

La masse totale du véhicule m_{tot} doit être calculée à partir de la masse du véhicule $m_{vehicle}$ et de la charge d'inertie des composants du groupe motopropulseur:

$$m_{tot} = m_{vehicle} + (J_{fg} + J_{powertrain})r_{fg}^2 + 2J_{wheel}r_{wheel}^2 \quad (131)$$

où:

$m_{vehicle}$: masse du véhicule (kg);

J_{fg} : inertie du rapport d'engrenage final (kgm²);

$J_{powertrain}$: somme des toutes les inerties du groupe motopropulseur (kgm²);

J_{wheel} : inertie des roues (kg/m²).

La vitesse des roues doit être déterminée à partir de la vitesse du véhicule et du rayon des roues, comme suit:

$$\omega_{wheel} = v_{vehicle} / r_{wheel} \quad (132)$$

La force de résistance à l'air doit être calculée comme suit:

$$F_{aero} = 0.5\rho_{air}C_{drag}A_{front}v_{vehicle}^2 \quad (133)$$

où:

ρ_{air} : masse volumique de l'air (kg/m³);

C_{drag} : coefficient de résistance à l'air (-);

A_{front} : surface frontale du véhicule (m²);

$v_{vehicle}$: vitesse du véhicule (m/s).

La résistance au roulement doit être calculée comme suit:

$$F_{roll} = f_{roll}m_{vehicle}g \cos(\alpha) \quad (134)$$

où:

f_{roll} : facteur de frottement pour le contact entre la roue et la route (-);

g : gravitation terrestre normale (m/s²);

α : déclivité (rad).

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 16.

Tableau 16
Paramètres et interface du modèle de châssis

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	$m_{vehicle}$	kg	Masse du véhicule	dat.vehicle.mass.value
	r_{fg}	-	Rapport final	dat.fg.ratio.value
	η_{fg}	-	Rendement du rapport final	dat.fg.efficiency.value
	J_{fg}	kgm ²	Inertie du rapport final	dat.fg.inertia.value
	A_{front}	m ²	Surface frontale du véhicule	dat.aero.af.value
	C_d	-	Coefficient de résistance à l'air	dat.aero.cd.value

sous-module sélecteur de rapport qui prend les décisions relatives aux manœuvres de changement de rapport. Dans le cas des boîtes automatiques ce n'est pas nécessaire mais le système peut être activé en cas de besoin.

Le modèle de conduite présenté comporte les éléments suivants:

- a) Sous-module de réglage de la vitesse du véhicule (Régulateur PID);
- b) Sous-module décidant des changements de vitesse;
- c) Sous-module actionnant la pédale d'embrayage;
- d) Sous-module de commutation des signaux selon qu'une boîte manuelle ou une boîte automatique est utilisée.

Pour répondre à des besoins particuliers, les sous-modules individuels (énumérés ci-dessus) peuvent être facilement supprimés ou adaptés aux modèles de conduite spécifique du constructeur.

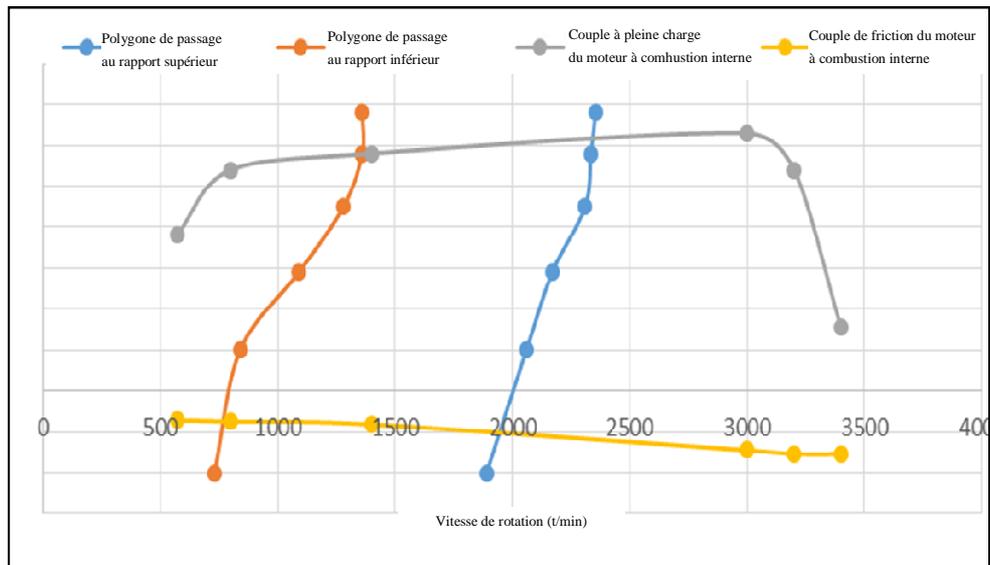
Les détails des sous-modules a) à d) sont présentés ci-dessous:

- a) Le sous-module qui commande la vitesse du véhicule est conçu à l'aide d'un simple régulateur PID. Il tire la vitesse de référence du cycle de conduite et la compare avec la vitesse réelle du véhicule. Si la vitesse du véhicule est trop basse, il utilise la pédale d'accélérateur pour l'accélérer et si elle est au contraire trop élevée le conducteur utilise la pédale du frein pour commander la décélération du véhicule. Pour des véhicules incapables d'atteindre la vitesse recherchée (par exemple si leur vitesse par construction est inférieure à la vitesse exigée au cours de l'essai), le régulateur comporte une fonction anti-wind up qui peut aussi être paramétrée dans le fichier de paramètres. Si ce sont des véhicules équipés d'une boîte manuelle qui sont conduits, on considère que la pédale d'accélérateur n'est pas actionnée pendant une manœuvre de changement de rapport;
- b) La stratégie de changement de rapport mise en œuvre repose sur la définition de polygones pour les manœuvres de changement vers le haut et vers le bas. Associés à une courbe de couple à pleine charge et à une courbe de couple négative, ils décrivent la plage de fonctionnement autorisée du système. Le croisement avec le polygone du haut force l'engagement d'un rapport supérieur et le croisement avec le polygone du bas l'engagement d'un rapport inférieur (voir la figure 26 plus bas);

Les signaux d'entrée dont le sous-module sélecteur de rapport a besoin pour répercuter une demande de changement de vitesse sont actuellement:

- Le rapport effectivement engagé;
- Le couple d'entrée et la vitesse de rotation d'entrée pour la transmission;
- Le statut du train de roulement (prochain rapport engagé et tous les embrayages fermés et resynchronisés).

Figure 26
Modèle de changeur de vitesse utilisant des polygones



Le cycle d'essai et la durée pendant laquelle l'embrayage est actionné durant une manœuvre de changement de rapport sont aussi chargés pour détecter la mise en mouvement du véhicule et engager le premier rapport à temps pour atteindre la vitesse recherchée. Cela permet au véhicule de suivre le rapport recherché dans les limites données. La valeur normative du module de changement de rapport lorsque le véhicule est immobile est le point mort. Après un changement de rapport, le changement suivant est inhibé pendant un temps donné jusqu'à ce que le train de roulement soit relié à tous les moteurs de propulsion et complètement resynchronisé. Cette limite de temps est rejetée et le changement de régime suivant est forcé si les limites de la vitesse de rotation (inférieure au ralenti du moteur à combustion interne ou supérieure à 1,2 fois le régime nominal).

- c) Le sous-module qui actionne la pédale d'embrayage a été conçu pour le faire si un véhicule équipé d'une boîte manuelle est utilisé. L'exclusion de cette fonction du module de contrôle de la vitesse permet d'utiliser le modèle de conduite dans un domaine d'application plus vaste. Le sous-module d'embrayage est déclenché par le sélecteur de rapport et actionne la pédale dès qu'une manœuvre de changement de rapport s'impose. Le module d'embrayage force simultanément le régulateur de vitesse à mettre la pédale à zéro tant que l'embrayage n'est pas fermé et complètement resynchronisé après la manœuvre. La durée d'actionnement de l'embrayage doit être spécifiée dans le fichier des paramètres de conduite;
- d) L'interrupteur TA/TM permet d'utiliser le modèle de conduite avec un véhicule équipé d'une boîte de vitesse automatique ou d'une boîte manuelle. Les signaux de sortie pour le mode TM sont le rapport recherché ainsi que le dosage des pédales d'accélérateur, de frein et d'embrayage. Pour le mode TA les signaux de sortie sont seulement le dosage des pédales d'accélérateur et de frein. Aucune manœuvre de changement de rapport n'est envisagée et la pédale

d'accélérateur n'est donc pas mise à zéro même si un changement de rapport est détecté. Les valeurs normales pour la pédale d'embrayage et pour un rapport recherché sont égales à zéro en mode TA. Néanmoins, si le changement de rapport du véhicule réel doit être annulé on peut le faire en autorisant le rapport recherché dans le dossier de paramètres.

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 17.

Tableau 17
Paramètres et interface du modèle de conduite

<i>Type/Bus</i>	<i>Nom</i>	<i>Unité</i>	<i>Description</i>	<i>Référence</i>
Paramètre	-		Sélectionner le mode de transmission TM(1) ou TA(0)	dat.gearboxmode.value
	-		Modèle de sélection des rapports	dat.gearselectionmode.value
	s		Durée d'embrayage	dat.clutchtime.value
	m/s		L'embrayage est activé automatiquement quand la vitesse est inférieure à cette valeur	dat.clutchtheshold.value
	-		Régulateur PID du conducteur	dat.controller
Signal de commande	0-1		Position de la pédale d'accélérateur	Drv_AccPedl_rat
	0-1		Position de la pédale de frein	Drv_BrkPedl_rat
	0-1		Position de la pédale d'embrayage	Drv_CluPedl_rat
	-		Rapport demandé	Drv_nrGearReq
	m/s		Vitesse de référence recherchée	Drivecycle_RefSpeed_mps
Signal capteur	m/s		Vitesse du châssis	Chassis_vVehAct_mps
	rad/s		Vitesse d'entrée de transmission	Transm_nInAct_radps
	Nm		Couple d'entrée de transmission	Transm_tqInAct_Nm
	-		Rapport de transmission réel	Transm_grGearAct
	Booléen		Statut de la transmission	Transm_flgConnected_B
	Booléen		Statut de l'embrayage	Clu_flgConnected_B

A.9.7.5 Modèles de composants électriques

A.9.7.5.1 Modèle de convertisseur CC/CC

Le convertisseur courant continu/courant continu (CC/CC) est un dispositif qui change le niveau de tension pour lui donner la valeur recherchée. Le modèle de convertisseur est de type général et réunit les propriétés de plusieurs convertisseurs différents tels que les convertisseurs Buck, les convertisseurs élévateurs et les convertisseurs mixtes. Comme les

convertisseurs CC/CC sont plus rapides que d'autres éléments dynamiques d'un groupe motopropulseur on peut utiliser un modèle statique simple:

$$u_{out} = x_{DCDC} u_{in} \quad (135)$$

où:

u_{in} : tension d'entrée (V);

u_{out} : tension de sortie (V);

x_{DCDC} : taux de conversion, c'est-à-dire signal de commande (-).

Le taux de conversion x_{DCDC} doit être déterminé par un contrôleur à boucle ouverte jusqu'à la tension recherchée u_{req} :

$$x_{DCDC} = u_{req}/u_{in} \quad (136)$$

Les pertes du convertisseur CC/CC doivent être définies comme pertes de courant en utilisant une valeur constante d'efficacité du convertisseur comme suit:

$$i_{DCDCloss} = \begin{cases} i_{in}(1 - \eta_{DCDC})/x & \text{for } i_{in} \leq 0 \\ i_{in}/(x(1 - \eta_{DCDC})) & \text{for } i_{in} > 0 \end{cases} \quad (137)$$

où:

η_{DCDC} : rendement du convertisseur CC/CC (-);

i_{in} : courant d'entrée du convertisseur CC/CC (A);

$i_{DCDCloss}$: perte de courant du convertisseur CC/CC (A).

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 18.

Tableau 18
Paramètres et interface du modèle de convertisseur CC/CC

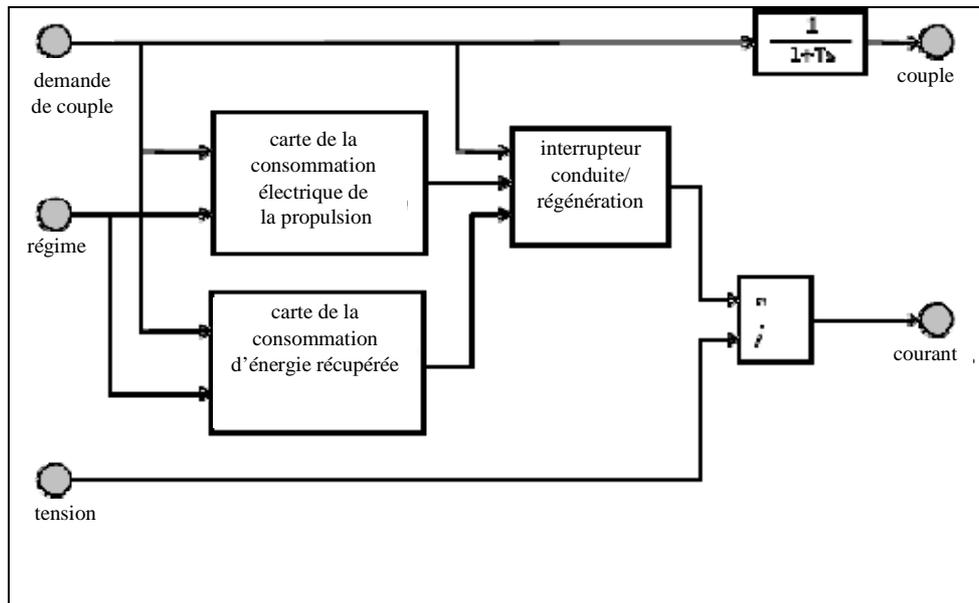
Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	η_{DCDC}	-	Rendement	dat.efficiency.value
Signal de commande	u_{req}	V	Tension de sortie recherchée	dcdc_uReq_V
Signal capteur	u_{out}	V	Tension de sortie réelle	dcdc_uAct_V
Elec in [V]	u_{in}	V	Tension	phys_voltage_V
Elec out [V]	u_{out}	V	Tension	phys_voltage_V
Elec fb in [A]	i_{out}	A	Courant	phys_current_A
Elec fb out [A]	i_{in}	A	Courant	phys_current_A

A.9.7.6 Modèles de convertisseurs d'énergie

A.9.7.6.1 Modèle de moteur électrique

Un moteur électrique se divise généralement en trois parties, le stator, le rotor et le régulateur électronique (haute puissance). Le rotor est la partie rotative du moteur. Le moteur électrique doit être conçu à l'aide de représentations de la relation entre son énergie mécanique et son énergie électrique (CC), comme le montre la figure 27.

Figure 27
Schéma d'un modèle de moteur électrique



La dynamique du moteur électrique doit être conçue comme système de premier ordre.

$$\dot{M}_{em} = -\frac{1}{\tau_1}(M_{em} - M_{em,des}) \quad (138)$$

où:

M_{em} : couple du moteur électrique (Nm);

$M_{em,des}$: couple du moteur électrique recherché (Nm);

τ_1 : constante de temps de réponse du moteur électrique (-).

La puissance du moteur électrique $P_{el,em}$ doit être cartographiée en fonction de la vitesse ω_{em} et du couple M_{em} du moteur électrique. Il faut établir deux cartes séparées pour les couples positifs et négatifs.

$$P_{el,em} = f(M_{em}, \omega_{em}, u) \quad (139)$$

Le rendement du moteur électrique doit être calculé comme suit:

$$\eta_{em} = \frac{M_{em}\omega_{em}}{P_{el,em}} \quad (140)$$

Le courant du moteur électrique doit être calculé comme suit:

$$i_{em} = \frac{P_{el,em}}{u} \quad (141)$$

où:

i_{em} : courant du moteur électrique (A);

u : tension de la batterie (V).

Sur la base de sa perte de puissance $P_{loss,em}$, le moteur électrique doit avoir un modèle thermodynamique simple pour dériver sa température T_{em} comme suit:

$$P_{loss,em} = P_{el,em} - M_{em}\omega_{em} \quad (142)$$

$$\dot{T}_{em} = \frac{1}{\tau_{em,heat}} (P_{loss,em} - (T_{em} - T_{em,cool})/R_{em,th}) \quad (143)$$

où:

T_{em} : température du moteur électrique (K);

$\tau_{em,heat}$: constante de temps pour la masse thermique du moteur électrique ();

$T_{em,cool}$: agent de refroidissement du moteur électrique (K);

$R_{em,th}$: résistance thermique du moteur électrique ().

Le moteur électrique doit être contrôlé au niveau de la vitesse ou du couple par commande en boucle ouverte ou régulateur PI, respectivement.

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 19.

Tableau 19
Paramètres et interface du modèle de moteur électrique

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	J_{em}	kgm ²	Inertie	dat.inertia.value
	τ_1	-	Constante de temps	dat.timeconstant.value
		Nm	Couple maximal = f (régime)	dat.maxtorque
		Nm	Couple minimal = f (régime)	dat.mintorque
		-	Régulateur de vitesse (PI)	dat.ctrl
	$P_{el,em}$	W	Cartographie = f (régime, couple)	dat.elecpowmap
		kg/s	Débit massique du liquide réfrigérant	dat.mflFluid
	$\tau_{em,heat}$	J/K	Capacité thermique	dat.cm.value
		R_{th}	K/W	Résistance thermique
	-		Propriétés du liquide réfrigérant	dat.coolingFluid
Signal de commande	rad/s	Régime recherché	ElecMac_nReq_radps	
	booléen	Interrupteur régime/couple	ElecMac_flgReqSwitch_B	
	Nm	Couple recherché	ElecMac_tqReq_Nm	
Signal capteur	M_{em}	Nm	Couple réel de la machine	ElecMac_tqAct_Nm
	ω_{em}	rad/s	Régime réel de la machine	ElecMac_nAct_radps
	i	A	Courant	ElecMac_iAct_A
	T_{em}	K	Température de la machine	ElecMac_tAct_K

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Elec in [V]	u	V	Tension	phys_voltage_V
Elec fb out [A]	i	A	Courant	phys_current_A
Mech out [Nm]	M_{em}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	J_{em}	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech fb in [rad/s]	ω_{em}	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps

A.9.7.6.2 Modèle de moteur hydraulique

Un moteur hydraulique transforme généralement l'énergie emmagasinée dans un accumulateur hydraulique en énergie mécanique.

Le moteur hydraulique doit être conçu comme suit:

$$M_{pm} = xD(p_{acc} - p_{res})\eta_{pm}^* \quad (144)$$

où:

M_{pm} : couple du moteur hydraulique (Nm);

x : signal de commande du moteur hydraulique entre 0 et 1 (-);

D : déplacement du moteur hydraulique (m³);

p_{acc} : pression dans l'accumulateur haute pression (Pa);

p_{res} : pression dans le réservoir basse pression (Pa);

η_{pm} : rendement du moteur mécanique (-).

Le rendement mécanique η_{pm} doit être déterminé comme suit:

$$\eta_{pm}^* = \begin{cases} \eta_{pm} & \text{for } M_{pm} > 0 \\ 1/\eta_{pm} & \text{for } M_{pm} < 0 \end{cases} \quad (145)$$

et doit être calculé en fonction des pertes par frottement, des pertes hydrodynamiques et des pertes dues à la résistance visqueuse:

$$\eta_{pm} = f(x, p_{acc}, p_{res}, \omega_{pm}) \quad (146)$$

où:

ω_{pm} : vitesse du moteur hydraulique (rad/s).

Le rendement peut être déterminé à partir des données expérimentales.

Le débit volumétrique Q_{pm} à travers le moteur hydraulique doit être calculé comme suit:

$$Q_{pm} = xD\omega_{pm}\eta_{vpm}^* \quad (147)$$

où η_{vpm}^* est le rendement volumétrique du moteur hydraulique tenant compte des pertes de nature laminaire, turbulente et compressible, conformément à:

$$\eta_{vpm}^* = \begin{cases} 1/\eta_{vpm} & \text{for } M_{pm} > 0 \\ \eta_{vpm} & \text{for } M_{pm} \leq 0 \end{cases} \quad (148)$$

Le rendement volumétrique peut être déterminé à partir des mesures et cartographié en fonction du signal de commande, de la différence de pression du moteur hydraulique et de sa vitesse:

$$\eta_{vpm} = f(x, p_{acc}, p_{res}, \omega_{pm}) \quad (149)$$

Le moteur hydraulique doit être contrôlé au niveau du couple ou de la vitesse par commande en boucle ouverte ou régulateur PI, respectivement.

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 20.

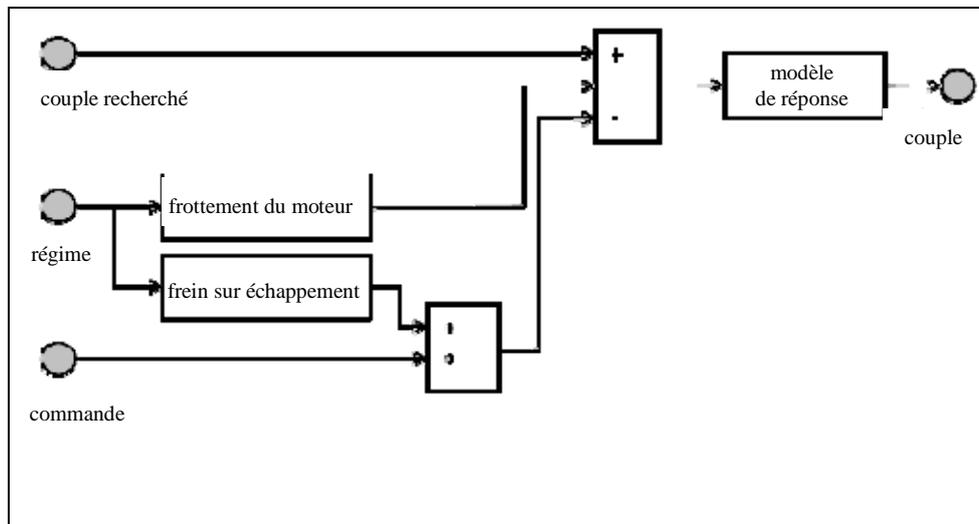
Tableau 20
Paramètres et interface du modèle de moteur hydraulique

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	J_{pm}	kgm ²	Inertie	dat.inertia.value
	τ_1	-	Constante de temps	dat.timeconstant.value
		Nm	Couple maximal =f (régime)	dat.maxtorque
	D	m ³	Volume de déplacement	dat.displacement.value
	η_v	-	Rendement volumétrique	dat.volefficiency
	η_m	-	Rendement mécanique	dat.mechefficiency
		-	Régulateur PI	dat.ctrl
Signal de commande		rad/s	Régime recherché	Hpm_nReq_radps
		booléen	Interrupteur régime/couple	Hpm_flgReqSwitch_B
		Nm	Couple recherché	Hpm_tqReq_Nm
Signal capteur	M_{em}	Nm	Couple réel du moteur	Hpm_tqAct_Nm
	ω_{pm}	rad/s	Régime réel du moteur	Hpm_nAct_radps
	Q_{pm}	m ³ /s	Débit volumétrique réel	Hpm_flowAct_m3ps
	p_{acc}	Pa	Pression de l'accumulateur	Hpm_pInAct_Pa
	p_{res}	Pa	Pression du réservoir	Hpm_pOutAct_Pa
Fluide in 1 [Pa]	p_{acc}	Pa	Pression	phys_pressure_Pa
Fluide in 2 [Pa]	p_{res}	Pa	Pression	phys_pressure_Pa
Fluide out [m3/s]	Q_{pm}	m ³ /s	Débit volumétrique	phys_flow_m3ps
Mech out [Nm]	M_{pm}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	J_{pm}	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech fb in [rad/s]	ω_{pm}	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps

A.9.7.6.3 Modèle de moteur à combustion interne

Le modèle de moteur à combustion interne doit être conçu à l'aide de cartes représentant la conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique et le temps de réponse applicable. Le modèle de moteur à combustion interne est représenté à la figure 28.

Figure 28
Schéma du modèle de moteur à combustion interne



Le modèle de moteur à combustion interne doit comporter la friction du moteur et le freinage sur échappement, tous deux en fonction du régime du moteur et conçus par cartographie. Le frein sur échappement peut être contrôlé à l'aide d'un signal de commande marche/arrêt.

Le modèle de réaction du couple doit utiliser l'une des méthodes suivantes:

- a) À l'aide d'un modèle de premier ordre avec constante de temps fixe (version 1) comme suit:

$$\dot{M}_{tce} = -\frac{1}{\tau_{tce}} (M_{tce} - M_{tce,des}) \quad (150)$$

où:

M_{ice} : couple du moteur à combustion interne (Nm);

$M_{ice,des}$: couple recherché (Nm);

T_{ice} : constance de temps pour le(s) modèle(s) de réaction du couple du moteur à combustion interne.

- b) À l'aide d'un modèle de premier ordre avec constante de temps dépendant du régime (version 2) comme suit:

$$\dot{M}_{tce,1} = -\frac{1}{\tau_{tce}(\omega_{tce})} (M_{tce,1} - M_{tce,des1}(\omega_{tce})) \quad (151)$$

$$M_{tce} = M_{tce,1} + M_{tce,des2}(\omega_{tce}) \quad (152)$$

où:

- M_{ice} : couple du moteur à combustion interne (Nm);
- M_{ice1} : couple dynamique du moteur à combustion interne (Nm);
- $M_{ice,des1}$: couple dynamique recherché (Nm);
- $M_{ice,des2}$: couple direct recherché (Nm);
- τ_{ice} : constante de temps dépendant du régime pour le(s) modèle(s) de réaction du couple du moteur à combustion interne;
- ω_{ice} : régime du moteur (rad/s).

Aussi bien la constante de temps dépendant du régime que la division dynamique et directe du couple sont cartographiées en fonction du régime.

Le moteur à combustion interne doit avoir un modèle thermodynamique représentant l'échauffement du moteur du démarrage à froid jusqu'à sa température normale de fonctionnement stabilisée conformément à:

$$\theta_{ice,oil} = \max \left(\int_0^t \eta P_{ice,loss} dt + \theta_{ice,oil,cold}, \theta_{ice,oil,hot} \right) \quad (153)$$

où:

- $\theta_{ice,oil}$: température de l'huile du moteur à combustion interne (K);
- $P_{ice,loss}$: pertes de puissance du moteur à combustion interne (W);
- η : fraction of power loss that goes to heating (-);
- $\theta_{ice,oil,cold}$: température de l'huile du moteur au démarrage à froid (K);
- $\theta_{ice,oil,hot}$: température de l'huile du moteur à température dans des conditions de fonctionnement normal (K).

Le moteur à combustion interne doit être contrôlé au niveau du couple ou de la vitesse par commande en boucle ouverte ou régulateur PI, respectivement.

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 21.

Tableau 21
Paramètres et interface du modèle de moteur à combustion interne

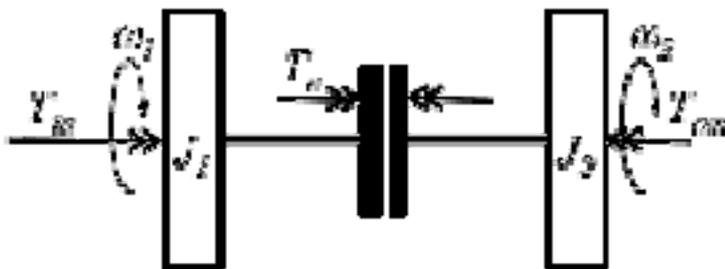
Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	J_{ice}	kgm ²	Inertie	dat.inertia.value
	τ_{ice}	-	Constante de temps	dat.timeconstant.value
	M_{fric}	Nm	Couple de frottement du moteur	dat.friction
	M_{exh}	Nm	Couple du frein sur échappement	dat.exhaustbrake
		Nm	Couple maximal =f(régime)	dat.maxtorque
	-	Régulateur PI	dat.ctrl	

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
		kg/s	Débit du carburant	dat.fuelmap
		kJ/kg	Pouvoir calorifique net du carburant	dat.ncv.value
		kg/m ³	Masse volumique du carburant	dat.rho.value
		-	Perte de puissance due au refroidissement et à l'huile	dat.eta.value
		-	Propriétés de l'huile	dat.oil
		-	Propriétés du réfrigérant	dat.cf
		rad/s	Régime recherché	Eng_nReq_radps
		booléen	Commutateur régime/couple	Eng_flgReqSwitch_B
		Nm	Couple recherché	Eng_tqReq_Nm
		booléen	Interrupteur du frein sur échappement	Eng_flgExhaustBrake_B
Signal capteur	M_{ice}	Nm	Couple vilebrequin	Eng_tqCrkSftAct_Nm
	$M_{ice}+M_{fric}+M_{exh}$	Nm	Couple indiqué	Eng_tqIndAct_Nm
	ω_{ice}	rad/s	Régime réel du moteur	Eng_nAct_radps
	T_{ice}	K	Température de l'huile	Eng_tOilAct_K
Chem fb out [kg/s]		kg/s	Débit de carburant	phys_massflow_kgps
Mech out [Nm]	M_{ice}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	J_{ice}	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech fb in [rad/s]	ω_{ice}	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps

A.9.7.7.1 Modèle d'embrayage

Le modèle d'embrayage doit transmettre le couple d'entrée du disque d'embrayage primaire au disque d'embrayage secondaire en appliquant trois phases de fonctionnement: ouverture, glissement et fermeture. La figure 29 représente le schéma du modèle d'embrayage.

Figure 29
Schéma du modèle d'embrayage



Le modèle d'embrayage doit être défini conformément aux équations (différentielles) de mouvement:

$$J_{cl,1}\dot{\omega}_{cl,1} = M_{cl1,tn} - M_{cl} \quad (154)$$

$$J_{cl,2}\dot{\omega}_{cl,2} = M_{cl} - M_{cl2,out} \quad (155)$$

Au cours de l'opération de glissement, la relation suivante est définie:

$$M_{cl} = uM_{cl,maxtorque} \text{sign}(\omega_1 - \omega_2) \quad (156)$$

$$\omega_1 = \omega_2|_{t=0} + \int_0^t (M_{cl1,tn}(t) - M_{cl}(t)) dt \quad (157)$$

où:

$M_{cl,maxtorque}$: couple maximal transmissible par l'embrayage (Nm);

u_{cl} : signal de commande de l'embrayage entre 0 et 1 (-).

Durant les opérations d'ouverture et de fermeture de l'embrayage, les relations suivantes doivent s'appliquer:

$$M_{cl} = 0 \text{ pour ouvert} \quad (158)$$

$$M_{cl2,out} = M_{cl1,tn} \text{ pour fermé} \quad (159)$$

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 22.

Tableau 22
Paramètres et interface du modèle d'embrayage

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	J_1	kgm ²	Inertie	dat.in.inertia.value
	J_2	kgm ²	Inertie	dat.out.inertia.value
	$M_{maxtorque}$	Nm	Couple d'embrayage maximal	dat.maxtorque.value
Signal de commande	u	0-1	Position de la pédale d'embrayage recherchée	Clu_ratReq_Rt
Signal capteur		booléen	Débrayé ou pas	Clu_flgConnected_B
Mech in [Nm]	M_{in}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	J_{in}	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech out [Nm]	M_{out}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	J_{out}	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech fb in [rad/s]	ω_1	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps
Mech fb out [rad/s]	ω_2	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps

A.9.7.7.2 Modèle de transmission à variation continue

Le modèle de transmission à variation continue (TVC) représente une transmission mécanique permettant n'importe quel rapport entre des valeurs limites supérieure et inférieure. Le modèle de TVC doit être conforme à:

$$M_{CVT,out} = r_{CVT} M_{CVT,in} \eta_{CVT} \quad (160)$$

où:

$M_{CVT,in}$: couple d'entrée de la TVC (Nm);

$M_{CVT,out}$: couple de sortie de la TVC (Nm);

r_{CVT} : rapport de la TVC (-);

η_{CVT} : rendement de la TVC (-).

Le rendement de la TVC doit être défini en fonction du couple d'entrée, du régime de sortie et du rapport:

$$\eta_{CVT} = f(r_{CVT}, M_{CVT,in}, \omega_{CVT,out}) \quad (161)$$

Le modèle de TVC doit supposer que la valeur de la vitesse de glissement est égale à zéro, afin que la formule suivante puisse être utilisée:

$$\omega_{CVT,in} = r_{CVT} \omega_{CVT,out} \quad (162)$$

Le rapport de TVC doit être contrôlé par un point de consigne et à l'aide d'une représentation de premier ordre pour actionner le changement de rapport de la TVC conformément à:

$$\frac{d}{dt} r_{CVT} = \frac{1}{\tau_{CVT}} (-r_{CVT} + r_{CVT,des}) \quad (163)$$

où:

τ_{CVT} : constante(s) de temps de la TVC;

$r_{CVT,des}$: changement de rapport de la TVC commandé (-).

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 23.

Tableau 23
Paramètres et interface du modèle de TVC

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	τ_{CVT}	-	Constante de temps	dat.timeconstant.value
	η_{CVT}	-	Rendement	dat.efficiency
	$M_{maxtorque}$	Nm	Couple d'embrayage maximal	dat.maxtorque.value
Signal de commande	r_{des}	-	Rapport de la TVC recherché	CVT_ratGearReq
Signal capteur	r_{CVT}	-	Rapport réel de la TVC	CVT_ratGearAct_Rt
	ω_{out}	rad/s	Régime de sortie	CVT_nOutAct_radps
	ω_{in}	rad/s	Régime d'entrée	CVT_nInAct_radps

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Mech in [Nm]	M_{in}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	J_{in}	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech out [Nm]	M_{out}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	J_{out}	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech fb in [rad/s]	ω_{out}	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps
Mech fb out [rad/s]	ω_{in}	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps

A.9.7.7.3 Modèle de volant-moteur

Le modèle de volant-moteur doit représenter une masse en rotation utilisée pour accumuler et libérer de l'énergie cinétique. L'état de l'énergie cinétique est défini par:

$$E_{flywheel} = J_{flywheel} \omega_{flywheel}^2 \tag{164}$$

où:

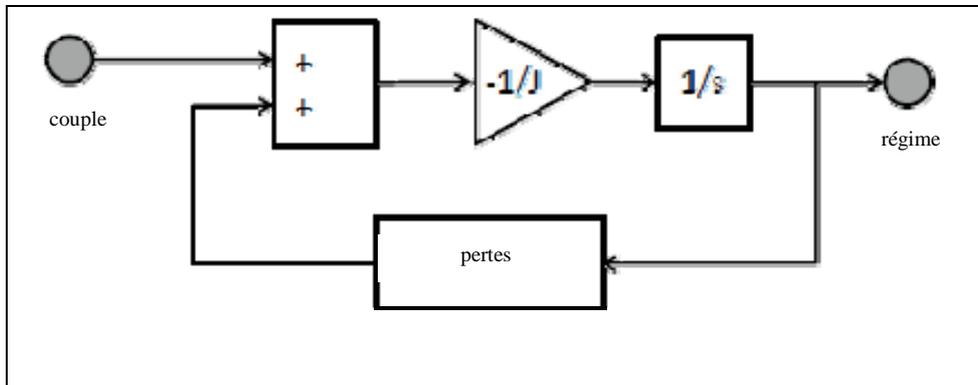
$E_{flywheel}$: énergie cinétique du volant-moteur (J);

$J_{flywheel}$: inertie du volant-moteur (kgm²);

$\omega_{flywheel}$: régime du volant-moteur (rad/s).

Le schéma du modèle de volant-moteur est présenté à la figure 30.

Figure 30
Schéma du modèle de volant-moteur



Le modèle de volant-moteur doit être défini conformément à l'équation différentielle suivante:

$$J_{flywheel} \frac{d}{dt} \omega_{flywheel} = -M_{flywheel,ln} - M_{flywheel,loss}(\omega_{flywheel}) \tag{165}$$

où:

$M_{flywheel,in}$: couple d'entrée du volant-moteur (Nm);

$M_{flywheel,loss}$: pertes (dépendantes du régime) du volant-moteur (Nm).

Les pertes peuvent être déterminées à partir de mesures et modélisées à l'aide de cartes.

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 24.

Tableau 24
Paramètres et interface du modèle de volant-moteur

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	J_{fly}	kgm ²	Inertie	dat.inertia.value
	M_{loss}	Nm	Carte de perte de couple	dat.loss
Signal de commande			Pas de signal de commande	
Signal capteur	ω_{ny}	rad/s	Régime du volant-moteur	Flywheel_nAct_radps
Mech in [Nm]	M_{in}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	J_{in}	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech fb out [rad/s]	ω_{ny}	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps

A.9.7.7.4 Modèle d'assemblage mécanique

Un modèle de la liaison de deux arbres d'entrée avec un seul arbre de sortie, c'est-à-dire un joint mécanique, peut être conçu à l'aide des rapports et rendements d'engrenage conformément à :

$$M_{out} = \eta_{out} r_{out} (\eta_{in,1} r_{in,1} M_{in,1} + \eta_{in,2} r_{in,2} M_{in,2}) \quad (166)$$

où :

$M_{in,1}$: couple d'entrée sur l'arbre 1 (Nm);

$M_{in,2}$: couple d'entrée sur l'arbre 2 (Nm);

M_{out} : couple de sortie sur l'arbre (Nm);

$r_{in,1}$: rapport d'engrenage de l'arbre 1 (-);

$r_{in,2}$: rapport d'engrenage de l'arbre 2 (-);

$\eta_{in,1}$: rendement d'engrenage de l'arbre 1 (-);

$\eta_{in,2}$: rendement d'engrenage de l'arbre 2 (-);

r_{out} : rapport d'engrenage sur l'arbre de sortie (-);

η_{out} : rendement d'engrenage sur l'arbre de sortie (-).

L'inertie de chacune des combinaisons arbre/rapport doit être définie et ajoutée à l'inertie totale du groupe motopropulseur.

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 25.

Tableau 25
Paramètres et interface du modèle d'assemblage mécanique

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	J_1	kgm ²	Inertie	dat.in1.inertia.value
	$r_{in,1}$	-	Rapport	dat.in1.ratio.value

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
	$\eta_{in,1}$	-	Rendement	dat.in1.ency.value
	J_2	kgm ²	Inertie	dat.in2.inertia.value
	$r_{in,2}$	-	Rapport	dat.in2.ratio.value
	$\eta_{in,2}$	-	Rendement	dat.in2.ency.value
	J_{out}	kgm ²	Inertie	dat.out.inertia.value
	r_{out}	-	Rapport	dat.out.ratio.value
	η_{out}	-	Rendement	dat.out.ency.value
Signal de commande			Pas de signal de commande	
Signal capteur			Pas de signal	
Mech in 1 [Nm]	$M_{in,1}$	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	$J_{in,1}$	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech in 2 [Nm]	$M_{in,2}$	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	$J_{in,2}$	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech out [Nm]	M_{out}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	J_{out}	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech fb in [rad/s]	ω_{in}	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps
Mech fb out 1 [rad/s]	$\omega_{out,1}$	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps
Mech fb out 2 [rad/s]	$\omega_{out,2}$	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps

A.9.7.7.5 Modèle de ralentisseur

Un modèle de ralentisseur doit être représenté par une simple réduction de couple, comme suit:

$$M_{retarder,out} = M_{retarder,in} - uM_{retarder,max}(\omega_{retarder}) \quad (167)$$

où:

u : signal de commande du ralentisseur entre 0 et 1 (-);

$M_{retarder,max}$: couple de freinage maximal (dépendant du régime) de ralentisseur (Nm);

$\omega_{retarder}$: régime du ralentisseur (rad/s);

$M_{retarder,in}$: couple d'entrée du ralentisseur (Nm);

$M_{retarder,out}$: couple de sortie du ralentisseur (Nm).

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 26.

Tableau 26
Paramètres et interface du modèle de ralentisseur

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	T_{loss}	Nm	Carte du couple de freinage du ralentisseur	dat.brakertorque
Signal de commande	u	-	Ralentisseur activé/désactivé	Ret_flgOnOff_B
Signal capteur	T_{loss}	Nm	Couple de freinage du ralentisseur	Ret_tqBrkAct_Nm
Mech in [Nm]	M_{in}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	J_{in}	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech out [Nm]	M_{out}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	J_{out}	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech fb in [rad/s]	ω_{in}	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps
Mech fb out [rad/s]	ω_{out}	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps

A.9.7.7.6 Modèle de rapport fixe

Une transmission avec un ensemble de roués dentées et un rapport fixe doit être représentée conformément à l'équation suivante:

$$\omega_{spur,out} = \omega_{spur,in} / r_{spur} \quad (168)$$

Les pertes d'engrenage doivent être considérées comme des pertes de couple et mises en œuvre en termes de rendement:

$$M_{out} = \begin{cases} M_{in} r_{gear} \eta_{gear}, & \text{for } M_{in} \leq 0 \\ M_{in} r_{gear} / \eta_{gear}, & \text{for } M_{in} > 0 \end{cases} \quad (169)$$

Les inerties doivent être incluses de la manière suivante:

$$I_{gear,out} = I_{gear,in} r_{gear}^2 + I_{gear} \quad (170)$$

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 27.

Tableau 28
Paramètres et interface du modèle de rapport fixe

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	J_{gear}	kgm ²	Inertie	dat.in.inertia.value
	r_{gear}	-	Rapport	dat.in.ratio.value
	η_{gear}	-	Rendement	dat.in.efficiency.value
Signal de commande			Pas de signal	
Signal capteur			Pas de signal	
Mech in [Nm]	M_{in}	Nm	Couple	phys_torque_Nm

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
	J_{in}	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech out [Nm]	M_{out}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	J_{out}	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech fb in [rad/s]	ω_{out}	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps
Mech fb out [rad/s]	ω_{in}	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps

A.9.7.7.7 Modèle de convertisseur de couple

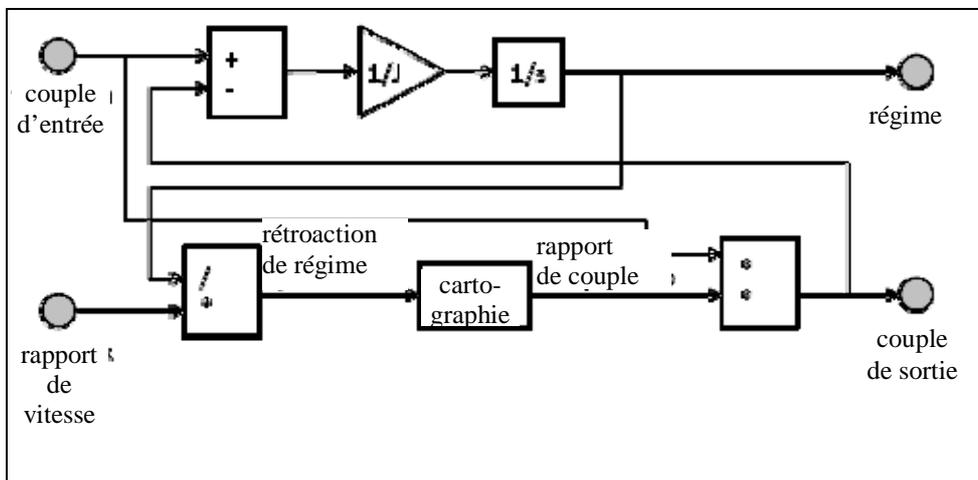
Un convertisseur de couple est un coupleur hydraulique qui transfère la puissance d'entrée de sa roue à ailettes ou de sa pompe à sa roue de turbine sur l'arbre de sortie par l'intermédiaire du mouvement de son fluide de travail. Un convertisseur de couple doté d'un stator produira une démultiplication du couple en mode de glissement. Un convertisseur de couple est souvent appliqué comme coupleur dans une transmission automatique.

Le convertisseur de couple doit être conforme aux équations différentielles suivantes:

$$(J_{tc,in} + J_{impeller}) \frac{d}{dt} \omega_{in} = -M_{tc,in} - M_{tc,out} \tag{171}$$

Le modèle de convertisseur de couple est représenté à la figure 31.

Figure 31
Schéma du modèle de convertisseur de couple



Les caractéristiques du modèle de convertisseur de couple doivent être définies en fonction des vitesses (de rotation) à l'aide de paramètres typiques tels que le rapport (de multiplication) et le rendement du couple.

Les rapports de vitesse et de couple pour le modèle de convertisseur de couple doivent être conformes à:

$$\omega_{tc,r} = \omega_{out} / \omega_{in} \tag{172}$$

$$M_{tc,r} = M_{out}/M_{in} \quad (173)$$

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 29.

Tableau 29
Paramètres et interface du modèle de convertisseur de couple

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	$J_{impeller}$	kgm^2	Inertie	dat.inertia.value
		-	Carte des rapports de couple	dat.torquerationmap
Signal de commande		booléen	Blocage du convertisseur de couple	TC_flgLockUp_B
Signal capteur	ω_{out}	rad/s	Vitesse de la turbine	TC_nTurbineAct_radps
Mech in [Nm]	M_{in}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
		J_{in}	kgm^2	Inertie
Mech out [Nm]	M_{out}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
		J_{out}	kgm^2	Inertie
Mech fb in [rad/s]	ω_{out}	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps
Mech fb out [rad/s]	ω_{in}	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps

A.9.7.7.8 Modèle de la transmission

Le modèle de la transmission doit être mise en œuvre sous la forme d'engrenages en contact et avec un rapport d'engrenage spécifique r_{gear} conforme à:

$$\omega_{tr,in} = \omega_{tr,out} r_{gear} \quad (174)$$

Toutes les pertes dans le modèle de transmission doivent être définies comme des pertes de couple et mises en œuvre par le biais d'un rendement de transmission fixé pour chaque rapport individuel. Le modèle de transmission doit être conforme à:

$$M_{out} = \begin{cases} M_{in} r_{gear} \eta_{gear}, & \text{for } M_{in} \leq 0 \\ M_{in} r_{gear} / \eta_{gear}, & \text{for } M_{in} > 0 \end{cases} \quad (175)$$

L'inertie totale de la boîte de vitesse, qui dépend du rapport actif sélectionné, est définie par l'équation suivante:

$$I_{gear,out} = I_{gear,in} r_{gear}^2 + I_{gear,out} \quad (176)$$

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 30.

Tableau 26
Paramètres et interface du modèle de transmission

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre		s	Durée du changement de vitesse	dat.shifttime.value
		Nm	Couple maximal	dat.maxtorque.value
		-	Nombre de rapports	dat.nofgear.value
		-	Numéro du rapport (vecteur)	dat.gear.number.value
	J_{gearbox}	kgm ²	Inertie (vecteur)	dat.gear.inertia.value
	r_{gear}	-	Rapport (vecteur)	dat.gear.ratio.value
	η_{gear}	-	Rendement du rapport (vecteur)	dat.gear.efficiency.value
Signal de commande		-	Numéro du rapport demandé	Transm_nrGearReq
Signal capteur		-	Numéro du rapport réel	Transm_nrGearAct
		booléen	Rapport engagé	Transm_flgConnected_B
	ω_{out}	rad/s	Vitesse de sortie	Transm_nOutAct_radps
	ω_{in}	rad/s	Vitesse d'entrée	Transm_nInAct_radps
Mech in [Nm]	M_{in}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	J_{in}	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech out [Nm]	M_{out}	Nm	Couple	phys_torque_Nm
	J_{out}	kgm ²	Inertie	phys_inertia_kgm2
Mech fb in [rad/s]	ω_{out}	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps
mech fb out [rad/s]	ω_{in}	rad/s	Vitesse de rotation	phys_speed_radps

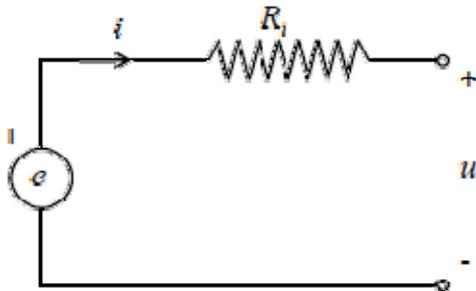
A.9.7.8 Systèmes rechargeables de stockage de l'énergie

A.9.7.8.1 Modèle de batterie (à résistance)

Un modèle de batterie à résistance (figure 32) peut être utilisé et doit être conforme à:

$$u = e - R_i i \quad (177)$$

Figure 32
Représentation schématique de la batterie



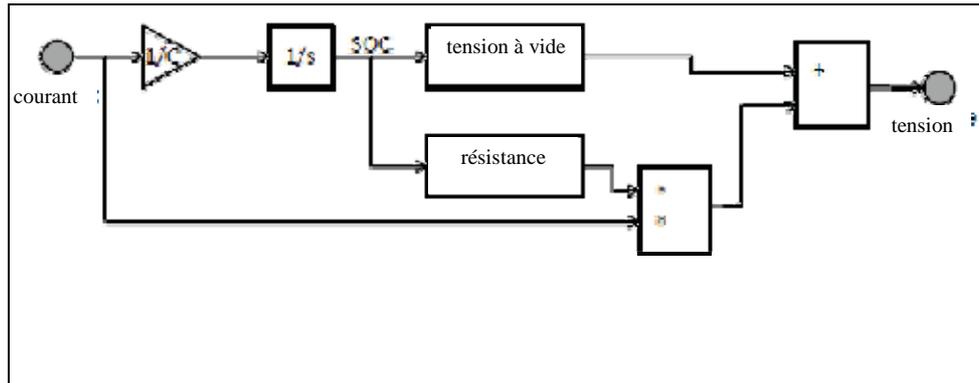
La tension à vide e et la résistance interne R_i doit dépendre du niveau d'énergie réel de la batterie. Cet état de charge de la batterie (SOC) doit être défini comme suit:

$$SOC = SOC(0) - \int_0^t \frac{i}{3600C} dt \quad (178)$$

En utilisant l'état de charge initial $SOC(0)$ et la capacité C de la batterie.

Un schéma du modèle à résistance est présenté à la figure 33.

Figure 33
Schéma du modèle de batterie à résistance



La batterie peut être échelonnée à l'aide d'un certain nombre de piles-éléments reliées en parallèle ou en série.

Le modèle de batterie peut inclure un modèle thermodynamique utilisant une modélisation inspirée de celle du moteur électrique et qui calcule les pertes comme suit:

$$P_{loss} = R_i i^2 \quad (179)$$

Les pertes de puissance doivent être transformées en chaleur affectant la température de la manière suivante:

$$\dot{T}_{bat} = \frac{1}{\tau_{bat,heat}} (P_{loss,bat} - (T_{bat} - T_{bat,cool})/R_{bat,th}) \quad (180)$$

où:

T_{bat} : température de la batterie (K);

$\tau_{bat,heat}$: constante de temps pour la masse thermique de la batterie ();

$T_{bat,cool}$: température du milieu réfrigérant de la batterie (K);

$R_{bat,th}$: résistance thermique de la batterie ().

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 31.

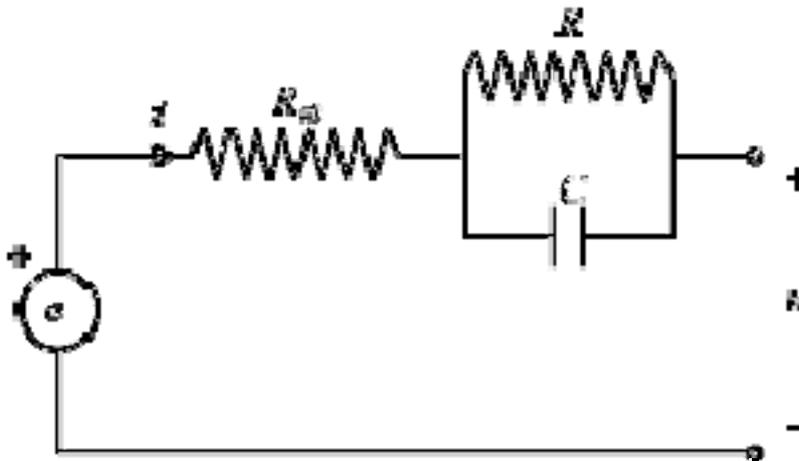
Tableau 31
Paramètres et interface du modèle de batterie à résistance

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	n_s	-	Nombre de piles-éléments reliées en série	dat.ns.value
	n_p	-	Nombre de piles-éléments reliées parallèle	dat.np.value
	C	Ah	Capacité des piles-éléments	dat.capacity.value
	SOC(0)	%	État de charge initial	dat.initialSOC.value
	e	V	Tension à vide = f(SOC)	dat.ocv.ocv
	R_i	Ω	Résistance des piles-éléments	dat.resistance.R0
Signal de commande			Pas de signal	
Signal capteur	i	A	Courant réel	REESS_iAct_A
	u	V	Tension de sortie réelle	REESS_uAct_V
	SOC	%	État de charge	REESS_socAct_Rt
	T_{bat}	K	Température de la batterie	REESS_tAct_K
Elec out [V]	u	V	Tension	phys_voltage_V
Elec fb in [A]	i	A	Courant	phys_current_A

A.9.7.8.2 Modèle de batterie (RC)

On peut utiliser un modèle de batterie comportant des éléments dynamiques supplémentaires sur la base de la représentation utilisant une résistance et un condensateur, comme le montre la figure 34.

Figure 34
 Schéma représentant un modèle de circuit de batterie RC



La tension de la batterie doit correspondre à:

$$u = e - R_{i0}i - u_{RC} \quad (181)$$

avec:

$$\frac{d}{dt}u_{RC} = -\frac{1}{RC}u_{RC} + \frac{1}{C}i \quad (182)$$

La tension à vide e , les résistances R_{i0} et R ainsi que la capacité C doivent toutes dépendre de l'état de charge réel de la batterie et elles doivent être modélisées à l'aide des valeurs issues de la cartographie.

La batterie peut être échelonnée à l'aide d'un certain nombre de piles-éléments.

Le modèle de batterie peut inclure un modèle thermodynamique utilisant une modélisation inspirée de celle du moteur électrique et qui calcule les pertes comme suit:

$$P_{loss} = R_i i^2 \quad (183)$$

Les pertes de puissance doivent être transformées en chaleur affectant la température de la manière suivante:

$$\dot{T}_{bat} = \frac{1}{\tau_{bat,heat}} (P_{loss,bat} - (T_{bat} - T_{bat,cool})/R_{bat,th}) \quad (184)$$

où:

T_{bat} : température de la batterie (K);

$T_{bat,heat}$: constante de temps pour la masse thermique de la batterie ();

$T_{bat,cool}$: température du milieu réfrigérant de la batterie (K);

$R_{bat,th}$: résistance thermique de la batterie ().

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 32.

Tableau 32
Paramètres et interface du modèle de batterie RC

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	n_s	-	Nombre de piles-éléments reliées en série	dat.ns.value
	n_p	-	Nombre de piles-éléments reliées en parallèle	dat.np.value
	C	Ah	Capacité des piles-éléments	dat.capacity.value
	SOC(0)	%	État de charge initial	dat.initialSOC.value
	e	V	Tension à vide =f(SOC)	dat.ocv.ocv
	R_{i0}	Ω	Résistance des piles-éléments	dat.resistance.R0
	R	Ω	Résistance des piles-éléments	dat.resistance.R
	C	F	Résistance des piles-éléments	dat.resistance.R

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Signal de commande			Pas de signal	
Signal capteur	i	A	Courant réel	REESS_iAct_A
	u	V	Tension de sortie réelle	REESS_uAct_V
	SOC	%	État de charge	REESS_socAct_Rt
	T _{bat}	K	Température de la batterie	REESS_tAct_K
Elec out [V]	u	V	Tension	phys_voltage_V
Elec fb in [A]	i	A	Courant	phys_current_A

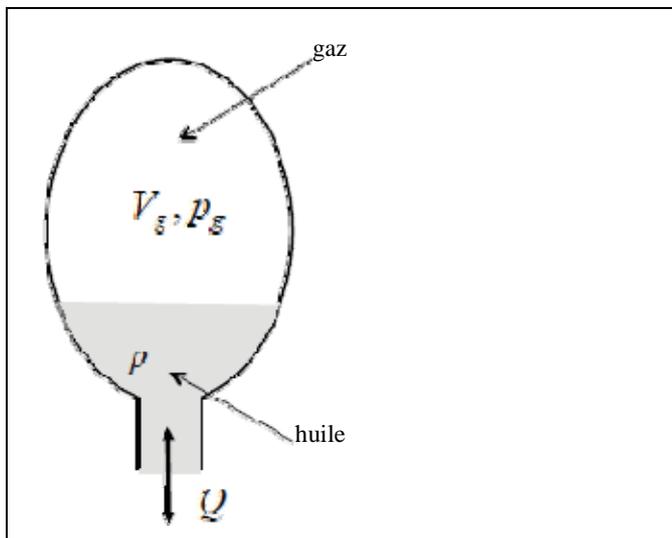
A.9.7.8.3 Modèle de condensateur

Réservé.

A.9.7.8.4 Modèle d'accumulateur hydraulique

Un accumulateur hydraulique est un récipient sous pression capable d'emmagasiner et de libérer un milieu agissant (fluide ou gaz). Un accumulateur haute pression et un réservoir basse pression constituent habituellement le système hydraulique. Tant l'accumulateur que le réservoir doivent être représentés à l'aide de la même méthode de modélisation schématisée à la figure 35.

Figure 35
Représentation de l'accumulateur



L'accumulateur doit être représenté conformément aux équations suivantes, en supposant que la loi des gaz parfait s'applique, que les pressions du liquide et du gaz soient égales et qu'il n'y ait aucune perte dans l'accumulateur:

$$\frac{d}{dt} V_{gas} = -Q \tag{185}$$

$$p = \frac{m_g RT}{V_{gas}} \quad (186)$$

où:

m_g : masse du gaz de charge (kg);

R : constante de gaz;

T_g : température du gaz de charge (K).

Le modèle peut contenir un modèle de transfert de chaleur utilisant la relation suivante:

$$m_{gas} c_v \frac{dT}{dt} = - \frac{m_{gas} RT_g}{V_{gas}} Q - h A_w (T_{gas} - T_w) \quad (187)$$

où:

c_v : volume spécifique du gaz de charge ();

h : coefficient de transfert thermique de l'accumulateur ();

A_w : surface de l'accumulateur (m²);

T_w : température de surface de l'accumulateur (K).

Pour le modèle disponible dans la bibliothèque HILS, les paramètres et l'interface sont définis au tableau 33.

Tableau 33
Paramètres et interface du modèle d'accumulateur

Type/Bus	Nom	Unité	Description	Référence
Paramètre	T	K	Température du gaz	dat.gas.temperature.value
	m_g	kg	Masse du gaz	dat.gas.mass.value
	R	J/kg	Constante de gaz	dat.gas.constant.value
	V_g	m ³	Volume du réservoir	dat.capacity.volume.value
	V_f	m ³	Volume du fluide	dat.capacity.fluid.value
		%	Volume initial du fluide	dat.capacity.fluid.init.value
Signal de commande			Pas de signal	
Signal capteur	p	Pa	Pression	Acc_presAct_Pa
	T_g	K	Température du gaz	Acc_tGasAct_K
	V_g	-	Volume du gaz	Acc_volGas_Rt
Fluide out [Pa]	p	Pa	Pression	phys_pressure_Pa
Fluide fb en [m3/s]	Q	m ³ /s	Débit volumique	phys_flow_m3ps

A.9.7.9 Dispositions relatives aux modèles de composants spécifiques des FEO

Le constructeur peut utiliser d'autres modèles de composants du groupe motopropulseur considérés comme donnant une représentation au moins équivalente à celle des modèles énumérés aux paragraphes A.9.7.2 à A.9.7.8 mais qui correspondent mieux aux performances de ces

composants. Un modèle différent doit répondre à l'intention du modèle de la bibliothèque. Tout écart par rapport aux modèles de composants du groupe motopropulseur décrits au paragraphe A.9.7 doit être soumis pour approbation à l'autorité d'homologation de type ou de certification. Le constructeur doit fournir à cette autorité toutes les informations appropriées concernant le modèle de substitution ainsi que la justification de son utilisation. Ces informations doivent être fondées sur des calculs, des simulations, des estimations, des descriptions des modèles et des résultats expérimentaux, entre autres.

Le modèle de châssis doit être conforme au paragraphe A.9.7.3.

Le modèle de VH de référence doit être conforme aux paragraphes A.9.7.2 à A.9.7.8.

A.9.8 Procédures d'essai pour le(s) convertisseur(s) d'énergie et le(s) dispositif(s) de stockage

A.9.8.1 Introduction générale

Il faut utiliser les procédures décrites aux paragraphes A.9.8.2 à A.9.8.5 pour obtenir les paramètres des composants du système de simulation HIL servant à calculer les conditions de fonctionnement du moteur à l'aide du modèle de VH.

Une procédure d'essai d'un composant donné spécifique au constructeur peut être utilisée dans les cas suivants:

- a) Aucune procédure d'essai de ce composant n'existe dans le présent RTM;
- b) La procédure existante n'est pas sûre ou pas représentative du composant en question;
- c) Elle ne convient pas au modèle particulier du constructeur.

Ces procédures spécifiques au constructeur doivent être conformes aux procédures d'essai de composants donnés qui visent à déterminer les données représentatives concernant l'utilisation du modèle dans le système de simulation HIL. Les détails techniques de ces procédures d'essai de composants spécifiques au constructeur doivent être soumis pour approbation à l'autorité d'homologation de type ou de certification assortis de toutes les informations appropriées concernant la procédure en question ainsi que la justification de son utilisation. Ces informations doivent être fondées sur des calculs, des simulations, des estimations, des descriptions des modèles et des résultats expérimentaux, entre autres.

A.9.8.2 Spécifications de l'équipement

Il faut utiliser des appareils ayant les caractéristiques appropriées pour procéder aux essais. Les prescriptions sont exposées ci-dessous et elles doivent être conformes aux conditions de linéarité et de vérification du paragraphe 9.2.

La précision des instruments de mesure (révisés et étalonnés conformément aux procédures de manipulation applicables) doit être telle que les conditions de linéarité indiquées au tableau 34 et vérifiées conformément au paragraphe 9.2 ne soient pas dépassées.

Tableau 34
Conditions de linéarité s'appliquant aux instruments

<i>Système de mesure</i>	$ x_{min} \cdot (a_1 - 1) + a_0$ (au maximum de l'essai)	<i>Pente, a_1</i>	<i>Erreur type, SEE</i>	<i>Coefficient de détermination, r^2</i>
Régime	≤ 0,05 % max	0,98-1,02	≤ 2 % max	≥ 0,990
Couple	≤ 1 % max	0,98-1,02	≤ 2 % max	≥ 0,990
Températures	≤ 1 % max	0,99-1,01	≤ 1 % max	≥ 0,998
Courant	≤ 1 % max	0,98-1,02	≤ 1 % max	≥ 0,998
Tension	≤ 1 % max	0,98-1,02	≤ 1 % max	≥ 0,998
Puissance	≤ 2 % max	0,98-1,02	≤ 2 % max	≥ 0,990

A.9.8.3 Moteur à combustion interne

Les caractéristiques du couple du moteur, les pertes par friction du moteur et le couple de freinage auxiliaire doivent être déterminés et converties en données qui serviront de paramètres d'entrée pour le modèle de moteur du système de simulation HIL. Il faut effectuer les mesures et la conversion des données conformément aux paragraphes A.9.8.3.1 à A.9.8.3.7.

A.9.8.3.1 Moteur soumis à l'essai

Le moteur soumis à l'essai doit être le moteur du groupe motopropulseur hybride de base conformément aux dispositions du paragraphe 5.3.4.

A.9.8.3.2 Conditions et équipement d'essai

Les conditions d'essai et l'équipement utilisé doivent être conformes aux dispositions des paragraphes 6 et 9, respectivement.

A.9.8.3.3 Mise en température du moteur

Le moteur doit être mis en température conformément au paragraphe 7.4.1.

A.9.8.3.4 Détermination de la plage de régime de cartographie

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

- Régime minimal = régime de ralenti à chaud;
- Régime maximal = $n_{hi} \times 1,02$ ou régime auquel le couple à pleine charge tombe à zéro, la valeur la plus faible étant retenue.

A.9.8.3.5 Cartographie des caractéristiques du couple positif du moteur

Lorsque le moteur est stabilisé conformément au paragraphe A.9.8.3.3, il faut cartographier le couple du moteur en procédant comme suit:

- Après avoir vérifié que le couple de l'arbre et le régime du moteur sont stabilisés à une valeur constante pendant au moins une minute, il faut mesurer le couple du moteur en relevant l'effort de freinage ou le couple de l'axe du dynamomètre. Si le moteur à essayer et le dynamomètre sont reliés par une transmission, la

valeur relevée doit être divisée par le rendement de la transmission et le rapport d'engrenage de la transmission. Dans un tel cas, il faut utiliser et spécifier une transmission (à changement de vitesse) à rapport fixe (présélectionné);

- b) Il faut mesurer le régime moteur en relevant le régime du vilebrequin ou la vitesse de rotation du dynamomètre. Si le moteur à essayer et le dynamomètre sont reliés par une transmission, la valeur relevée doit être multipliée par le rapport d'engrenage;
- c) Le couple du moteur en fonction du régime et de la valeur de commande doit être mesuré dans au moins 100 conditions au total, pour au moins 10 régimes de moteur dans une plage conforme au paragraphe A.9.8.3.4 et pour au moins 10 valeurs de commande dans une plage allant de 100 % à 0 % de la valeur de commande de l'opérateur. La distribution peut se faire de manière égale et doit être définie sur la base de jugements techniques pertinents.

A.9.8.3.6 Mesure du frottement du moteur et du couple de freinage auxiliaire

Il faut mesurer le couple de frottement du moteur en déplaçant le moteur d'essai sur le dynamomètre hors charge (0 % de la valeur de commande de l'opérateur et injection de carburant réellement égale à zéro) et en effectuant les mesures dans au moins 10 conditions dans une plage conforme au paragraphe A.9.8.3.3. Le couple de frottement doit en outre être mesuré avec un système de freinage auxiliaire engagé (comme par exemple un frein sur échappement), si un système de freinage est nécessaire dans le système de simulation HIL en plus du frein moteur.

A.9.8.3.7 Données d'entrée du couple du modèle de moteur

Les paramètres d'entrées mis en tableau pour le modèle de moteur doivent être obtenus à partir des données enregistrées concernant le régime, le couple et la commande de l'opérateur permettant de reproduire des conditions valables et représentatives lors de la simulation HIL.

Au moins 100 points de couple doivent être mis en tableau pour le couple du moteur en fonction d'au moins 10 valeurs de régime du moteur et d'au moins 10 valeurs de commande de l'opérateur. La distribution peut se faire de manière égale et sur la base de jugements techniques pertinents. S'il est nécessaire de procéder à une interpolation, il faut avoir recours à l'interpolation cubique d'Hermite, conformément à l'appendice 1 de la présente annexe. On peut ajouter des valeurs égales ou inférieures au régime minimal du moteur afin d'éviter toute performance non représentative ou instable du modèle lorsqu'on effectue la simulation HIL, en se fondant sur une bonne appréciation technique.

Au moins 10 points de couple doivent être mis en tableau pour le couple de frottement du moteur en fonction du régime du moteur et avec une valeur de commande de 0 %.

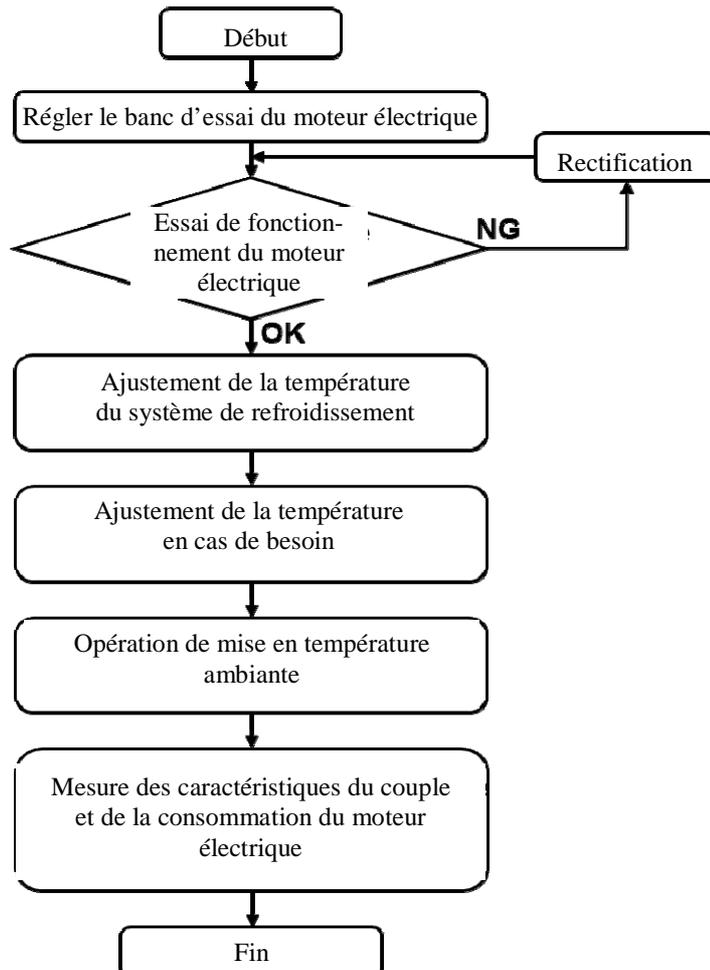
Au moins 10 points de couple doivent être mis en tableau pour le couple de freinage auxiliaire du moteur en fonction du régime du moteur et avec une valeur de commande de 0 %.

A.9.8.4 Moteur électrique

A.9.8.4.1 Généralités

Il faut cartographier le couple et la consommation d'énergie électrique du moteur électrique et en tirer des données mises en tableau qui serviront de paramètres d'entrée pour le modèle de moteur électrique du système de simulation HIL. La méthode d'essai doit être celle qui est prescrite et schématisée à la figure 36.

Figure 36
Schéma de la procédure d'essai du moteur électrique



A.9.8.4.2 Moteur électrique d'essai et son dispositif de contrôle

Le moteur électrique d'essai et son dispositif de contrôle (électronique de haute puissance et UCE) doivent être préparés comme suit:

- a) Le moteur électrique d'essai et son dispositif de contrôle doivent être entretenus conformément aux procédures d'inspection et d'entretien;
- b) La source électrique doit être une alimentation en courant continu à tension constante ou un système (rechargeable) de stockage de l'énergie électrique qui soit capable de fournir ou d'absorber

l'énergie électrique nécessaire à ou depuis l'électronique de puissance à la puissance (mécanique) maximale du moteur électrique pendant la durée de la partie de l'essai concernée;

- c) La tension de la source d'alimentation électrique qui est aussi appliquée à l'électronique de puissance doit être maintenue à $\pm 5\%$ de la tension nominale du SRSE dans le groupe motopropulseur du VH indiquée par le constructeur;
- d) Si les caractéristiques de performance du SRSE sont modifiées en raison d'une grande variation de la tension appliquée à l'électronique de puissance, il faut effectuer l'essai en fixant au moins 3 conditions concernant la tension appliquée: la valeur maximale, la valeur minimale et la valeur nominale qu'il contrôle ou qui sont conformes aux spécifications du constructeur;
- e) Le câblage entre le moteur électrique et l'électronique de puissance doit être conforme à ses spécifications dans le véhicule. Toutefois, si un tel arrangement n'est pas possible dans la chambre d'essai, ce câblage peut être modifié à condition que cela ne se traduise pas par une amélioration du comportement du moteur électrique. En outre, il n'est pas nécessaire que le câblage entre l'électronique de puissance et la source d'alimentation soit conforme à ce qu'il doit être dans le véhicule;
- f) Le système de refroidissement doit être conforme à ses spécifications dans le véhicule. Toutefois, si ce n'est pas possible dans la chambre d'essai, on peut soit le modifier, soit utiliser un système de refroidissement propre à cette chambre d'essai, à condition de ne pas améliorer ainsi la performance en matière de refroidissement et de veiller à maintenir une température de fonctionnement normale assurant la sécurité des opérations telle qu'elle est prescrite par le constructeur;
- g) Aucune transmission ne doit être installée. On peut cependant en installer au cas où le moteur électrique ne pourrait pas fonctionner s'il est séparé de la transmission en raison de la configuration dans le véhicule, ou si un moteur électrique ne peut pas être relié directement au dynamomètre. Il faut alors utiliser et spécifier une transmission ayant un rapport fixe et un rendement de transmission connus.

A.9.8.4.3 Conditions d'essai

- A.9.8.4.3.1 Le moteur électrique et l'ensemble de son équipement doivent être conditionnés à la température de $25\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- A.9.8.4.3.2 La température de la chambre d'essai doit être maintenue à $25\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ pendant l'essai.
- A.9.8.4.3.3 Le système de refroidissement du moteur d'essai doit être conforme au paragraphe A.9.8.4.2 f).
- A.9.8.4.3.4 Le moteur d'essai doit être rodé conformément aux recommandations du constructeur.

A.9.8.4.4 Cartographies du couple du moteur électrique et cartes de puissance**A.9.8.4.4.1 Introduction générale**

Il faut utiliser le moteur d'essai en appliquant la méthode du paragraphe A.9.8.4.2 et effectuer les mesures de manière à obtenir au moins les données mentionnées au paragraphe A.9.8.4.3.

A.9.8.4.4.2 Procédure d'essai

Il faut faire tourner le moteur d'essai après l'avoir mis en température dans les conditions prescrites par le constructeur:

- a) Le couple de sortie du moteur d'essai doit être fixé pour au moins 6 conditions du côté positif (fonctionnement «moteur») ainsi que du côté négatif (fonctionnement «générateur») (le cas échéant), dans une plage de valeurs de commande du couple du moteur électrique comprises entre le minimum (0 %) et le maximum (± 100 %) de leurs valeurs de commande équivalentes. La distribution peut se faire de manière égale et doit être fondée sur un jugement technique avisé;
- b) Le régime d'essai doit être fixé pour au moins 6 conditions entre l'état arrêté (0 t/min) et la vitesse de rotation maximale déclarée par le constructeur. On peut en outre mesurer le couple au régime minimal du moteur permettant un fonctionnement stable du dynamomètre s'il est difficile de le faire à l'état arrêté (0 t/min). La distribution peut se faire de manière égale et doit être fondée sur un jugement technique avisé. Lorsque des régimes négatifs sont également utilisés dans le véhicule, la présente procédure peut être élargie pour couvrir la plage de régime requise;
- c) La durée d'un passage stabilisé doit être d'au moins 3 secondes pour chaque valeur de commande jusqu'aux conditions de puissance nominale;
- d) Pendant les mesures la température interne du moteur électrique et celle de l'électronique de puissance doivent être maintenues dans les limites définies par le constructeur. On peut en outre faire fonctionner temporairement le moteur à faible puissance ou même l'arrêter pour le laisser se refroidir avant de poursuivre les mesures;
- e) Le système de refroidissement peut fonctionner à sa capacité de refroidissement maximale.

A.9.8.4.4.3 Variables mesurées

Les variables suivantes doivent être mesurées simultanément après confirmation de ce que la vitesse de rotation de l'arbre et les valeurs de couple sont stabilisées:

- a) Le point de consigne et la valeur réelle du couple. Si le moteur électrique et le dynamomètre sont reliés par un dispositif de transmission, la valeur enregistrée doit être divisée par le rendement et le rapport de transmission connus;
- b) Le point de consigne et la valeur réelle du régime (du moteur électrique). Si le moteur électrique et le dynamomètre sont reliés par un dispositif de transmission, on peut calculer le régime du

moteur électrique à partir du régime enregistré sur le dynamomètre en multipliant cette valeur par le rapport de transmission connu;

- c) Le courant continu à destination et en provenance de l'électronique de puissance doit être enregistré à l'aide d'un ou de plusieurs dispositif(s) de mesure de la puissance électrique, de la tension et du courant. On peut calculer la puissance d'entrée en multipliant la tension mesurée par le courant mesuré;
- d) Dans les conditions de fonctionnement prévues au paragraphe A.9.8.4.4.2, la température intérieure du moteur électrique et la température de son électronique de puissance (spécifiée par le constructeur) doivent être mesurées et enregistrées comme valeurs de référence, en même temps que l'on mesure le couple de l'arbre à chaque vitesse de rotation;
- e) La température de la chambre d'essai et celle du liquide de refroidissement (en cas de refroidissement par liquide) doivent être mesurées pendant l'essai.

A.9.8.4.5 Formules de calcul

La puissance de sortie du moteur électrique doit être calculée comme suit:

$$P_{em} = \frac{2\pi \times M_{em} \times N_{em}}{60 \times 1000} \quad (188)$$

où:

P_{em} : puissance mécanique du moteur électrique (kW);

M_{em} : couple de l'axe du moteur électrique (Nm);

N_{em} : vitesse de rotation du moteur électrique (min^{-1}).

A.9.8.4.6 Paramètres d'entrée du moteur électrique mis en tableau

Les paramètres d'entrée du moteur électrique mis en tableau doivent être obtenus à partir des données enregistrées concernant le régime, le couple, les valeurs de commande de couple (opérateur/couple), du courant, de la tension et de la puissance électrique nécessaires pour reproduire des conditions de fonctionnement valables et représentatives lors de la simulation HIL. Au moins 36 points des cartes de puissance doivent être inclus dans le tableau pour au moins 6 valeurs de régime et au moins 6 valeurs de commande. Cela vaut tant pour le fonctionnement du moteur que pour celui du générateur, le cas échéant. La distribution peut se faire de manière égale et doit être fondée sur un jugement technique avisé. Il faut procéder en cas de besoin à une interpolation cubique d'Hermite conformément à l'appendice 1 de la présente annexe. On peut ajouter des valeurs égales ou inférieures au régime minimal du moteur électrique afin d'éviter toute performance non représentative ou instable du modèle lorsqu'on effectue la simulation HIL, en se fondant sur une bonne appréciation technique.

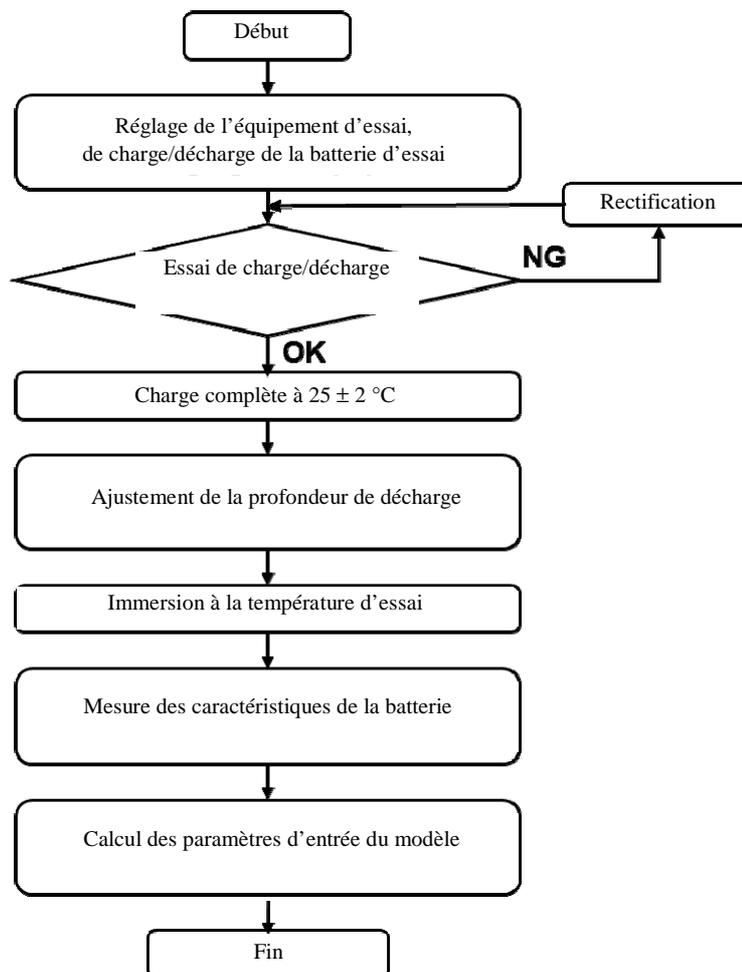
A.9.8.5 Batterie

A.9.8.5.1 Modèle de batterie à résistance

A.9.8.5.1.1 Généralités

La résistance interne en courant continu et la tension de circuit ouvert de la batterie doivent être déterminées afin de servir de paramètres d'entrée pour le modèle de batterie destiné à la simulation HIL et elles doivent être obtenues à partir de l'essai de la batterie. La méthode d'essai doit être celle qui est prescrite et illustrée dans la figure 37 ci-dessous.

Figure 37
Schéma de la procédure d'essai de la batterie



A.9.8.5.1.2 Batterie d'essai

La batterie d'essai doit remplir les conditions suivantes:

- a) La batterie d'essai doit être soit le système de batterie complet soit un sous-système représentatif. Si le constructeur choisit d'effectuer l'essai avec un sous-système, il doit démontrer que

les résultats de l'essai seront représentatifs des performances de la batterie complète dans les mêmes conditions;

- b) La batterie d'essai doit avoir atteint sa capacité nominale après un maximum de 5 cycles de charge/décharge successifs avec un courant de $n C$.

A.9.8.5.1.3 Spécification de l'équipement

Les appareils de mesure utilisés doivent être conformes au paragraphe A.9.8.2.

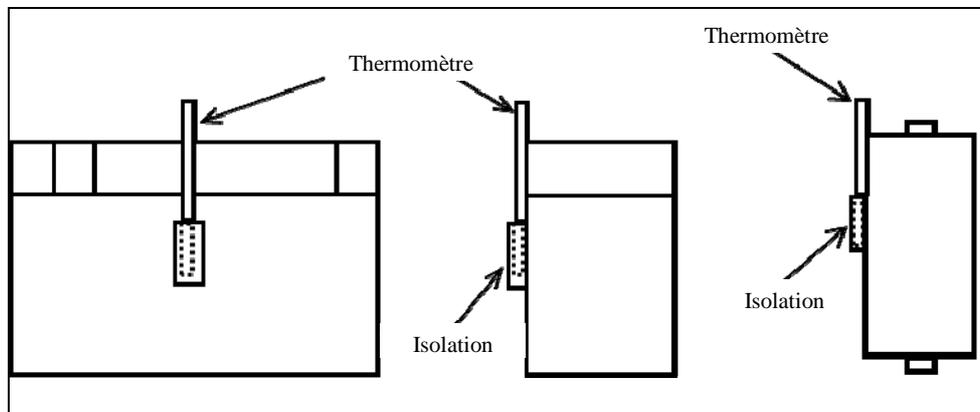
A.9.8.5.1.4 Conditions d'essai

- a) La batterie d'essai doit être placée dans une chambre d'essai à température contrôlée. La température ambiante doit y être maintenue à $298 \pm 2K$ ($25 \pm 2^\circ C$) ou $318 \pm 2K$ ($45 \pm 2^\circ C$), selon ce qui sera jugé le plus approprié par le constructeur;
- b) La tension doit être mesurée aux bornes de la batterie d'essai;
- c) Il faut mesurer la température selon la méthode spécifiée par le constructeur, ou bien comme le montre la figure 38 ci-dessous, dans des conditions qui ne soient pas affectées par la température extérieure, le thermomètre étant fixé à la partie centrale de la batterie et recouvert d'isolant;
- d) Le système de refroidissement de la batterie peut être activé ou non pendant l'essai.

Figure 38

Positions de mesure de la température

(à gauche: batterie rectangulaire; à droite: batterie cylindrique)



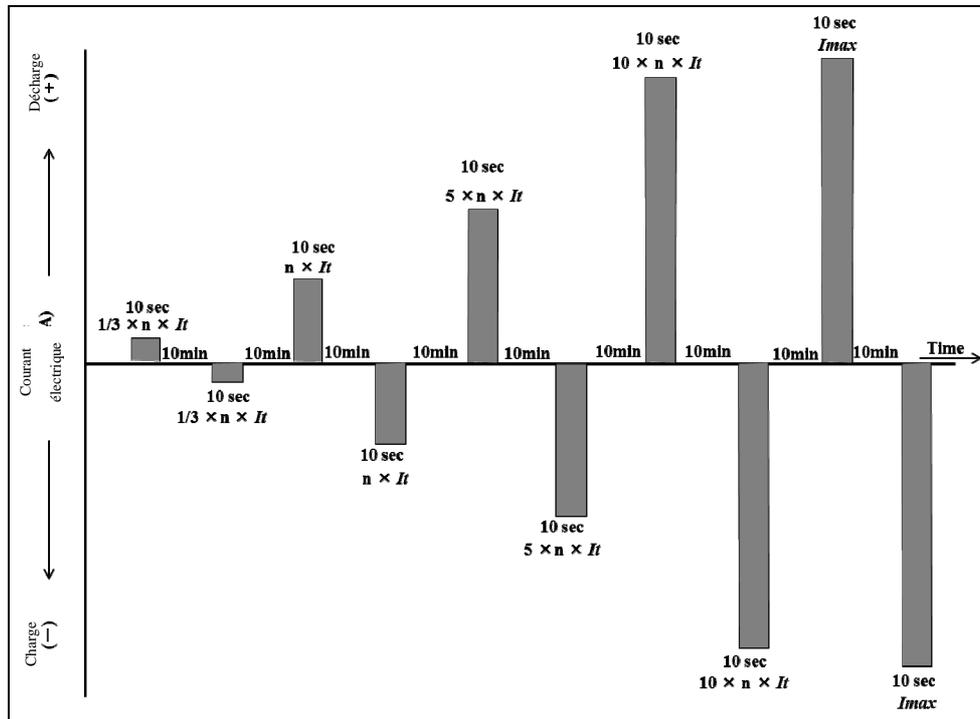
A.9.8.5.1.5 Essai des caractéristiques de courant et de tension

Au cours de cet essai, il convient de mesurer la tension au 10^e de seconde de décharge et de recharge avec un courant constant, conformément à la procédure suivante:

- a) Il faut effectuer l'essai en modifiant la profondeur de décharge (100 % – état de charge de la batterie) dans la plage d'essai spécifiée à l'annexe 1.b. La profondeur de décharge doit être de niveau 3 ou supérieur et doit être réglée de manière à permettre l'interpolation;

- b) S'agissant de la profondeur de décharge, après avoir complètement chargé la batterie à une température ambiante de 298 ± 2 K ($25 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$) selon la méthode indiquée par le constructeur, il faut la stabiliser à chaud dans les mêmes conditions pendant une heure au moins mais pendant moins de 4 heures. Il faut procéder à l'ajustement en modifiant la durée de décharge avec un courant constant I_n (A). La profondeur de décharge (en %) est l'état de charge de la batterie après qu'elle ait été déchargée à I_n (A) pendant $(0,01 \times a \times n)$ heures. On peut toutefois procéder à cet ajustement en utilisant la capacité réellement mesurée de la batterie qui précède immédiatement afin de calculer le temps nécessaire à l'obtention de la profondeur de décharge visée. En outre, s'il est procédé de manière continue, après la fin de l'essai des caractéristiques de courant et de tension à la première profondeur de décharge, à un ajustement à la profondeur de décharge suivante, on peut effectuer cet ajustement en calculant la durée de décharge à partir de la profondeur de décharge actuelle et de la prochaine;
- c) La température de la batterie au début de l'essai doit être de 298 ± 2 K ($25 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$). On peut toutefois choisir la valeur de 318 ± 2 K ($45 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$) en reportant dans l'application la température réellement mesurée au moment où le cycle d'essai est effectué comme indiqué à l'annexe 1.b dans des conditions équivalentes à ce qui se passe dans le véhicule;
- d) Après ajustement de la profondeur de décharge, il faut stabiliser la batterie à la température prescrite au début de l'essai. L'essai doit débuter au bout d'au moins une heure mais pas après plus de 4 heures et au bout de 16 heures au moins mais pas après plus de 24 heures lorsque la température est de 45 °C ;
- e) L'essai doit être effectué dans l'ordre chronologique indiqué à la figure 39:

Figure 39
Séquence d'essai des caractéristiques de courant-tension
 (Exemple: lorsque la capacité nominale est inférieure à 20Ah)



- f) Il faut mesurer la tension de la batterie au 10^e de seconde en la déchargeant et la rechargeant à toutes les valeurs de courant spécifiées pour chaque catégorie de capacité nominale indiquée dans le tableau 35 ci-dessous. La limite supérieure du courant de charge ou de décharge doit être de 200 (A) mais au moins supérieure à la valeur maximale utilisée dans le VH telle qu'elle est définie par le constructeur. Cependant, si la tension de la batterie au 10^e de seconde dépasse la limite inférieure de la tension de décharge ou la limite supérieure de la tension de charge, les données ne doivent pas être prises en considération:

Tableau 35
 Valeurs du courant de charge/décharge pour l'essai

Catégorie de capacité nominale		Courant de charge/décharge			
Moins de 20Ah	$\frac{1}{3} \cdot n \cdot I_n$	$n \cdot I_n$	$5 \cdot n \cdot I_n$	$10 \cdot n \cdot I_n$	I_{max}
20Ah ou davantage	$\frac{1}{3} \cdot n \cdot I_n$	$n \cdot I_n$	$2 \cdot n \cdot I_n$	$5 \cdot n \cdot I_n$	I_{max}

- g) Durant la période de marche à vide, la batterie doit être refroidie pendant au moins 10 minutes. Il faut vérifier que la température ne varie pas de plus de ± 2 °C avant de continuer avec le niveau de décharge ou de recharge suivant.

A.9.8.5.1.6 Calcul de la résistance interne en courant continu et de la tension à circuit ouvert

Il faut utiliser les valeurs mesurées obtenues conformément au paragraphe A.9.8.5.4.1.5 pour calculer les caractéristiques de courant et

de tension pour chaque courant de charge ou de décharge, respectivement, ainsi que leurs tensions correspondantes.

La méthode des moindres carrés doit être utilisée pour déterminer l'équation la plus appropriée ayant la forme:

$$y = a \times x + b \quad (189)$$

où:

y = valeur réelle de la tension (V);

x = valeur réelle du courant (A);

a = pente de la droite de régression;

b = ordonnée à l'origine de la droite de régression.

- a) Pour les impulsions de décharge, il faut calculer la résistance interne en courant continu R_d (valeur absolue de la pente) et la tension à circuit ouvert V_{d0} (ordonnée à l'origine) à partir des données (présentées à la figure 40);
- b) Pour les impulsions de charge, il faut calculer la résistance interne en courant continu R_c (valeur absolue de la pente) et la tension à circuit ouvert V_{c0} (ordonnée à l'origine) à partir des données (présentées à la figure 41);
- c) La tension à circuit ouvert V_0 en tant que paramètre d'entrée pour le modèle doit être calculée en prenant la moyenne entre V_{d0} et V_{c0} ;
- d) Lorsqu'un seul paramètre de résistance interne sert de paramètre d'entrée pour le modèle, la résistance interne en courant continu R_0 doit être calculée comme étant la moyenne de R_d et R_c . Des résistances internes différentes peuvent être utilisées pour la charge et la décharge;
- e) Lorsqu'un sous-système de SRSE est utilisé pour l'essai, il faut calculer les valeurs représentatives du système.

Figure 40
Détermination de la résistance interne en courant continu et de la tension à circuit ouvert durant la décharge

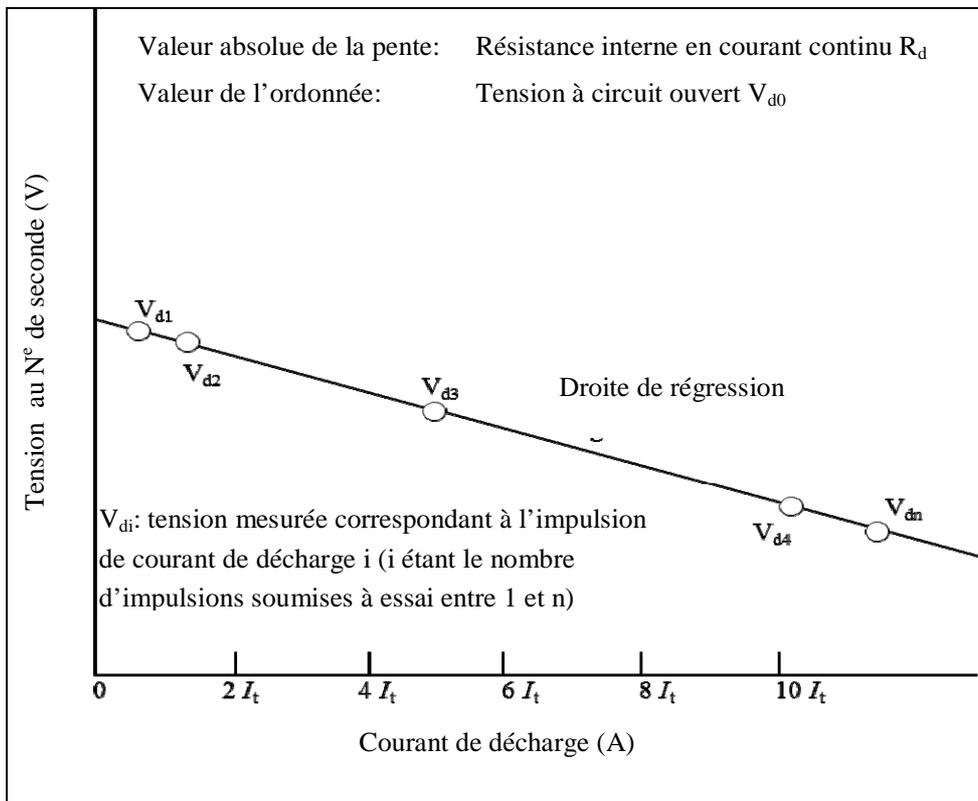
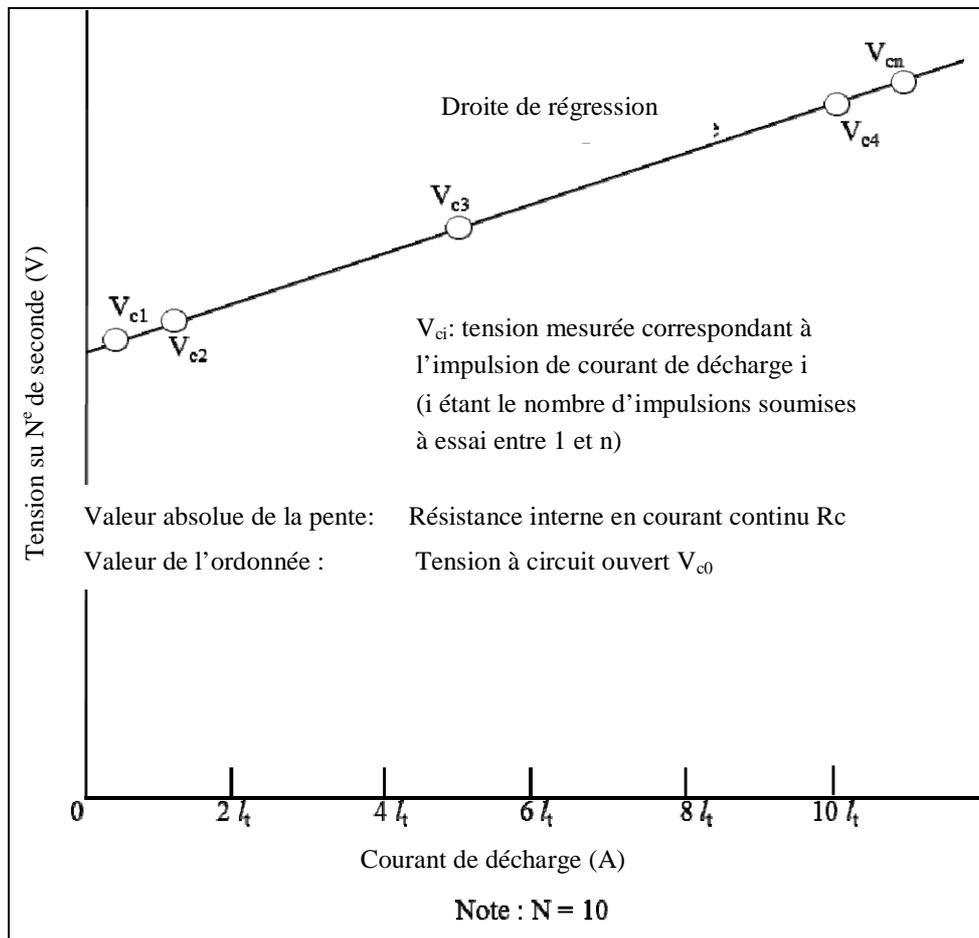


Figure 41
Détermination de la résistance interne en courant continu et de la tension à circuit ouvert durant la charge



Modèle de batterie RC

Réservé.

A.9.8.6 Condensateur

Réservé.

Appendice 1 Procédure d'interpolation cubique d'Hermite

Réservé.

Annexe 10

Procédure d'essai pour les moteurs installés sur des véhicules utilisant la méthode du groupe motopropulseur

A.10.1 La présente annexe contient une description générale des prescriptions et des essais applicables aux moteurs installés sur des véhicules hybrides utilisant la méthode du groupe motopropulseur.

A.10.2 Procédure d'essai

La présente annexe décrit les procédures de simulation d'un essai de châssis pour un système hybride de pré-transmission ou de post-transmission dans une chambre d'essai de groupe motopropulseur. Il faut passer par les étapes suivantes:

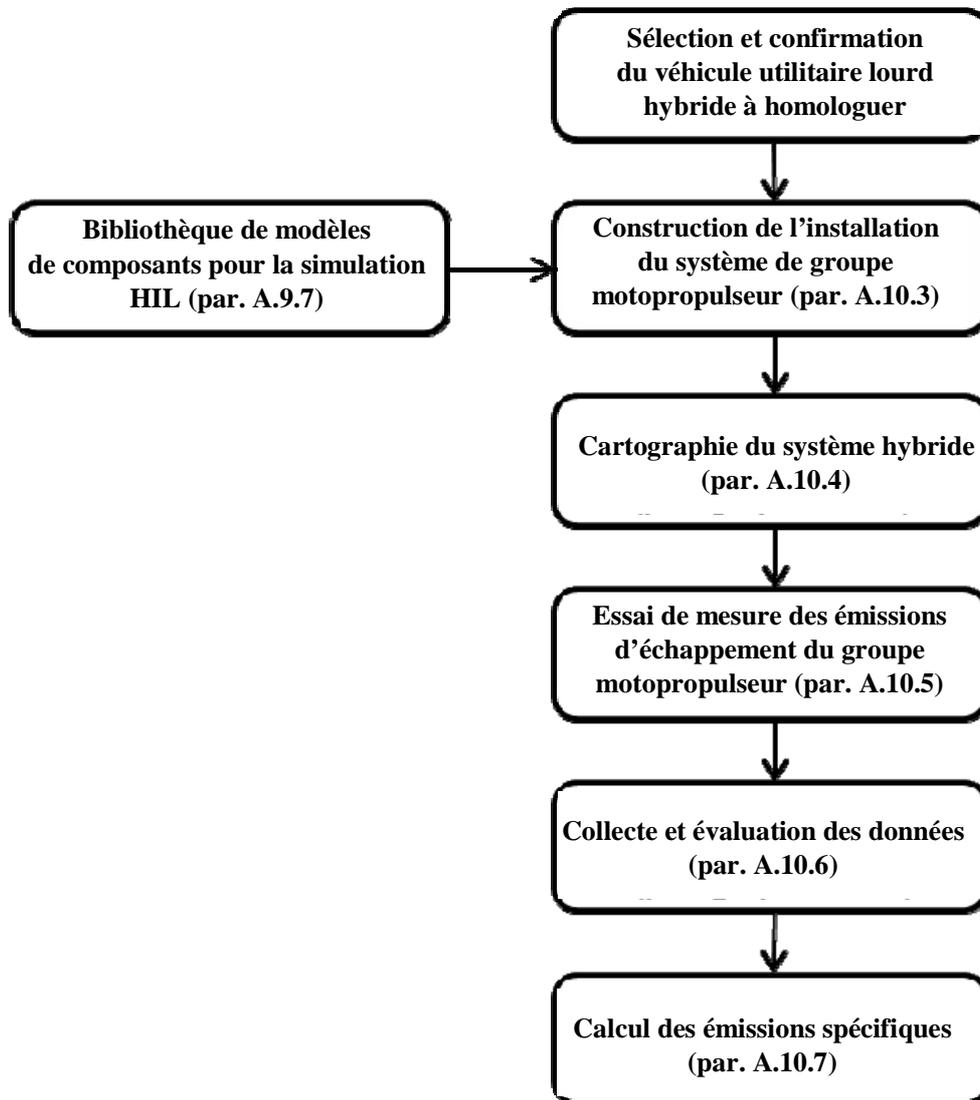
A.10.2.1 Méthode du groupe motopropulseur

La méthode du groupe motopropulseur doit suivre les lignes directrices générales relatives à l'exécution des étapes données comme il est indiqué ci-dessous et représenté schématiquement à la figure 42. Les caractéristiques détaillées de chaque étape sont décrites dans les paragraphes correspondants. Des écarts par rapport à la séquence recommandée sont autorisés en cas de besoin, mais les dispositions spécifiques des paragraphes pertinents doivent obligatoirement être appliquées.

Dans le cas de la méthode du groupe motopropulseur, il convient de suivre la procédure suivante:

- a) Sélection et confirmation du véhicule utilitaire lourd hybride à homologuer;
- b) Installation du système de groupe motopropulseur;
- c) Cartographie de la puissance du système hybride;
- d) Essai de mesure des émissions d'échappement;
- e) Collecte et évaluation des données;
- f) Calcul des émissions spécifiques.

Figure 42
Diagramme de décision de la méthode du groupe motopropulseur



A.10.2.2 Construction de l'installation du système de groupe motopulseur

L'installation du système de groupe motopulseur doit être construite conformément aux dispositions des paragraphes A.10.3 et A.9.7 de la méthode de simulation HIL.

A.10.2.3 Cartographie de la puissance du système

La puissance nominale du système doit être déterminée conformément au paragraphe A.10.4.

A.10.2.4 Essai de mesure des émissions d'échappement du groupe motopulseur

L'essai de mesure des émissions d'échappement du groupe motopulseur doit être effectué conformément aux dispositions du paragraphe A.10.5.

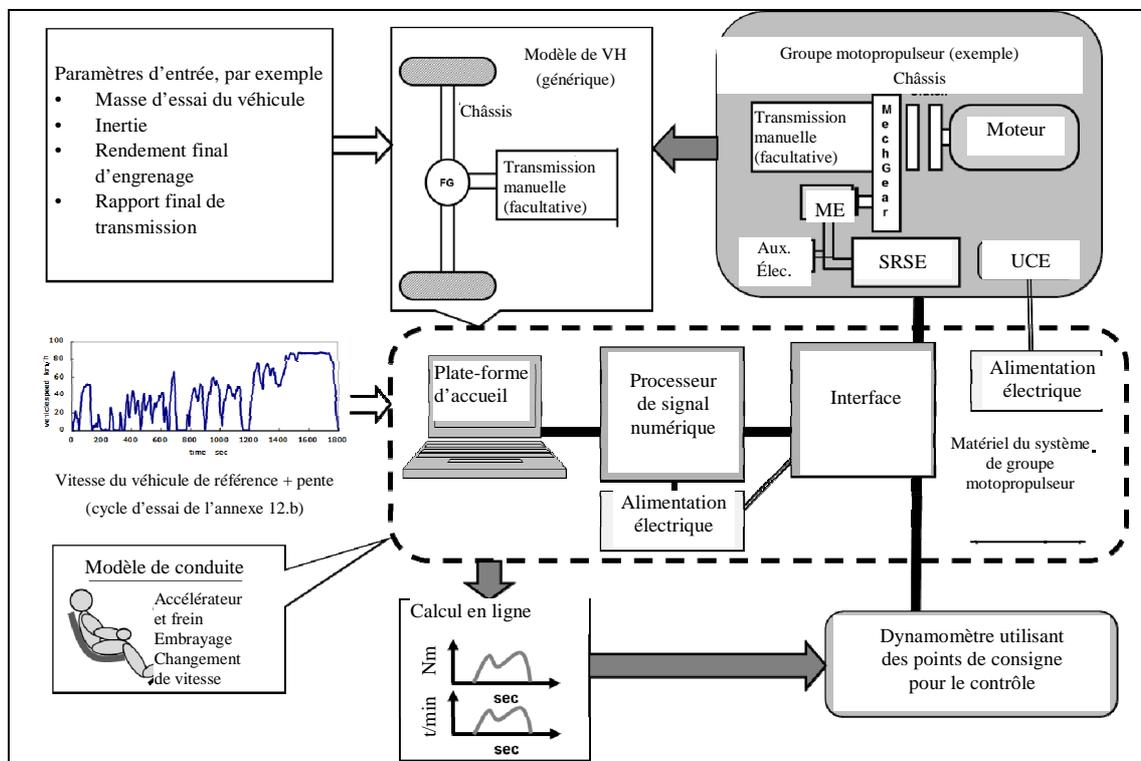
A.10.3 Installation du système de groupe motopropulseur

A.10.3.1 Introduction générale

Le système de groupe motopropulseur doit être constitué, comme le montre la figure 43, d'un modèle de VH et de ses paramètres d'entrée, du cycle d'essai décrit à l'annexe 1.b, ainsi que du groupe motopropulseur hybride physique complet et de son ou de ses unité(s) de contrôle électronique (UCE) (appelé ci-après «groupe motopropulseur réel»), d'une source d'énergie et des interfaces nécessaires. L'installation du système de groupe motopropulseur doit être définie conformément aux paragraphes A.10.3.2 à A.10.3.5. La bibliothèque de modèles de composants pour la simulation HIL (par. A.9.7.) doit être utilisée dans ce processus. La fréquence d'actualisation du système doit être d'au moins 100 Hz pour un contrôle précis du dynamomètre.

Figure 43

Aperçu de l'installation d'un système de groupe motopropulseur



A.10.3.2 Matériel du système de groupe motopropulseur

Le matériel du système de groupe motopropulseur doit comporter les types de signaux et le nombre de canaux requis pour construire l'interface entre tous les éléments nécessaires au fonctionnement du dynamomètre et pour le connecter au groupe motopropulseur réel.

A.10.3.3 Interface du système de groupe motopropulseur

L'interface du système de groupe motopropulseur doit être spécifiée et mise en place conformément aux prescriptions applicables au modèle de véhicule (hybride) (par. A.10.3.5) et elle est nécessaire au fonctionnement du dynamomètre et du groupe motopropulseur réel. Il est en outre

possible de définir dans le modèle d'interface des signaux spécifiques qui permettent le fonctionnement correct du ou des UCE réel(s), par exemple des signaux ABS.

L'interface ne doit pas contenir les fonctionnalités de contrôle hybrides clés visées au paragraphe A.9.3.4.1 de la méthode de simulation HIL.

Le couple effectif du dynamomètre doit être utilisé comme paramètre d'entrée dans le modèle de VH.

La vitesse de rotation d'entrée calculée pour le modèle de VH (par exemple l'arbre d'entrée de la transmission ou du rapport final) doit être utilisée comme point de consigne pour la vitesse du dynamomètre.

A.10.3.4 Groupe motopropulseur réel

Le groupe motopropulseur réel et tous ses UCE conformes à l'installation dans le véhicule doivent être utilisés pour mettre en place le système de groupe de motopropulseur. Les dispositions à appliquer pour cette mise en place figurent au paragraphe 6.3 du présent RTM.

A.10.3.5 Modèle de véhicule

Un modèle de véhicule doit avoir toutes les caractéristiques pertinentes du véhicule en ce qui concerne le système de groupe motopropulseur. Il faut construire le modèle de VH en définissant ses composants conformément au paragraphe A.9.7 de la méthode de simulation HIL. Ses caractéristiques pertinentes sont les suivantes:

- a) Le châssis (par. A.9.7.3) pour déterminer la vitesse réelle du véhicule en fonction du couple du groupe motopropulseur et du couple de frein, de la résistance au roulement des pneumatiques, de la résistance à l'air et de la déclivité. La vitesse réelle du véhicule doit être comparée à la vitesse recherchée qui est définie dans le cycle d'essai de l'annexe 1.b;
- b) Le rapport final (par. A.9.7.7.6) pour représenter la fonctionnalité de l'engrenage différentiel, à moins qu'elle soit déjà incluse dans la groupe motopropulseur réel;
- c) En case de transmission manuelle, les modèles de transmission (A.9.7.7.8) et d'embrayage (A.9.7.7.1) peuvent être inclus dans le modèle de VH.

A.10.3.6 Modèle de conduite

Le modèle de conduite doit comporter toutes les fonctions nécessaires à la conduite du modèle de VH au cours de l'essai et notamment des signaux correspondant aux pédales d'accélérateur et de frein ainsi qu'un embrayage et des positions de rapport bien définies en cas de transmission manuelle.

Les tâches du modèle de conduite doivent être mise en œuvre à l'aide d'un système de contrôle en boucle fermée.

L'algorithme de changement de vitesse pour la transmission manuelle doit être conforme au paragraphe A.9.7.4 b).

A.10.4 Procédure d'établissement de la cartographie de la puissance du système

A.10.4.1 Généralités

La cartographie de la puissance du système a pour but de déterminer la valeur maximale du couple et de la puissance du système hybride disponible à chaque régime avec un système rechargeable de stockage de l'énergie électrique complètement/suffisamment chargé. Il faut utiliser l'une des méthodes suivantes pour établir une carte hybride-active.

A.10.4.2 Conditions de cartographie

Les moteurs à combustion internes faisant partie d'un système hybride doivent être cartographiés comme indiqué dans le présent paragraphe lorsqu'on utilise soit la méthode de simulation HIL (annexe 8 au présent RTM) soit la méthode du groupe motopropulseur (annexe 9) pour déterminer les gaz polluants dans leurs émissions d'échappements. On peut appliquer ces dispositions à d'autres types de moteurs hybrides en suivant des pratiques techniques reconnues. La procédure de cartographie décrite au paragraphe 7.4 du RTM doit être utilisée, sous réserve de ce qui est noté dans le présent paragraphe. La cartographie du groupe motopropulseur doit être établie lorsque le système hybride est activé de la manière décrite au paragraphe A.10.4.3 ou A.10.4.4 de la présente section.

La valeur de commande de l'opérateur et les points de consigne du régime peuvent être définis comme lors de l'essai d'un moteur normal.

A.10.4.3 Cartographie à balayage constant

Il cartographie un groupe motopropulseur en effectuant une série de balayages continus pour couvrir toute la gamme de ses régimes de fonctionnement. Il convient de préparer le groupe motopropulseur pour cette cartographie hybride-active en veillant à ce que l'état de charge du SRSE soit représentatif de son fonctionnement normal. Le balayage doit être effectué de la manière indiquée au paragraphe 7.4 du présent RTM, mais il faut l'interrompre pour recharger le SRSE lorsque la puissance à sa sortie est inférieure à la puissance maximale attendue de plus de 2 % de la puissance totale déclarée du système (incluant la puissance du moteur et celle du SRSE).

À moins qu'un jugement techniquement avisé débouche sur une conclusion différente, on peut partir du principe que la puissance maximale attendue du SRSE équivaut à sa puissance mesurée au début du segment de balayage. Ainsi, par exemple, si la puissance totale moyenne du moteur et du SRSE est de 200 kW après 3 s de roulement et que celle du SRSE au début du segment de balayage est de 50 kW, lorsque la puissance du SRSE atteint 46 kW il convient d'interrompre le balayage pour le recharger. Il est à noter que cette hypothèse n'est pas valable dans le cas de moteurs à limite de couple. Il faut calculer la puissance totale du système comme étant la moyenne de la puissance totale instantanée du système après 3 s de roulement.

Après chaque recharge le moteur doit être stabilisé pendant 15 s au régime auquel s'est terminé le segment précédent, la demande de l'opérateur étant fixée au maximum avant la reprise du balayage

à partir de ce régime. Il faut répéter le cycle charge, cartographie et recharge jusqu'à ce que la cartographie du moteur soit achevée. On peut arrêter le système ou entreprendre d'autres opérations entre les segments pour assurer la conformité avec l'objet du présent paragraphe. Ainsi, dans le cas de systèmes dans lesquels le processus continu de recharge et de décharge de la batterie peut entraîner sa surchauffe dans une mesure affectant ses performances, on peut faire fonctionner le moteur à zéro puissance reçue du SRSE après la recharge du système pendant un temps suffisant pour permettre aux batteries de se refroidir. Il faut faire preuve d'un bon jugement technique pour adoucir la courbe de couple afin d'éliminer les discontinuités entre les intervalles de cartographie.

A.10.4.4 Cartographie des régimes discrets

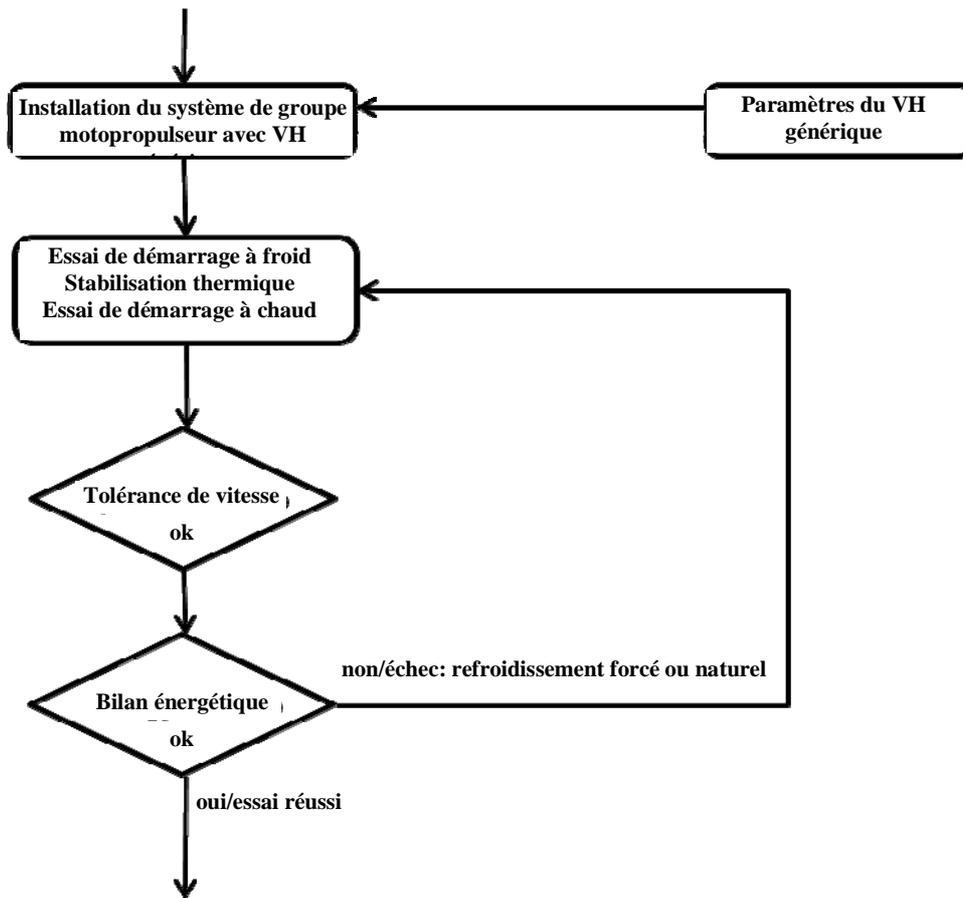
Il faut procéder à la cartographie d'un groupe motopropulseur en utilisant des régimes discrets le long de sa courbe de pleine charge entre un régime minimal et un régime maximal de cartographie, par des accroissements de régime ne dépassant pas 100 min^{-1} . Les points de consigne doivent être sélectionnés à au moins 13 régimes équidistants du groupe motopropulseur. On peut arrêter la cartographie au régime le plus élevé au-dessus d'une puissance correspondant à 50 % de la puissance maximale. Le régime du groupe motopropulseur doit être stabilisé à chaque point de consigne avec comme objectif une valeur de couple représentant 70 % du couple maximal à ce régime sans système hybride d'assistance. Le moteur doit être complètement réchauffé et l'état de charge du SRSE doit se situer dans la plage normale de fonctionnement. Il faut régler la demande de l'opérateur sur le maximum, faire alors fonctionner le groupe motopropulseur pendant 10 s au moins et les valeurs mesurées du régime et du couple après 3 s de roulement doivent être enregistrées à une fréquence égale ou supérieure à 1 Hz. Il faut enregistrer en ce point le couple maximal et le régime moyens sur ces 3 s. Il faut déterminer les régimes et les couples par interpolation linéaire. Le régime maximal d'essai doit être calculé conformément au paragraphe 7.4.2 du présent RTM. Le régime maximal d'essai mesuré doit être compris entre 92 et 108 % du régime maximal d'essai estimé. Si le régime maximal d'essai mesuré ne tombe pas à l'intérieur de cette fourchette, il faut répéter l'opération en utilisant la valeur mesurée du régime maximal d'essai.

A.10.5 Essai de mesure des émissions d'échappement du groupe motopropulseur

A.10.5.1 Introduction générale

L'essai de mesure des émissions d'échappement doit être effectué, en utilisant l'installation du système de groupe motopropulseur lorsque le modèle de VH et tous les systèmes d'interface requis sont opérationnels, conformément aux dispositions des paragraphes A.10.5.2 à A.10.5.6. Le schéma de la figure 44 indique la séquence d'essai à suivre.

Figure 44
Séquence d'essai de détermination des émissions d'échappement du groupe motopropulseur



A.10.5.2 Véhicule générique

Les paramètres du véhicule générique doivent être utilisés dans le modèle de VH et définis conformément aux paragraphes A.10.5.2.1 à A.10.5.2.6.

A.10.5.2.1 Masse et masse à vide du véhicule d'essai

La masse du véhicule $m_{\text{véhicule}}$ et sa masse à vide $m_{\text{véhicule},0}$ sont définies conformément aux équations 112 et 113 ou 114, respectivement.

A.10.5.2.2 Coefficients de résistance à l'air

Les coefficients de résistance à l'air A_{front} et C_{drag} du véhicule générique sont conformes aux équations 115 et 116 ou 117, respectivement.

A.10.5.2.3 Coefficient de résistance au roulement

Le coefficient de résistance au roulement f_{roll} est conforme à l'équation 118.

A.10.5.2.4 Rayon des roues

Le rayon des roues doit être défini conformément au paragraphe A.9.5.6.9.

- A.10.5.2.5 Rapport final**
Le rapport final doit être défini conformément au paragraphe A.9.6.2.10.
- A.10.5.2.6 Inertie des sections en rotation**
L'inertie des pièces de la post-transmission doit être définie conformément au paragraphe A.9.6.2.15.
- A.10.5.3 Données à enregistrer**
Toutes les données nécessaires pour permettre de vérifier la vitesse et le bilan énergétique net ainsi que pour déterminer les émissions doivent être enregistrées à une fréquence égale ou supérieure à 5 Hz (on recommande 10 Hz).
- A.10.5.4 Séquence d'essai de détermination des émissions**
La séquence d'essai doit être conforme au paragraphe 7.6.
- A.10.5.5 Statistiques de validation**
Tout essai de démarrage à froid ou à chaud sera valable si les conditions définies aux paragraphes A.10.5.5.1 et A.10.5.5.2 sont respectées.
- A.10.5.5.1 Validation de la vitesse du véhicule**
Les critères de vitesse du véhicule et de variation énergétique du SRSE doivent être conformes au paragraphe A.9.6.4.4.
- A.10.5.5.2 Validation de la variation énergétique nette du SRSE**
Le rapport entre la variation énergétique nette du SRSE et la valeur énergétique cumulée du carburant doit satisfaire l'équation suivante:

$$|\Delta E / C_{test}| < 0.01 \quad (190)$$
où:
 ΔE : variation énergétique nette du SRSE conformément au paragraphe A.9.5.8.2.3 a)-d), en kWh;
 C_{test} : valeur énergétique cumulée de la masse de carburant utilisée au cours de l'essai, en kWh.
- A.10.A.9** Si le critère de variation énergétique nette n'est pas rempli, le système de groupe motopropulseur doit être préparé pour un nouvel essai.
- A.10.5.6.2 Validation du régime du dynamomètre**
Il faut utiliser une régression linéaire des valeurs réelles du régime du dynamomètre par rapport aux valeurs de référence pour chaque cycle d'essai. La méthode des moindres carrés doit être utilisée, l'équation de meilleur ajustement ayant la forme:

$$y = a_1 \times x + a_0 \quad (191)$$
où:
 y : valeur réelle du régime (min^{-1});
 x : valeur de référence du régime (min^{-1});
 a_1 : pente de la droite de régression;
 a_0 : ordonnée à l'origine de la droite de régression.

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

Pour qu'un essai soit jugé valable, il doit satisfaire aux critères du tableau 36.

Tableau 36
Critères statistiques de validation du régime

<i>Paramètre</i>	<i>Commande du régime</i>
Pente, a_1	$0,950 \leq a_1 \leq 1,030$
Valeur absolue de l'ordonnée à l'origine, a_0	$\leq 2,0$ % du régime maximal d'essai
Erreur-type de l'estimation	$\leq 5,0$ % du régime minimal d'essai
Coefficient de détermination, r^2	$\geq 0,970$

A.10.6 Collecte et évaluation des données

Réservé.

A.10.7 Calcul des émissions spécifiques

Réservé.