

**Conseil économique et social**

Distr. générale
27 août 2014
Français
Original: anglais

Commission économique pour l'Europe

Comité des transports intérieurs

**Forum mondial de l'harmonisation
des Règlements concernant les véhicules****164^e session**

Genève, 11-14 novembre 2014

Point 14.2 de l'ordre du jour provisoire

Examen et vote par l'AC.3 de projets de RTM**et/ou de projets d'amendements à des RTM existants****– Proposition d'amendement 3 au RTM n° 4****(Procédure mondiale harmonisée d'homologation
des véhicules utilitaires lourds)****Proposition pour le rapport technique sur l'élaboration
de l'amendement 3 au Règlement technique mondial
(RTM) n° 4****Communication du Groupe de travail de la pollution et de l'énergie***

Le texte reproduit ci-après a été adopté par le GRPE à sa soixante-neuvième session (ECE/TRANS/WP.29/GRPE/69, par. 18 et Additif 2). Il est fondé sur l'additif 2 au rapport et est soumis au Forum mondial de l'harmonisation des Règlements concernant les véhicules (WP.29) et au Comité de gestion (AC.3) pour examen.

* 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.



I. Introduction

1. La procédure d'homologation définie dans le RTM n° 4 appliquée aux moteurs des véhicules «classiques» peut être considérée comme indépendante des véhicules. Lors de l'élaboration de la procédure mondiale harmonisée d'homologation des poids lourds (procédure d'essai WHDC), les profils mondiaux d'utilisation des véhicules utilitaires lourds ont été utilisés pour établir un cycle de véhicule représentatif (WHVC). Les cycles d'essai moteur WHTC (Cycle mondial harmonisé transitoire), et CSST (Cycle mondial harmonisé stationnaire), dérivés du cycle WHVC, sont indépendants du véhicule; Ils ont été confirmés comme représentatifs des conditions de conduite typiques en Australie, au Japon, aux États-Unis d'Amérique et en Europe.

2. Dans le cas des véhicules hybrides, les moteurs ont une plage de conditions de fonctionnement plus large parce qu'ils n'ont pas à fournir directement dans tous les cas la puissance requise pour entraîner les véhicules. Il n'est donc pas possible, compte tenu de la diversité de la situation mondiale en matière de véhicules hybrides, de définir un cycle d'essai moteur représentatif pour ces véhicules. Par ailleurs, il faut prendre en compte le véhicule hybride entier pour que son moteur puisse être homologué comme satisfaisant aux prescriptions d'un cycle d'essai moteur représentatif du mode réel de fonctionnement du moteur d'un tel véhicule.

3. L'homologation du moteur d'un véhicule hybride n'est donc pas réellement indépendante du véhicule comme l'homologation du moteur d'un véhicule utilitaire lourd classique. Une homologation du moteur dépendante du véhicule, comme celle s'appliquant aux voitures particulières, ne convient pas pour les véhicules utilitaires lourds parce que ceux-ci se présentent selon un grand nombre de configurations différentes. L'essai sur banc dynamométrique n'est donc pas jugé souhaitable pour la certification ou l'homologation de type et deux procédures possibles d'essai prenant en compte l'ensemble du véhicule hybride ont donc été mises au point. Pour alléger les procédures d'essai et éviter d'introduire des classes de véhicules, on a défini les paramètres auquel le véhicule doit satisfaire en fonction de la puissance nominale du système hybride selon l'hypothèse qu'il y a une bonne corrélation entre la puissance de propulsion, la masse du véhicule et d'autres paramètres. Les données relatives aux véhicules classiques ont donc été utilisées pour mettre au point cette approche.

4. Bien que la programmation du dynamomètre pour moteur pour le Cycle mondial harmonisé en conditions transitoires (WHTC) ne soit pas jugée représentative dans le cas des moteurs montés sur des véhicules hybrides, on a modifié la programmation pour le Cycle d'essai harmonisé à l'échelle mondiale (WHVC) afin qu'elle soit étroitement liée aux demandes de puissance de propulsion pour le cycle WHTC. On a pour ce faire introduit les paramètres du véhicule en tant que fonction de la puissance nominale du système hybride. On aboutit ainsi à des charges appliquées au système comparables pour les véhicules classiques et pour les véhicules hybrides.

5. Les procédures d'essai mises au point sont précisées dans les annexes 9 et 10, respectivement. Avec les deux procédures, il faut prendre en compte l'ensemble du véhicule hybride lors de l'essai d'homologation de type ou de certification pour reproduire le fonctionnement du moteur dans des conditions réelles de fonctionnement. Les deux procédures visent donc à reproduire un essai sur banc dynamométrique dans le cadre duquel:

a) Pour la méthode de simulation avec matériel dans la boucle (HILS), le véhicule et ses éléments sont simulés et le modèle de simulation est raccordé au(x) module(s) de gestion électronique(s); et

b) Pour l'essai du groupe motopropulseur, tous les composants sont inclus dans le matériel et seuls les composants manquants en aval du groupe motopropulseur (couple final, pneumatiques et châssis par exemple) sont simulés par l'unité de contrôle des bancs d'essai pour déterminer le mode de fonctionnement pour l'homologation de type ou la certification du moteur.

II. Paramètres du véhicule

6. Le fonctionnement d'un moteur monté sur un véhicule hybride dépend de la configuration globale du véhicule et il est donc logique de déterminer le profil de fonctionnement uniquement à partir de ladite configuration. Comme indiqué plus haut, les véhicules utilitaires lourds peuvent être très divers même quand leurs groupes motopropulseurs ont la même puissance nominale. Il n'est pas jugé possible de procéder à l'essai et à la certification de chaque variante de véhicule (par exemple, avec rapport de pont, rayon des pneumatiques ou aérodynamique différents) et il faut donc définir des paramètres représentatifs du véhicule. Il a été décidé à la quinzième réunion du groupe de travail informel des véhicules utilitaires lourds hybrides (HDH) (voir HDH-15-06e.pdf)¹ que ces paramètres génériques des véhicules dépendraient de la puissance nominale du groupe motopropulseur hybride. Ceci offre la possibilité, essentielle, d'aligner les demandes appliquées aux systèmes pour les essais de moteurs classiques et hybrides comme décrit au chapitre IV.

7. L'équation décrivant la relation entre la puissance et la masse du véhicule est tirée des spécifications types japonaises sur les véhicules. La masse à vide, le maître-couple, la traînée et la résistance à l'avancement sont calculés au moyen d'équations figurant dans la réglementation Kokujikan n° 281. À côté de ces paramètres définissant la résistance à l'avancement, un rayon générique de pneumatique et un rapport de pont exprimé en fonction du rayon des pneumatiques et de la pleine charge du moteur ont été définis pour compléter les définitions générales du véhicule. Ils ne sont peut-être pas représentatifs pour tous les véhicules, mais, comme les catégories de véhicules varient d'une région à l'autre (Japon/États-Unis d'Amérique/Union européenne (UE)), leur harmonisation avait été jugée très délicate et aurait probablement conduit à définir des catégories différentes pour chaque région, ce qui aurait en fait accru la complexité de la situation et rendu la certification plus difficile.

8. Comme la programmation relative au véhicule hybride pour le cycle WHVC a été mise au point en fonction de la puissance nominale du système hybride, les paramètres du véhicule ne sont pas au premier chef déterminants de la charge du système. Un écart entre le véhicule générique et le véhicule réel n'a pas d'effet négatif sur la procédure de certification/d'homologation. Pour les procédures d'essai proposées, l'interaction entre les paramètres du véhicule, le profil de vitesse du véhicule durant le cycle WHVC et la pente de la route définissent la charge du système de telle manière qu'il y ait concordance avec la charge du système lors du cycle WHTC pour un moteur de même puissance d'un véhicule classique (voir le chapitre IV).

9. Les avantages que l'on obtient en introduisant des paramètres génériques de véhicules peuvent être résumés comme suit:

a) Il est possible d'aligner la charge du système pour les essais de véhicules hybrides sur celle appliquée aux véhicules classiques au prix d'efforts raisonnables dans le cadre du RTM. Les écarts entre les paramètres des véhicules réels et ceux des véhicules

¹ Consultable à l'adresse URL: <https://www2.unece.org/wiki/download/attachments/12943378/HDH-15-06e.pdf?api=v2>.

génériques n'ont pas d'incidences sur la procédure de certification. Les émissions de polluants et les limites de la programmation pour les essais de moteurs et de véhicules sont jugés comparables lorsque les principes formulés au chapitre IV sont appliqués;

b) Une certification indépendante du véhicule comme dans la programmation pour l'essai WHTC et une certification indépendante du véhicule pour les moteurs des véhicules classiques peuvent être admises aussi pour les groupes motopropulseurs hybrides. Ceci permet au constructeur de monter des groupes motopropulseurs certifiés/homologués sur tout véhicule et réduit l'ampleur de la tâche impliquée par les essais.

III. Établissement de la programmation pour le Cycle d'essai harmonisé à l'échelle mondiale (WHVC)

10. Les membres du groupe de travail informel des véhicules utilitaires lourds hybrides (HDH) avaient considéré que les procédures d'essai aux fins de l'homologation de type et de la certification, quant aux émissions de polluants, pour les moteurs montés sur des véhicules hybrides devaient, dans la mesure du raisonnable, être alignées sur les procédures définies pour les moteurs montés sur des véhicules classiques. Il faut pour ce faire aligner la programmation du moteur pour l'essai WHTC et la programmation du véhicule pour l'essai WHVC parce que la programmation du moteur n'est ni directement applicable ni raisonnable pour le groupe motopropulseur d'un véhicule hybride.

11. La fiche de programmation du véhicule a donc été mise au point sur la base du principe que l'on pourrait soumettre un véhicule classique à un essai en utilisant soit la programmation du moteur soit la programmation du véhicule et que les résultats obtenus pour les émissions seraient comparables. Même si des paramètres génériques du véhicule étaient établis, la demande de puissance restait différente pour les essais WHTC et WHVC et on ne pouvait donc pas escompter des résultats comparables en matière d'émissions. L'alignement direct de la courbe de puissance en fonction du temps était à rejeter parce que le profil de puissance pour l'essai WHTC comprenait des séquences prédéfinies de changement de rapport à des moments précis. Il ne paraissait pas raisonnable d'exiger pour les véhicules hybrides les mêmes séquences de changement de rapport que pour les véhicules classiques lors de l'essai WHTC parce que ces changements de rapport devaient correspondre à un fonctionnement en conditions réelles. Les méthodes d'essai proposées pour les véhicules hybrides permettraient de reproduire les stratégies réelles de changement de rapport.

12. Ceci conduit donc à aligner la courbe de travail en fonction du temps pour les essais WHTC et WHVC pour lesquels une variation de la demande de puissance peut intervenir à bref délai, mais l'intégration de la puissance, qui correspond au travail, assure un comportement thermique similaire. Des pentes de la route ont été introduites dans la fiche de programmation du véhicule pour aligner la demande de travail pour les cycles WHVC et WHTC. Combinées avec les paramètres de véhicules génériques, les pentes permettent d'adapter la charge d'un système avec une puissance hybride nominale spécifique durant l'exécution du programme du cycle WHVC de manière à ce qu'elle soit égale à celle d'un moteur ayant la même puissance nominale durant le cycle WHTC. En outre, on considère qu'une proportion représentative de travail négatif est prise en compte dans le cadre du programme du véhicule, ce qui est essentiel pour les véhicules hybrides.

13. Pour aligner le travail sur les cycles WHVC et WHTC, il faut pouvoir disposer des courbes en fonction du temps d'un cycle de référence normalisé WHTC que l'on puisse facilement dénormaliser en se basant sur la puissance nominale du système correspondant. Dans le cas du cycle WHTC, la méthode couramment utilisée pour la dénormalisation est fonction de la forme de la courbe de pleine charge du moteur et donne donc des résultats

différents même si la puissance nominale est la même. Comme il n'est pas facile d'obtenir la courbe de pleine charge pour les véhicules hybrides et que la dénormalisation n'est pas raisonnable compte tenu des régimes moteurs inférieurs au régime de ralenti, il apparaît nécessaire de disposer d'un cycle de référence WHTC dépendant uniquement de la puissance nominale.

14. La solution la plus évidente consisterait à utiliser la courbe normalisée de puissance en fonction du temps de la fiche de programmation originale du véhicule pour l'essai WHVC qui a été enregistrée lors des travaux de recherche à l'échelle mondiale sur des véhicules utilitaires lourds en cours d'utilisation, mais des recherches supplémentaires ont montré que cette méthode n'était plus représentative pour les cycles WHTC dénormalisés des moteurs types. Ceci est dû essentiellement au modèle de groupe motopropulseur et de procédure de changement de rapports utilisé et aux modifications nécessaires lors du processus de conception de l'essai WTHC. Cependant, pour faire face à cette situation, on a établi un cycle WHTC moyen en dénormalisant les cycles WHTC de 15 moteurs différents et en les normalisant en fonction de leur puissance nominale. La courbe normalisée de la puissance en fonction du temps ainsi obtenue est représentative du profil de puissance d'un moteur au vilebrequin et elle a été confirmée par les constructeurs et approuvée dans le cadre du groupe informel des véhicules utilitaires lourds hybrides (HDH) du GRPE.

15. Pour calculer le profil de puissance au moyeu de la roue, qui est le seul critère général valide pour comparer les demandes de puissance des véhicules classiques et hybrides, on a abaissé le profil de puissance pour le cycle WTHC en appliquant deux fois un facteur de rendement générique de 0,95, une fois pour la boîte de vitesses et une fois pour le couple final de transmission. On dispose ainsi d'un profil de puissance de référence au moyeu de la roue que l'on peut facilement dénormaliser en fonction de la puissance nominale de tout système pour obtenir la courbe du travail du cycle de référence et la courbe du travail en fonction du temps.

16. Les pentes ont pour rôle d'adapter la demande de puissance résultant du profil de vitesse du cycle WHVC et la résistance à l'avancement dus aux paramètres génériques du véhicule à la courbe de travail en fonction du temps pour le cycle moyen WHTC. Leur calcul est fondé sur le réajustement des conditions réelles de fonctionnement du véhicule sur les conditions existant durant les mesures en cours d'utilisation pour l'établissement du cycle WHTC, compte tenu des corrections introduites durant le processus de déclaration du WHTC. Les pentes sont utilisées pour adapter la charge afin de reproduire la charge utile du véhicule et le profil de la route pour chaque partie du cycle d'essai.

17. Des données provenant de 12 véhicules différents représentatifs à l'échelle mondiale ont été utilisées pour l'établissement du cycle WHTC. Chaque ensemble de données est représenté dans une sous-section spécifique du cycle, appelée mini-cycle et durant de l'instant de l'arrêt du véhicule à l'instant de l'arrêt suivant selon la fiche de programmation du véhicule pour le cycle WHVC. Durant la mesure, la demande de puissance de propulsion relevée pour chaque véhicule a été normalisée à la puissance nominale du moteur et combinée à la courbe de puissance normalisée en fonction du temps dans le cadre du cycle WHVC. Comme tous les véhicules présentaient des rapports différents entre les puissances des moteurs et la masse desdits véhicules (et d'autres paramètres définissant la résistance à l'avancement), ces rapports et cette courbe de puissance en fonction du temps ont servi de base pour le cycle WHTC, chaque moteur testé sur le dynamomètre à moteur se comportant comme s'il entraînait un véhicule sur lequel la charge utile est changée 12 fois durant le cycle d'essai (à chaque instant d'arrêt). Ceci est évidemment logique, puisque le cycle d'essai WHTC inclut les plages de fonctionnement typiques des moteurs représentatives d'un grand nombre de véhicules.

18. Les paramètres génériques du véhicule ont été définis de manière à disposer d'un ensemble de données spécifiques déterminant la résistance à l'avancement (masse du

véhicule, masse à vide, etc.), définition qui évidemment n'inclut pas la modification de la charge utile. Comme l'addition d'une charge utile ou d'une pente positive a pour effet dans l'un et l'autre cas d'accroître la charge du système, les pentes ont été utilisées notamment pour simuler les diverses charges utiles. Compte tenu des corrélations susmentionnées, on obtiendrait ainsi 12 pentes différentes, une pour chacun des mini-cycles, mais une première adaptation est nécessaire durant la décélération du véhicule pour déterminer la quantité correcte d'énergie obtenue par récupération sur les véhicules hybrides.

19. Étant donné que la pente correspond à une augmentation (ou à une diminution) de la charge utile durant la propulsion du véhicule, ce facteur doit être adapté durant la décélération. Un exemple est présenté ci-dessous:

20. Une pente positive équivaut à un véhicule plus lourd, qui nécessite une puissance de propulsion plus forte durant l'accélération. Durant le freinage, un véhicule plus lourd devrait pouvoir récupérer davantage d'énergie, mais si la pente positive, qui est censée représenter la charge utile additionnelle, est maintenue, le potentiel de récupération de l'énergie durant le freinage est diminué par rapport à la réalité. Contrairement à ce qui se passe pendant la propulsion, un véhicule plus lourd doit être représenté par une pente négative durant la décélération et, comme la valeur de la pente appliquée est représentative de la charge utile, il suffit de garder la valeur de la pente, mais en changeant son signe. Les sections où il faut changer le sens de la pente peuvent être identifiées par une demande de puissance de propulsion négative ou nulle dans le cycle moyen WHTC et le cycle WHVC (en utilisant la dynamique longitudinale du véhicule, le profil de vitesse dans le cycle WHVC et les paramètres génériques du véhicule). Les sections d'une durée de trois secondes ou moins ne sont pas prises en compte ou sont alignées pour éviter d'avoir un profil de pente de la route accidenté, ce qui nuirait à la conduite du véhicule sans avoir d'incidences réelles sur le plan énergétique.

21. L'application des facteurs de pente mentionnés permet d'aligner le travail des cycles WHTC et WHVC, mais ces alignements sont partiellement insuffisants. Ceci n'est pas dû au fait que la pente ne permet pas d'appliquer la correction en fonction des charges utiles mais au fait que certaines sections parcourues durant les relevés de la vitesse et du profil de puissance dans le cadre du cycle n'ont pas été parcourues sur route plate et qu'outre la charge utile, une pente réelle de la route doit aussi être prise en compte pour aligner les cycles WHVC et WHTC.

22. Les sections où des pentes sont apparues durant l'exécution des mesures dans le processus de conception du cycle WHTC, même si l'on ne dispose pas d'informations à ce sujet, peuvent être déterminées d'après des défauts de concordance en matière de puissance entre le cycle moyen WHTC et le cycle WHVC avec des facteurs de pente appliqués représentatifs des diverses charges utiles (en utilisant la dynamique longitudinale du véhicule, le profil de vitesse du cycle WHVC et les paramètres génériques du véhicule). Pour pouvoir en tenir compte, il est nécessaire de diviser certains des 12 minicycles en sous-sections. Ceci s'applique aux sections où les profils de puissance du cycle moyen WHTC et du cycle WHVC diffèrent nettement.

23. Pour déterminer le facteur de pente (charge utile variable), le concept des 12 mini-cycles reste valide. Pour ce qui est des pentes réelles, la différence de demande de puissance entre le cycle moyen WHTC et le cycle WHVC, la charge utile étant représentée par des pentes, est elle-même exprimée par une pente supplémentaire pour les diverses sections. Cette procédure donne un très bon alignement des cycles WHTC et WHVC, mais elle implique d'adapter le principe de la pente inversée pour ces sections spécifiques pour obtenir une quantité représentative d'énergie récupérée dans le cas des véhicules hybrides. Étant donné que la pente représente alors la combinaison de la charge utile et des pentes réelles, elle ne peut plus être aussi facilement inversée directement comme avant pour ces sections spécifiques. Sur la base du principe que l'état de la route est peu susceptible de

changer chaque fois que le véhicule commence à décélérer, seul le facteur de pente équivalent à la masse est à inverser. Les résultats obtenus avec cette méthode ont montré qu'une quantité représentative d'énergie récupérée était obtenue grâce au cycle d'essai et que la courbe du travail en fonction du temps pouvait être très bien alignée avec le cycle WHTC.

24. La méthode décrite impose spécifiquement de calculer le profil de pente pour chaque régime de puissance si l'on veut aligner correctement les cycles WHTC et WHVC. Les études en vue de déterminer une pente fixe calculée à partir d'une moyenne pour diverses puissances nominales n'ont pas abouti. Un concept modifié de pente fixe a cependant été introduit pour simplifier la procédure de calcul, éviter la nécessité de logiciels supplémentaires et faciliter le maniement du RTM. Il est fondé sur une pente moyenne calculée à partir de puissances nominales comprises entre 60 et 560 kW, ce qui correspond à des véhicules de 3,5 à 60 t selon les paramètres génériques des véhicules.

25. Pour compenser l'erreur introduite dans l'alignement de la puissance et du travail entre les divers cycles WHTC et WHVC lorsqu'une pente moyenne est utilisée, une formule polynomiale a été mise au point. Étant donné que les paramètres du véhicule dans le cycle WHTC et les déclivités de la route dans le cycle WHVC dépendent de la puissance nominale, l'erreur due à la pente fixe en découle automatiquement. L'introduction d'un polynôme du second degré pour compenser l'erreur permet de manier facilement le RTM sans avoir à utiliser des logiciels supplémentaires et sans perdre notablement en précision.

IV. Concept de travail du système

26. Les limites d'émissions des moteurs utilisés sur les véhicules utilitaires lourds classiques sont exprimées en quantités par kilowatt-heure de travail fourni. Ce mode de mesure est pratique pour les moteurs utilisés sur les véhicules utilitaires lourds, parce qu'un unique convertisseur d'énergie est installé pour faire avancer le véhicule, plus précisément le moteur thermique, et le travail fourni par le moteur au cours du cycle d'essai peut facilement être calculé à partir des valeurs de la vitesse et du couple mesurées directement sur un banc d'essai moteur.

27. Comme expliqué plus haut, on a mis au point le cycle de charge du véhicule hybride en tant que combinaison du cycle de vitesse, des paramètres du véhicule et des facteurs de pentes en tablant sur le fait que la demande de puissance de propulsion du cycle de charge résultant est très proche de la demande du cycle moteur WHTC. Cependant, les véhicules hybrides peuvent fournir la puissance de propulsion nécessaire au moyen de deux convertisseurs d'énergie distincts. Les véhicules hybrides peuvent récupérer une fraction de cette énergie de propulsion en stockant l'énergie durant les décélérations. Aux fins de l'harmonisation avec les essais de moteurs utilisés sur les véhicules utilitaires lourds classiques pour lesquels le travail du moteur est égal au travail de propulsion du véhicule, il faut aussi, pour les véhicules utilitaires lourds hybrides, utiliser le travail de propulsion effectué par le moteur pendant le cycle d'essai et pas seulement le travail du moteur.

28. Le groupe de travail informel des HDH a estimé que le travail de propulsion fourni par le système hybride au cours du cycle d'essai devait servir de base pour calculer les valeurs des émissions, parce que cela permettait de comparer équitablement les groupes motopropulseurs classiques et hybrides. Ce travail de propulsion produit par le système hybride au cours du cycle d'essai est appelé travail du système.

29. Comme il n'y a pas, pour la détermination de la puissance de propulsion, de point de référence universel similaire au vilebrequin d'un moteur classique qui soit valide pour toutes les configurations de systèmes hybrides, le moyeu de la roue a été défini comme le point de référence valide pour les systèmes hybrides. Pour assurer la cohérence avec les

essais des moteurs des véhicules utilitaires lourds classiques pour lesquels la puissance de propulsion est mesurée directement sur le vilebrequin, puissance qu'il faudrait corriger en fonction du rendement de la boîte de vitesses et du couple final pour obtenir la puissance au moyeu de la roue, on a introduit le concept de moteur thermique virtuel.

30. Ceci signifie que les valeurs de référence de base de la demande de puissance sont définies au vilebrequin-moteur virtuel et que l'on applique deux fois de suite un facteur générique de rendement de 0,95 pour obtenir la demande de puissance au moyeu de la roue, faute de quoi, la comparaison entre les moteurs des véhicules utilitaires lourds classiques et les groupes motopropulseurs hybrides serait faussée, parce que l'on utiliserait deux points de référence différents sur les groupes motopropulseurs et que le travail moteur au moyeu de la roue est plus faible que le travail moteur au vilebrequin d'un véhicule classique. Ce concept de vilebrequin-moteur virtuel et de valeurs de rendement génériques est utilisé dans toute la procédure à partir de la définition des pentes pour le cycle d'essai et puis pour la détermination de la puissance nominale du système hybride et les calculs similaires de telle sorte que l'essai des moteurs des véhicules utilitaires lourds classiques et l'essai des moteurs des véhicules utilitaires lourds hybrides soient alignés.

31. Pour la méthode de simulation avec matériel dans la boucle (HILS) (annexe 9), la puissance de propulsion au moyeu de la roue est un résultat type du modèle de simulation et cette valeur doit être convertie en puissance de propulsion au vilebrequin-moteur virtuel en la divisant par les deux valeurs de rendement génériques. En outre, le résultat ainsi obtenu doit être corrigé pour tenir compte des écarts entre le travail moteur de référence durant le cycle provenant du modèle de simulation et le travail moteur réel mesuré sur le banc d'essai moteur.

32. Pour la méthode du groupe motopropulseur (annexe 10), la puissance de propulsion au moyeu de la roue est le même résultat type du modèle de simulation que l'on convertit en puissance de propulsion au vilebrequin-moteur virtuel en le divisant par les deux valeurs de rendement génériques. Il n'y a pas lieu d'y apporter des corrections supplémentaires comme avec la méthode HILS, parce que dans ce cas le moteur fonctionne directement pendant le cycle d'essai avec l'ensemble du système hybride installé sur le banc d'essai et qu'il n'existe pas d'étape supplémentaire dans le cadre de laquelle un résultat de la simulation est utilisé comme cycle d'entrée de référence pour le banc d'essai moteur.

33. Le fait que la demande de puissance de propulsion pour le cycle d'essai est très proche de la demande pour le cycle moteur WHTC a servi de base pour élaborer le concept partant du cycle d'essai au début et aboutissant au travail du système utilisé pour calculer les émissions à l'étape finale. Les valeurs limites des émissions devraient donc aussi être considérées comme valables et devraient permettre une comparaison entre les émissions de moteurs et les émissions de groupes motopropulseurs hybrides de puissance nominale similaire utilisés pour propulser le même véhicule.

34. Le concept mis au point assure la comparabilité des différents types de systèmes hybrides et fournit aussi des résultats vraisemblables pour ceux-ci. Cependant, le cycle de vitesse du véhicule de référence WHVC pris pour base, qui représente un profil moyen mondial de mission de transport pour les véhicules utilitaires lourds peut aboutir à une pénalisation en ce qui concerne les émissions de certains véhicules hybrides à vocation essentiellement urbaine.

35. Les solutions éventuellement applicables pour régler ce problème accroîtraient la complexité du processus d'homologation de type pour les émissions parce qu'elles nécessiteraient un essai spécifique à une mission de transport du groupe motopropulseur hybride l'utilisation d'une pondération de certaines parties du cycle d'essai, et limiteraient l'application de l'essai du groupe motopropulseur hybride à un type spécifique de véhicule au lieu de permettre une application indépendante du véhicule. De plus, il serait nécessaire

de définir un ensemble de classes de véhicules auxquelles correspondraient des limitations spécifiques (conduite urbaine seulement ou vitesse ou masse maximales par exemple) pour l'application du RTM n° 4.

36. En outre, si des essais spécifiques à une mission de transport donnée ou une pondération de certaines parties du cycle d'essai étaient introduits pour les groupes motopropulseurs hybrides, la demande de puissance du cycle de conduite et la procédure d'ensemble applicable aux groupes motopropulseurs hybrides ne seraient plus comparables à celles appliquées aux moteurs utilisés dans les véhicules utilitaires lourds classiques. Le groupe HDH a donc estimé que des essais spécifiques à une mission de transport donnée ou une pondération de certaines parties du cycle d'essai ne représenteraient pas une solution viable.

V. Détermination de la puissance nominale

37. Les procédures d'essai pour les moteurs montés sur des véhicules classiques (fiche de programmation du moteur WHTC) et pour les systèmes hybrides (fiche de programmation du véhicule pour le cycle WHVC) ont été alignées en termes de puissance et de demande de travail. Pour ce faire, des paramètres des véhicules et des facteurs de pente ont été établis en fonction de la puissance nominale comme décrit aux chapitres II et III. Ainsi, les systèmes motopropulseurs hybrides et les moteurs classiques ayant la même puissance nominale sont soumis aux mêmes conditions de charge dans le cadre des procédures d'essai respectives.

38. Alors que la puissance nominale d'un moteur thermique est un paramètre bien connu et facilement déterminable, la puissance des systèmes hybrides peut varier selon l'instant, de l'essai en fonction de paramètres tels que la capacité des systèmes rechargeables de stockage de l'énergie électrique (SRSEE), la puissance de pointe, le niveau de charge, les limitations thermiques des composants, etc. Il n'est pas jugé raisonnable, pour de multiples raisons, de faire simplement la somme des puissances nominales des divers éléments pour en déduire la puissance du système hybride et c'est pourquoi la procédure d'essai à la puissance nominale vise à déterminer une puissance nominale représentative pour le système hybride respectif. Elle doit prendre en compte le comportement du moteur lors du fonctionnement réel du véhicule en service. En outre, cette procédure doit être applicable pour les deux méthodes d'essai des systèmes hybrides décrites par les annexes 9 et 10. L'exécution de l'essai sur un véhicule à propulsion classique permettra d'obtenir la puissance nominale du moteur thermique installé.

39. Une série de manœuvres types a été sélectionnée pour la détermination des capacités d'un système hybride. Elle comprend des accélérations à pleine charge commençant à différentes vitesses avec application de différentes charges. Celles-ci sont représentatives pour les scénarios de fonctionnement réel sur véhicule et pour les scénarios exécutés dans le cadre des cycles WHTC/WHVC. Conformément au concept du travail du système et la démarche suivie pour établir la fiche de programmation du véhicule pour le cycle WHVC, le point de référence commun pour déterminer la puissance nominale de tous les types de véhicules est le moyeu de la roue. S'agissant d'un véhicule classique, la puissance relevée au moyeu de la roue serait, en raison de pertes d'énergie dans la transmission, plus faible que la puissance du moteur et il doit donc être tenu compte des facteurs de rendement types conformément aux chapitres III et IV pour les corrections nécessaires.

40. C'est pourquoi on divise la puissance relevée au moyeu de la roue par $0,95^2$ pour calculer la puissance nominale caractéristique des systèmes hybrides pour toute configuration de ces systèmes. La valeur de $0,95$ n'est peut-être pas représentative pour tous les véhicules, mais ceci est sans importance puisque tous les alignements concernant le

programme d'essai et le travail du système sont fondés sur le point de référence roue. Les facteurs de rendement génériques n'ont été introduits que pour pouvoir convertir les demandes de puissance du cycle WHTC en valeurs à la roue pour un véhicule classique comme base de référence.

41. Pour déterminer les performances maximales d'un système hybride, il a été convenu que le système devait initialement être à l'état chaud et avoir une réserve d'énergie suffisante (niveau de charge >90 % de la fourchette utilisée) avant le début de chaque scénario d'essai. Cependant, si l'on effectue un essai dans lequel les performances maximales sont considérées comme correspondant à la puissance nominale caractéristique, le résultat obtenu peut être une puissance nominale telle que la fiche de programmation du véhicule soumis au cycle WHVC ainsi obtenue demande une puissance supérieure à celle que le véhicule peut développer à un moment donné du cycle. Ceci peut être dû à des limitations du système hybride qui résultent par exemple de restrictions thermiques ou d'un niveau de charge insuffisant pendant le cycle et qui ne peuvent être compensées par la procédure d'essai à puissance nominale qui dure moins longtemps que la fiche-programme du véhicule pour le cycle WHVC. Dans ce cas, le véhicule ne sera probablement plus capable de maintenir la vitesse voulue sur certaines sections où le profil de pente de la route est calculé sur la base de la puissance nominale du système hybride.

42. En conséquence, seul un processus itératif dans le cadre duquel la fiche de programmation et les paramètres du véhicule sont calculés avec des valeurs différentes de puissance nominale pourrait permettre de déterminer la puissance nominale pour laquelle le véhicule est en mesure de suivre la fiche-programme d'essai, ses capacités à pleine charge peuvent être éprouvées et la distribution de fréquence de la puissance par rapport aux capacités à pleine charge est similaire à celle du programme d'essai WHTC. Cependant, compte tenu de la conception d'un système hybride particulier, des limitations peuvent intervenir même si un scénario d'essai différent est utilisé et il peut alors être impossible de satisfaire les trois demandes à la fois. Le groupe informel HDH a convenu que le scénario d'essai à la puissance nominale pouvait être jugé raisonnable aux fins de l'amendement considéré ici.

43. Du fait de la disponibilité limitée d'énergie hybride et des caractéristiques de conception des systèmes hybrides, la détermination d'une puissance nominale représentative est plus complexe que pour les moteurs classiques. Néanmoins, la méthode d'essai mise au point permet de fixer la puissance nominale du système de telle manière que les capacités à pleine charge soient nécessaires dans tous les cas pour le cycle d'essai. La méthode retenue permet d'aligner les essais du moteur classique et du système hybride en termes de cycle d'essai, de travail du système pour le calcul des émissions et la détermination de la puissance et est valable et applicable pour le groupe motopropulseur et la méthode HILS sans qu'il y ait besoin d'apporter de modifications au modèle validé.

VI. Méthode HILS

44. La méthode HILS (annexe 9) mise au point pour le RTM est fondée sur la réglementation japonaise Kokujikan n° 281. Pour reproduire fidèlement le fonctionnement en conditions réelles du moteur installé sur un véhicule hybride pour la certification ou l'homologation de type, la méthode HILS a pour objectif principal de transformer un cycle de vitesse du véhicule en un cycle d'essai du moteur qui soit représentatif pour l'application dans un système hybride spécifique. Au lieu d'avoir à effectuer un grand nombre de séries d'essais de véhicules réels pour répondre à des configurations différentes, on peut avec la méthode HILS simuler l'essai d'un véhicule hybride soumis à un cycle de vitesse transitoire. Au cours de cette simulation, on enregistre le fonctionnement du moteur, ce qui permet d'établir un cycle moteur spécifique aux systèmes hybrides. Ce cycle moteur peut

alors être utilisé pour contrôler les émissions du moteur sur un banc d'essai moteur classique

45. Le fonctionnement du moteur sur un véhicule hybride dépend dans une très large mesure des stratégies propres au constructeur de commande du système hybride. Ces stratégies sont mises en œuvre par les modules de gestion électronique du système hybride. Pour pouvoir inclure ces stratégies de commande dans la boucle de simulation, les modules sont utilisés pour l'essai en tant que matériel et sont raccordés à la simulation, qui est exécutée en temps réel. Ce processus est appelé «simulation avec matériel dans la boucle». Au moyen du modèle de simulation (comprenant des sous-modèles pour les résistances à l'avancement, les différents composants du groupe motopropulseur et le conducteur) correspondant aux systèmes hybrides réels et des modules de commande de ces systèmes inclus en tant que matériel, le cycle de vitesse du véhicule est transformé en un cycle de charge spécifique du moteur thermique. L'utilisation du système HILS permet de réduire très sensiblement le fardeau des essais pratiques lorsque des variantes du système hybride sont prises en compte, par rapport à des essais réels de chaque configuration du système. L'annexe 9 du présent RTM présente des chiffres et des organigrammes illustrant de manière détaillée la procédure d'essai HILS.

A. Bibliothèque de modèles HILS

46. On a adapté la structure des modèles utilisés dans la réglementation Kokujikan n° 281 et le flux de données provenant de ces modèles pour établir un cadre de simulation qui permette une sélection et une combinaison clairement définies des composants. La structure repose maintenant sur un système de bus avec des interactions définies de chaque module de la bibliothèque de modèles HILS. Cette conception simplifie l'adaptation du simulateur HILS à des systèmes hybrides différents dans les futurs cas d'homologation de type.

47. Pour la simulation complète du véhicule, il est préférable, lorsque les modèles de composants peuvent être directement reliés entre eux, d'établir un modèle de véhicule complet. La philosophie de modélisation qui convient pour les applications HILS et applications «simulation avec logiciel dans la boucle» (SILS) est appelée «transfert», ce qui signifie que le groupe motopropulseur est décrit au moyen de modèles définis par des équations différentielles. À cet effet, les interfaces entre les composants du groupe motopropulseur doivent être déterminées.

48. Deux types d'interfaces pour lesquelles un paradigme de modélisation fondé sur le port a été utilisé sont nécessaires:

- a) L'interface physique se rapporte à la façon dont différents composants sont physiquement raccordés entre eux et représente les flux d'énergie;
- b) L'interface signal se rapporte aux signaux de commande ou de détection nécessaires pour contrôler les composants d'un module de gestion électronique (ECU).

49. Pour les groupes motopropulseurs, quatre (ou cinq) interfaces physiques différentes sont nécessaires. Ces interfaces sont: électriques, mécaniques (rotation et translation), chimiques et fluides. Par convention, on désigne comme suit les signaux d'interface:

- a) Interface physique: `phys_description_Unit`

Lorsque «phys» est fixé pour indiquer qu'il s'agit d'un signal physique, «description» est une description du signal, (par exemple, couple, tension, etc.) et «unité» est l'unité SI utilisée (par exemple Nm, V, A, etc.).

Exemple: `phys_torque_Nm`, qui est le couple dans un modèle de composant.

b) Interface signal: Component_description_Unit

«Component» est le nom abrégé du composant, par exemple Clu (pour embrayage), Engine (pour moteur), ElecMac (pour machine électrique), etc., «description» est une description du signal, par exemple «actual torque» (couple réel) tqAct, tension u et «unit» est l'unité SI utilisée pour indiquer la valeur du signal, par exemple Nm, V, A, rad/s, etc. À titre d'exemple, ElecMac_nAct_radps désigne la vitesse réelle de rotation d'une machine électrique avec la vitesse exprimée en rad/s.

50. La structure du modèle est divisée en deux parties, le modèle physique et le contrôleur local. Chaque modèle comprend une unité de commande locale, qui convertit les signaux de commande provenant du système de commande (le cas échéant) en signaux de commande locale. Le bloc envoie également des valeurs de signal provenant de capteurs au système de commande, c'est à dire qu'il assure la communication entre le module de gestion électronique et le modèle physique. Le bloc modèle physique inclut la mise en œuvre des équations relatives au modèle. Comme la transmission vers l'aval est utilisée, les signaux de réaction d'entrée dans un bloc proviennent du bloc situé en amont du bloc de composant concerné. Cela signifie que l'énergie d'entrée dans un bloc de composant est définie comme le produit du signal d'entrée et du signal de sortie de rétroaction. De même, l'énergie de sortie d'un bloc de composant est définie comme le produit du signal de sortie et du signal d'entrée de rétroaction

51. Grâce à l'utilisation pour la bibliothèque des logiciels Matlab Simulink, outils logiciels couramment utilisés dans le domaine de l'automobile, celle-ci est utilisable au mieux par tous les participants. Néanmoins, les modèles décrits dans l'annexe 9 permettent également d'utiliser d'autres logiciels que ceux de MATLAB® pour établir un simulateur HILS

B. Procédures d'essai des composants

52. Pour pouvoir mettre en place et paramétrer correctement un modèle HILS, il est nécessaire d'obtenir des données et des paramètres relatifs aux composants à partir d'essais de composants réels. Les procédures décrites à l'annexe 9 ont été élaborées sur la base des techniques les plus récentes et sont conformes aux lignes directrices généralement acceptées de l'industrie pour fournir des données pour les convertisseurs d'énergie et les dispositifs de stockage pris en compte dans le processus d'établissement de cet amendement au RTM n° 4 En raison de la grande variété et du caractère partiellement nouveau des composants utilisés dans les véhicules hybrides, il n'est pas jugé indiqué, pour l'heure, de prescrire des procédures d'essai supplémentaires. Le caractère rationnel ou non des données utilisées pour le paramétrage des modèles dans le cas où aucune procédure d'essai spécifique n'est prescrite devra être évalué par l'autorité chargée de l'homologation de type ou de la certification.

C. Méthode de la prévision des températures

53. Étant donné que le démarrage à froid fait partie de la procédure de certification ou d'homologation de type pour les moteurs montés sur des véhicules classiques, il a été convenu que ce scénario devrait également être appliqué aux motorisations hybrides. Compte tenu du fait que la température de démarrage à froid est fixée à 25 °C pour ces procédures d'essai et qu'il ne serait pas justifié de collecter des données sur les composants en fonction de la température, on a pris pour hypothèse que la température de démarrage à froid de 25 °C n'influerait pas sur les performances des composants du groupe motopropulseur hybride. Néanmoins, la température pourrait influencer sur la stratégie de

fonctionnement du groupe motopropulseur hybride, ce qui conduirait à un fonctionnement différent du moteur thermique. Pour pouvoir tenir compte de ce comportement sans recourir à l'obligation d'utiliser des modèles exacts de température thermodynamiques dans la bibliothèque HILS, où ce paramétrage est considéré comme un effort excessif, on devra communiquer aux modules de gestion des systèmes hybrides des données de température obtenues selon la méthode des prédictions de température.

54. Pour l'essai de simulation HILS avec démarrage à froid, les signaux thermiques des éléments influant sur la stratégie de commande des systèmes hybrides doivent être communiqués aux modules de gestion électronique au système connectés au système. Quels que soient leur profil et leur origine, ils sont utilisés pour la simulation HILS afin d'établir le cycle du moteur hybride (HEC). Pour vérifier l'exactitude des profils de prédiction de la température, les températures réelles correspondantes relevées lors des mesures des émissions sur le banc d'essai moteur (par exemple la température du liquide de refroidissement, la température spécifique du système anti-pollution aval, etc.) sont enregistrées et comparées à celles prédites. En procédant à une analyse de régression linéaire, il faudra démontrer que les profils prévus ont été corrects et reflètent les températures réelles.

55. Cette méthode a été validée par le National Traffic Safety and Environment Laboratory (NTSEL) avec les données disponibles relatives à un véhicule japonais, qui ne faisait pas partie du programme d'essai de validation décrit au chapitre VIII.

VII. Méthode du groupe motopropulseur

56. La méthode d'essai du groupe motopropulseur proposée à l'annexe 10 a pour objectif de fournir des résultats utilisables aux fins de la certification ou de l'homologation de type, comparables aux résultats obtenus par la procédure HILS spécifiée à l'annexe 9. Au lieu d'appliquer des modèles de simulation pour calculer le profil de fonctionnement du moteur à combustion, la méthode du groupe motopropulseur implique la présence de tous les composants du groupe motopropulseur hybride sous forme matérielle, la mesure des émissions étant exécutée directement. En fait, elle reproduit un essai sur banc dynamométrique dans le cadre duquel le châssis et, très vraisemblablement, le couple final (et éventuellement la boîte de vitesses) sont simulés par le contrôleur de banc d'essai. Les composants simulés sont soumis aux mêmes dispositions que celles spécifiées pour la méthode HILS à l'annexe 9

VIII. Validation des méthodes

57. Dans le cadre du processus d'élaboration du présent amendement au RTM n° 4, trois véhicules utilitaires lourds hybrides européens différents ont servi à valider la procédure HILS proposée. Comme les systèmes hybrides représentent encore des applications particulières dans le secteur des véhicules utilitaires lourds et ne sont pas largement diffusés entre toutes les catégories de véhicules, deux de ces véhicules étaient des autobus et le troisième un camion de livraison. Deux configurations de système hybrides parallèles, avec rapports de puissance moteur électrique/moteur thermique, et un système hybride série ont été installés dans un bus urbain doté d'un système de stockage d'énergie relativement petit et donc conçu pour un fonctionnement transitoire du moteur à combustion ont été essayés dans le cadre de ce programme de recherche.

58. Étant donné que la mesure des émissions pour le cycle d'essai moteur résultant décrit dans l'annexe 9 est effectuée selon les dispositions figurant déjà dans le RTM n° 4, l'accent était mis principalement sur la validation du modèle HILS. En conséquence, des

essais sur banc dynamométrique ont été exécutés sur les trois véhicules. La fiche-programme WHVC établie a été appliquée à son stade de développement effectif au moment des essais, et l'expérience ainsi acquise pouvait être utilisée pour poursuivre la mise au point en termes d'alignement des programmes d'essai avec le WHTC et de possibilité d'exécution sur un banc dynamométrique. Faute d'autres critères de validation disponibles, les critères retenus dans la réglementation Kokujikan n° 281 ont été repris pour évaluer l'approche HILS.

59. La validation du modèle HILS réel n'a pas été possible pour tous les fabricants participant au programme d'essais de validation et on a donc obtenu les résultats de validation en utilisant un système HIL (matériel dans la boucle), un système SIL (logiciel dans la boucle) et un modèle MIL (modèle dans la boucle). Étant donné que les mesures au banc dynamométrique produisent les données de référence pour la validation du modèle, l'exactitude des mesures au banc s'est avérée être un facteur clef de la validation réussie du modèle.

60. Indépendamment de l'utilisation des systèmes HILS ou SILS ou du modèle MILS, il a été démontré qu'une complexité accrue du système hybride accroît fortement l'ampleur de la tâche de validation du modèle. En conséquence, la validation du modèle pour le système hybride série, à savoir le plus complexe de tous les systèmes essayés, a échoué lors de l'application des critères de validation japonais. Sur les deux hybrides parallèles, un véhicule a satisfait à tous les critères japonais, et l'autre à une partie seulement de ceux-ci.

61. D'autres critères de validation des modèles HILS ont donc été envisagés mais n'ont pas pu être étudiés plus avant dans le cadre du mandat du groupe informel HDH. Il a été convenu lors de la dix-septième réunion du groupe informel HDH d'adopter les critères de validation énoncés dans la réglementation Kokujikan n° 281 et d'envisager de modifier les critères ou la méthode de validation dans un éventuel amendement ultérieur.

62. La méthode du groupe motopropulseur n'a pas pu être spécifiquement essayée dans le cadre des programmes d'essais de validation en tant qu'élément du processus d'élaboration de la présente proposition d'amendement au RTM n° 4. Cependant, un programme de validation a été exécuté par l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis et par Environnement Canada et il a démontré la faisabilité générale de la méthode.
