

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 08.03.18.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 13.09.19 Bulletin 19/37.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : PSA AUTOMOBILES SA Société ano-
nyme — FR et UNIVERSITE ORLEANS Etablissement
public — FR.

⑦2 Inventeur(s) : SIMON ANTOINE, JAINE THIERRY,
NOUILLANT CEDRIC, NELSON-GRUEL DOMINIQUE,
COLIN GUILLAUME, CHARLET ALAIN et CHAMAIL-
LARD YANN.

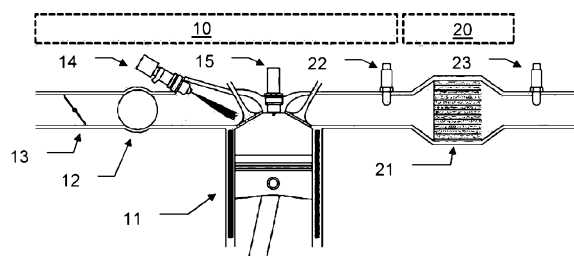
⑦3 Titulaire(s) : PSA AUTOMOBILES SA Société ano-
nyme, UNIVERSITE ORLEANS Etablissement public.

⑦4 Mandataire(s) : PEUGEOT CITROEN AUTOMO-
BILES SA Société anonyme.

⑤4 PROCÉDE DE COMMANDE D'UN MOTEUR THERMIQUE.

⑤7 Procédé de commande d'un moteur thermique (10)
comprenant les étapes consistant à :

- estimer, à un instant t du fonctionnement du moteur thermique, une température de gaz d'échappement en une pluralité de points le long du catalyseur (21),
- estimer à l'instant t une température de paroi du catalyseur en une pluralité de points le long du catalyseur, en prenant en compte au moins la température de gaz d'échappement le long du catalyseur,
- mesurer avec la sonde aval de température (23) à l'instant t, une température de gaz d'échappement en aval du catalyseur,
- corriger la température de paroi du catalyseur le long du catalyseur, en prenant en compte la mesure de température de gaz d'échappement en aval du catalyseur.



PROCEDE DE COMMANDE D'UN MOTEUR THERMIQUE

[0001] La présente invention concerne de manière générale la gestion d'un moteur thermique monté sur un véhicule automobile thermique ou hybride. En particulier, l'invention concerne la gestion du moteur thermique en fonction d'une efficacité de traitement d'effluents présents dans les gaz d'échappement.

[0002] Il est connu dans l'art antérieur que des dispositifs de traitement des effluents de gaz d'échappement ont une efficacité qui dépend de la température d'un catalyseur placé dans une ligne d'échappement. Il est donc important de connaître la température du catalyseur (autrement appelé pain catalytique) pour correctement estimer l'efficacité de traitement des gaz, et pour éventuellement décider de lancer un pilotage spécifique du moteur thermique pour augmenter la température des gaz d'échappement et donc du catalyseur.

[0003] Afin de connaître la température du catalyseur, il est possible soit d'en mesurer directement la température interne, mais cela impose de fortement complexifier la structure de la ligne d'échappement pour implanter une sonde de température au sein même du catalyseur. On peut alternativement estimer (c'est-à-dire calculer, simuler, ou déterminer par un modèle théorique) la température du catalyseur, comme divulgué dans le document EP1108124 qui propose de calculer une température du catalyseur, mais ces méthodes sont peu précises, notamment car une seule valeur de température globale est estimée, ce qui peut poser problème notamment en cycle transitoire, lorsque le catalyseur présente des gradients internes de température.

[0004] Un but de la présente invention est de répondre aux inconvénients de l'art antérieur mentionnés ci-dessus et en particulier, tout d'abord, de proposer un procédé de commande de moteur thermique qui présente un pilotage précis d'un moteur thermique pour optimiser l'efficacité de traitement des effluents gazeux des gaz d'échappement.

[0005] Pour cela un premier aspect de l'invention concerne un procédé de commande d'un moteur thermique de véhicule équipé :

- d'un moteur thermique,
 - d'au moins un catalyseur pour traiter des gaz d'échappement du moteur
 - 5 thermique,
 - d'au moins une sonde aval de température de gaz d'échappement agencée en aval du catalyseur,
- le procédé de commande comprenant les étapes consistant à :
- estimer, à un instant t du fonctionnement du moteur thermique, une
 - 10 température de gaz d'échappement en une pluralité de points le long du catalyseur, en prenant en compte au moins :
- une valeur de température initiale du catalyseur,
 - une valeur de température de gaz d'échappement en amont du catalyseur à l'instant t et/ou à un instant précédent $t-dt$, et
 - 15 - un débit massique de gaz d'échappement, à l'instant précédent $t-dt$ uniquement,
- estimer à l'instant t une température de paroi du catalyseur en une pluralité de points le long du catalyseur, en prenant en compte au moins la température de gaz d'échappement le long du catalyseur,
 - 20 - mesurer avec la sonde aval de température à l'instant t , une température de gaz d'échappement en aval du catalyseur,
 - corriger la température de paroi du catalyseur le long du catalyseur, en prenant en compte la mesure de température de gaz d'échappement en aval du catalyseur, si une erreur d'estimation de la température de gaz
 - 25 d'échappement est détectée,
 - commander au moins un organe du moteur thermique en fonction de la température, estimée ou corrigée, de paroi du catalyseur le long du catalyseur.

[0006] Le procédé selon la mise en œuvre ci-dessus calcule une température de gaz d'échappement et une température de paroi au sein même

30 du catalyseur en une pluralité de points, ce qui permet de garantir que le pilotage ultérieur tient compte de l'état de température de l'ensemble du catalyseur. De plus, le procédé comporte une étape de mesure physique de la

température des gaz d'échappement en aval du catalyseur, pour recalculer ou corriger les estimations effectuées, en cas de constatation d'une dérive. Cette étape de vérification permet de garantir que les températures estimées sont correctes, ce qui améliore la fiabilité du procédé de commande.

5 [0007] Il est à noter que le procédé de commande prend en compte le débit massique de gaz d'échappement, c'est-à-dire la chaleur transmise par les gaz d'échappement, mais uniquement à l'instant précédent $t-dt$, ce qui ne fausse pas la prédiction. Le calcul est donc possible, et tient compte des échanges réels qui se passent au sein du catalyseur.

10 [0008] Avantageusement, la température de gaz d'échappement et la température de paroi au sein du catalyseur en une pluralité de points sont estimées le long du catalyseur selon une seule dimension, en particulier selon la direction d'écoulement des gaz d'échappement.

 [0009] En d'autres termes, le procédé de commande ne calcule
15 pas une cartographie des températures en deux ou trois dimensions. En effet, la demanderesse s'est aperçue que le calcul le long de la direction axiale du catalyseur procurait une précision et une représentativité suffisantes, sans pour autant nécessiter de grosses ressources de calcul.

 [0010] Avantageusement, la température de paroi du catalyseur
20 en une pluralité de points le long du catalyseur à l'instant t est estimée en prenant également en compte une température ambiante au véhicule à l'instant t et/ou à l'instant précédent $t-dt$, et/ou un débit massique d'espèces gazeuses à catalyser à l'instant précédent $t-dt$, et optionnellement une valeur de richesse.

25 [0011] Il est à noter que le procédé de commande prend en compte le débit d'espèces gazeuses à catalyser, c'est-à-dire que la chaleur dégagée par les réactions exothermiques de catalyse est prise en compte, mais uniquement à l'instant précédent $t-dt$, ce qui ne fausse toutefois pas la prédiction. Le calcul est donc possible, et tient compte des réactions réelles
30 qui se passent au sein du catalyseur.

[0012] Autrement dit, la température de gaz d'échappement T_g au temps t et en une pluralité de points le long du catalyseur (axe x) est calculée avec une première fonction f_1 qui prend en compte les différentes variables de la manière suivante, pour un point d'abscisse x :

5
$$T_g(x, t) = f_1 \left(T_g(x, t - dt), T_g(x - dx, t - dt), T_g(x + dx, t - dt), T_s(x, t - dt), Q_{ech}(t - dt) \right)$$

La température de paroi du catalyseur T_s au temps t et en une pluralité de points le long du catalyseur (axe x) est calculée quant à elle avec une deuxième fonction f_2 qui prend en compte les différentes variables de la manière suivante, pour un point d'abscisse x :

10
$$T_s(x, t) = f_2(T_s(x, t - dt), T_s(x - dx, t - dt), T_s(x + dx, t - dt), T_g(x, t - dt), T_{amb}(t - dt), Q_{pol}(x, t - dt), Q_{ech}(t - dt))$$

Avec :

x : position le long du catalyseur (mm),

15 t : instant (s)

T_g : température de gaz d'échappement (K)

T_s : température de paroi du catalyseur (K)

T_{amb} : température ambiante au système (K)

20 Q_{ech} : débit massique en amont du catalyseur (Kg/s), obtenu par mesure ou par estimation avec un modèle issu du contrôle moteur

Q_{pol} : débit massique d'espèces gazeuses à catalyser (Kg/s) (par exemple, monoxyde de carbone (CO), oxydes d'azote (NO_x), hydrocarbures imbrûlés (HC)...)

25 $T_g(0, t) = T_{ech}(t)$: température de gaz d'échappement en amont du catalyseur (K), obtenue par mesure ou par estimation avec un modèle issu du contrôle moteur

$T_g(x, 0) = T_{ini}$: température initiale du système (K).

$T_s(x, 0) = T_{ini}$: température initiale du système (K).

[0013] Dans le détail, la température de gaz d'échappement T_g en une pluralité de points le long du catalyseur est calculée de la manière suivante :

$$T_g(x, t) = T_g(x, t - dt) + G_1 Q_{ech}(t - dt) \left(T_g(x, t - dt) - T_g(x - dx, t - dt) \right) +$$

5 $G_2 \left(T_s(x, t - dt) - T_g(x, t - dt) \right) + G_3 \left(T_g(x - dx, t - dt) - 2 T_g(x, t - dt) + \right.$
 $\left. T_g(x + dx, t - dt) \right)$

Avec G_1 , G_2 , et G_3 qui sont des coefficients qui représentent les caractéristiques thermodynamiques du système :

$$G_1 = - \frac{dt}{\rho_g \varepsilon A_{cs} dx}$$

10

$$G_2 = \frac{dt}{\rho_g \varepsilon C_{p_g}} h_{s,int} A_{geo}$$

$$G_3 = \frac{dt}{\rho_g \varepsilon C_{p_g}} \frac{\varepsilon \lambda_g}{dx^2}$$

15 Où :

ρ_g : Masse volumique des gaz d'échappement (Kg/mm³)

ε : Ratio de surface ouverte dans le catalyseur

A_{cs} : Aire ouverte du catalyseur (mm²)

C_{p_g} : Capacité thermique massique des gaz d'échappement (J/K/Kg)

20 $h_{s,int}$: Coefficient de convection gaz/paroi à l'intérieur du catalyseur (W/mm²/K)

A_{geo} : Surface d'échange gaz/paroi à l'intérieur du catalyseur par unité de volume du catalyseur (mm²/mm³)

λ_g : Conductivité thermique des gaz d'échappement (W/mm/K)

25

Dans le détail, la température de paroi du catalyseur T_s en une pluralité de points le long du catalyseur est calculée de la manière suivante :

$$T_s(x, t) = T_s(x, t - dt) + S_1 (T_s(x - dx, t - dt) - 2T_s(x, t - dt) + T_s(x + dx, t - dt)) + S_2 (T_s(x, t - dt) - T_g(x, t - dt)) + \sum_{i=[CO, HC, NO_X]} S_{3,i} Q_{pol,i}(x - dx, t - dt) \eta_i(T_s(x, t - dt), Q_{ech}(t - dt), R_{amont}) + S_4 (T_s(x, t - dt) - T_{amb}(t - dt))$$

Avec :

S_1 , S_2 , S_3 , et S_4 qui sont des coefficients qui représentent les caractéristiques thermodynamiques du système :

$$S_1 = \frac{dt \lambda_s}{\rho_s C_s dx^2}$$

10

$$S_2 = - \frac{dt}{\rho_s C_s (1 - \varepsilon)} h_{s,int} A_{geo}$$

$$S_{3,i} = \frac{dt}{\rho_s C_s (1 - \varepsilon)} \frac{K_i \eta_{i,max}}{2 V_{cat}}$$

15

$$S_4 = - \frac{dt}{\rho_s C_s (1 - \varepsilon)} \frac{A_{out} h_{out}}{V_{cat}}$$

Où :

λ_s : Conductivité thermique du pain catalytique (W/mm/K)

ρ_s : Masse volumique du pain catalytique (Kg/mm³)

C_s : Capacité calorifique massique du pain catalytique (J/K/Kg)

20 K_i : Coefficient de production de chaleur dû à la conversion de l'espèce gazeuse à catalyser i (J/Kg)

$\eta_{i,max}$: Rendement de conversion maximal de l'espèce gazeuse à catalyser i

V_{cat} : Volume du catalyseur (mm³)

η_i : Rendement de conversion de l'espèce gazeuse à catalyser i , ($\eta_i \in [0,1]$)

25 $Q_{ech,max}$: Débit massique à l'échappement maximum (Kg/s)

A_{out} : Surface extérieure du pain catalytique (mm²)

h_{out} : Coefficient de convection entre le pain catalytique et l'air ambiant (W/mm²/K)

R_{amont} : valeur de richesse en amont du catalyseur (optionnel), obtenue par
5 mesure ou par estimation avec un modèle de calcul du contrôle moteur.

[0014] Avantageusement, le procédé de commande comprend une étape consistant à :

- estimer un débit massique local d'espèces gazeuses à catalyser en une
10 pluralité de points le long du catalyseur à l'instant t , en fonction de la température de paroi corrigée. Cette étape consistant à estimer un débit massique local d'espèces gazeuses à catalyser permet de calculer ensuite par intégration l'efficacité globale du traitement catalytique des gaz d'échappement, et optionnellement une valeur de richesse.

15 [0015] Autrement dit, le débit massique local d'espèces gazeuses à catalyser en une pluralité de points le long du catalyseur est calculé avec une troisième fonction f_3 qui prend en compte les différentes variables de la manière suivante :

$$Q_{pol,i}(x, t - dt) = f_3(Q_{pol,i}(x - dt, t - dt), T_s(x, t - dt), Q_{ech}(t - dt), R_{amont})$$

20 Dans le détail :

$$Q_{pol,i}(x, t - dt) = Q_{pol,i}(x - dt, t - dt) \left(1 - \eta_i(T_s(x, t - dt), Q_{ech}(t - dt), R_{amont}) \frac{dx}{L_{cat}} \right)$$

Avec :

L_{cat} : Longueur du catalyseur (pain catalytique) (mm)

25

[0016] Avantageusement, l'étape, consistant à estimer le débit massique local d'espèces gazeuses à catalyser en une pluralité de points le

long du catalyseur à l'instant t , comprend une étape consistant à estimer le débit d'espèces gazeuses à catalyser en amont du catalyseur, en fonction du débit massique de gaz d'échappement à l'instant précédent $t-dt$, et/ou d'un régime du moteur thermique à l'instant précédent $t-dt$ et optionnellement une

5 valeur de richesse.

[0017] Autrement dit, le débit d'espèces gazeuses à catalyser en amont du catalyseur est calculé avec une quatrième fonction f_4 qui prend en compte les différentes variables de la manière suivante :

$$Q_{poi}(0, t) = f_4(Q_{ech}(t - dt), \omega_{mot}(t - dt), R_{amont})$$

10 Dans le détail :

$$Q_{poi,i}(0, t) = a_{i,0}(\omega_{mot}(t - dt), R_{amont}) + a_{i,1}(\omega_{mot}(t - dt), R_{amont}) Q_{ech}(t - dt) + a_{i,2}(\omega_{mot}(t - dt), R_{amont})(Q_{ech}(t - dt))^2$$

Avec :

$a_{i,0}$, $a_{i,1}$, $a_{i,2}$: Coefficients du modèle quadratique de la production de l'espèce gazeuse à catalyser i par le moteur thermique

15 ω : vitesse de rotation du moteur thermique (rad s^{-1})

[0018] Avantageusement, l'étape consistant à corriger la température de paroi du catalyseur le long du catalyseur comprend les étapes

20 consistant à :

- estimer à l'instant t une température de gaz d'échappement en extrémité aval du catalyseur, en fonction :
 - de la température de gaz d'échappement en extrémité aval du catalyseur à l'instant précédent $t-dt$,
 - 25 de la température de paroi du catalyseur en extrémité aval du catalyseur à l'instant précédent $t-dt$,
 - de la température ambiante au véhicule à l'instant précédent $t-dt$,
- comparer la température de gaz d'échappement en extrémité aval du catalyseur estimée à l'instant t avec la mesure à l'instant t de la température

de gaz d'échappement en aval du catalyseur,

- si une différence entre la température de gaz d'échappement en extrémité aval du catalyseur estimée à l'instant t et la mesure à l'instant t de la température de gaz d'échappement en aval du catalyseur excède un seuil
5 prédéterminé (par exemple 10 K) :

- corriger la température de gaz d'échappement estimée à l'instant t en une pluralité de points le long du catalyseur,

- ré-estimer à l'instant t la température de paroi du catalyseur en une pluralité de points le long du catalyseur, en prenant en compte au
10 moins la température de gaz d'échappement corrigée le long du catalyseur.

[0019] Autrement dit, la température de gaz d'échappement en extrémité aval du catalyseur, est estimée avec une cinquième fonction f_5 :

$$T_{aval}(t) = f_5 \left(T_g(L_{cat}, t - dt), T_{aval}(t - dt), T_{amb}(t - dt) \right)$$

15 Et :

$$T_{aval}(t) = T_{aval}(t - dt) + A_1 \left(T_{aval}(t - dt) - T_g(L_{cat}, t - dt) \right) + A_2 \left(T_{aval}(t - dt) - T_{amb}(t - dt) \right)$$

Avec A_1 , A_2 qui sont des coefficients qui représentent les caractéristiques thermodynamiques du système :

$$20 \quad A_1 = - \frac{dt}{\tau_{aval}} \frac{h_{aval,int} S_{aval,int}}{V_{aval}}$$

$$A_2 = - \frac{dt}{\tau_{aval}} \frac{h_{aval,ext} S_{aval,ext}}{V_{aval}}$$

τ_{aval} : Inertie thermique de l'élément entre la sortie du catalyseur et la mesure de température aval (J/K/mm³)

25 $h_{aval,int}$: Coefficient d'échange thermique entre le gaz à la sortie du catalyseur et l'élément en aval (W/mm²/K)

$S_{aval,int}$: Surface d'échange thermique entre le gaz à la sortie du catalyseur et l'élément en aval (mm^2)

$h_{aval,ext}$: Coefficient d'échange thermique entre l'élément en aval du catalyseur et l'air ambiant ($\text{W/mm}^2/\text{K}$)

- 5 $S_{aval,ext}$: Surface d'échange thermique entre l'élément en aval du catalyseur et l'air ambiant (mm^2)

[0020] Avantageusement, si la température de paroi du catalyseur estimée en l'un des points le long du catalyseur est inférieure à une
10 température seuil, alors au moins un des organes du moteur thermique, tel qu'un dispositif d'injection et/ou un dispositif d'allumage, est commandé pour augmenter ladite température de paroi du catalyseur.

[0021] Avantageusement :

- un intervalle de temps entre l'instant t et l'instant $t-dt$ est inférieur ou égal à 5
15 ms, et avantageusement inférieur ou égal à 1 ms, et/ou
- un intervalle géométrique entre deux points, auxquels la température de paroi du catalyseur est estimée, est inférieur ou égal à 5 mm, et avantageusement inférieur ou égal à 1 mm.

[0022] Avantageusement, le véhicule est équipé d'une sonde
20 amont de température de gaz d'échappement agencée en amont du catalyseur, et :

- la valeur de température initiale du catalyseur est une température mesurée par la sonde amont de température de gaz d'échappement et/ou la sonde aval de température de gaz d'échappement, avant mise
25 en fonction du moteur thermique, et/ou
- la valeur de température de gaz d'échappement en amont du catalyseur à l'instant t et/ou à un instant précédent $t-dt$ est une température mesurée par la sonde amont de température de gaz d'échappement.

[0023] Il est alors possible de mettre en place un système d'équations pour un modèle thermique du catalyseur discrétisé en N nœuds selon la direction longitudinale x du catalyseur, comme suit :

$$\begin{cases} \dot{\theta}(t) = g(\theta(t - dt), u(t), t) \\ y(t) = [0 \ 0 \ \dots \ 0 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0 \ 1] \theta \end{cases}$$

5 Avec :

$\theta^T = [T_{g1}, T_{g2}, \dots, T_{gN}, T_{s1}, T_{s2}, \dots, T_{sN}, T_{aval}]$: états du système

$u^T = [Q_{ech}, T_{ech}, T_{amb}]$: entrées du système

$y^T = T_{aval}$: sortie du système

10 [0024] Pour obtenir une représentation d'état du système, il vient :

$$\begin{cases} \dot{\theta}(t) = A(\theta(t - dt), u(t)) \theta(t - dt) + B(\theta(t - dt), u(t)) u(t) + W \\ y(t) = C \theta(t) + V \end{cases}$$

Avec

15 A : matrice jacobienne détaillant la variation de la fonction g par rapport aux états θ sur un point de fonctionnement $(\theta(t - dt), u(t))$ donné :

$$A(\theta(t - dt), u(t)) = \left[\begin{array}{ccc} \frac{\partial g_1}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial \theta_N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial g_N}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial g_N}{\partial \theta_N} \end{array} \right]_{\overline{\theta(t-dt)}, \overline{u(t)}}$$

B : matrice jacobienne détaillant la variation de la fonction g par rapport aux entrées u sur un point de fonctionnement $\theta(t - dt), u(t)$ donné :

20

$$B(\theta(t - dt), u(t)) = \left[\begin{array}{ccc} \frac{\partial g_1}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial u_3} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial g_N}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial g_N}{\partial u_3} \end{array} \right]_{\overline{\theta(t-dt)}, \overline{u(t)}}$$

W : variance du modèle, qui peut être déterminée à l'aide d'un essai de validation du modèle ;

$C = [0 \ 0 \ \dots \ 0 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0 \ 1]$: vecteur liant la sortie aux états ;

V : variance de la mesure, qui peut être obtenue dans les données caractéristiques du (des) capteurs de mesure.

Il est à noter que les valeurs des coefficients ci-dessus peuvent être déterminées par des essais sur banc.

[0025] Une fois la représentation d'état obtenue, on peut estimer les états présents dans la représentation d'état en fusionnant T_{aval} du modèle et de la mesure. L'estimateur se compose de deux étapes, une étape de prédiction, et une étape d'estimation :

Pour l'étape de prédiction :

$$\hat{\theta}_{\text{pred}}(t) = \hat{\theta}_{\text{est}}(t - dt) + A \left(\hat{\theta}_{\text{est}}(t - dt), u(t) \right) \hat{\theta}_{\text{est}}(t - dt) dt + B \left(\hat{\theta}_{\text{est}}(t - dt), u(t) \right) u(t) dt$$

15 Ou bien :

$$\hat{\theta}_{\text{pred}}(t) = \hat{\theta}_{\text{est}}(t - dt) + g(\hat{\theta}_{\text{est}}(t - dt), U(t), t) dt$$

Avec

$\hat{\theta}_{\text{pred}}$: états de l'estimateur obtenus durant la phase de prédiction

$\hat{\theta}_{\text{est}}$: états de l'estimateur obtenus durant la phase d'estimation

20

Pour l'étape d'estimation :

$$\hat{\theta}_{\text{est}}(t) = \hat{\theta}_{\text{pred}}(t) + K(t)(Y(t) - C \hat{\theta}_{\text{pred}}(t))$$

Avec

K : vecteur des gains déterminant le niveau de confiance accordé aux modèles par rapport à la mesure ;

25

Y : sortie mesurée (ici T_{aval} mesurée par la première sonde de température (typiquement un thermocouple)).

[0026] Avantageusement, les étapes consistant à :

- 5 - estimer la température de gaz d'échappement en une pluralité de points le long du catalyseur,
 - estimer la température de paroi du catalyseur en une pluralité de points le long du catalyseur,
 - mesurer la température de gaz d'échappement en aval du catalyseur,
 - 10 - corriger la température de paroi du catalyseur le long du catalyseur,
- sont effectuées pendant une phase de conduite du véhicule, et idéalement par un calculateur embarqué du véhicule.

[0027] Avantageusement, le catalyseur est un catalyseur trois voies, qui traite simultanément monoxyde de carbone (CO), oxydes d'azote
15 (NO_x), et hydrocarbures imbrûlés (HC). Le modèle de calcul selon l'invention est bien adapté à ce type de catalyseur, car il prend en compte les réactions de catalyse qui peuvent impacter la température du catalyseur, en raison de leur caractère exothermique.

[0028] Un second aspect de l'invention concerne un moteur
20 thermique de véhicule automobile, comprenant au moins un organe commandé par le procédé de commande selon le premier aspect.

[0029] Un troisième aspect de l'invention concerne un véhicule automobile thermique ou hybride, comprenant au moins un moteur thermique selon le deuxième aspect.

25 [0030] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description détaillée qui suit d'un mode de réalisation de l'invention donné à titre d'exemple nullement limitatif et illustré par les dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 représente une vue simplifiée d'un moteur thermique avec une ligne d'échappement comprenant un catalyseur dont la température est estimée avec le procédé de commande selon l'invention ;

- la figure 2 représente un schéma du catalyseur représenté figure 5 1 ;

- la figure 3 représente un diagramme de fonctionnement d'un superviseur de commande du véhicule équipé du moteur thermique de la figure 1.

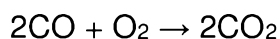
[0031] La figure 1 représente un moteur thermique 10 équipé d'un
10 dispositif de catalyse 20. Typiquement, le moteur thermique 10 comprend un ensemble piston/cylindre 11, une commande d'admission 12, un débitmètre d'air 13, un dispositif d'injection 14, et un dispositif d'allumage 15 pour commander une combustion d'un mélange air/carburant.

[0032] Le dispositif de catalyse comprend quant à lui un
15 catalyseur 21, une sonde aval de température 23, et en option une sonde amont de température 22. On peut également prévoir une sonde lambda pour estimer une richesse. Avantageusement, le catalyseur 21 est un catalyseur trois voies, qui provoque trois réactions simultanées :

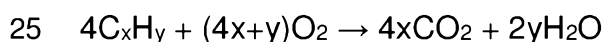
Une réduction des oxydes d'azote en diazote et en dioxyde de carbone :



Une oxydation des monoxydes de carbone en dioxyde de carbone :



Une oxydation des hydrocarbures imbrulés (HC) en dioxyde de carbone et en eau :



[0033] Il est à noter que l'exemple ici est celui d'un moteur à allumage commandé (moteur essence), mais on peut mettre en œuvre l'invention pour un moteur à allumage par compression, ou moteur Diesel.

[0034] La figure 2 représente un schéma du catalyseur 21, pour montrer la structure interne qui comprend typiquement un pain catalytique en structure nid d'abeille par exemple, et qui est traversé par un flux de gaz d'échappement, caractérisé par un débit massique de gaz d'échappement que l'on peut noter Q_{ech} , et qui contient des espèces gazeuses à catalyser (comme vu ci-dessus), que l'on peut caractériser par un débit massique d'espèces gazeuses à catalyser que l'on peut noter Q_{pol} .

[0035] Le catalyseur 21 présente une longueur L_{cat} , et l'invention propose d'estimer (par calcul ou simulation) la température du catalyseur 21 sur sa longueur, c'est-à-dire le long d'un axe x représenté figure 2.

[0036] En effet, il est important de connaître la température du catalyseur, car l'efficacité de catalyse est fortement dépendante de la température de paroi T_s du catalyseur. Par exemple, et de manière non limitative, on peut considérer que l'efficacité de catalyse n'est que de 50% à une température de 600 K environ, supérieure à 80% pour une température de 700 K, et supérieure à 90% pour une température de 800 K.

[0037] Il est donc important de savoir si l'ensemble du catalyseur est bien au dessus d'une certaine température seuil (par exemple, et de manière non limitative 750 K) pour garantir que le moteur thermique 10 peut être commandé selon un mode de fonctionnement nominal. Par contre, si le catalyseur 21 n'est pas ou pas totalement monté en température, on peut envisager de mettre en place soit une stratégie de commande du moteur thermique pour faire monter l'ensemble du catalyseur 21 en température (en jouant sur la richesse ou sur l'avance à l'allumage, avec des commandes spécifiques du dispositif d'allumage 15 ou du dispositif d'injection 14), ou alors moins utiliser le moteur thermique 10 (en privilégiant un moteur de traction électrique pour un véhicule hybride par exemple).

[0038] A cet effet, l'invention propose de prédire la température des gaz d'échappement et de la paroi du catalyseur 21, tout le long de l'axe x de la figure 2, pour ensuite proposer la commande adéquate du moteur thermique 10.

[0039] Comme vu ci-dessus, la température de gaz d'échappement T_g en une pluralité de points le long du catalyseur est calculée avec une première fonction f_1 qui prend en compte les différentes variables de la manière suivante :

5
$$T_g(x, t) = f_1 \left(T_g(x, t - dt), T_g(x - dx, t - dt), T_g(x + dx, t - dt), T_s(x, t - dt), Q_{ech}(t - dt) \right)$$

La température de paroi du catalyseur T_s en une pluralité de points le long du catalyseur est calculée quant à elle avec une deuxième fonction f_2 qui prend en compte les différentes variables de la manière suivante :

10
$$T_s(x, t) = f_2(T_s(x, t - dt), T_s(x - dx, t - dt), T_s(x + dx, t - dt), T_g(x, t - dt), T_{amb}(t - dt), Q_{pol}(x, t - dt), Q_{ech}(t - dt))$$

Avec :

x : position le long du catalyseur (mm),

t : instant (s)

15 T_g : température de gaz d'échappement (K)

T_s : température de paroi du catalyseur (K)

T_{amb} : température ambiante au système (K)

Q_{ech} : débit massique en amont du catalyseur (Kg/s), obtenu par mesure ou par estimation avec un modèle issu du contrôle moteur

20 Q_{pol} : débit massique d'espèces gazeuses à catalyser (par exemple, monoxyde de carbone (CO), oxydes d'azote (NO_x), hydrocarbures imbrûlés (HC)...)

$T_g(0, t) = T_{ech}(t)$: température de gaz d'échappement en amont du catalyseur (K), obtenue par mesure ou par estimation avec un modèle issu du contrôle moteur

25 $T_g(x, 0) = T_{ini}$: température initiale du système (K).

$T_s(x, 0) = T_{ini}$: température initiale du système (K).

[0040] Le détail des fonctions et calculs est exposé ci-dessus et ne sera pas revu ici. À l'aide d'un calcul itératif convergent, il est donc possible de connaître en tout point du catalyseur 21 la température de paroi et donc
30 l'efficacité globale de traitement des espèces gazeuses à catalyser.

[0041] La figure 3 représente un exemple de structure de traitement de l'information de calcul de la température du catalyseur 21. Un calculateur 110 estime la température de gaz et de paroi ($E-T^{\circ}$) le long du catalyseur 21, en recevant comme données d'entrée le débit massique de gaz d'échappement, la température de gaz en amont du catalyseur 21, le débit massique des espèces gazeuses à catalyser (ces données peuvent être issues de mesure, ou être issues de calculs effectués par des calculateurs moteur utilisant des modèles de prédiction).

[0042] La sonde aval de mesure de température 23 envoie également une mesure de température de gaz effectuée en aval du catalyseur 21, pour corriger si nécessaire les estimations de température de gaz et de paroi.

[0043] En sortie, le calculateur 110 envoie les valeurs de température du catalyseur 21 estimées et/ou corrigées selon l'axe des x à un calculateur 120, qui estime l'efficacité globale η (E-Poll) de traitement des espèces gazeuses à catalyser.

[0044] En fonction de cette efficacité (ou directement en fonction de la température du catalyseur 21 estimée et/ou corrigée), un superviseur 130 (S) peut alors mettre en place une stratégie visant à répartir un ratio de puissance entre un moteur de traction électrique (P_{meI}) et le moteur thermique (P_{mth}), ou encore instruire spécifiquement un calculateur moteur 140 (C-Mth) pour piloter le moteur thermique selon un mode nominal ou selon une stratégie spécifique pour générer des gaz d'échappement plus chauds, de sorte à faire monter en température le catalyseur 21 pour se placer dans un domaine de catalyse efficace.

[0045] On comprendra que diverses modifications et/ou améliorations évidentes pour l'homme du métier peuvent être apportées aux différents modes de réalisation de l'invention décrits dans la présente description sans sortir du cadre de l'invention défini par les revendications annexées.

REVENDICATIONS

1. Procédé de commande d'un moteur thermique (10) de véhicule équipé :
- 5 - d'un moteur thermique (10),
- d'au moins un catalyseur (21) pour traiter des gaz d'échappement du moteur thermique (10),
- d'au moins une sonde aval de température (23) de gaz d'échappement agencée en aval du catalyseur (21),
- 10 le procédé de commande comprenant les étapes consistant à :
- estimer, à un instant (t) du fonctionnement du moteur thermique (10), une température de gaz d'échappement en une pluralité de points le long du catalyseur (21), en prenant en compte au moins :
- une valeur de température initiale du catalyseur (21),
- 15 - une valeur de température de gaz d'échappement (T_g) en amont du catalyseur (21) à l'instant (t) et/ou à un instant précédent $t-dt$, et
- un débit massique de gaz d'échappement (Q_{ech}), à l'instant précédent $t-dt$ uniquement,
- estimer à l'instant (t) une température de paroi (T_s) du catalyseur (21) en une
- 20 pluralité de points le long du catalyseur (21), en prenant en compte au moins la température de gaz d'échappement (T_g) le long du catalyseur (21),
- mesurer avec la sonde aval de température (23) à l'instant t , une température de gaz d'échappement en aval du catalyseur (21),
- corriger la température de paroi (T_s) du catalyseur (21) le long du catalyseur
- 25 (21), en prenant en compte la mesure de température de gaz d'échappement en aval du catalyseur (21), si une erreur d'estimation de la température de gaz d'échappement (T_g) est détectée,
- commander au moins un organe (14, 15) du moteur thermique (10) en

fonction de la température, estimée ou corrigée, de paroi (T_s) du catalyseur (21) le long du catalyseur (21).

2. Procédé de commande selon la revendication précédente, dans lequel la température de paroi (T_s) du catalyseur (21) en une pluralité de points
5 le long du catalyseur (21) à l'instant t est estimée en prenant également en compte une température ambiante au véhicule à l'instant (t) et/ou à l'instant précédent $t-dt$, et/ou un débit massique d'espèces gazeuses à catalyser (Q_{pol}) à l'instant précédent $t-dt$.

3. Procédé de commande selon l'une des revendications
10 précédentes, comprenant une étape consistant à :
- estimer un débit massique local d'espèces gazeuses à catalyser (Q_{pol}) en une pluralité de points le long du catalyseur (21) à l'instant (t), en fonction de la température de paroi (T_s) corrigée.

4. Procédé de commande selon la revendication précédente, dans
15 lequel l'étape, consistant à estimer le débit massique local d'espèces gazeuses à catalyser (Q_{pol}) en une pluralité de points le long du catalyseur (21) à l'instant (t), comprend une étape consistant à estimer le débit d'espèces gazeuses à catalyser (Q_{pol}) en amont du catalyseur (21), en fonction du débit massique de gaz d'échappement à l'instant précédent $t-dt$, et/ou d'un régime du moteur
20 thermique (10) à l'instant précédent $t-dt$.

5. Procédé de commande selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'étape consistant à corriger la température de paroi (T_s) du catalyseur (21) le long du catalyseur (21) comprend les étapes consistant à :
25 - estimer à l'instant (t) une température de gaz d'échappement en extrémité aval (T_{aval}) du catalyseur (21), en fonction :
de la température de gaz d'échappement en extrémité aval (T_{aval}) du catalyseur (21) à l'instant précédent $t-dt$,
de la température de paroi (T_s) du catalyseur (21) en extrémité aval du
30 catalyseur (21) à l'instant précédent $t-dt$,

de la température ambiante au véhicule à l'instant précédent $t-dt$,

- comparer la température de gaz d'échappement en extrémité aval (T_{aval}) du catalyseur (21) estimée à l'instant t avec la mesure à l'instant t de la température de gaz d'échappement en aval (T_{aval}) du catalyseur (21),

- 5 - si une différence entre la température de gaz d'échappement en extrémité aval (T_{aval}) du catalyseur (21) estimée à l'instant t et la mesure à l'instant t de la température de gaz d'échappement en aval (T_{aval}) du catalyseur (21) excède un seuil prédéterminé :

- 10 - corriger la température de gaz d'échappement (T_g) estimée à l'instant (t) en une pluralité de points le long du catalyseur (21),
- ré-estimer à l'instant (t) la température de paroi (T_s) du catalyseur (21) en une pluralité de points le long du catalyseur (21), en prenant en compte au moins la température de gaz d'échappement (T_g) corrigée le long du catalyseur (21) .

- 15 6. Procédé de commande selon l'une des revendications précédentes, dans lequel, si la température de paroi (T_s) du catalyseur (21) estimée en l'un des points le long du catalyseur (21) est inférieure à une température seuil, alors au moins un des organes du moteur thermique (10), tel qu'un dispositif d'injection et/ou un dispositif d'allumage, est commandé
20 pour augmenter ladite température de paroi (T_s) du catalyseur (21).

7. Procédé de commande selon l'une des revendications précédentes, dans lequel :

- un intervalle de temps entre l'instant t et l'instant $t-dt$ est inférieur ou égal à 5 ms, et avantageusement inférieur ou égal à 1 ms, et/ou
25 - un intervalle géométrique entre deux points, auxquels la température de paroi (T_s) du catalyseur (21) est estimée, est inférieur ou égal à 5 mm, et avantageusement inférieur ou égal à 1 mm.

8. Procédé de commande selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le véhicule est équipé d'une sonde amont de

température (22) de gaz d'échappement agencée en amont du catalyseur (21),
et dans lequel :

- 5 - la valeur de température initiale du catalyseur (21) est une température mesurée par la sonde amont de température (22) de gaz d'échappement et/ou la sonde aval de température (23) de gaz d'échappement, avant mise en fonction du moteur thermique (10), et/ou
- la valeur de température de gaz d'échappement en amont du catalyseur (21) à l'instant t et/ou à un instant précédent $t-dt$ est une température mesurée par la sonde amont de température (22) de gaz d'échappement.

10 **9.** Moteur thermique (10) de véhicule automobile, comprenant au moins un organe commandé par le procédé de commande selon l'une des revendications précédentes.

10. Véhicule automobile thermique ou hybride, comprenant au moins un moteur thermique (10) selon la revendication précédente.

Fig. 1

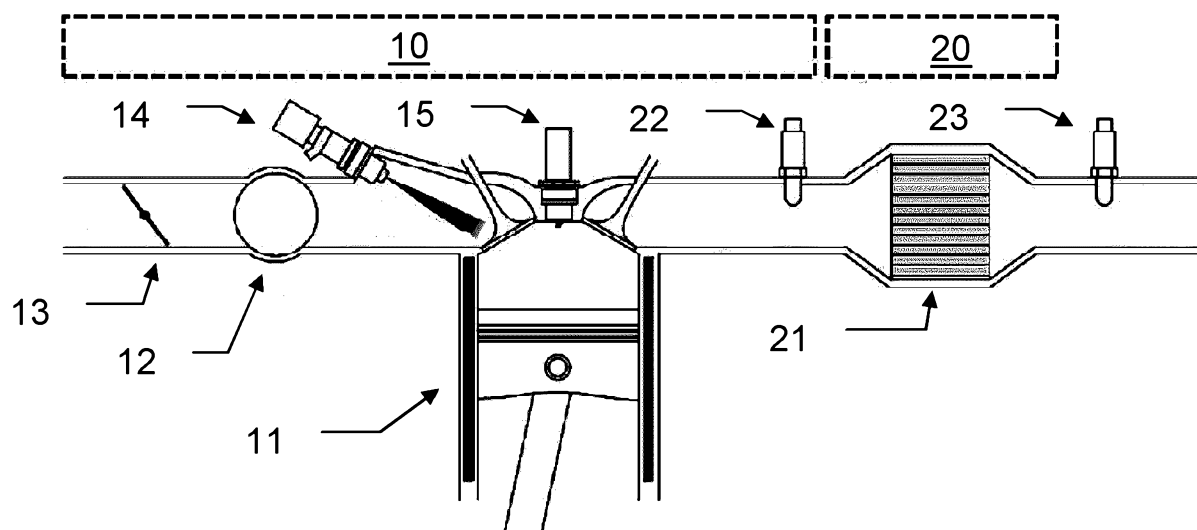


Fig. 2

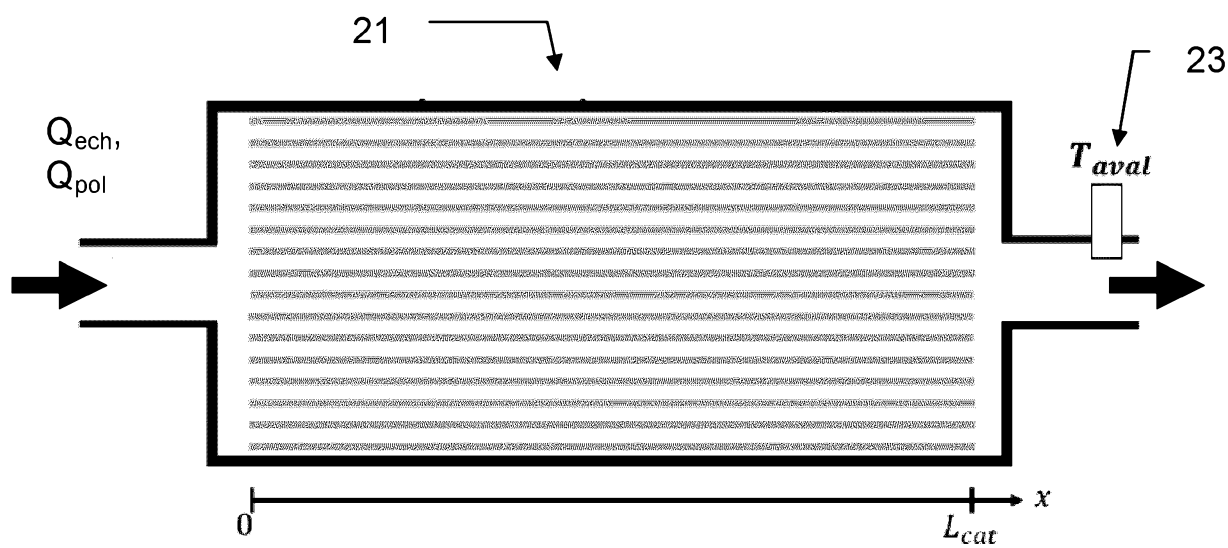
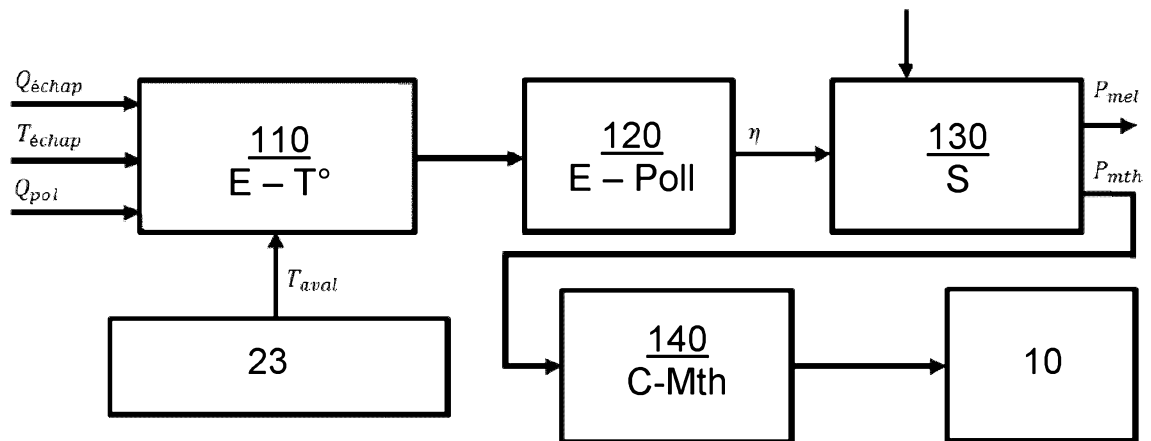


Fig. 3





INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 849532
FR 1852003

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	WO 2004/109072 A1 (SCANIA CV ABP [SE]; ELFVIK DAVID [SE]; WESTERBERG BJOERN [SE]; NYBERG) 16 décembre 2004 (2004-12-16) * pages 1,4-12 *	1-10	F02D41/30 F01N11/00 F01N3/20
X	FR 2 873 402 A1 (DENSO CORP [JP]) 27 janvier 2006 (2006-01-27)	1,6-10	
A	* pages 5-16; figures 1,2,4A,4B,7,13 *	3-5	
A	EP 2 977 598 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 27 janvier 2016 (2016-01-27)	1-10	
	* alinéas [0026] - [0049]; figures 2,5 *		
A	EP 1 676 991 A2 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 5 juillet 2006 (2006-07-05)	1-10	
	* alinéas [0049] - [0113]; figures 9,13 *		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			F02D F01N
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
5 novembre 2018		Deseau, Richard	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			
T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1852003 FA 849532

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 05-11-2018

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2004109072 A1		16-12-2004	EP 1636468 A1	22-03-2006
			SE 0301672 A	11-12-2004
			US 2007010020 A1	11-01-2007
			WO 2004109072 A1	16-12-2004

FR 2873402 A1		27-01-2006	DE 102005034115 A1	16-03-2006
			FR 2873402 A1	27-01-2006
			JP 4400356 B2	20-01-2010
			JP 2006037742 A	09-02-2006
			US 2006016179 A1	26-01-2006

EP 2977598 A1		27-01-2016	CN 101292081 A	22-10-2008
			EP 1944494 A1	16-07-2008
			EP 2977598 A1	27-01-2016
			JP 4395120 B2	06-01-2010
			JP 2007113467 A	10-05-2007
			KR 20080048088 A	30-05-2008
			US 2010047133 A1	25-02-2010
WO 2007046300 A1	26-04-2007			

EP 1676991 A2		05-07-2006	CN 1796755 A	05-07-2006
			EP 1676991 A2	05-07-2006
			JP 4373909 B2	25-11-2009
			JP 2006183645 A	13-07-2006
			TW 200622541 A	01-07-2006
US 2006142932 A1	29-06-2006			

EPO FORM P0485

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82