

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PROCÉDE D'ADAPTATION D'UNE ESTIMATION D'UNE VITESSE DE COMBUSTION DES
SUIES D'UN FILTRE A PARTICULES DE MOTEUR THERMIQUE.

⑫② Date de dépôt : 07.07.16.

⑫③ Priorité :

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : PEUGEOT CITROEN
AUTOMOBILES SA Société anonyme — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 12.01.18 Bulletin 18/02.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 27.07.18 Bulletin 18/30.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : LAIGLE EMMANUEL.

⑦③ Titulaire(s) : PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES
SA Société anonyme.

⑦④ Mandataire(s) : PEUGEOT CITROEN
AUTOMOBILES SA Société anonyme.

FR 3 053 733 - B1



PROCEDE D'ADAPTATION D'UNE ESTIMATION D'UNE VITESSE DE COMBUSTION DES SUIES D'UN FILTRE A PARTICULES DE MOTEUR THERMIQUE

5 [0001] La présente invention porte sur un procédé d'adaptation d'une estimation d'une vitesse de combustion des suies d'un filtre à particules de moteur thermique. L'invention trouve une application particulièrement avantageuse, mais non exclusive, avec tous les véhicules équipés d'un filtre à particules, en particulier les véhicules de type diesel.

10 [0002] Les gaz d'échappement des moteurs thermiques comportent habituellement des éléments polluants et notamment des particules qui sont rejetées dans l'atmosphère. Afin de supprimer ces rejets, des filtres sont placés dans la ligne d'échappement des gaz pour bloquer les particules. Ces filtres à particules (FAP) sont généralement des cylindres en céramique composés d'une multitude de canaux de faibles diamètres (de l'ordre de la dizaine de microns). Les particules sont piégées dans ces canaux sous forme de suies ce qui a pour effet d'encrasser progressivement le filtre. Il est donc nécessaire de régénérer
15 le filtre périodiquement.

[0003] A cette fin, le filtre est chauffé afin de brûler les particules piégées. Une technique de régénération consiste à chauffer le filtre à l'aide des gaz d'échappement en élevant la température de ces gaz. Classiquement, le surplus d'énergie à l'échappement nécessaire à l'élévation de température par rapport au fonctionnement normal du moteur est fourni
20 par l'utilisation de post-injections, c'est-à-dire d'injections de carburant tardives, après le point mort haut du cycle, ou par une dégradation du rendement de la combustion, ou encore par une injection de carburant directement dans la ligne d'échappement.

[0004] Il a été observé expérimentalement que lors de certaines situations de vie, la vitesse de combustion réelle des suies dans le filtre à particules est plus importante que celle modélisée par le contrôle moteur. La régénération est donc prolongée alors que le
25 filtre à particules est déjà vide. Cela a pour effet de diminuer l'efficacité de lubrification du moteur par introduction excessive de carburant dans l'huile moteur et d'augmenter la consommation de carburant pendant la phase de régénération du filtre à particules.

[0005] En particulier, il a été constaté que l'augmentation de vitesse de combustion des
30 suies se produit lorsque la proportion d'oxygène dans les gaz d'échappement est stable. L'invention propose donc de modifier l'estimateur embarqué de vitesse de combustion des

suies pour prendre en compte cette sur-combustion des suies lors des phases de stabilité d'oxygène.

[0006] Plus précisément, l'invention a pour objet un procédé d'adaptation d'une estimation d'une vitesse de combustion des suies d'un filtre à particules dans une ligne d'échappement de moteur thermique, notamment de véhicule automobile, caractérisé en ce que, lors d'une phase de régénération du filtre à particules, le procédé comporte:

- une étape d'estimation d'une vitesse de combustion des suies suivant un modèle d'estimation standard,
- une étape de détection d'une stabilisation d'une concentration en oxygène dans des gaz d'échappement, et
- une étape de modification du modèle d'estimation standard par pondération de la vitesse de combustion des suies par un gain suite à la détection de la stabilisation de la concentration en oxygène.

[0007] L'invention permet ainsi une estimation optimale de la sur-combustion des suies dans le filtre à particules. Il est ainsi possible de définir un temps de régénération au juste nécessaire pour limiter la surconsommation en carburant et la dilution d'huile moteur. En outre, l'invention permet une estimation précise de la température du filtre à particules lors des régénérations sévères pour évaluer correctement son niveau de dégradation potentielle.

[0008] Selon une mise en œuvre, la stabilisation de la concentration en oxygène dans les gaz d'échappement est détectée via une moyenne glissante d'une dérivée de la concentration en oxygène.

[0009] Selon une mise en œuvre, la concentration en oxygène est estimée en amont du filtre à particules.

[0010] Selon une mise en œuvre, la concentration en oxygène en amont du filtre à particules est basée sur une estimation d'un calculateur moteur.

[0011] Selon une mise en œuvre, la concentration en oxygène en amont du filtre à particules est obtenue par l'utilisation d'un capteur positionné dans la ligne d'échappement.

[0012] Selon une mise en œuvre, lorsque la concentration en oxygène se stabilise, le modèle modifié de calcul de la vitesse de combustion des suies dans le filtre à particules est le suivant:

$$v_{suies/O_2_N} = gain_{stab\ O_2} \cdot k_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \frac{m_{suies}}{M_C} P_{O_2}^\gamma$$

Avec:

- 5 - v_{suies/O_2_N} étant la vitesse de combustion des suies par l'oxygène tenant compte de la sur-combustion des suies lors de phases de stabilisation d'oxygène;
- k_0 étant une constante cinétique de la réaction de combustion;
- E_a étant une énergie d'activation de la réaction;
- R étant une constante des gaz parfaits;
- 10 - T étant une température dans le filtre à particules;
- m_{suies} étant une masse de suies dans le filtre à particules et M_C une masse molaire de carbone;
- $P_{O_2}^\gamma$ étant une pression partielle en oxygène, fonction d'une pression dans le filtre à particules et d'une concentration en oxygène en amont du filtre à particules;
- 15 - $gain_{stab\ O_2}$ étant un gain sur la cinétique de combustion des suies.

[0013] L'invention a également pour objet un calculateur moteur comportant une mémoire stockant des instructions logicielles pour la mise en œuvre du procédé tel que précédemment défini.

- 20 [0014] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent. Ces figures ne sont données qu'à titre illustratif mais nullement limitatif de l'invention.

[0015] La figure 1 montre un diagramme des étapes du procédé selon l'invention d'adaptation d'une estimation d'une vitesse de combustion des suies d'un filtre à particules;

- 25 [0016] La figure 2 est un diagramme d'un filtre selon l'invention permettant de détecter une stabilisation d'oxygène;

[0017] La figure 3 est un diagramme illustrant l'intégration du gain issu du diagramme de la figure 2 dans le calcul de la vitesse de combustion des suies selon l'invention;

[0018] La figure 4 est une représentation graphique d'un exemple de réponse du filtre de détection de la stabilisation d'oxygène.

[0019] La figure 1 montre un diagramme des étapes du procédé d'adaptation d'une estimation d'une vitesse de combustion des suies v_{suies/O_2_N} d'un filtre à particules dans une ligne d'échappement de moteur thermique, notamment de véhicule automobile.

[0020] Lors d'une étape 100 de régénération du filtre à particules, le calculateur moteur estime, dans une étape 101, la vitesse de combustion des suies v_{suies/O_2} suivant un modèle d'estimation standard dit modèle d'Arrhenius.

[0021] Suite à la détection au moyen d'un filtre de la stabilisation de la concentration en oxygène Cons_ O_2 dans les gaz d'échappement dans une étape 102, on modifie le modèle d'estimation standard, dans une étape 103, par pondération de la vitesse de combustion des suies v_{suies/O_2} par un gain $gain_{stab\ O_2}$. Autrement dit, le modèle d'estimation d'Arrhenius est pondéré par le gain $gain_{stab\ O_2}$ pour obtenir le modèle modifié de calcul de la vitesse de combustion des suies suivant:

$$v_{suies/O_2_N} = gain_{stab\ O_2} \cdot v_{suies/O_2} = gain_{stab\ O_2} \cdot k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}} \frac{m_{suies}}{M_C} P_{O_2}^\gamma$$

Avec:

- v_{suies/O_2_N} étant la vitesse de combustion des suies par l'oxygène tenant compte de la sur-combustion des suies lors de phases de stabilisation d'oxygène;
- v_{suies/O_2} étant une vitesse de combustion des suies par l'oxygène calculée suivant le modèle standard d'Arrhenius;
- k_0 étant une constante cinétique de la réaction de combustion;
- E_a étant une énergie d'activation de la réaction;
- R étant une constante des gaz parfaits;
- T étant une température dans le filtre à particules;
- m_{suies} étant une masse de suies dans le filtre à particules et M_C une masse molaire de carbone;
- $P_{O_2}^\gamma$ étant une pression partielle en oxygène, fonction d'une pression dans le filtre à particules et d'une concentration en oxygène en amont du filtre à particules;
- $gain_{stab\ O_2}$ étant un gain sur la cinétique de combustion des suies.

[0022] La figure 2 montre un exemple de réalisation d'un filtre permettant de détecter une stabilisation d'oxygène. Ce filtre reçoit en entrée la concentration d'oxygène $Cons_O_2$ en amont du filtre à particules. Cette concentration en oxygène $Cons_O_2$ est estimée par le calculateur moteur à partir de la quantité de carburant injecté et de la quantité d'oxygène entrant dans le moteur. En variante, la concentration d'oxygène $Cons_O_2$ en amont du filtre à particules pourrait toutefois être mesurée au moyen d'un capteur dédié.

[0023] Le bloc 201 calcule une dérivée de la concentration en oxygène $Cons_O_2$. Le bloc 201 est par exemple un dérivateur à pas de temps discret. Cela permet de détecter une pente faible dans l'évolution de la concentration d'oxygène correspondant à une phase de stabilisation de cette concentration.

[0024] Le bloc 202 met à la puissance V la valeur de sortie U du dérivateur 201, de telle façon que les valeurs faibles de dérivées tendent vers 0. Autrement dit, le bloc 202 permet d'amplifier les faibles valeurs de dérivées.

[0025] Afin de lisser les variations de concentration en oxygène, un filtre passe-bas 203 est appliqué en sortie du bloc 202. Il est à noter que le filtre passe-bas 203 pourra être configuré notamment avec une période d'échantillonnage et une valeur initiale non nulle pour éviter l'application d'un gain élevé au début de sa mise en œuvre. Une valeur booléenne permet également sa réinitialisation.

[0026] Une cartographie 204 permet de fournir le gain $gain_{stab\ O_2}$ à partir de la sortie du filtre passe-bas 203. Plus la valeur en sortie du filtre 203 est basse, plus le gain $gain_{stab\ O_2}$ à appliquer à la vitesse de combustion des suies est élevé, car cela correspond à une phase de fonctionnement dans laquelle la concentration en oxygène est stable. Plus la valeur en sortie du filtre 203 est élevée, plus le gain $gain_{stab\ O_2}$ à appliquer à la vitesse de combustion des suies est faible car cela correspond à une phase de fonctionnement dans laquelle la concentration en oxygène n'est pas stabilisée.

[0027] La stabilisation de la concentration en oxygène $Cons_O_2$ dans les gaz d'échappement pourra ainsi être détectée via une moyenne glissante de la dérivée de la concentration en oxygène $Cons_O_2$.

[0028] La figure 3 est un diagramme illustrant l'intégration du gain $gain_{stab\ O_2}$ issu du diagramme de la figure 2 dans le calcul de la vitesse de combustion des suies v_{suies/O_2_N} .

[0029] Plus précisément, une température interne T_{deg} du filtre à particules est estimée par le calculateur moteur. Un bloc 301 permet de transformer la température T_{deg} en degrés Celsius fournie par le calculateur moteur en une température T_K en Kelvin par ajout de la valeur 273 à la température T_{deg} .

5 [0030] Le bloc 302 multiplie la sortie de température T_K du bloc 301 par la constante des gaz parfait R . L'ensemble est multiplié par -1 via le bloc 303.

[0031] Le bloc 304 permet de calculer le rapport entre l'énergie d'activation E_a prédéterminée et le produit $-RT$ issu du bloc 303.

[0032] Le commutateur 305 permet de sélectionner une valeur exponentielle calculée en
 10 fonction de la comparaison entre la valeur $-E_a/RT$ issue du bloc 304 et une valeur seuil S réalisée par le bloc 306. En effet, dans le cas où la valeur $-E_a/RT$ est supérieure à la valeur seuil S , le commutateur 305 sélectionne la valeur en sortie de la première cartographie 307 et du premier gain G_{D1} . Tandis que dans le cas où la valeur $-E_a/RT$ est inférieure à la valeur seuil S , le commutateur 305 sélectionne la valeur en sortie de la
 15 deuxième cartographie 308 et du deuxième gain G_{D2} .

[0033] Un bloc 309 multiplie la valeur exponentielle ainsi calculée par la constante cinétique de la réaction de combustion k_0 . Il est à noter que le gain $gain_{stab\ O_2}$ issu de la cartographie précédente est appliqué via le bloc 309. On obtient ainsi en sortie du bloc
 20 309 le produit $gain_{stab\ O_2} \cdot k_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$. En variante, le gain $gain_{stab\ O_2}$ pourra être appliqué via un autre bloc multiplicatif, comme par exemple le bloc 310 ou 311 décrits ci-après.

[0034] La sortie du bloc 309 est multipliée par la pression partielle en oxygène $P_{O_2}^\gamma$ pour obtenir le produit $gain_{stab\ O_2} \cdot k_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \cdot P_{O_2}^\gamma$ via le bloc 310.

[0035] La sortie du bloc 310 est multipliée par le rapport $\frac{m_{suies}}{M_C}$ via le bloc 311 pour
 25 obtenir le produit $gain_{stab\ O_2} \cdot k_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \cdot \frac{m_{suies}}{M_C} \cdot P_{O_2}^\gamma$ correspondant au calcul souhaité pour estimer au plus près la vitesse de combustion des suies v_{suies/O_2_N} du filtre à particules dans des phases de concentration en oxygène stabilisée.

[0036] Les différents blocs pourront être implémentés de manière fonctionnelle dans le calculateur moteur du véhicule automobile qui comportera une mémoire stockant des instructions logicielles pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

5 [0037] La figure 4 est une représentation graphique d'un exemple de réponse du filtre de détection de la stabilisation d'oxygène.

[0038] On remarque que sur des cycles C1 où la concentration en oxygène $Cons_{O_2}$ se stabilise, la sortie du filtre Sf tend vers 0 et le gain $gain_{stab\ O_2}$ sur la cinétique de combustion des suies devient supérieur à 1. Cela est observable sur les cycles C1 typés autoroute et lors des régénérations sévères RGS du filtre à particules. Par ailleurs, sur les
10 cycles C2, la réponse de la sortie du filtre Sf est différente de 0 et le gain $gain_{stab\ O_2}$ sur la cinétique de combustion des suies vaut 1.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'adaptation d'une estimation d'une vitesse de combustion des suies (v_{suies/O_2_N}) d'un filtre à particules dans une ligne d'échappement de moteur thermique, notamment de véhicule automobile, caractérisé en ce que, lors d'une phase de régénération du filtre à particules, ledit procédé comporte:
 - 5 - une étape (101) d'estimation d'une vitesse de combustion des suies (v_{suies/O_2}) suivant un modèle d'estimation standard,
 - une étape (102) de détection d'une stabilisation d'une concentration en oxygène ($Cons_O_2$) dans des gaz d'échappement, et
 - 10 - une étape (103) de modification du modèle d'estimation standard par pondération de la vitesse de combustion des suies (v_{suies/O_2}) par un gain ($gain_{stab\ O_2}$) suite à la détection de la stabilisation de la concentration en oxygène ($Cons_O_2$).
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la stabilisation de la concentration en oxygène ($Cons_O_2$) dans les gaz d'échappement est détectée via
 - 15 - une moyenne glissante d'une dérivée de la concentration en oxygène ($Cons_O_2$).
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la concentration en oxygène ($Cons_O_2$) est estimée en amont du filtre à particules.
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la concentration en oxygène ($Cons_O_2$) en amont du filtre à particules est basée sur une estimation d'un calculateur
 - 20 - moteur.
5. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la concentration en oxygène ($Cons_O_2$) en amont du filtre à particules est obtenue par l'utilisation d'un capteur positionné dans la ligne d'échappement.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que,
 - 25 - lorsque la concentration en oxygène ($Cons_O_2$) se stabilise, le modèle modifié de calcul de la vitesse de combustion des suies dans le filtre à particules est le suivant:

$$v_{suies/O_2_N} = gain_{stab\ O_2} \cdot k_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \frac{m_{suies}}{M_C} P_{O_2}^\gamma$$

Avec:

- v_{suies/O_2-N} étant la vitesse de combustion des suies par l'oxygène tenant compte de la sur-combustion des suies lors de phases de stabilisation d'oxygène;
 - k_0 étant une constante cinétique de la réaction de combustion;
 - 5 - E_a étant une énergie d'activation de la réaction;
 - R étant une constante des gaz parfaits;
 - T étant une température dans le filtre à particules;
 - m_{suies} étant une masse de suies dans le filtre à particules et M_C une masse molaire de carbone;
 - 10 - $P_{O_2}^Y$ étant une pression partielle en oxygène, fonction d'une pression dans le filtre à particules et d'une concentration en oxygène en amont du filtre à particules;
 - $gain_{stab O_2}$ étant un gain sur la cinétique de combustion des suies.
7. Calculateur moteur comportant une mémoire stockant des instructions logicielles pour la mise en œuvre du procédé tel que défini selon l'une quelconque des
- 15 revendications précédentes.

1/2

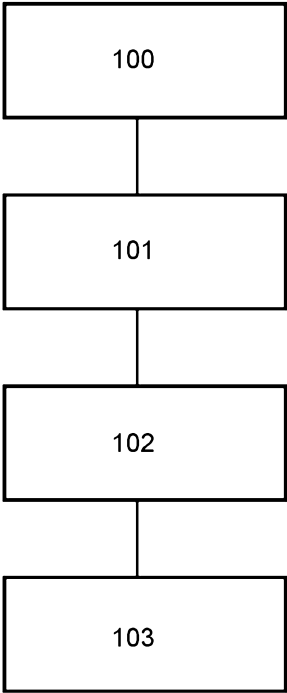


Fig. 1

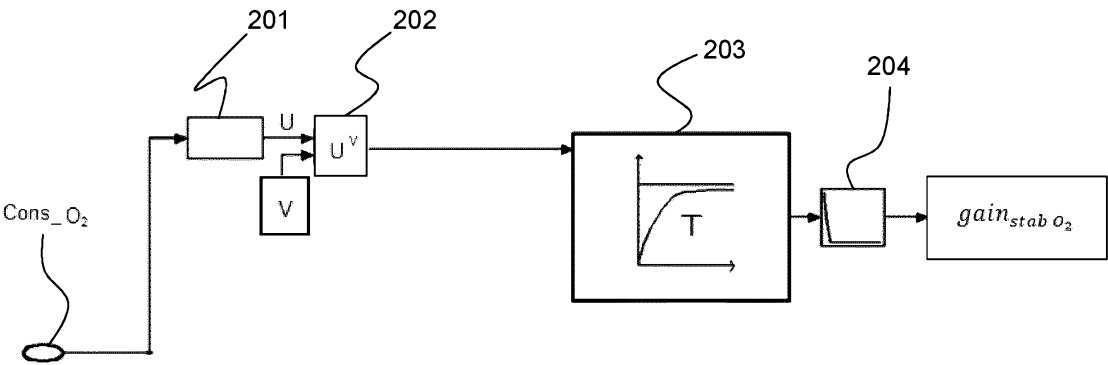


Fig. 2

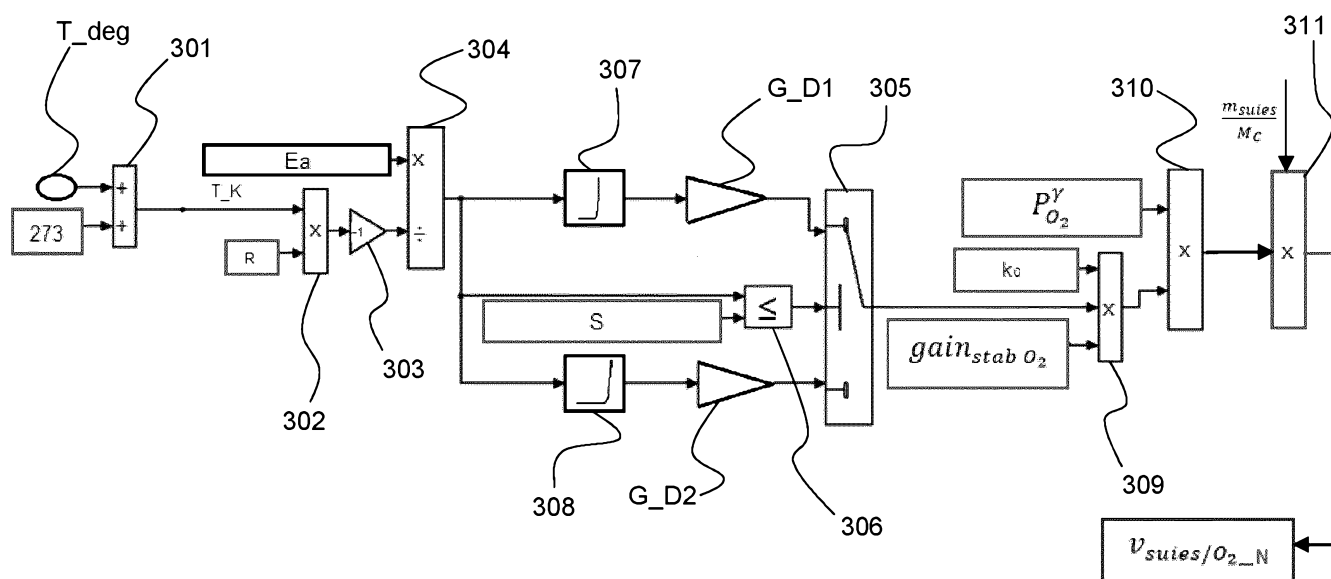


Fig. 3

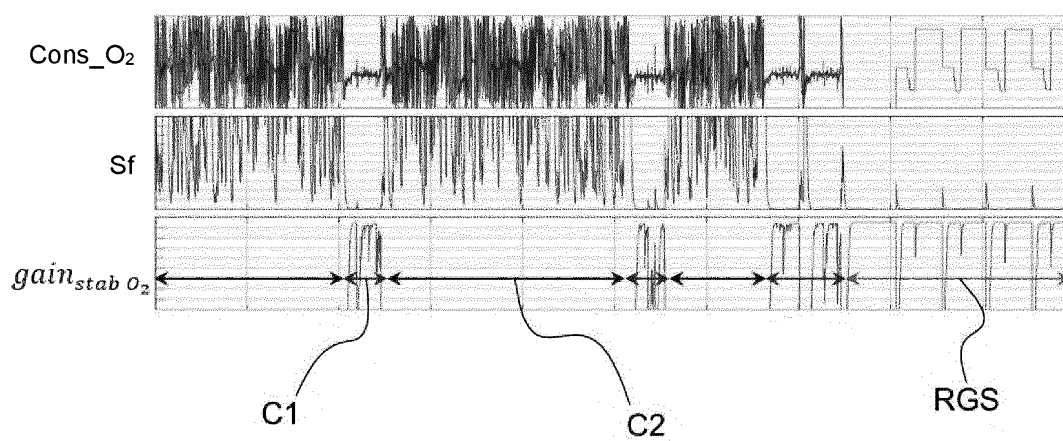


Fig. 4

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

- ☐ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- ☒ Le demandeur a maintenu les revendications.
- ☐ Le demandeur a modifié les revendications.
- ☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- ☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- ☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- ☐ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- ☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- ☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- ☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

NEANT

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

EP 2 213 853 A1 (UD TRUCKS CORP [JP]; UNIV WASEDA [JP]; TOKYO ROKI KK [JP])
4 août 2010 (2010-08-04)

WO 2010/007282 A1 (RENAULT SA [FR]; COEUGNEZ ARNAUD [FR]; CROISERAT CHARLENE [FR]; GOURAR)
21 janvier 2010 (2010-01-21)

EP 2 423 477 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR])
29 février 2012 (2012-02-29)

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT