

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

**2 924 469**

②1 N° d'enregistrement national : **07 59543**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **F 02 B 39/16** (2006.01), **F 04 D 29/66**, **F 02 D 23/00**,  
**F 02 M 35/10**

⑫

**DEMANDE DE CERTIFICAT D'UTILITE**

**A3**

②2 Date de dépôt : 04.12.07.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 05.06.09 Bulletin 09/23.

⑤6 Les certificats d'utilité ne sont pas soumis à la procédure de rapport de recherche.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés : Certificat d'utilité résultant de la transformation volontaire de la demande de brevet déposée le 04/12/07.

⑦1 Demandeur(s) : *RENAULT SAS Société par actions simplifiée* — FR.

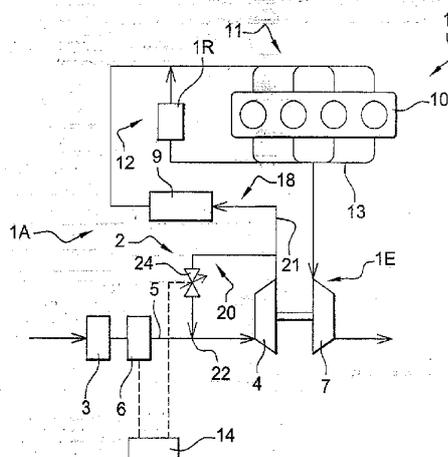
⑦2 Inventeur(s) : AMMAR ALI.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : RENAULT SAS.

⑤4 **PROCEDE DE RECIRCULATION D'AIR AUTOUR D'UN COMPRESSEUR POUR UN MOTEUR A COMBUSTION INTERNE SURALIMENTE.**

⑤7 L'invention concerne un procédé de recirculation d'air autour d'un compresseur pour un moteur à combustion interne suralimenté caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes de détecter un phénomène de pompage du compresseur (4) et de recirculer une portion d'air circulant en aval du compresseur (4) vers l'amont du compresseur (4) en cas de détection d'un phénomène de pompage du compresseur (4).



**FR 2 924 469 - A3**



## MOTEUR A COMBUSTION INTERNE POURVU DE MOYEN ANTI-POMPAGE POUR TURBOCOMPRESSEUR

5           La présente invention se rapporte à un moteur à  
combustion interne suralimenté comprenant un bloc cylindre, un  
circuit d'admission et un circuit d'échappement, ledit circuit  
d'admission étant pourvu d'un compresseur dont l'entrée est  
reliée à un conduit d'admission compresseur et la sortie reliée  
10 à un conduit de suralimentation

          Pour réduire la consommation et les émissions  
polluantes, on augmente les rendements spécifiques et on  
réduit la cylindrée des moteurs. L'apport de la  
turbocompression avec de fortes pressions de suralimentation  
15 est une solution permettant à des moteurs plus petits de  
présenter des performances équivalentes voir supérieures à  
celles de moteurs plus gros.

          Cependant, la mise au point d'un système de  
turbocompression qui permette d'assurer un niveau de  
20 suralimentation suffisant à la fois pour les bas régimes et les  
hauts régimes de rotation du moteur est complexe. Ce  
problème est accentué par la réduction de la cylindrée des  
moteurs et l'augmentation des pressions de suralimentation.

          Les moteurs deviennent alors sujets au phénomène de  
25 « pompage », qu'il est impératif d'éviter. Ce phénomène se  
manifeste par une instabilité d'écoulement qui se produit  
lorsque le compresseur n'est plus en mesure de produire une  
pression suffisamment élevée pour vaincre la résistance en  
aval, ou autrement dit lorsque la pression de décharge du  
30 compresseur est inférieure à la pression du système en aval.

- 2 -

L'écoulement s'inverse alors rapidement, ce qui a pour conséquences une perte de rendement soudaine du moteur et une réduction de la puissance du compresseur. Cet inversion d'écoulement est accompagnée de vibrations et de pulsations  
5 qui peuvent avoir des effets néfastes comme des dommages mécaniques aux joints, paliers et ailettes du compresseur, une usure prématurée voire une destruction du compresseur.

Plusieurs solutions sont utilisées pour limiter le pompage.

10 Parfois, des compresseurs à géométrie variable, complexes mécaniquement, et au coût élevé sont utilisés. Ces dispositifs, lorsqu'ils sont intégrés dans des moteurs à cylindrée réduite utilisés pour limiter la consommation et l'émission de polluants, entraînent un surcoût très important et  
15 affectent fortement la rentabilité de ces moteurs.

D'autres fois, on utilise une vanne de purge placée en aval du compresseur pour augmenter le débit d'air et rétablir un fonctionnement normal, c'est-à-dire dans une zone où le phénomène de pompage est absent. Le temps de réponse de la  
20 vanne de purge se traduit par des alternances de cycles de fonctionnement normal et de pompage qui peut conduire à adopter une marge de sécurité, qui ne permet pas d'exploiter tout le potentiel du dispositif de suralimentation.

Souvent, pour limiter le surcoût des dispositifs limitant le pompage, on adopte une marge de sécurité dans les réglages  
25 et/ou le dimensionnement du compresseur afin d'éviter que ce phénomène n'apparaisse en fonctionnement, généralement par un abaissement de la pression de suralimentation. Ceci se fait alors au détriment des performances du moteur pour lequel on  
30 n'exploite pas tous les avantages conférés par le compresseur.

- 3 -

L'invention vise à proposer un système de suralimentation amélioré et notamment un système qui ne présente pas les inconvénients de l'art antérieur.

5 C'est un objet de la présente invention que de proposer un moteur par ailleurs conforme au préambule précité dans lequel une boucle de recirculation est disposée autour du compresseur comprenant un conduit de recirculation apte à piquer une partie de l'air circulant dans le conduit de suralimentation en aval du compresseur pour le remettre en  
10 circulation dans le conduit d'admission compresseur en amont du compresseur.

Un moteur mettant en oeuvre un tel système de suralimentation offre de nombreux avantages parmi lesquels :

- 15 - on s'affranchit des conditions ambiantes et plus particulièrement l'altitude et les changements de pression qui en résultent ;
- le bruit de bouche qui peut survenir lors de la levée de pied de l'accélérateur est atténué.

Suivant des modes particuliers de réalisation, le moteur  
20 comporte l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- le conduit de recirculation comprend une vanne commandée apte faire varier la quantité d'air passant dans le conduit de recirculation ;
- la vanne présente un débit de fuite fixe, de  
25 préférence au moyen d'un orifice calibré ;
- la vanne présente un débit de fuite variable entre au moins deux états d'ouverture ;
- la boucle de recirculation est pourvue d'un refroidisseur, de préférence le refroidisseur de  
30 suralimentation du circuit d'admission, par piquage du conduit de recirculation sur le conduit

de suralimentation en aval dudit refroidisseur de suralimentation ;

- la portion de gaz recirculé varie entre 0% et 15% du débit circulant dans le conduit de suralimentation.

5 Un autre objet de l'invention est un procédé de recirculation d'air autour d'un compresseur pour un moteur à combustion interne suralimenté comprenant les étapes suivantes de détecter un phénomène de pompage du compresseur, et de recirculer une portion d'air circulant en aval  
10 du compresseur vers l'amont du compresseur en cas de détection d'un phénomène de pompage du compresseur.

Suivant des modes particuliers de réalisation, le procédé comporte l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- 15 - de mesurer l'amplitude crête à crête des oscillations du débit d'air circulant dans le compresseur et de comparer cette amplitude des oscillations du débit d'air une valeur seuil prédéterminée au-delà de laquelle les amplitudes  
20 crête à crête sont caractéristiques du phénomène de pompage ;
- l'on effectue un traitement statistique des oscillations de débit d'air mesuré avant de les comparer à une valeur seuil ;
- 25 - lors de la détection d'un phénomène de pompage on recircule une portion d'air en commandant l'ouverture d'une vanne de recirculation de manière à ramener la valeur de débit d'air traversant le compresseur à une valeur cible pour  
30 laquelle il n'y a pas de phénomène de pompage ;

- 5 -

- 5 - lors de la détection d'un phénomène de pompage, on recircule une portion d'air en commandant l'ouverture d'une vanne de recirculation tant que les amplitudes d'oscillations de débit d'air sont égales ou supérieures à valeur indicative d'un phénomène de pompage du compresseur ;
- 10 - le procédé comprend un étape de détection du phénomène de pompage par détection d'un dépassement d'une valeur seuil des amplitudes des oscillations de débit d'air circulant dans le compresseur.

15 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront clairement à la lecture de la description suivante du mode de réalisation non limitatif de celle-ci, en liaison avec les dessins annexés sur lesquels :

- 20 - la figure 1 est un schéma de principe d'un moteur suralimenté présentant une boucle de recirculation selon l'invention ;
- la figure 2 est un schéma de la stratégie de régulation du débit d'air en entrée du compresseur.

25 La figure 1 présente un schéma de principe d'un moteur suralimenté 1 comprenant un bloc cylindre 10 autour duquel sont disposés un circuit d'échappement 1E et un circuit d'admission 1A, le moteur étant pourvu d'une boucle de recirculation 2 selon l'invention.

30 L'air est admis par un filtre à air 3 et se propage jusqu'à un compresseur 4 dans un conduit d'admission compresseur 5. Un débitmètre 6 est disposé dans ce conduit d'admission compresseur 5 pour mesurer un débit d'air instantané provenant du filtre à air 3.

- 6 -

Le compresseur 4 est solidaire d'une turbine 7 pour former le turbocompresseur qui est mis en rotation par des gaz d'échappement provenant d'un collecteur de gaz d'échappement 8 et passant dans la turbine 7.

5 Cette mise en rotation du compresseur 4 évacue l'air dans un conduit de suralimentation 8 qui présente un refroidisseur de suralimentation 9. Cet air refroidi est alors admis dans la chambre de combustion 10 via un répartiteur d'air d'admission 11. Une boucle de recirculation des gaz  
10 d'échappement 1R, est arrangée entre la sortie d'un collecteur d'échappement 13 et le répartiteur d'air d'admission 11.

Le conduit de recirculation 20 est disposée autour du compresseur 4 avec une entrée 21 disposée en aval du compresseur 4, la sortie 22 du conduit 20 étant disposée en  
15 amont du compresseur 4 et en aval du débitmètre 6.

Une vanne 24 est disposée dans le conduit de recirculation 20 pour faire varier la quantité d'air recirculé entre l'aval et l'amont du compresseur 4. Cette vanne 24 est commandée en ouverture par une unité de contrôle moteur ECU  
20 14.

Cette vanne 24 peut être dite de « recirculation passive », c'est-à-dire qu'elle présente un débit de fuite fixe, par exemple au moyen d'un orifice calibré. La vanne 24 présente alors deux états : ouvert et fermé, le débit recirculé  
25 variant alors respectivement entre une valeur maximum et une valeur minimum s'approchant au plus près de la valeur nulle.

Cette vanne 24 peut également être dite de « recirculation active », c'est-à-dire qu'elle présente un débit de fuite variable. La vanne 24 présente alors soit un nombre  
30 supérieur à deux états d'ouverture, soit un gradient d'états d'ouverture, le débit pouvant alors varier, soit entre plusieurs

valeurs discrètes, soit entre un continuum de valeurs comprises entre une valeur s'approchant au plus près de la valeur nulle et une valeur maximum. Le débit de recirculation peut alors être adapté plus finement que pour la vanne 24 à recirculation passive.

Dans les deux cas de figure, la portion de débit recirculé pourra varier entre 0% et 15% du débit circulant dans le conduit de suralimentation 8.

En variante de réalisation, non représentée, la boucle de recirculation 2 peut également présenter un refroidisseur afin de réduire le besoin d'entraînement du compresseur 4 par la réduction de la température de l'air qui y est admis.

La figure 2 présente le schéma de la chaîne de régulation utilisée sur l'un des dispositifs du type précédemment décrit dans lequel on commande l'ouverture de la vanne en fonction d'un signal représentatif de la valeur moyenne du débit d'air mesuré dans le débitmètre.

On décrira ce mode de réalisation par rapport à un dispositif comprenant une vanne de recirculation active.

A l'approche d'une zone de pompage, le débit d'air circulant dans le compresseur 4 subit une augmentation soudaine de l'amplitude de ses variations.

Ces variations peuvent être mesurées par le débitmètre 6 placé en amont du compresseur 4 ou par un capteur de pression de suralimentation placé en aval par lequel on remonte aux valeurs de débit d'air.

On peut constituer un tableau de correspondance entre la pression de suralimentation et le débit d'air. Pour cela, on réalise une série de mesure à régime moteur et température d'air au niveau du répartiteur d'admission fixés, qui donneront

- 8 -

un coefficient de proportionnalité entre le débit d'air et la pression de suralimentation.

Pour une détection de l'apparition du phénomène de pompage améliorée, on préférera la surveillance du débit d'air.

5 En effet, il a été remarqué que le débit d'air subit des perturbations plus importantes à l'apparition du phénomène, alors que dans le même temps on ne peut observer que des variations de faible d'amplitude de pression. On peut alors remédier plus rapidement au phénomène de pompage, ce qui  
10 limite les risques de voir fonctionner le compresseur sous phénomène de pompage.

Dans la suite de la description, on considérera le cas où la détection d'un fonctionnement s'approchant de la limite de pompage s'effectue à l'aide des valeurs de débit d'air mesuré à  
15 l'aide du débitmètre 6.

Le débitmètre 6 traduit une valeur de débit d'air mesuré en un signal Dmes. On mesure les amplitudes de fluctuation crête à crête du signal Dmes pour pouvoir détecter l'approche d'une zone de fonctionnement du moteur vers une zone de  
20 pompage du compresseur.

En variante, on peut également réaliser un traitement statistique de ces variations afin de rendre la détection plus robuste et exempte de détections erronées. Par exemple, on peut calculer l'écart type des amplitudes des oscillations de  
25 débit d'air et de choisir de ne porter la détection du phénomène de pompage uniquement sur 97% des oscillations de débit d'air correspondant une fourchette de 4 fois l'écart type.

Un signal Drc est la traduction d'une valeur de débit d'air circulant dans le conduit de recirculation 20. Ce signal Drc peut  
30 provenir d'un débitmètre additionnel disposé dans le conduit de recirculation ou être fonction du degré d'ouverture de la vanne

de recirculation 24 suivant une loi prédéterminée, par exemple par des essais de calibration.

Par ailleurs, un tableau de constantes  $D_c$  traduit les valeurs cibles situées sur une ligne effective de fonctionnement, c'est-à-dire sur une ligne sur laquelle on souhaite faire fonctionner le compresseur 4. Dans la suite de la description, le constante  $D_c$  désignera la valeur cible correspondant aux conditions de fonctionnement du compresseur 4. Généralement, cette ligne de fonctionnement présente des valeurs cibles pour lequel le compresseur 4 ne subit pas de phénomène de pompage.

La ligne de fonctionnement souhaitée peut notamment être obtenue par des essais sur des bancs moteurs afin d'identifier les couples pression/ débit d'air pour lequel le phénomène de pompage au niveau du compresseur est au niveau souhaité pour un régime donné.

Il reste néanmoins possible, notamment en régime transitoire, de prévoir une ligne de fonctionnement pour laquelle, le compresseur 4 subit un phénomène de pompage modéré.

Le tableau de constantes  $D_c$  est avantageusement stockée dans une mémoire, de préférence dans l'unité de contrôle moteur ECU.

Selon un premier mode de réalisation, les valeurs des signaux  $D_{mes}$  et  $D_{rc}$  sont additionnées et comparées à la valeur de la constante  $D_c$ , pour obtenir une valeur d'écart représentée par un signal d'écart  $\varepsilon$ . Ces opérations d'addition et de comparaison peuvent être réalisées par l'unité de contrôle moteur ECU.

- 10 -

En fonction du signe du signal d'écart  $\varepsilon$ , l'unité de contrôle moteur ECU commande le degré d'ouverture de la vanne de recirculation 24.

Si le signal  $\varepsilon$  est positif, i.e., la valeur du débit d'air  
5 Dmes additionnée à Drc en entrée du compresseur 4 est supérieure à la valeur cible Dc, alors le calculateur ECU réduit le degré d'ouverture de la vanne 24 de manière à annuler la valeur du signal  $\varepsilon$ .

Si le signal  $\varepsilon$  est négatif, alors le calculateur augmente  
10 le degré d'ouverture de manière à annuler la valeur du signal  $\varepsilon$ .

Le signal  $\varepsilon$  peut aussi être considéré comme nul, c'est-à-dire que le signal peut être compris dans un intervalle prédéterminé comprenant la valeur zéro. Cet intervalle peut notamment être prédéterminé en tenant compte de la précision  
15 de la mesure des débits. Si le signal  $\varepsilon$  est considéré comme nul, alors le calculateur ECU maintient le degré d'ouverture de la vanne de recirculation 24, le débit d'air recirculé restant alors inchangé.

Plus généralement, outre une approche dichotomique  
20 dont un exemple vient d'être décrit, on peut prédéfinir par mise au point la quantité d'air à recirculer en fonction de chaque point de fonctionnement du moteur pour supprimer le phénomène de pompage compresseur. Autrement dit, on peut prédéfinir lors de la mise au point un débit d'air idéal  
25 permettant de se soustraire au phénomène de pompage compresseur pour chaque point de fonctionnement.

Ces deux approches permettent de faire disparaître le phénomène de pompage du compresseur, ou à tout le moins de le diminuer fortement.

Cependant, dans des cas extrêmes, afin de protéger le compresseur 4, dans le cas où malgré les corrections du degré d'ouverture, le signal  $\varepsilon$  demeure négatif après plusieurs corrections du débit d'ouverture de la vanne de recirculation 24, on peut limiter la pression de suralimentation, notamment par le biais du calculateur ECU.

Pour détecter ces corrections insuffisantes successives, on peut incrémenter une variable représentant le nombre de corrections successives, et la comparer à une valeur limite. On a donc par ce biais une approximation du temps de fonctionnement du compresseur 4 dans un régime présentant un phénomène de pompage.

En variante, on peut s'autoriser une quantité mesurée de pompage, notamment au moment des régimes transitoires de fonctionnement du compresseur 4. Cette faible quantité de pompage est alors déterminée en fonction des caractéristiques et de la robustesse du compresseur 4.

Selon ce procédé de fonctionnement, les points de fonctionnement du compresseur peuvent être placés sur la ligne de pompage. En conservant, la même valeur de compression, les points de fonctionnement deviennent alors plus stables et sans pompage.

Ce procédé est également particulièrement avantageux en ce que l'on ne tient plus compte de la pression atmosphérique car on ne contrôle la recirculation que sur les valeurs de débit d'air. En conséquence, les dispersions de performances en fonction des conditions climatiques et de l'altitude auxquelles est utilisé le moteur 1 sont réduites.

Enfin, on peut aussi utiliser ce procédé pour réduire le pompage du compresseur 4 au moment de la levée de pied, et permet tout particulièrement d'éviter l'utilisation de vanne anti-

- 12 -

pompage de levée de pied, plus connues sous son acronyme anglais « pop-off ».

Cette invention n'est pas limitée à la description qui a été faite du mode de réalisation donné à titre d'exemple.

**REVENDICATIONS**

5        1) Procédé de recirculation d'air autour d'un  
compresseur pour un moteur à combustion interne suralimenté  
caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes de  
détecter un phénomène de pompage du compresseur (4) et de  
recirculer une portion d'air circulant en aval du compresseur (4)  
10 vers l'amont du compresseur (4) en cas de détection d'un  
phénomène de pompage du compresseur (4).

2) Procédé de recirculation d'air selon la revendication  
précédente caractérisé en ce que l'étape de détection d'un  
15 phénomène de pompage comprend les étapes suivantes de  
mesurer l'amplitude crête à crête des oscillations du débit d'air  
circulant dans le compresseur et de comparer cette amplitude  
des oscillations du débit d'air une valeur seuil prédéterminée  
au-delà de laquelle les amplitudes crête à crête sont  
20 caractéristiques du phénomène de pompage.

3) Procédé de recirculation d'air selon la revendication  
précédente caractérisé en ce que l'on effectue un traitement  
statistique des oscillations de débit d'air mesuré avant de les  
25 comparer à une valeur seuil.

4) Procédé de recirculation d'air selon l'une des  
revendications 1 à 3 caractérisé en ce que lors de la détection  
d'un phénomène de pompage on recircule une portion d'air en  
30 commandant l'ouverture d'une vanne de recirculation (24) de  
manière à ramener la valeur de débit d'air traversant le

compresseur (4) à une valeur cible pour laquelle il n'y a pas de phénomène de pompage.

5) Procédé de recirculation d'air selon l'une des revendications 1 à 3 caractérisé en ce que lors de la détection d'un phénomène de pompage, on recircule une portion d'air en commandant l'ouverture d'une vanne de recirculation (24) tant que les amplitudes d'oscillations de débit d'air sont égales ou supérieures à valeur indicative d'un phénomène de pompage du compresseur (4).

6) Procédé de recirculation d'air selon la revendication précédente caractérisé en ce qu'il comprend un étape de détection du phénomène de pompage par détection d'un dépassement d'une valeur seuil des amplitudes des oscillations de débit d'air circulant dans le compresseur (4).

