



(11)

**EP 2 108 802 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**07.09.2011 Bulletin 2011/36**

(51) Int Cl.:  
**F02D 41/04 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **09153430.5**

(22) Date de dépôt: **23.02.2009**

(54) **Procede de determination de la quantite de carburant a injecter au demarrage d'un moteur a injection indirecte**

Verfahren zur Bestimmung der Kraftstoffmenge, die beim Anlassen eines indirekten Einspritzmotors eingespritzt werden soll

Method for determining the amount of fuel to be injected when starting an engine with external injection

(84) Etats contractants désignés:  
**DE ES FR GB IT**

- **Guichaoua, Sabine**  
**75007 Paris (FR)**
- **Versaevel, Philippe**  
**92500 Rueil-Malmaison (FR)**

(30) Priorité: **06.03.2008 FR 0851477**

(74) Mandataire: **Ménès, Catherine**  
**Peugeot Citroën Automobiles SA**  
**PI (LG081)**  
**18, rue des Fauvelles**  
**92250 La Garenne-Colombes (FR)**

(43) Date de publication de la demande:  
**14.10.2009 Bulletin 2009/42**

(56) Documents cités:  
**WO-A-2007/003642 US-A1- 2002 133 287**

(73) Titulaire: **Peugeot Citroën Automobiles Société**  
**Anonyme**  
**78140 Vélizy Villacoublay (FR)**

(72) Inventeurs:  

- **Genies, Jean-Florent**  
**78100 Saint-Germain-En-Laye (FR)**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

**Description**

**[0001]** La présente invention concerne un procédé de détermination de la quantité de carburant à injecter au démarrage d'un moteur à injection indirecte.

5 **[0002]** La combustion par les moteurs montés dans les véhicules automobiles produit des émissions polluantes. Ces polluants sont susceptibles d'être libérés dans l'atmosphère et de dégrader l'environnement. Des normes anti-pollution de plus en plus sévères sont donc mises en place, notamment pour les moteurs à allumage commandé et injection indirecte. Afin de respecter les normes, des systèmes de post-traitement des gaz d'échappement se sont développés sur les véhicules. Les systèmes de post-traitement catalytiques sont basés principalement sur l'emploi de métaux précieux et permettent de réduire de l'émission de polluants hors du véhicule.

10 **[0003]** Cependant, le bon fonctionnement des catalyseurs n'est assuré que pour des températures supérieures à une température d'amorçage. De ce fait, lors du démarrage du moteur à froid, le traitement des polluants n'est pas optimum. Ainsi, 80% des émissions polluantes du véhicule sont émises pendant les 40 à 80 premières secondes après le démarrage du moteur.

15 **[0004]** Dans ces conditions, il apparaît intéressant de diminuer la quantité de polluants émis au démarrage du véhicule. Un des moyens est d'utiliser le moins de carburant possible pour le démarrage du moteur.

20 **[0005]** Mais, la détermination de la quantité minimale de carburant à injecter pour assurer le démarrage du moteur est délicate. Cette évaluation dépend en effet beaucoup des caractéristiques du carburant. En particulier, une des difficultés provient de la variation importante de la composition chimique du carburant d'un pays à l'autre et selon la saison considérée.

25 **[0006]** Actuellement, pour assurer un démarrage du moteur pour tous les carburants, la quantité de carburant injectée est supérieure à la quantité juste nécessaire qui devrait idéalement être injectée. Une fois que le démarrage a été effectué, des sondes situées dans la ligne d'échappement du véhicule permettent de détecter que trop de carburant est injecté dans le moteur. Ce défaut est corrigé en diminuant progressivement la quantité de carburant injectée jusqu'à la disparition de la détection du défaut par les sondes.

30 **[0007]** Cette technique qualifiée de « *a posteriori* » implique une sur-consommation de carburant au démarrage par rapport à une situation optimisée. Cette sur-consommation engendre une émission d'une quantité plus importante de polluants par rapport à la situation optimale.

35 **[0008]** Il existe aussi des démarches de détermination dite « *a priori* » de la quantité de carburant nécessaire au démarrage. Ces méthodes sont basées sur des paramètres de volatilité du carburant comme les points de la courbe de distillation ou toute combinaison linéaire de ces paramètres. Ces derniers procédés sont communément appelés « indice d'agrément de conduite » ou « *driveability index* » en anglais.

40 **[0009]** Toutefois, les modèles existants utilisant une information sur la volatilité du carburant ne prennent pas bien en considération les interactions entre espèces. Les modèles existants ne sont pas capables de déterminer correctement la quantité de carburant nécessaire au démarrage. Ceci est d'autant plus vrai pour des carburants contenant des composés polaires comme les alcools. Compte tenu de la variabilité des carburants de part le monde, cela engendre des problèmes de robustesse de la prestation de démarrage et de mise en action du moteur : non-démarrage, mauvais démarrage, calage, agrément de conduite dégradé après démarrage.

45 **[0010]** Il existe donc un besoin pour un procédé qui assure le démarrage d'un moteur à allumage commandé injection indirecte en utilisant la quantité de carburant la plus juste possible.

50 **[0011]** La présente invention a ainsi pour premier objet un procédé de détermination de la quantité de carburant à injecter au démarrage d'un moteur à injection indirecte, un mélange d'une phase gaz d'air et de carburant et d'une phase liquide de carburant étant injecté dans le moteur, ce procédé comprenant le calcul de la composition chimique de la phase gaz et de la phase liquide à l'interface entre la phase gaz et la phase liquide, par utilisation d'un modèle et, à l'aide de la composition chimique de la phase gaz, le calcul du taux de transport de la phase gaz, par utilisation d'un modèle.

55 **[0012]** Dans une variante, associée à un moteur comprenant une chambre de combustion et un conduit d'admission dans le moteur du mélange, la phase liquide étant déposée sur les parois du conduit d'admission.

50 **[0013]** Dans une variante le modèle de calcul de la composition chimique de la phase gaz et de la phase liquide prend en considération la composition chimique du carburant préalablement déterminée. Le nombre d'espèces du carburant pour la détermination de la composition chimique du carburant est réduit, de préférence à quinze. La composition chimique du carburant est de préférence déterminée par un organe d'analyse de laboratoire ou par un organe d'analyse embarqué à bord d'un véhicule, de préférence un organe d'analyse embarqué du type capteur opto-électronique utilisant la spectroscopie proche infrarouge.

55 **[0014]** Dans une variante, le modèle de calcul de la composition chimique de la phase gaz et de la phase liquide est basé sur l'hypothèse des gaz parfaits et la loi de Raoult.

**[0015]** Dans une variante, le modèle de calcul de la composition chimique de la phase gaz et de la phase liquide prend en considération le coefficient de fugacité de chacune des espèces du carburant, le coefficient de fugacité étant

calculé ou obtenu dans des tables.

[0016] Dans une variante, le procédé comprend en outre le calcul de la richesse du mélange obtenue par le rapport entre la valeur de l'intégrale du taux de transport de la phase gaz et la valeur du volume d'air injecté. De façon préférée, le modèle de calcul du taux de transport prend en considération la masse de carburant à injecter, le procédé comprenant en outre la détermination de la quantité de carburant à injecter au démarrage dans le moteur pour parvenir à une richesse prédéterminée du mélange par utilisation de tables ou par itération de la masse de carburant à injecter.

[0017] Le procédé selon l'invention est plus spécialement utilisé dans un organe de contrôle d'un moteur ou dans un outil d'aide à la mise au point d'un moteur.

[0018] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit des modes de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemple et en référence à la figure annexée qui montre figure 1, un exemple d'organigramme du procédé.

[0019] Un procédé de détermination de la quantité de carburant à injecter au démarrage est proposé. Ce procédé s'applique à un moteur à injection indirecte dans lequel un mélange de phase gaz d'air et de carburant et d'une phase liquide de carburant est injecté dans le moteur. Le procédé comprend le calcul de la composition chimique de la phase gaz et de la phase liquide à l'interface entre la phase gaz et la phase liquide, par utilisation d'un modèle. De plus, à l'aide de la composition chimique de la phase gaz, le procédé calcule le taux de transport de la phase gaz, par utilisation d'un modèle.

[0020] Le procédé rend ainsi possible, à partir de la composition chimique détaillée d'un carburant, la détermination de la composition chimique de la phase gaz qui est injectée au niveau de la chambre à combustion du moteur à allumage commandé injection indirecte. En conséquence, la quantité de carburant nécessaire au démarrage d'un moteur à allumage commandé injection indirecte peut être déterminée.

[0021] La quantité de carburant injectée au démarrage peut donc être optimisée. De ce fait, le procédé permet de réduire les émissions polluantes de la voiture ce qui diminue la charge en métaux précieux du post-traitement catalytique. Le prix de revient de fabrication de la voiture est ainsi réduit.

[0022] De plus, la qualité et la robustesse de la prestation démarrage et mise en action est améliorée, notamment parce que cette prestation ne dépend pas du pays ou de la saison considérés.

[0023] Le procédé peut comprendre un certain nombre d'étapes comme le montre la figure 1. La figure 1 est un exemple d'organigramme du procédé de détermination de la quantité de carburant à injecter au démarrage.

[0024] Préalablement à l'étape 6 de calcul de la composition chimique de la phase gazeuse et de la phase liquide, le procédé peut comprendre une étape 2 de détermination de la composition chimique détaillée du carburant. La composition chimique détaillée donne accès aux différentes espèces du carburant ainsi qu'à leur proportion dans le carburant.

[0025] La composition chimique détaillée peut provenir d'une analyse réalisée par exemple au niveau du réservoir à essence du véhicule par l'une ou toute combinaison des techniques suivantes : chromatographie en phase gazeuse, spectrométrie de masse, résonance magnétique nucléaire (RMN), spectroscopie ultraviolet ou spectroscopie infrarouge.

[0026] L'analyse du carburant peut être effectuée par un organe d'analyse de laboratoire. La chromatographie et la spectrométrie de masse peuvent notamment être utilisées dans le laboratoire. De tels instruments permettent en effet d'obtenir une composition chimique du carburant très précise pour la mise au point des moteurs.

[0027] La composition chimique du carburant peut aussi être déterminée par un organe d'analyse embarqué à bord d'un véhicule. Cela permet d'obtenir la composition de l'essence dans le véhicule. En particulier, un capteur opto-électronique qui exploite la spectroscopie proche infrarouge (en anglais « near infrared spectroscopy » ou « spectroscopy NIR ») peut être utilisé. Un tel capteur a l'avantage d'être peu encombrant.

[0028] La composition chimique détaillée ainsi obtenue sert de donnée d'entrée pour le calcul de la composition dans la phase gaz qui est décrit dans la suite.

[0029] Dans certains cas, la composition chimique détaillée du carburant peut impliquer un temps de calcul trop important pour effectuer le calcul de la composition dans la phase gaz. Afin de réduire le temps de calcul, il peut ainsi être intéressant de procéder à une étape 4 d'utilisation d'un nombre réduit d'espèces du carburant trouvées dans l'étape 2.

[0030] A titre d'exemple, pour représenter une essence commerciale Sans Plomb 95 européenne actuelle, une composition chimique réduite à 15 espèces peut être utilisée : 12 hydrocarbures et 3 composés oxygénés. Le tableau suivant donne les 15 espèces classées par température d'ébullition (T°éb) croissante :

Espèce chimique	T°éb (K)
n-Butane	273
Isopentane	301
n-Pentane	310
Méthylbutène	312

(suite)

	Espèce chimique	T°éb (K)
5	MTBE (Méthyltertiobutyléther)	328
	2-Méthylpentane	334
	Hexène	337
10	ETBE (Ethyltertiobutyléther)	346
	Ethanol	351
	Cyclohexane	354
	n-Heptane	372
15	2,2,4-Triméthylpentane	372
	Toluène	384
	m-Xylène	412
20	1,2,4-Triméthylbenzène	443

[0031] Par ailleurs, la composition de l'air peut aussi être simplifiée et être réduite à deux espèces : di-oxygène (O<sub>2</sub>), di-nitro (N<sub>2</sub>).

[0032] La composition chimique réduite ou détaillée ainsi obtenue à l'étape 2 ou 4 est notamment utilisée pour une étape 6 du procédé. L'étape 6 est une étape dans laquelle la composition chimique de la phase gazeuse du carburant est calculée à tout instant.

[0033] Le calcul est réalisé à l'aide d'un modèle. Le modèle est un modèle thermodynamique et plus précisément un modèle d'équilibre thermodynamique chimique. Le modèle thermodynamique permet à la fois de déterminer les compositions de la phase liquide et de la phase gazeuse du carburant à l'équilibre thermodynamique.

[0034] Le modèle thermodynamique repose sur l'utilisation d'une condition d'équilibre thermodynamique et utilise des données thermodynamiques (température, pression...) ainsi que la composition chimique du mélange entre l'air et le carburant réalisé au niveau du conduit d'admission du moteur.

[0035] En thermodynamique, deux phases (par exemple liquide, gaz ou solide) sont en équilibre lorsque l'enthalpie libre notée G du système composé des deux phases atteint son minimum, soit lorsque la différentielle de l'enthalpie libre notée dG est nulle.

[0036] Or, à pression et température fixée, la différentielle de l'enthalpie libre s'écrit dans notre cas particulier d'un mélange binaire gaz-liquide :

$$dG = \sum \mu_{i,gaz} dn_{i,gaz} - \sum \mu_{i,liq} dn_{i,liq} \quad (E_1)$$

où n désigne le nombre de moles, l'indice i l'espèce considérée, l'indice gaz la phase gazeuse, l'indice liq désigne la phase liquide et  $\mu$  le potentiel chimique.

[0037] De plus, lorsque le système est fermé et qu'aucune réaction chimique n'a lieu, la conservation de la matière implique que:

$$dn_{i,gaz} = dn_{i,liq} = 0 \quad (E_2)$$

[0038] Les conditions de l'équation E<sub>2</sub> peuvent être considérées comme remplies dans le cas du carburant contenu dans le réservoir à essence du véhicule.

[0039] Il peut être déduit des deux équations E<sub>1</sub> et E<sub>2</sub> que la condition d'équilibre thermodynamique du modèle thermodynamique devient :

$$\sum \square_{i,gaz} \square \square_{i,liq} [dn_{i,gaz} \square 0] (E_3)$$

5

**[0040]** De ce fait, le modèle thermodynamique peut se traduire par l'égalité des potentiels chimiques de chaque espèce i dans chacune des phases liquides ou gazeuses.

**[0041]** Or, pour toute phase (gazeuse ou liquide), le potentiel chimique est défini par la relation E<sub>4</sub> :

10

$$\mu_i(T, P_i) = \mu^\circ(T, P_i^\circ) + RT \ln\left(\frac{f_i}{f_i^\circ}\right) (E_4)$$

15 où T est la température, P<sub>i</sub> est la pression de l'espèce considérée, R la constante des gaz parfaits, l'exposant «°» désigne les conditions standard soit une pression de 1 bar et une température de 0°C et enfin f<sub>i</sub> est la fugacité de l'espèce i dans une phase donnée.

20 **[0042]** Ainsi, la condition d'équilibre thermodynamique du modèle thermodynamique se traduit par l'égalité des fugacités de chaque espèce i dans chacune des phases. La condition d'équilibre entre les phases est donc pour chaque espèce i :

$$f_{i,gaz} = f_{i,liq} (E_5)$$

25

**[0043]** La fugacité s'exprimant par définition comme :

30

$$f_{i,x} = \varphi_{i,x} \cdot P \cdot X_{i,x} (E_6)$$

avec  $\varphi_{i,x}$  le coefficient de fugacité de l'espèce i dans la phase x (gaz pour gazeux, liq pour liquide), X<sub>i</sub> la fraction molaire de l'espèce i dans la phase x (gaz pour gazeux, liq pour liquide) et P la pression dans le conduit d'admission du moteur.

**[0044]** Le modèle thermodynamique se traduit donc par l'égalité E<sub>7</sub> pour chaque espèce i:

35

$$\varphi_{i,gaz} \cdot X_{i,gaz} = \varphi_{i,liq} \cdot X_{i,liq} (E_7)$$

40 **[0045]** La résolution de l'équation E<sub>7</sub> pour l'ensemble des espèces considérées permet d'obtenir la composition chimique des phases gazeuse et liquide à l'interface entre la phase gaz et la phase liquide. La résolution de l'équation E<sub>7</sub> peut être effectuée de plusieurs manières différentes.

**[0046]** Une première méthode consiste à calculer le coefficient de fugacité de chacune des espèces du carburant. Les coefficients de fugacité sont déduits à partir de l'équation d'état du système considéré par dérivation par rapport au nombre de moles.

45 **[0047]** Une équation d'état est une relation algébrique entre la pression P, la température T et le volume V. L'équation d'état est souvent exprimée en termes d'une grandeur thermodynamique Z appelée facteur de compressibilité et définie par la relation E<sub>8</sub> :

50

$$Z = \frac{PV}{RT} (E_8)$$

55

où R la constante des gaz parfaits.

**[0048]** Les équations d'état cubiques figurent parmi les quelques types d'équations d'état existantes. Fortement utilisées dans l'industrie, les équations cubiques sont assez simples et peuvent s'exprimer sous forme de polynômes du troisième degré en Z. Les équations cubiques ont l'avantage de rendre facultative la résolution des volumes qui est une

## EP 2 108 802 B1

méthode itérative nécessitant un temps de calcul non négligeable. Les deux équations les plus utilisées dans l'ingénierie sont l'équation de Peng et Robinson (notée équation PR dans la suite) et l'équation de Soave, Redlich et Kwong (notée équation SRK dans la suite).

**[0049]** Une équation d'état cubique peut s'exprimer en fonction du facteur de compressibilité, sous la forme de l'équation E<sub>9</sub> :

$$Z^3 - (1 + B^* - kB^*)Z^2 + (A^* + k'B'^2 - kB^* - kB'^2)Z - (A^*B^* + k'B'^2 + k'B'^3) = 0 \quad (E_9)$$

où k, k', A\* et B\* sont des paramètres détaillés dans les paragraphes qui suivent.

**[0050]** Les constantes k et k' permettent de distinguer les différentes équations d'état. Par exemple, l'équation PR correspond à des valeurs de k = 2 et k' = -1 tandis que l'équation SRK est caractérisée par les valeurs k = 1 et k' = 0.

**[0051]** Les paramètres A\* et B\* sont définis par les relations E<sub>10</sub> :

$$A^* = \frac{aP}{R^2 T^2} \quad \text{et} \quad B^* = \frac{bP}{RT} \quad (E_{10})$$

où a et b sont respectivement le paramètre énergétique et le covolume. Plusieurs expressions de a et b existent dans la littérature.

**[0052]** Le calcul des paramètres a et b implique de connaître des propriétés physiques supplémentaires des espèces d'hydrocarbures et en particulier leur température critique notée T<sub>c</sub>, leur pression critique notée P<sub>c</sub> et le facteur acentrique des corps pur noté ω.

**[0053]** Par exemple, il est possible d'utiliser la corrélation de Lee-Kesler pour calculer le facteur acentrique ω de chaque espèce de l'essence. En définissant le paramètre θ par la relation  $\theta = T_{\text{éb}}/T_c$  où T<sub>éb</sub> est la température d'ébullition de l'espèce et T<sub>c</sub> la température critique, la relation de Lee-Kesler s'écrit

$$\ln P_c = - (f_1 + \omega f_2)$$

où les paramètres f<sub>1</sub> ou f<sub>2</sub> sont donnés par les relations E<sub>11</sub> :

$$\begin{cases} f_1 = 5,92714 - \frac{6,09648}{\theta} - 1,28862 \ln \theta + 0,169347 \theta^6 \\ f_2 = 15,2518 - \frac{15,6875}{\theta} - 13,4721 \ln \theta + 0,43577 \theta^6 \end{cases} \quad (E_{11})$$

**[0054]** Par exemple, sachant que pour le butane n-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, la pression critique vaut P<sub>c</sub> = 38,017 bar, la température critique T<sub>c</sub> = 425,2 K et la température d'ébullition T<sub>éb</sub> = 272,7 K, le calcul du facteur acentrique par la méthode de Lee-Kesler donne ω = 0,197.

**[0055]** Les coefficients de fugacité de chaque composé dans chacune des phases sont calculés par la relation E<sub>12</sub> :

$$\ln(\varphi_i) = \frac{b_i}{b_m}(Z - 1) - \ln(Z - B^*) + \frac{A^*}{B^* \sqrt{k^2 - 4k'}} \left( \frac{b_i}{b_m} - \delta_i \right) \ln \left( \frac{2Z + B^* \sqrt{k^2 - 4k'}}{2Z - B^* \sqrt{k^2 - 4k'}} \right) \quad (E_{12})$$

avec  $\delta_i = \frac{2\sqrt{a_i}}{a_m} \sum_j X_j \sqrt{a_j} (1 - k_{ij})$  où  $k_{ij}$  désigne les coefficients d'interaction binaire dans cette expression ;  $a_i$  et  $b_i$  le paramètre énergétique et le covolume de l'espèce  $i$ ,  $a_m$  et  $b_m$  du mélange

**[0056]** Avec la connaissance des coefficients de fugacité, il devient alors possible de résoudre l'équation E<sub>7</sub> et de déterminer la fraction de l'espèce  $i$  dans chacune des phases.

**[0057]** La méthode par le calcul des coefficients de fugacité de chacune des espèces du carburant est relativement précise puisque cette méthode permet de prendre en compte le phénomène de dissolution des gaz dans la phase liquide.

**[0058]** En contrepartie, le calcul des coefficients de fugacité nécessite beaucoup de temps de calculs et la connaissance de beaucoup de coefficients différents pour chaque espèce. Ainsi, pour chaque espèce  $i$ , le calcul du coefficient de fugacité implique la connaissance de la température critique, de la pression critique et si possible du coefficient binaire d'interaction avec chacune des autres espèces gazeuses.

**[0059]** De ce fait, la méthode de calcul des coefficients de fugacité peut s'avérer peu commode à implémenter directement sur un ordinateur embarqué à bord d'un véhicule. Pour pallier à cet inconvénient, d'autres méthodes pour résoudre l'équation E<sub>7</sub> peuvent être envisagées.

**[0060]** En particulier, il peut être avantageux de calculer préalablement les coefficients de fugacité par la méthode de calcul précédente afin de les tabuler. Il suffit alors de résoudre E<sub>7</sub> avec les coefficients tabulés. Le temps de calcul est ainsi réduit. Il est ainsi possible d'utiliser un calculateur moins puissant pour implémenter la méthode. La méthode par tabulation des coefficients de fugacité est donc plus facilement mise en place dans un ordinateur embarqué que la méthode par calcul.

**[0061]** Un autre exemple de méthode plus simple à mettre en place que la méthode de calcul des coefficients de fugacité est une méthode où deux hypothèses sont préalablement réalisées. Les deux hypothèses sont l'hypothèse des gaz parfaits et l'hypothèse de mélange idéal dans la phase liquide. Ces hypothèses reviennent à considérer les coefficients de fugacité comme unitaires, ce qui permet de ne pas réaliser le calcul des coefficient de fugacité pour chaque espèce du carburant.

**[0062]** L'utilisation de la loi de Raoult permet alors d'obtenir des fractions molaires en phase gazeuse à l'état de saturation, par la relation E<sub>13</sub> :

$$X_{i,gaz} = X_{i,liq} \cdot \frac{P_{i,sat}}{P} \quad (\text{E13})$$

où  $P_{i,sat}$  est la pression de vapeur saturante et  $P$  est la pression du système.

**[0063]** La pression de vapeur saturante peut être calculée par la relation d'Antoine :

$$P_{i,sat} = 10^{\left( A_i - \frac{B_i}{C_i + T_{surface}} \right)} \quad (\text{E14})$$

où  $A_i$ ,  $B_i$  et  $C_i$  sont les coefficients d'Antoine et  $T_{surface}$  est la température de la surface de l'interface entre la phase gaz et la phase liquide. Les coefficients  $A_i$ ,  $B_i$  et  $C_i$  sont spécifiques de l'hydrocarbure  $i$  considéré et s'obtiennent par des corrélations.

**[0064]** La méthode est valable pour des mélanges d'hydrocarbures. Cette méthode basée sur l'hypothèse des gaz parfaits et la loi de Raoult est plus simple que la méthode de calcul des coefficients de fugacité. De ce fait, la méthode est particulièrement adaptée à une utilisation dans des ordinateurs embarqués à bord de voiture.

**[0065]** Mais, la méthode n'est pas applicable dans tous les cas. En particulier, la méthode n'est plus correcte dès lors que les différentes molécules du mélange ont de fortes interactions entre elles. Un mélange comprenant des espèces polaires comme les alcools est un exemple de mélange auquel la méthode basée sur l'hypothèse des gaz parfaits et la loi de Raoult ne peut pas s'appliquer.

**[0066]** Quelle que soit la méthode choisie pour mener le calcul de l'étape 6, l'étape 6 permet d'obtenir la composition chimique de la phase liquide à l'interface de la phase gaz et la phase liquide à l'étape 8 ainsi que la composition chimique de la phase gaz à l'interface de la phase gaz et la phase liquide à l'étape 10. L'information de la composition chimique n'est pas un paramètre physico-chimique trop réducteur comme la pression de vapeur. La connaissance de la composition chimique dans les deux phases permet en effet de connaître les caractéristiques essentielles du système.

**[0067]** A titre d'exemple, le tableau suivant présente les compositions chimiques des phases gazeuse et liquide obtenues aux étapes 8 et 10 du procédé pour une essence commerciale Sans Plomb 95 européenne actuelle, à une pression de 1 atm et une température de 20°C. Le calcul de l'étape 6 est effectué par la méthode de calcul des coefficients de fugacité.

	<b>Espèce chimique</b>	<b>Phase liquide (fraction molaire)</b>	<b>Phase gazeuse (fraction molaire)</b>
5	<i>n</i> -Butane	0.078	0.160
10	Isopentane	0.136	0.108
15	<i>n</i> -Pentane	0.040	0.023
20	Méthylbutène	0.095	0.049
25	MTBE (méthyltertiobutyléther)	0.054	0.015
30	2-Méthylpentane	0.060	0.014
35	Hexène	0.043	0.009
40	ETBE (éthyltertiobutyléther)	0.000	0.000
45	Ethanol	0.000	0.000
50	Cyclohexane	0.025	0.003
55	<i>n</i> -Heptane	0.063	0.003
60	2,2,4-Triméthylpentane	0.073	0.004
65	Toluène	0.101	0.004
70	<i>m</i> -Xylène	0.109	0.001
75	1,2,4-Triméthylbenzène	0.119	0.000
80	Diazote	0.001	0.472
85	Dioxygène	0.000	0.133

**[0068]** Le tableau met en évidence que certaines espèces ont commencé à s'évaporer comme le *n*-Butane ou le *n*-Pentane alors que d'autre espèces comme le *m*-Xylène ou le 1,2,4-Triméthylbenzène ont une fraction molaire en phase gazeuse nulle ou quasi-nulle.

**[0069]** La composition chimique des phases gazeuse et liquide à l'interface entre la phase gaz et la phase liquide correspond à la composition chimique au niveau du conduit d'admission du moteur. Il ne s'agit néanmoins pas de la composition chimique du mélange entre le carburant et l'air qui est brûlé au niveau de la bougie de la chambre de combustion. En effet, le passage de la phase gazeuse de l'interface entre la phase gaz et la phase liquide vers le coeur du conduit d'admission et vers le coeur de la chambre de combustion modifie la composition chimique du mélange parce que les espèces n'ont pas la même vitesse de déplacement dans la phase gazeuse. Il en résulte que la quantité d'espèces présentes à l'interface entre la phase gaz et la phase liquide n'est pas la même dans la chambre de combustion.

**[0070]** De ce fait, le procédé comprend en outre une étape 12 dans laquelle le transport en phase gaz est étudié. Cette analyse consiste à calculer le taux de transport de la phase gaz à l'aide de la composition chimique de la phase gaz à l'interface entre la phase gaz et la phase liquide.

**[0071]** Le calcul est réalisé par utilisation d'un modèle. Le modèle est un modèle de transport qui est valable pour les moteurs à injection indirecte c'est-à-dire des moteurs où le mélange carburant / air se fait avant l'admission dans la chambre de combustion. Cela signifie notamment que le mélange carburant / air est réalisé avant une soupape d'admission d'un des cylindres du moteur. Le modèle de transport s'appuie sur plusieurs hypothèses successivement exposées dans les paragraphes qui suivent.

**[0072]** On suppose d'abord qu'au démarrage, le carburant se dépose sous la forme d'un film liquide sur les parois froides du conduit d'admission du moteur. On admet alors que toute l'évaporation provient de l'évaporation du film liquide. L'évaporation dans le cylindre en fin de compression ainsi que l'évaporation liée à l'arrachage des gouttes du film liquide pendant l'ouverture de la soupape d'admission sont donc négligées.

**[0073]** De plus, il est admis que l'évaporation a lieu pendant la phase d'admission (durant un aller du piston soit 180°V), c'est-à-dire le temps pendant lequel la soupape est ouverte. L'évaporation avant l'ouverture de la soupape, plus précisément entre l'injection et l'ouverture de la soupape, n'est pas prise en compte.

[0074] Du fait de la très grande différence de capacité calorifique entre le métal du conduit d'admission et le carburant liquide, la température du film liquide est supposée être la température du conduit d'admission lors du premier cycle du moteur.

5 [0075] En outre, on admet, conformément à une hypothèse classique dans la littérature, que la hauteur du film liquide notée  $h_{film}$  est proportionnelle à la masse injectée notée  $m_{inj}$  de carburant à une certaine puissance notée  $\beta$  :

$$h_{film} \propto (m_{inj})^\beta$$

10 [0076] La même relation peut être écrite entre la masse injectée et la surface du film liquide notée  $S_{film}$ :

$$S_{film} \propto (m_{inj})^{1-\beta}$$

15 [0077] Il est courant dans la littérature d'attribuer à ce coefficient  $\beta$  une valeur proche de 0,5. Cependant, il ne s'agit que d'un exemple puisque le coefficient  $\beta$  dépend de diverses caractéristiques du moteur et notamment de la forme du conduit d'admission, de l'injecteur... Ce paramètre  $\beta$  peut ainsi servir à caler le modèle pour chaque moteur.

20 [0078] On fait aussi les hypothèses que la hauteur et la surface du film liquide ne dépendent pas de la température et qu'il existe une surface mouillée maximum pour chaque conduit d'admission.

[0079] Enfin, on suppose que la diffusion des espèces est infiniment rapide dans le film liquide. En d'autres termes, les fractions molaires des espèces sont homogènes dans le film liquide.

25 [0080] Le modèle de transport modélise ensuite le transport de l'espèce  $i$  dans la phase gazeuse par une relation issue de la théorie de la mécanique des fluides. En particulier, il est possible d'utiliser la relation E<sub>15</sub> issue de la littérature :

$$30 m_{\dot{evap},i} = \alpha * (0,552 * Re^{0.5}) * (m_{inj})^{1-\beta} * D_{FA} * \ln\left(1 + \frac{Y_{i,GAZ}}{1 - Y_{i,GAZ}}\right) (E_{15})$$

35 où  $m_{\dot{evap},i}$ ,  $\alpha$ ,  $Re$ ,  $D_{FA}$  et  $Y_{i,GAZ}$  sont des paramètres détaillés dans les paragraphes suivants.

[0081] Le paramètre  $m_{\dot{evap},i}$  est la dérivée temporelle de la masse de l'espèce  $i$  et représente le taux de transport de l'espèce  $i$  dans la phase gazeuse, depuis l'interface entre la phase gaz et la phase liquide vers le coeur du mélange gazeux.

40 [0082] Le coefficient  $\alpha$  est un coefficient à ajuster pour caler le modèle sur le moteur considéré.

[0083] La constante  $Re$  est le nombre de Reynolds. La constante  $Re$  se calcule avec la vitesse moyenne dans le conduit d'admission.

45 [0084]  $D_{FA}$  est le coefficient de diffusion binaire entre le carburant et l'air. Il est possible de considérer un coefficient global  $D_{FA}$  pour le carburant ou un coefficient  $D_{FA,i}$  par espèce.

[0085] Enfin,  $Y_{i,GAZ}$  est la fraction massique de l'espèce  $i$  en phase gazeuse à l'interface entre la phase gaz et la phase liquide. La fraction massique de l'espèce  $i$  est liée à la fraction molaire calculée précédemment par application du modèle thermodynamique de l'étape 6.

50 [0086] De ce fait, compte tenu des hypothèses précédemment décrites, l'étape 12 permet de déterminer à partir de la masse de carburant injectée le taux de transport  $m_{\dot{evap},i}$  de chaque espèce  $i$  dans la phase gazeuse, depuis l'interface entre la phase gaz et la phase liquide vers le coeur du mélange gazeux.

[0087] Une étape 14 supplémentaire du procédé peut en outre permettre de déduire la richesse du mélange air/carburant obtenu à l'aide d'un calcul.

55 [0088] La richesse du mélange carburé dans le cylindre est obtenue par le rapport entre la valeur de l'intégrale de la somme des taux de transport dans la phase gaz  $m_{\dot{evap},i}$  sur  $180^\circ V$  et la valeur du volume d'air introduit.

[0089] Le mélange carburé dans le cylindre étant considéré comme homogène, la richesse obtenue à l'étape 14

correspond à la richesse au point d'allumage. Le procédé permet ainsi de déterminer la richesse au point d'allumage à partir de conditions de pression, de température données et d'une masse de carburant injecté donné.

[0090] Le procédé peut en outre comprendre une étape 16 de détermination de la quantité de carburant à injecter.

5 [0091] Pour réaliser la détermination, la richesse obtenue à l'étape 14 est comparée à une valeur prédéterminée de richesse à atteindre. La valeur de la richesse à atteindre pour assurer un bon démarrage du véhicule dépend notamment du moteur considéré et de la puissance de la bougie. Par exemple, la littérature s'accorde usuellement autour d'une richesse de 0,75 à 0,8 pour permettre la première combustion.

10 [0092] La quantité de carburant à injecter au démarrage peut être obtenue par itération successive sur la masse de carburant à injecter. Une masse initiale d'injection est arbitrairement choisie. Si cette masse initiale conduit à une richesse supérieure à la valeur prédéterminée de richesse à atteindre, cela signifie que la masse à injecter est trop importante. Le calcul de l'étape 12 est recommandé avec une masse à injecter plus petite. Au contraire, si cette masse initiale correspond à une richesse inférieure à la valeur prédéterminée de richesse à atteindre, le calcul de l'étape 12 est repris avec la masse à injecter augmentée. Le processus est réitéré jusqu'à qu'une richesse satisfaisante soit obtenue.

15 [0093] La quantité de carburant à injecter peut aussi être obtenue par utilisation de tables donnant la quantité de carburant liquide à utiliser au démarrage. Une manière commode d'implémenter cette méthode informatiquement peut être d'utiliser une base de données dans un ordinateur de bord du véhicule.

20 [0094] La quantité de carburant minimale à injecter est ainsi connue à l'étape 18 du procédé. Ceci permet de réduire les émissions polluantes, notamment les émissions de CO<sub>2</sub>. De ce fait, la charge en métaux précieux du catalyseur placé en post-traitement de la ligne d'échappement peut être diminué. Le coût du post-traitement catalytique est donc réduit. Le prix de revient de fabrication de la voiture est ainsi diminué.

[0095] La qualité et la robustesse de la prestation démarrage / mise en action est aussi améliorée. De plus, cette prestation ne dépend plus du carburant, que ce soit d'un pays à l'autre ou d'une saison à l'autre.

25 [0096] A bord d'un véhicule, le procédé peut être utilisé dans un organe de contrôle du moteur. L'information « composition détaillée du carburant » est obtenue par un capteur embarqué, par exemple un capteur utilisant la spectroscopie proche infrarouge, immergé dans le réservoir carburant du véhicule.

[0097] La donnée de sortie de l'outil de modélisation (quantité de carburant liquide à injecter au démarrage) est une donnée d'entrée des lois de commande du contrôle moteur.

[0098] La qualité de la prestation de démarrage est améliorée. De plus, les défaillances et les coûts de garantie sont diminués. Tous ces éléments contribuent à augmenter la satisfaction de l'utilisateur.

30 [0099] Le procédé peut aussi être utilisé dans un outil d'aide à la mise au point d'un moteur, notamment dans un laboratoire. Le temps de mise au point des modèles est ainsi diminué. Le nombre d'essais nécessaires à la mise au point du démarrage peut être diminué. De plus, cela permet de calibrer la masse initiale de carburant utilisée à l'étape 16 du procédé.

35 [0100] Le procédé de détermination de la quantité de carburant à injecter au démarrage d'un moteur à injection indirecte selon l'invention permettent donc de déterminer la quantité de carburant nécessaire au démarrage d'un moteur à allumage commandé injection indirecte.

## Revendications

1. Procédé de détermination de la quantité de carburant à injecter au démarrage d'un moteur à injection indirecte, un mélange d'une phase gaz d'air et de carburant et d'une phase liquide de carburant étant injecté dans le moteur le procédé comprenant :
  - le calcul de la composition chimique de la phase gaz et de la phase liquide à l'interface entre la phase gaz et la phase liquide, par utilisation d'un modèle,
  - à l'aide de la composition chimique de la phase gaz, le calcul du taux de transport de la phase gaz, par utilisation d'un modèle.
2. Procédé selon la revendication 1, le moteur comprenant une chambre de combustion et un conduit d'admission dans le moteur du mélange, la phase liquide étant déposée sur les parois du conduit d'admission.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le modèle de calcul de la composition chimique de la phase gaz et de la phase liquide prend en considération la composition chimique du carburant préalablement déterminée.
4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel le nombre d'espèces du carburant pour la détermination de la composition chimique du carburant est réduit, de préférence à quinze.

5. Procédé selon la revendication 3 ou 4, dans lequel la composition chimique du carburant est déterminée par un organe d'analyse de laboratoire ou par un organe d'analyse embarqué à bord d'un véhicule.
- 5      6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel l'organe d'analyse embarqué est un capteur opto-électronique utilisant la spectroscopie proche infrarouge.
- 10     7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel le modèle de calcul de la composition chimique de la phase gaz et de la phase liquide est basé sur l'hypothèse des gaz parfaits et la loi de Raoult.
- 15     8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel le modèle de calcul de la composition chimique de la phase gaz et de la phase liquide prend en considération le coefficient de fugacité de chacune des espèces du carburant, le coefficient de fugacité étant calculé ou obtenu dans des tables.
- 15     9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, comprenant en outre le calcul de la richesse du mélange obtenue par le rapport entre la valeur de l'intégrale du taux de transport de la phase gaz et la valeur du volume d'air injecté.
- 20     10. Procédé selon la revendication 9, le modèle de calcul du taux de transport prend en considération la masse de carburant à injecter, le procédé comprenant en outre la détermination de la quantité de carburant à injecter au démarrage dans le moteur pour parvenir à une richesse prédéterminée du mélange par utilisation de tables ou par itération de la masse de carburant à injecter.
- 25     11. Utilisation du procédé selon l'une des revendications 1 à 10 dans un organe de contrôle d'un moteur ou dans un outil d'aide à la mise au point d'un moteur.

25

**Claims**

1. Method for determining the quantity of fuel to be injected on starting up an indirect injection engine, a mixture of a gaseous phase of air and of fuel and of a liquid phase of fuel being injected in the engine,  
30     the method comprising:
- the calculation of the chemical composition of the gaseous phase and of the liquid phase at the interface between the gaseous phase and the liquid phase, by the use of a model,
  - by means of the chemical composition of the gaseous phase, the calculation of the transport rate of the gaseous phase, by the use of a model.
2. Method according to claim 1, the engine comprising a combustion chamber and an intake duct in the engine for the mixture, the liquid phase being deposited on the walls of the intake duct.
- 40     3. Method according to claim 1 or 2, in which the model for calculation of the chemical composition of the gaseous phase and of the liquid phase takes into consideration the chemical composition of the fuel which was previously determined.
- 45     4. Method according to claim 3, in which the number of types of the fuel for determining the chemical composition of the fuel is reduced, preferably to fifteen.
- 50     5. Method according to claim 3 or 4, in which the chemical composition of the fuel is determined by a laboratory analysis means or by an analysis means on board a vehicle.
- 55     6. Method according to claim 5, in which the on-board analysis means is an opto-electronic sensor using close infrared spectroscopy.
7. Method according to one of claims 1 to 6, in which the calculation model of the chemical composition of the gaseous phase and of the liquid phase is based on the hypothesis of perfect gases and Raoult's law.
- 55     8. Method according to one of claims 1 to 6, in which the calculation model of the chemical composition of the gaseous phase and of the liquid phase takes into consideration the coefficient of fugacity of each of the types of the fuel, the coefficient of fugacity being calculated or obtained in tables.

9. Method according to one of claims 1 to 8, further comprising the calculation of the richness of the mixture obtained by the ratio between the value of the integral of transport rate of the gaseous phase and the value of the volume of injected air.
- 5      10. Method according to claim 9, the calculation model of the transport rate takes into consideration the mass of fuel to be injected, the method further comprising the determining of the quantity of fuel to be injected on starting up in the engine to arrive at a predetermined richness of the mixture by the use of tables or by iteration of the mass of fuel to be injected.
- 10     11. Use of the method according to one of claims 1 to 10 in a control means of an engine or in a tool for assisting the tuning of an engine.

### Patentansprüche

- 15     1. Verfahren zum Bestimmen der beim Starten eines Motors mit indirekter Einspritzung einzuspritzenden Kraftstoffmenge, wobei ein Gemisch aus einer Luftgas- und Kraftstoffphase und einer Kraftstoffflüssigphase in den Motor eingespritzt wird, wobei das Verfahren Folgendes aufweist:
  - die Berechnung der chemischen Zusammensetzung der Gasphase und der Flüssigkeitsphase an der Schnittstelle zwischen der Gasphase und der Flüssigkeitsphase durch den Gebrauch eines Modells,
  - mit Hilfe der chemischen Zusammensetzung der Gasphase die Berechnung der Transportrate der Gasphase durch Gebrauch eines Modells.
- 20     2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Motor eine Brennkammer und eine Einlassleitung in den Motor eines Gemischs aufweist, wobei die Flüssigkeitsphase auf den Wänden der Einlassleitung abgelagert wird.
- 25     3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem das Rechenmodell der chemischen Zusammensetzung der Gasphase und der Flüssigkeitsphase die chemische Zusammensetzung des zuvor bestimmten Kraftstoffs berücksichtigt.
- 30     4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die Anzahl von Arten des Kraftstoffs für das Bestimmen der chemischen Zusammensetzung des Kraftstoffs verringert ist, vorzugsweise auf fünfzehn.
- 35     5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, bei dem die chemische Zusammensetzung des Kraftstoffs durch ein Laboranalyseorgan oder durch ein an Bord des Kraftfahrzeugs mitgeführt Analyseorgan bestimmt wird.
- 40     6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das mitgeführte Analyseorgan ein opto-elektronischer Sensor ist, der die Spektroskopie im nahen Infrarotbereich verwendet.
- 45     7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem das Rechenmodell der chemischen Zusammensetzung der Gasphase und der Flüssigkeitsphase auf der Annahme der perfekten Gase und des Gesetzes von Raoult beruht.
- 50     8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem das Rechenmodell der chemischen Zusammensetzung der Gasphase und der Flüssigkeitsphase den Flüchtigkeitskoeffizienten jeder der Arten des Kraftstoffs berücksichtigt, wobei der Flüchtigkeitskoeffizient in Tabellen berechnet oder erzielt wird.
- 55     9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, das ferner das Berechnen der Reichhaltigkeit des erzielten Gemischs durch das Verhältnis zwischen dem Wert des Integrals der Transportrate der Gasphase und dem Wert des eingespritzten Luftvolumens erzielt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das Rechenmodell der Transportrate die einzuspritzende Kraftstoffmasse berücksichtigt, wobei das Verfahren ferner das Bestimmen der Kraftstoffmenge, die beim Starten in den Motor einzuspritzen ist, aufweist, um zu einer vorbestimmten Reichhaltigkeit des Gemischs durch Gebrauch von Tabellen oder durch Iteration der einzuspritzenden Kraftstoffmasse zu gelangen.
11. Einsatz des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10 in einem Steuerorgan eines Motors oder in einem Werkzeug zur Unterstützung der Optimierung eines Motors.

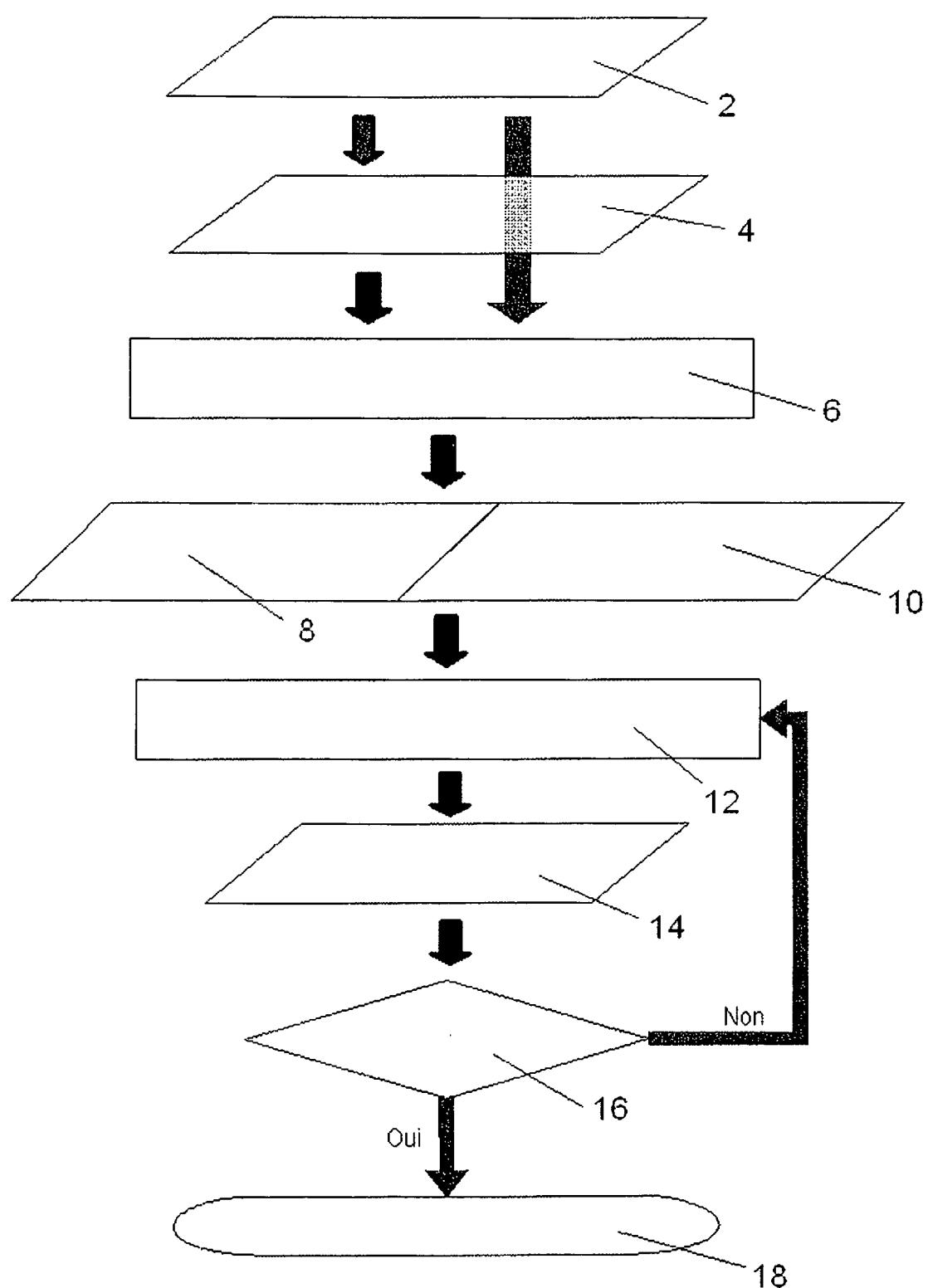


Fig. 1