

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

11 N° de publication :

2 938 645

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national :

08 06463

51 Int Cl<sup>8</sup> : G 01 L 23/00 (2006.01), G 01 L 23/26

12

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 19.11.08.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 21.05.10 Bulletin 10/20.

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 :

71 Demandeur(s) : CONTINENTAL AUTOMOTIVE  
FRANCE Société par actions simplifiée — FR.

72 Inventeur(s) : SANS MARIANO, RAMOND ALAIN et  
VENZAL SIMON DIDIER.

73 Titulaire(s) : CONTINENTAL AUTOMOTIVE FRANCE  
Société par actions simplifiée.

74 Mandataire(s) : CONTINENTAL AUTOMOTIVE  
FRANCE.

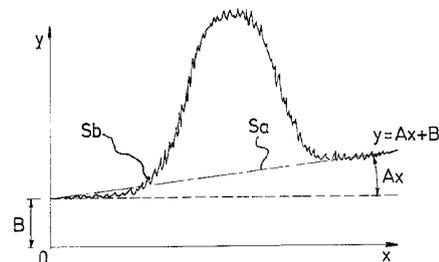
54 PROCÉDE DE CORRECTION DE LA DERIVE DU SIGNAL D'UN CAPTEUR DE PRESSION.

57 L'invention concerne un procédé de correction de la  
dérive du signal (Sb) d'un capteur de pression mesurant la  
pression dans un cylindre d'un moteur à combustion interne,  
le signal étant assimilable à une succession de points  
formant un signal de base (Sa) représenté par une droite  
d'équation  $y = A x + B$ , de pente A et de constante B sur  
lequel se superposent des pics de pression, le procédé de  
correction comportant les étapes suivantes:

- I: utilisation d'un filtre de Kalman rapide, c'est à dire  
comportant des gains de valeurs élevées pour la détection  
des points appartenant aux pics de pression,

- II: utilisation d'un filtre de Kalman lent, c'est à dire  
comportant des gains de valeurs faibles pour la détermination  
de la pente (A) et de la constante (B) de la droite représen-  
tant le signal de base,

- III: correction, pour chaque point, de la dérive du signal  
en fonction de leur appartenance aux pics de pression détec-  
tés lors de l'étape I et des valeurs de la pente (A) et de la  
constante (B) déterminées lors de l'étape II afin de détermi-  
ner le signal réel (Sr) de la pression régnant dans le cylin-  
dre.



FR 2 938 645 - A1



La présente invention est relative à un procédé de correction de la dérive du signal d'un capteur de pression. Elle est particulièrement utile pour les capteurs de pression mesurant la pression dans un cylindre d'un moteur à combustion interne.

La mesure de pression régnant dans la chambre de combustion d'un cylindre  
5 de moteur diesel est réalisée par un capteur de pression situé, par exemple, dans une bougie de préchauffage. La courbe donnant la pression en fonction du temps lors d'un cycle du moteur (admission, compression, combustion, échappement) présente un signal de base idéalement rectiligne et centré sur zéro, auquel se superposent périodiquement des pics de pression. Ce type de capteur est habituellement doté d'un élément sensible  
10 piezo-électrique.

Etant donné l'environnement de fonctionnement de ce capteur, il est exposé à des variations de température et de pression. En particulier, les variations de température créent de la pyro-électricité dans l'élément sensible piezo-électrique du capteur, ce qui modifie la valeur du signal de pression qu'il délivre. L'allure de la courbe donnant la  
15 pression en fonction du temps en sortie du capteur est donc différente de la courbe de pression réelle régnant dans le cylindre. Plus précisément :

- le signal de base n'est plus centré sur zéro, c'est à dire que la valeur de pression moyenne mesurée est décalée d'une constante B.
- le signal de base n'est plus parallèle à l'axe des abscisses, c'est à dire horizontal,  
20 mais présente une pente A et est du type  $y = A \times x$ .
- la pente A et la constante B ne sont pas fixes dans le temps et peuvent alors varier d'un cycle moteur à l'autre.

Ainsi, le signal de base peut être assimilé à une droite dont l'équation est du type  $y = A \times x + B$ , sur laquelle viennent se superposer périodiquement des pics de  
25 pression.

Le traitement de ce signal de base est donc nécessaire afin de fournir au calculateur moteur des mesures de pression réelles et fiables, correctement recentrées sur zéro (ou sur une valeur constante prédéfinie) et sans dérive temporelle.

Un algorithme de traitement de ce signal doit corriger le signal fourni par le  
30 capteur, c'est à dire qu'il doit donc permettre de :

- déterminer B,
- déterminer A,
- discriminer les pics par rapport aux dérives du signal de base, en déterminant la localisation et la durée des pics de pression. En effet si l'augmentation soudaine  
35 de la pression due aux pics n'est pas traitée indépendamment de la dérive du signal, elle fausse la détermination de la pente A et de la constante B,

- soustraire au signal fourni par le capteur, le signal de base ( $A \times x + B$ ) déterminé, pour le recentrer sur zéro (ou sur une valeur constante prédéfinie).

Le traitement du signal peut être réalisé soit lors de l'acquisition du signal et directement par le capteur, soit après l'acquisition du signal par un microprocesseur externe. Cette dernière solution présente l'avantage de réaliser le traitement une fois le signal acquis, avec des moyens de calculs et le temps nécessaires disponibles dans un calculateur de contrôle-moteur. Ceci présente néanmoins le désavantage de surcharger la taille mémoire du calculateur en permanence.

Le traitement direct par le capteur de pression présente de nombreuses contraintes : il doit être rapide, précis et limité en taille mémoire utilisée, puisque intégré dans le capteur qui ne possède pas un calculateur intégré puissant et doté d'une mémoire importante. On connaît de la technique antérieure, que le traitement direct du signal peut être réalisé par estimation, selon la méthode des moindres carrés, d'un modèle linéaire sur une fenêtre de points glissante contenant N points.

L'inconvénient majeur d'un tel traitement est la taille mémoire importante qui est alors nécessaire aux calculs. Des simplifications et des approximations peuvent être faites pour la réduire, ce qui cause alors des problèmes de précision et de stabilité des calculs.

D'autres méthodes de traitement du signal peuvent être envisagées, telle que l'utilisation d'un filtre de Kalman par exemple. Ce filtre repose sur une méthode récursive de correction d'erreur entre un signal et sa prédiction atténuée par un gain. La prédiction du signal est calculée à partir du signal filtré et corrigé à l'instant de mesure précédent. Cependant l'application d'une telle méthode sur un signal de pression comportant des pics à intervalles réguliers présente les inconvénients suivants :

- si la correction est trop importante, alors la détermination de la pente A et de la constante B est faussée puisqu'elle est surestimée par la présence des pics de pression.
- si la correction est faible, le signal corrigé ne tient pas compte de l'erreur engendrée par la présence des pics de pression et est alors proche de la droite  $y = A \times x + B$ . Par conséquent, les valeurs de la pente A et de la constante B sont corrects, mais les pics de pression sont ignorés.

La présente invention propose de déterminer les valeurs de la pente A et de la constante B ainsi que les pics de pression de manière fiable sans nécessiter de taille mémoire de calculs importante.

On atteint ces buts de l'invention au moyen d'un procédé de correction de la dérive du signal d'un capteur de pression mesurant la pression dans un cylindre d'un moteur à combustion interne, le signal étant assimilable à une succession de points

formant un signal de base représenté par une droite d'équation  $y = A \times x + B$  de pente  $A$  et de constante  $B$  sur lequel se superposent des pics de pression, le dit procédé de correction comportant les étapes suivantes :

- 5       • I : utilisation d'un filtre de Kalman rapide, c'est à dire comportant des gains de pente et de constante de valeurs élevées, pour la détection des points appartenant aux pics de pression,
- II : utilisation d'un filtre de Kalman lent, c'est à dire comportant des gains de pente et de constante de valeurs faibles, pour la détermination de la pente et de la constante de la droite représentant le signal de base,
- 10      • III : correction, pour chaque point, de la dérive du signal en fonction de leur appartenance ou non aux pics de pression détectés déterminée lors de l'étape I et des valeurs de la pente et de la constante déterminées lors de l'étape II.

Dans un premier mode de réalisation, lors de l'étape I, on :

- 15      • estime l'erreur de prédiction sur un point du signal à l'aide du filtre de Kalman rapide utilisé,
- filtre et maximise l'écart type de cette erreur de prédiction pour estimer la stabilité de ce point par rapport aux points précédents,
- détermine le début et/ou la fin d'un pic de pression en ce point.

Avantageusement, au cours de l'étape I, on détermine le début du pic de pression en un point selon l'un au moins des deux critères suivants :

- 20      • l'erreur de prédiction sur ce point est au-dessus d'un seuil de début de pic,
- l'écart type filtré et maximisé de l'erreur de prédiction sur ce point est au-dessus d'un seuil d'écart type de début de pic.

De manière préférentielle, le seuil d'écart type de début de pic équivaut à la dernière valeur minimum de l'écart type filtré et maximisé, multipliée par un coefficient de début de pic.

De manière complémentaire, on détermine la fin du pic en un point selon l'un au moins des deux critères suivants :

- 30      • l'erreur de prédiction sur ce point est en-dessous d'un seuil de fin de pic,
- l'écart type filtré et maximisé de l'erreur sur ce point est en-dessous d'un seuil d'écart type de fin de pic.

Avantageusement, le seuil d'écart type de fin de pic équivaut à la dernière valeur maximum de l'écart type filtré et maximisé, multipliée par un coefficient de fin de pic.

35       Dans un autre mode de réalisation, lors de l'étape II on :

- estime la pente et la constante de la droite à partir du filtre de Kalman lent

- remplace les points appartenant au pic de pression déterminé par le filtre de Kalman rapide lors de l'étape I, par les points prédits par le filtre de Kalman lent en utilisant la pente et la constante estimées précédemment.

Dans un mode de réalisation supplémentaire lors de l'étape III, on soustrait  
5 au signal issu du capteur la droite déterminée lors de l'étape II.

Selon l'invention, le gain de pente du filtre de Kalman rapide est supérieur au gain de pente du filtre de Kalman lent et le gain de constante du filtre de Kalman rapide est supérieur au gain de constante du filtre de Kalman lent.

De manière judicieuse, le gain de pente du filtre de Kalman rapide est inférieur  
10 au gain de constante du filtre de Kalman rapide et le gain de pente du filtre de Kalman lent est inférieur au gain de constante du filtre de Kalman lent.

L'invention concerne également tout dispositif de correction d'un signal, le signal pouvant être un signal de pression, mettant en œuvre le procédé présentant l'une quelconque des caractéristiques précédentes.

15 Ainsi, l'invention s'applique à tout capteur de signal de pression comportant le dispositif de correction d'un signal de pression selon l'invention.

Et l'invention concerne aussi tout calculateur électronique comportant le dispositif de correction d'un signal de pression selon l'invention.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture  
20 de la description qui va suivre à titre d'exemple non limitatif et à l'examen des dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1a est une représentation schématique d'une courbe de pression réelle dans un cylindre d'un moteur à combustion interne au cours du temps, lors d'une compression,
- 25 • la figure 1b est une représentation schématique d'une courbe de pression dans un cylindre d'un moteur à combustion interne au cours du temps, lors d'une compression, telle que délivrée par le capteur de pression,
- la figure 2a est une représentation schématique de l'application d'un filtre de Kalman à un signal, sans correction,
- 30 • la figure 2b est une représentation schématique de l'application d'un filtre de Kalman à un signal, avec correction,
- la figure 3a est une représentation schématique de l'application d'un filtre de Kalman rapide à un signal de pression, selon l'invention,
- la figure 3b est une représentation schématique de l'application d'un filtre de Kalman lent à un signal de pression, selon l'invention,
- 35 • la figure 4 est une représentation schématique de l'application d'un filtre de Kalman à la détection de pics de pression, selon l'invention,

- la figure 5 est une illustration schématique du traitement du signal de pression selon l'invention.

Une courbe donnant la variation de la pression réelle  $S_r$  régnant dans la chambre de combustion d'un cylindre en fonction du temps est représentée à la figure 1a.

5 Cette courbe est assimilable à une droite centrée sur zéro sur laquelle se superposent des pics de pression. Dans un but de simplification, un seul pic de pression est représenté sur la figure 1a.

La figure 1b représente le signal bruité  $S_b$  tel que mesuré et fourni par le capteur de pression.

10 Plus précisément :

- le signal de base  $S_a$  n'est plus centré sur zéro, c'est à dire que la valeur de pression moyenne mesurée est décalée d'une constante  $B$ ,
- le signal de base  $S_a$  n'est plus parallèle à l'axe des abscisses, c'est à dire horizontal mais présente une pente qui augmente du type :  $y = A \times x$ ,
- 15 • la pente  $A$  et la constante  $B$  ne sont pas fixes dans le temps et peuvent alors varier d'un cycle à l'autre.

Ainsi le signal de base  $S_a$  peut être assimilé à une droite dont l'équation est du type  $y = A \times x + B$ , sur laquelle viennent se superposer périodiquement des pics de pression.

20 La correction du signal mesuré  $S_b$  est donc nécessaire afin d'obtenir le signal représentatif de la pression réelle  $S_r$  régnant dans le cylindre. Pour cela, le traitement du signal soustrait à chaque point du signal mesuré et fourni par le capteur  $S_b$ , la droite  $y = A \times x + B$  représentant la dérive du signal, c'est à dire  $S_a$ , afin de retrouver le signal non-bruité, et sans dérive  $S_r$ .

25 Les figures 2a et 2b illustrent l'application d'un filtre de Kalman à un signal du type  $y = A \times x + B$ , ou  $x$  représente l'instant de mesure  $t$ , afin de déterminer la pente  $A$  et la constante  $B$ . En appliquant cette équation pour chaque instant de mesure  $n$  et en faisant l'hypothèse que la pente  $A$  reste constante et qu'elle est la même entre les points  $n-1$  et  $n$ , on obtient le modèle de référence suivant (figure 2a) :

30 
$$A(n) = A(n-1)$$

La constante  $B$  au point  $n$  peut être alors calculée à partir de la pente et de la constante au point  $n-1$ , en considérant l'intervalle de temps  $dt$  séparant les points  $n-1$  et  $n$  :

$$B(n) = B(n-1) + A(n-1) \times dt$$

35 La prédiction du signal au point  $n+1$  équivaut à:

$$y\_pred(n+1) = B(n) + A(n) \times dt \quad (1)$$

$y\_pred(n+1)$  représente donc la prédiction du signal au point  $n+1$  en fonction des paramètres  $B$  et  $A$  déterminés au point  $n$ .

Le filtre de Kalman a pour but de comparer au point  $n$ , cette prédiction, avec la valeur réelle mesurée  $y\_meas(n)$  du signal bruité  $S_b$  fourni par le capteur, puis de corriger la pente,  $A(n)$  et la constante au point  $n$ ,  $B(n)$ , afin que la valeur du signal prédit se rapproche de la valeur du signal  $S_b$  mesuré par le capteur.

Ainsi, l'erreur de prédiction  $eps$  au point  $n$  équivaut donc à :

$$eps(n) = y\_meas(n) - y\_pred(n) \quad (2)$$

Si cette erreur est non nulle, la pente  $A(n)$  au point  $n$  n'est pas égale à la pente  $A(n-1)$  au point  $n-1$ , (voir Figure 2b) et elle doit être corrigée en fonction de l'erreur de prédiction de la pente  $eps(n)$  au point  $n$ .

Cette correction est réalisée à l'aide d'un gain  $K_a$  qui représente l'atténuation de la correction souhaitée par rapport à l'erreur mesurée.

$$A(n) = A(n-1) + K_a \times eps(n) \quad (3)$$

De même, une correction, équivalente à une portion de l'erreur de prédiction mesurée, est appliquée à la constante  $B$  avec un gain  $K_b$ , ce qui donne :

$$B(n) = B(n-1) + A(n-1) \times dt + K_b \times eps(n) \quad (4)$$

Les valeurs des gains  $K_a$  et  $K_b$  sont comprises entre 0 et 1. Dans l'application du filtre de Kalman, le réglage des gains  $K_a$  and  $K_b$  permet d'obtenir une correction de la valeur prédite plus ou moins dynamique par rapport à la valeur mesurée par le capteur. Ainsi plus  $K_a$  et  $K_b$  sont élevés, c'est à dire proches de 1, plus la correction est dynamique et se rapproche de la valeur mesurée. Au contraire, plus  $K_a$  et  $K_b$  sont faibles, c'est à dire proches de 0, plus la correction est lente et reste éloignée de la valeur mesurée.

Les paramètres  $A$  et  $B$  ainsi corrigés sont utilisés dans la formule de prédiction (1) du prochain point appliquée à  $n+1$  (figure 2b).

L'invention propose d'utiliser cette méthode au signal de pression afin d'en déterminer, de manière fiable les pics de pression, la pente  $A$  et la constante  $B$  :

- lors d'une première étape I : un premier couple de gains élevés  $K_{aR}$ ,  $K_{bR}$  est utilisé pour l'application d'un filtre dit "rapide", afin d'obtenir une estimation  $y\_pred_R(n+1)$  proche du signal mesuré  $y\_meas(n)$ . Par conséquent l'augmentation de la pente, par rapport au signal de base  $S_a$ , due à un pic est détectée rapidement par l'intermédiaire du changement rapide des valeurs de la pente  $A_R$  et de la constante  $B_R$  (figure 3a).
- lors de la deuxième étape II, un deuxième couple de gains plus faibles que ceux utilisés pour le filtre « rapide »,  $K_{aL}$ ,  $K_{bL}$ , est utilisé pour l'application d'un filtre dit

"lent", afin d'obtenir une estimation  $y\_pred_L(n+1)$  plus proche du signal de base à extraire. Dans ce cas, une augmentation de pente rapide, illustrée par le point  $y\_meas(n)$  n'est pas prise en compte pour la prédiction du signal. Les valeurs de la pente  $A_L$  et de la constante  $B_L$ , ainsi déterminées, sont les valeurs correctes de la pente et de la constante du signal  $y = A \times t + B$  du signal de base Sa et elles ne sont pas faussées par la présence des pics de pressions (figure 3b).

- finalement, lors de la dernière étape III, une fois les pics de pression déterminés lors de l'étape I, ainsi que les valeurs de la pente A et de la constante B, déterminés lors de l'étape II, la droite  $y = A_L \times t + B_L$  est soustraite au signal mesuré par le capteur de pression, afin d'obtenir le signal réel de la pression régnant dans la chambre de combustion.

Bien sûr, les étapes I et II se déroulent simultanément et la correction effectuée à l'étape III est alors immédiate.

Les valeurs des gains  $Ka_R$ ,  $Kb_R$ ,  $Ka_L$  et  $Kb_L$  sont compris entre 0 et 1 et préférentiellement les gains de pente sont inférieurs aux gains de constante respectifs.

En appliquant les équations (1), (2), (3), (4) pour chacun des filtres, on obtient donc les équations suivantes, pour le filtre rapide :

$$\begin{aligned} eps_R(n) &= y(n) - y\_pred_R(n) \\ A_R(n) &= A_R(n-1) + Ka_R \times eps_R(n) \\ B_R(n) &= B_R(n-1) + A_R(n-1) \times dt + Kb_R \times eps_R(n) \\ y\_pred_R(n+1) &= B_R(n) + A_R(n) \times dt \end{aligned}$$

Et pour le filtre lent :

$$\begin{aligned} eps_L(n) &= y(n) - y\_pred_L(n) \\ A_L(n) &= A_L(n-1) + Ka_L \times eps_L(n) \\ B_L(n) &= B_L(n-1) + A_L(n-1) \times dt + Kb_L \times eps_L(n) \\ y\_pred_L(n+1) &= B_L(n) + A_L(n) \times dt \end{aligned}$$

Il est à noter que les paramètres  $A(n)$ ,  $B(n)$ ,  $eps(n)$  et  $y\_pred(n)$  sont spécifiques à chacun des filtres, puisque ces derniers n'apportent pas le même niveau de correction. Comme illustrés aux figures 3a et 3b, les points corrigés obtenus par l'intermédiaire de ces deux filtres,  $y\_pred_R(n+1)$  et  $y\_pred_L(n+1)$  sont différents.

Selon l'invention et illustré aux graphes annotés 4a et 4b de la figure 4, le filtre de Kalman rapide est utilisé pour la détection des pics de pression. L'erreur de prédiction  $eps_R(n)$  déterminée précédemment par le filtre de Kalman rapide fournit une indication sur le niveau de stabilité du gradient du signal et par conséquent sur tout changement rapide de pente.

Un pic de pression du signal bruité  $S_b$  est représenté par une montée en pression, une stabilisation, puis une descente. Par conséquent, pour un pic de pression, l'erreur de prédiction  $eps_R$  est un signal comportant deux pics, un positif représentant la montée du pic de pression, et un pic négatif représentant la descente. (cf. figure 4a).

5           Cependant la présence d'un bruit de fond dans, avant ou après le pic de pression engendre aussi un pic (positif ou négatif) du signal de l'erreur de prédiction  $eps_R$ . Par conséquent ce signal est une succession de pics positifs et négatifs. La détermination de la durée du pic de pression dans sa totalité par l'intermédiaire de ce signal d'erreur de prédiction est donc impossible.

10           Lors de l'étape I, l'invention propose les étapes additionnelles suivantes pour détecter néanmoins le pic de pression dans sa totalité :

- Le carré de l'erreur de prédiction  $eps_R$  est utilisé, ce signal  $eps_R^2$  comporte par conséquent deux pics positifs pour représenter un pic de pression (cf. figure 4a). La détermination de la durée du pic de pression dans sa totalité n'est

15           malheureusement pas possible avec ce signal. En effet, ce signal passe tout de même par zéro, rendant impossible l'utilisation de critères d'amplitudes du signal afin de déterminer la durée du pic de pression.

- afin d'obtenir un signal ne passant pas par zéro, le carré de l'erreur de prédiction  $eps_R^2$ , ou écart type, est filtré  $eps\_sigma\_filt$  :

20           Pour cela un coefficient  $Kys$  de filtrage est appliqué. Par exemple  $Kys = 0.5$ .

$$eps\_sigma\_filt(n) = (1 - Kys) \times eps\_sigma\_filt(n-1) + Kys \times eps_R(n)^2 \quad (5)$$

25           Ce qui a pour conséquence de freiner la montée du premier pic de  $eps_R^2$ , de rejoindre le 2<sup>ème</sup> pic de  $eps_R^2$  sans passer par zéro, puis de freiner la descente du 2<sup>ème</sup> pic de  $eps_R^2$  (figure 4b). Par conséquent le signal  $eps\_sigma\_filt$  obtenu, est un signal positif ne passant pas par zéro.

Puis, afin de s'assurer que le début de pic est détecté rapidement, ce filtre n'est appliqué qu'une fois le pic passé, ce qui revient à réaliser un signal constitué :

- du carré de l'erreur de prédiction  $eps_R^2$  pour la montée du pic,
- puis du signal filtré du carré de l'erreur de prédiction  $eps\_sigma\_filt$  pour la

30           descente du pic.

Pour réaliser ce signal on prend le maximum de ces deux valeurs sur la durée du pic.

On obtient donc un signal filtré maximisé  $eps\_sigma$  équivalent à :

$$eps\_sigma(n) = MAX [eps\_sigma\_filt(n) , eps_R(n)^2] \quad (6)$$

L'écart type filtré maximisé  $eps\_sigma$  est, sur la durée du pic de pression, un signal positif ne repassant pas par zéro (figure 4b), sur lequel on peut appliquer des critères relatifs d'amplitudes afin de déterminer le début et la fin du pic de pression.

Ainsi, pour détecter le début d'un pic de pression, l'une au moins des deux conditions suivantes est appliquée :

- si l'on constate que le signal mesuré est plus grand que le signal prédit auquel on ajoute une constante:  $y\_meas(n) > y\_pred_R(n) + delta1\_up$ , c'est à dire si l'erreur de prédiction définie par l'équation (2) est supérieure à un seuil de début de pic  $eps_R(n) > delta1\_up$ ,
- 10 • et si l'écart type filtré maximisé  $eps\_sigma$ , défini par l'équation (6) est supérieur à un seuil d'écart type de début de pic  $eps\_sigma\_S1$ ,  $eps\_sigma(n) > eps\_sigma\_S1$ ,

alors le début du pic de pression est détecté, sinon le pic de pression n'a pas débuté.

Le seuil d'écart type de début de pic  $eps\_sigma\_S1$  est choisi de telle manière à ce qu'il ait pour valeur la dernière valeur minimum de  $eps\_sigma$ , c'est à dire la valeur de  $eps\_sigma$  au début du pic de pression  $eps\_sigma\_min$  (cf Figure 4b), multipliée par un coefficient de début de pic  $delta2\_up$ .

C'est à dire  $eps\_sigma\_S1 = eps\_sigma\_min \times delta2\_up$

Avec  $eps\_sigma\_min(n) = MIN [eps\_sigma(n) , eps\_sigma\_min(n-1)]$

De même, pour la détection de fin de pic, au moins une des deux conditions suivantes est appliquée :

- si le signal mesuré est plus petit que le signal prédit auquel on ajoute une constante :  $y\_meas(n) < y\_pred_R(n) + delta1\_down$ ,
- ce qui équivaut à  $eps_R(n) < delta1\_down$ , c'est à dire si l'erreur de prédiction, définie par l'équation (2), est en dessous d'un seuil de fin de pic  $delta1\_down$ ,
- 25 • et si l'écart type filtré maximisé  $eps\_sigma$  ; défini par l'équation (6) est inférieur à un seuil d'écart type de fin de pic  $eps\_sigma\_S2$ ,  $eps\_sigma(n) < eps\_sigma\_S2$ ,

alors la fin du pic de pression est détectée, sinon le pic de pression n'est pas terminé.

Le seuil d'écart type de fin de pic  $eps\_sigma\_S2$  est choisi de telle manière qu'il a pour valeur la dernière valeur maximum de  $eps\_sigma$ , c'est à dire la valeur de  $eps\_sigma$  en haut du pic de pression  $eps\_sigma\_max$  (cf figure 4b), multipliée par un coefficient de fin de pic  $delta2\_down$ .

C'est à dire  $eps\_sigma\_S2 = eps\_sigma\_max \times delta2\_down$

35 Avec  $eps\_sigma\_max(n) = MAX [eps\_sigma(n) , eps\_sigma\_max(n-1)]$

Pour tout point  $n$ , il est donc possible de déterminer s'il appartient à un pic de pression ou pas.

De manière générale, la valeur du coefficient de début de pic  $\delta_{2\_up}$  est comprise entre 0 et 10, la valeur du coefficient de fin de pic  $\delta_{2\_down}$  est comprise entre 0 et 1, et les valeurs du seuil de début de pic  $\delta_{1\_up}$  et de fin de pic  $\delta_{1\_down}$  sont comprises entre 0 et 5 volts.

Par conséquent, pour chaque point  $n$ , si un pic est détecté à ce point, alors la valeur de ce point  $y_{pred_R}(n)$  ne peut pas être sélectionnée pour l'estimation de la pente  $A$  et de la constante  $B$ , en revanche si un pic n'est pas détecté à ce point, alors la valeur de ce point peut être sélectionnée pour l'estimation correcte de la pente  $A$  et de la constante  $B$ .

Lors de l'étape II, la détermination de la pente  $A$  et de la constante  $B$  selon l'invention, est réalisée par l'intermédiaire du filtre de Kalman lent. En effet :

- la pente et la constante moyenne sont estimées par l'intermédiaire du filtre de Kalman avec des gains faibles  $K_{a_L}$  et  $K_{b_L}$ , afin d'obtenir une correction lente, moins influencée par les changements du signal, c'est à dire relativement indépendante des pics de pression, et donc représentative du signal de base  $y = A \times t + B$ ,
- les points  $n$  sont ensuite prédits en utilisant la pente  $A_L$ , et la constante  $B_L$  calculés précédemment au point  $n-1$ ,

$$\begin{aligned} eps_L(n) &= y(n) - y_{pred_L}(n) \\ A_L(n) &= A_L(n-1) + K_{a_L} \times eps_L(n) \\ B_L(n) &= B_L(n-1) + A_L(n-1) \times dt + K_{b_L} \times eps_L(n) \\ y_{pred_L}(n+1) &= B_L(n) + A_L(n) \times dt \end{aligned}$$

- dans le cas où un pic a été détecté précédemment à un point  $n$  par l'intermédiaire du filtre de Kalman rapide, la valeur de ce point  $y_{pred_R}(n)$  est remplacée par la valeur du point prédite par le filtre de Kalman lent  $y_{pred_L}(n)$ . Le pic de pression est ainsi remplacé par un signal de pente constante, c'est à dire par une droite. Cette prédiction est nécessaire afin que la détermination de la pente  $A_L$  et de la constante  $B_L$ , ne soit pas faussée par la présence du pic de pression.

Dans le but d'améliorer la précision des valeurs de la pente  $A_L$  et de la constante  $B_L$ , cette étape II peut comporter des variantes. En effet, lorsque le début d'un pic est détecté, la valeur de  $y_{pred_R}(n)$  peut être remplacée par la valeur prédite par le filtre de Kalman lent au point  $n-2$ , c'est à dire  $y_{pred_L}(n-2)$ . Ceci afin que l'augmentation faible de début de pic ne surestime pas la valeur de  $A_L$  et de  $B_L$ .

De même, afin d'éviter de sous-estimer les valeurs de  $A_L$  et  $B_L$  à la fin du pic, la valeur de  $y_{pred_R}(n)$  est remplacée par la valeur prédite par le filtre de Kalman lent au point  $n-1$ , c'est à dire  $y_{pred_L}(n-1)$ .

Lors de la dernière étape III, la droite,  $y_{pred_L}(n+1) = A_L(n) \times t + B_L(n)$   
 5 représentant le signal de base  $S_a$ , ainsi déterminée est soustraite au signal fournit par le capteur afin de reconstruire la véritable courbe de pression régnant dans la chambre de combustion, c'est à dire comportant un signal de base rectiligne, recentré sur zéro.

Les différentes étapes du traitement du signal selon l'invention sont illustrées à la figure 5, comportant 5 graphes annotés 5a, 5b, 5c, 5d et 5e.

10 La figure 5a représente le signal mesuré par le capteur, comportant deux pics de pression et une dérive du signal de base du type :  $y = A \times t + B$ .

Les figures 5b et 5c illustrent le traitement du signal lors de l'étape I :

- la figure 5b représente l'erreur de prédiction  $eps_R$  du signal mesuré,
  - la figure 5c représente l'écart type de l'erreur de prédiction filtré maximisé  $eps\_sigma$ , ainsi que les valeurs  $eps\_sigma\_min$  et  $eps\_sigma\_max$ .
- 15

L'étape II est illustrée à la figure 5d. Le signal de base  $y_{pred_L}$  obtenu par le filtre de Kalman lent, est représenté, dans lequel les pics de pression obtenus par le filtre de Kalman rapide sont remplacés par des droites.

La figure 5e représente la zone de détection D des deux pics, ainsi que le  
 20 signal de base  $y_{pred_L}$  ainsi déterminés par la réalisation de l'étape III.

L'invention permet donc de déterminer la pente A, la constante B et les pics de pression de manière fiable sans nécessiter de taille mémoire importante puisque la méthode est récursive d'ordre 1 et prédictive, d'un point n à un point n+1 et ne nécessite pas la gestion et la mémorisation sur une longue fenêtre de plusieurs points pour  
 25 appliquer les formules classiques des moindres carrés. Ce procédé peut par conséquent être intégré dans un capteur de pression cylindre ou dans un calculateur moteur.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation décrit et représenté qui n'a été donné qu'à titre d'exemple et peut, par exemple être appliquée à tout signal de mesure comportant des pics.

### REVENDEICATIONS

1. Procédé de correction de la dérive du signal ( $S_b$ ) d'un capteur de pression mesurant la pression dans un cylindre d'un moteur à combustion interne, le signal étant assimilable à une succession de points formant un signal de base ( $S_a$ ) représenté par une droite d'équation  $y = A \times x + B$ , de pente  $A$  et de constante  $B$  sur lequel se superposent des pics de pression, le dit procédé de correction étant caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :
- I : utilisation d'un filtre de Kalman rapide, c'est à dire comportant des gains de pente ( $K_{aR}$ ) et de constante ( $K_{bR}$ ) de valeurs élevées, pour la détection des points appartenant aux pics de pression,
  - II : utilisation d'un filtre de Kalman lent, c'est à dire comportant des gains de pente ( $K_{aL}$ ) et de constante ( $K_{bL}$ ) de valeurs faibles, pour la détermination de la pente ( $A$ ) et de la constante ( $B$ ) de la droite représentant le signal de base,
  - III : correction, pour chaque point, de la dérive du signal en fonction de leur appartenance ou non aux pics de pression détectés déterminée lors de l'étape I et des valeurs de la pente ( $A$ ) et de la constante ( $B$ ) déterminées lors de l'étape II afin de déterminer le signal réel ( $S_r$ ) de la pression régnant dans le cylindre.
2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que lors de l'étape I on :
- estime l'erreur de prédiction ( $\epsilon_{sR}$ ) sur un point du signal à l'aide du filtre de Kalman rapide utilisé,
  - filtre et maximise l'écart type de cette erreur de prédiction ( $\epsilon_{s\sigma}$ ) pour estimer la stabilité de ce point par rapport aux points précédents.
  - détermine le début et/ou la fin d'un pic de pression en ce point.
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que, au cours de l'étape I, on détermine le début du pic de pression en un point selon l'un au moins des deux critères suivants :
- l'erreur de prédiction ( $\epsilon_{sR}$ ) sur ce point est au-dessus d'un seuil de début de pic ( $\delta_{1-up}$ ),
  - l'écart type filtré et maximisé de l'erreur de prédiction ( $\epsilon_{s\sigma}$ ) sur ce point est au-dessus d'un seuil d'écart type de début de pic ( $\epsilon_{s\sigma\_S1}$ ).
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le seuil d'écart type de début de pic ( $\epsilon_{s\sigma\_S1}$ ) équivaut à la dernière valeur minimum de l'écart type filtré et maximisé ( $\epsilon_{s\sigma\_min}$ ), multipliée par un coefficient de début de pic ( $\delta_{2-up}$ ).
5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que la valeur du coefficient de début de pic ( $\delta_{2-up}$ ) est comprise entre 0 et 10.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que au cours de l'étape I on détermine la fin du pic en un point selon l'un au moins des deux critères suivants :
- l'erreur de prédiction ( $\text{eps}_R$ ) sur ce point est en-dessous d'un seuil de fin de pic ( $\text{delta1\_down}$ ),
  - l'écart type filtré et maximisé de l'erreur ( $\text{eps\_sigma}$ ) sur ce point est en-dessous d'un seuil d'écart type de fin de pic ( $\text{eps\_sigma\_S2}$ ).
7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le seuil d'écart type de fin de pic ( $\text{eps\_sigma\_S2}$ ) équivaut à la dernière valeur maximum de l'écart type filtré et maximisé ( $\text{eps\_sigma\_max}$ ), multipliée par un coefficient de fin de pic ( $\text{delta2\_down}$ ).
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que lors de l'étape II on :
- estime la pente (A) et la constante (B) de la droite à partir du filtre de Kalman lent,
  - remplace les points appartenant au pic de pression déterminé par le filtre de Kalman rapide lors de l'étape I, par les points prédits par le filtre de Kalman lent en utilisant la pente ( $A_L$ ) et la constante ( $B_L$ ) estimés précédemment.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que lors de l'étape III, on soustrait au signal issu du capteur la droite prédite  $y = A_L \times t + B_L$ , déterminée lors de l'étape II.
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que le gain de pente du filtre de Kalman rapide ( $Ka_R$ ) est supérieur au gain de pente du filtre de Kalman lent ( $Ka_L$ ).
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le gain de constante du filtre de Kalman rapide ( $Kb_R$ ) est supérieur au gain de constante du filtre de Kalman lent ( $Kb_L$ ).
12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le gain de pente du filtre de Kalman rapide ( $Ka_R$ ) est inférieur au gain de constante du filtre de Kalman rapide ( $Kb_R$ ).
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le gain de pente du filtre de Kalman lent ( $Ka_L$ ) est inférieur au gain de constante du filtre de Kalman lent ( $Kb_L$ ).
14. Dispositif de correction d'un signal mettant en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.
15. Dispositif selon la revendication 14 caractérisé en ce que le signal est un signal de pression d'un cylindre d'un moteur à combustion interne.
16. Capteur de signal de pression comportant le dispositif de correction d'un signal de pression selon la revendication 14.

17.           Calculateur électronique comportant le dispositif de correction d'un signal de pression selon la revendication 14.

1/6

Fig 1a

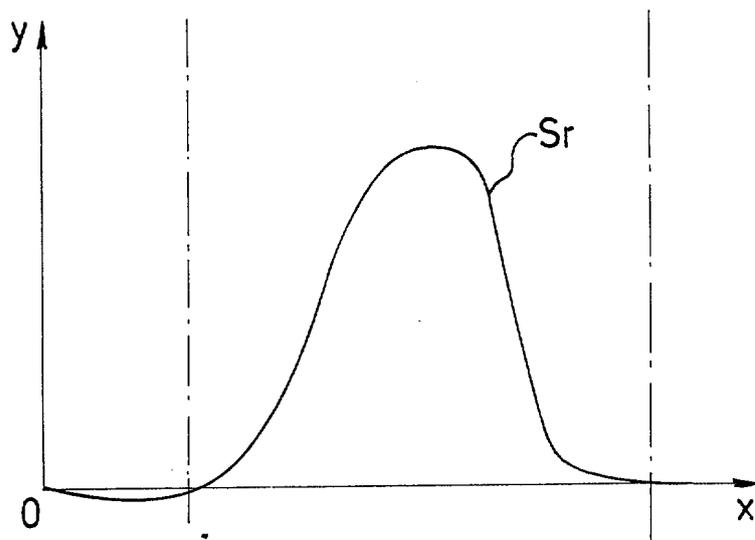
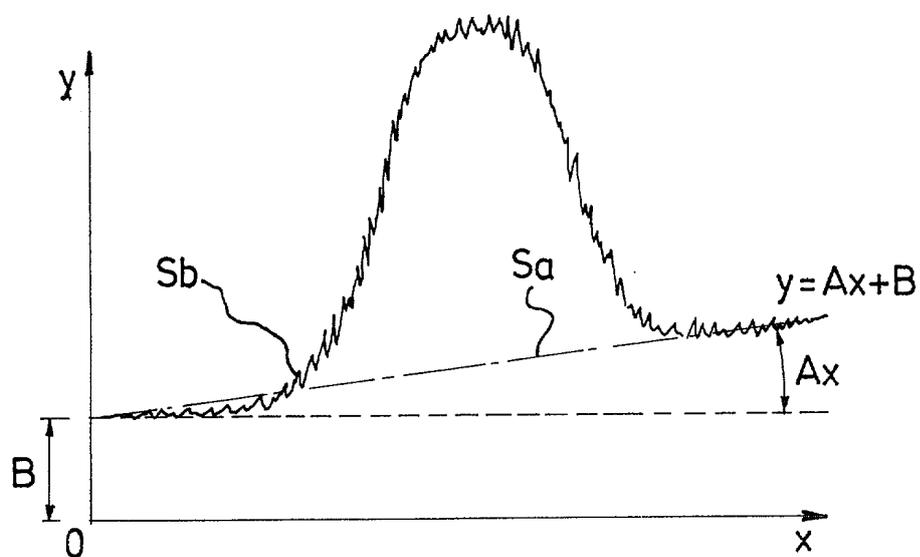


Fig 1b



2/6

Fig 2a

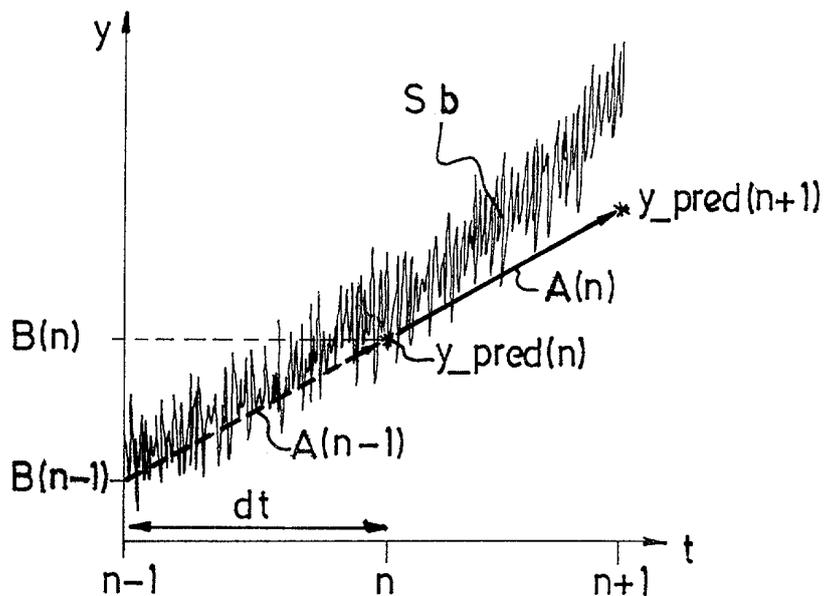
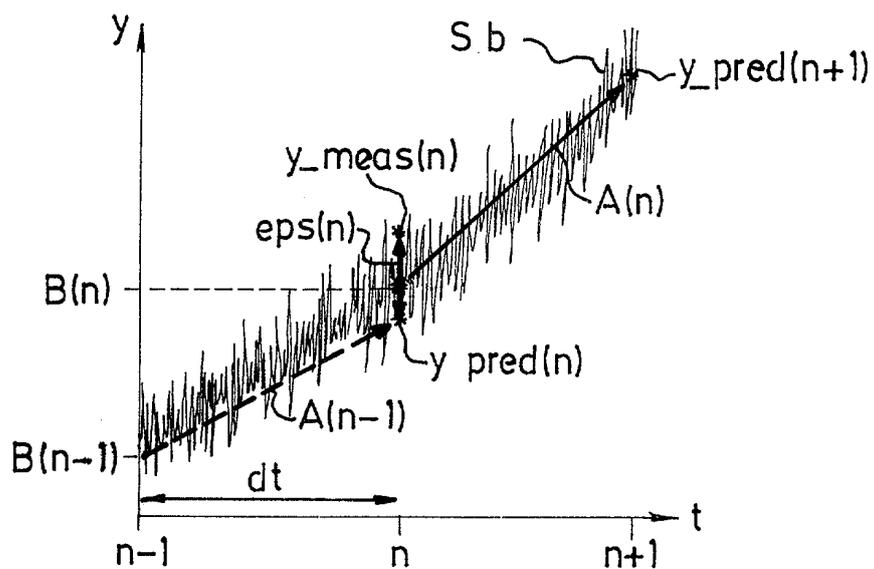
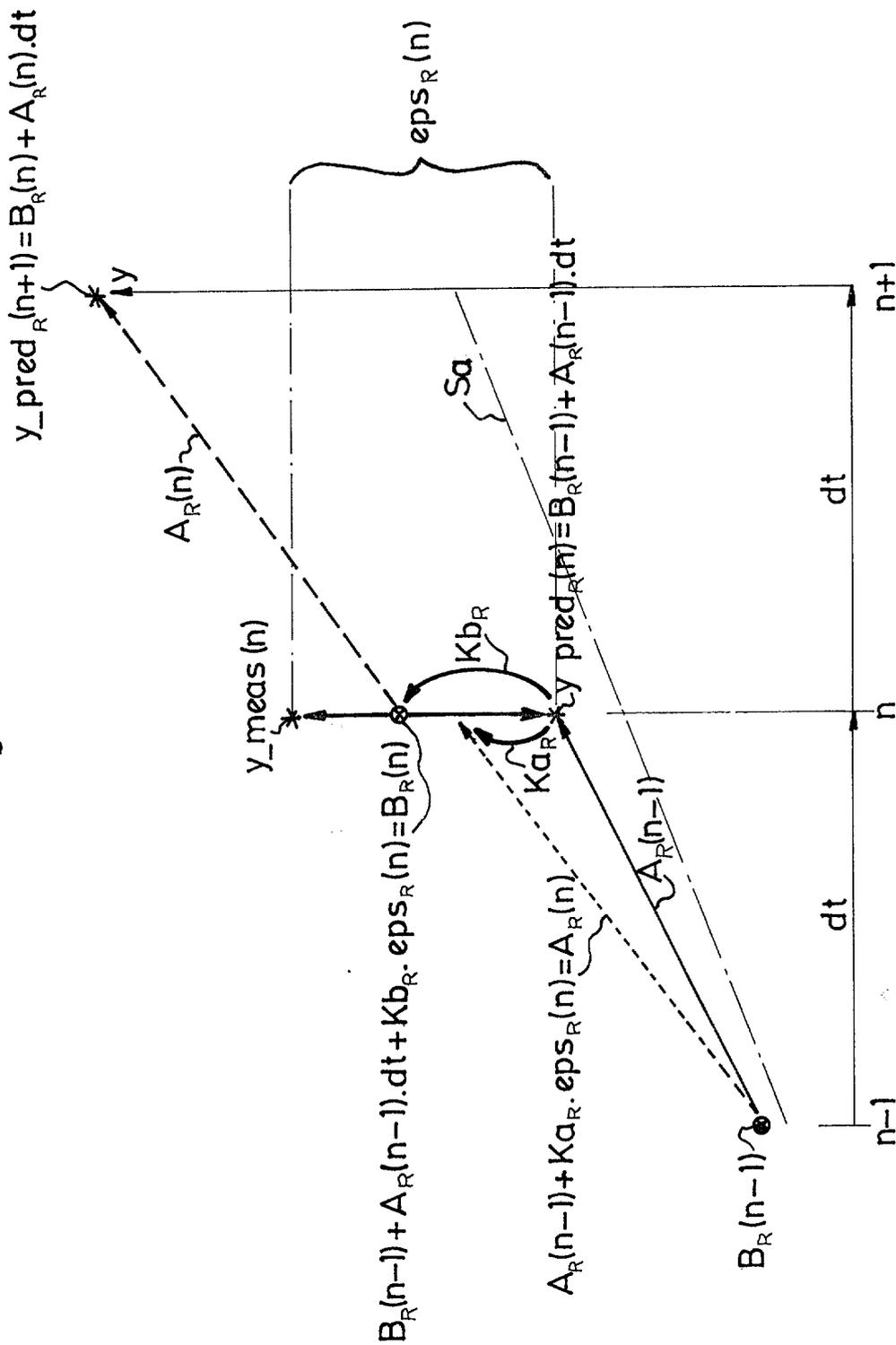


Fig 2b



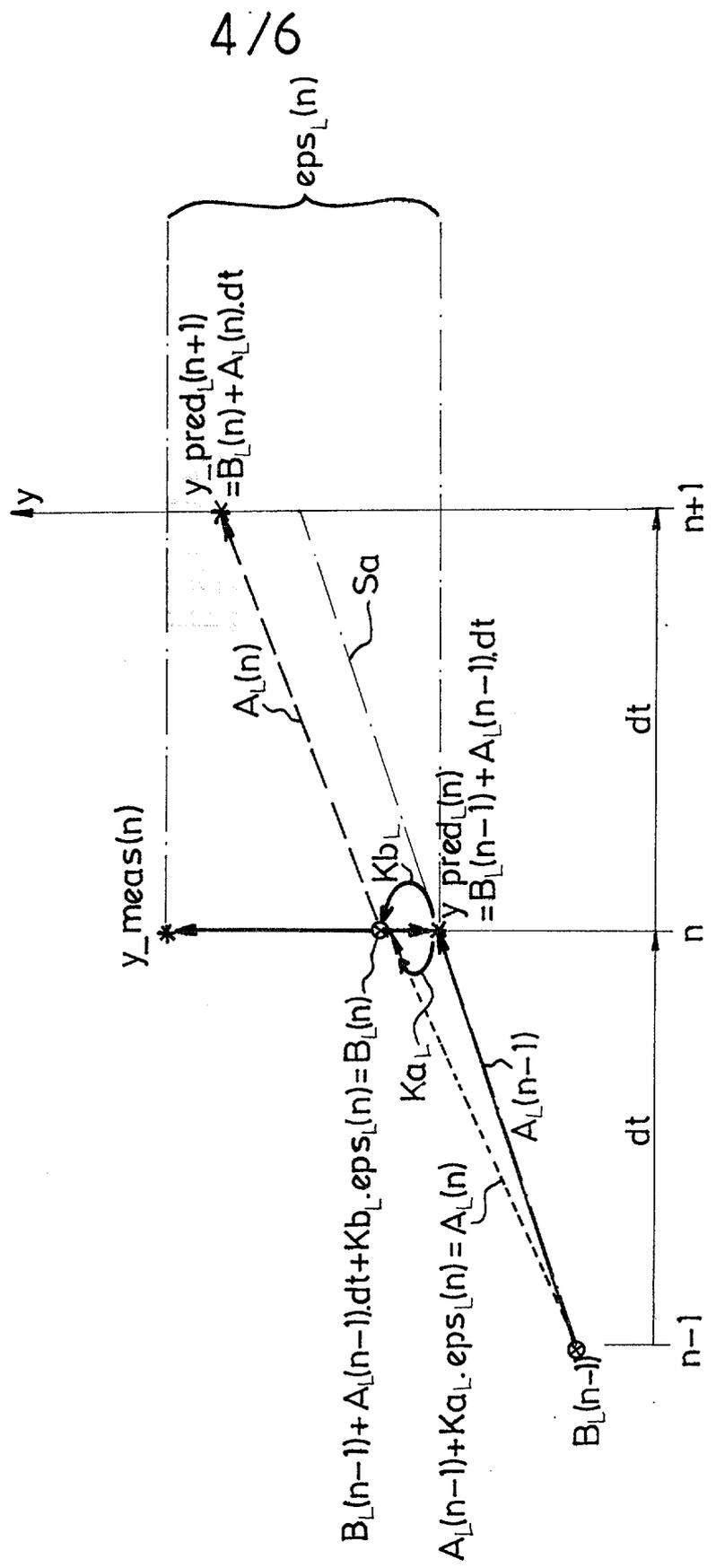
3/6

Fig 3a



4/6

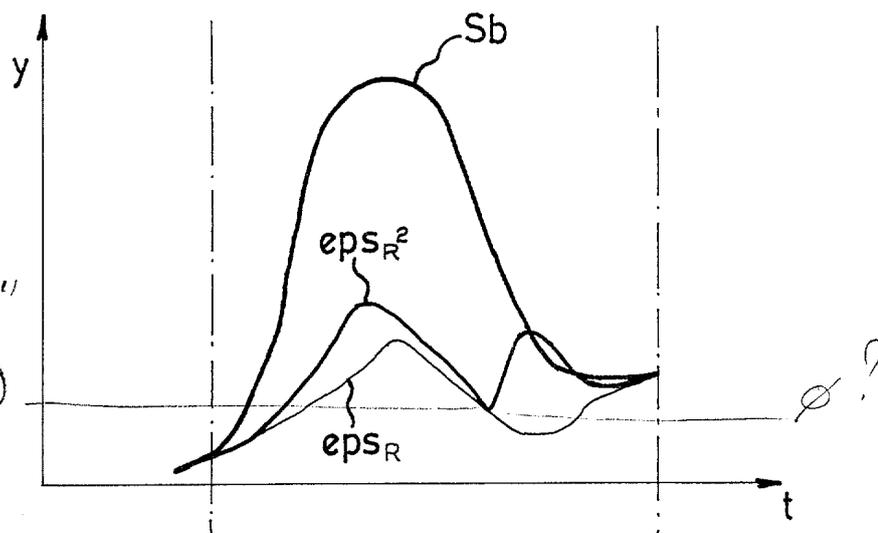
Fig 3b



5/6

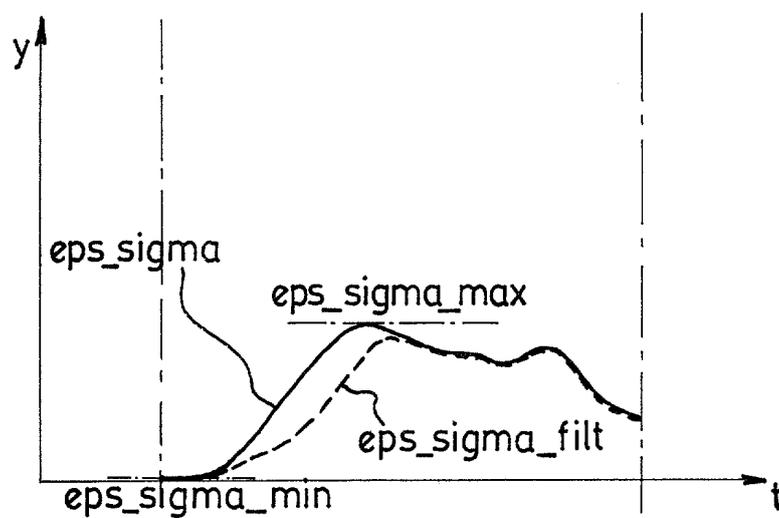
Fig 4

4a



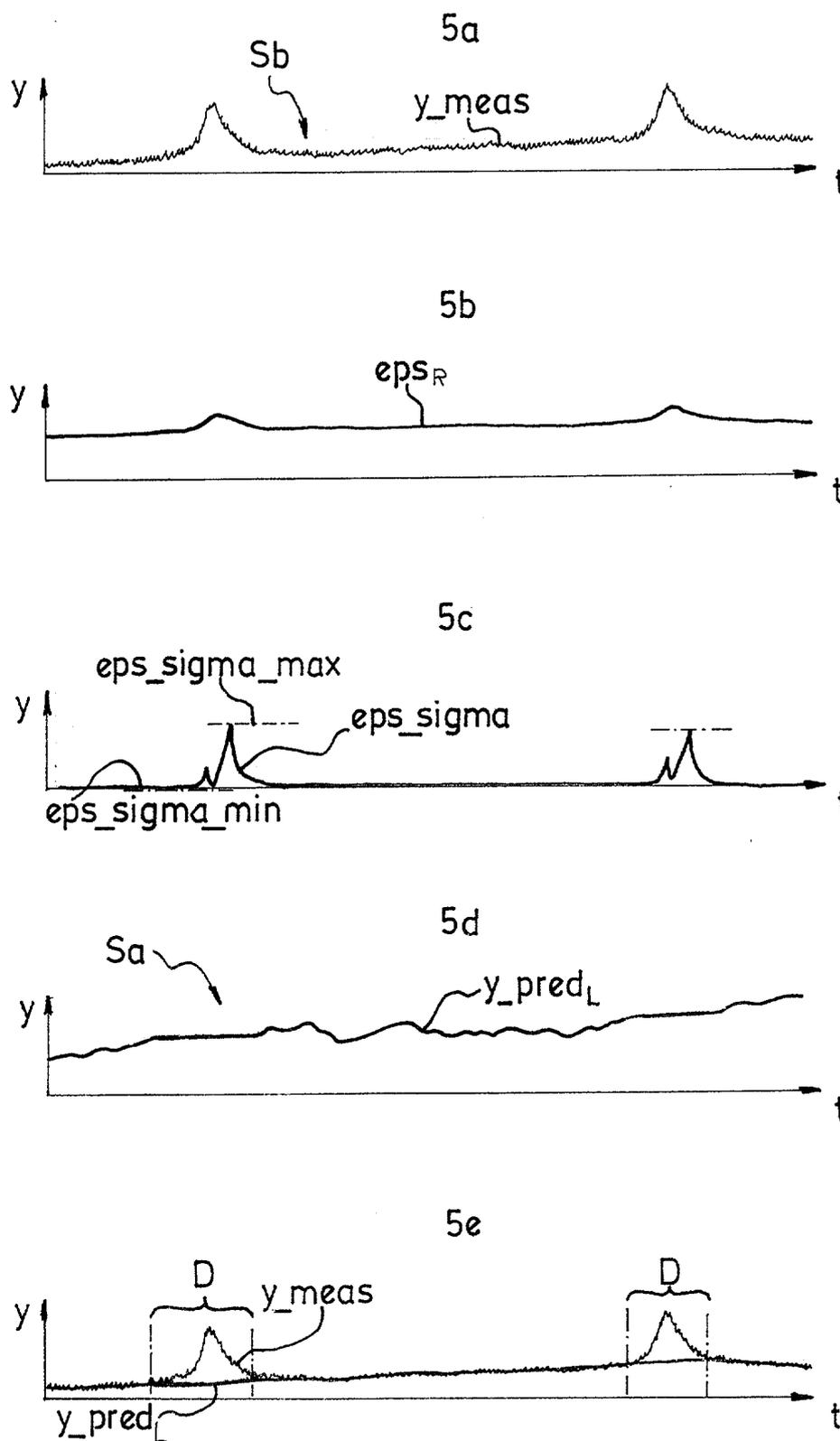
manquerait-il  
la valeur "zéro"  
en ordonnées?  
(cf. figures initiales)

4b



6/6

Fig 5





**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 716220  
FR 0806463

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	DE 10 2007 045222 A1 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]) 6 mars 2008 (2008-03-06) * alinéa [0013] - alinéa [0035]; figure 1 *	1,8-17	G01L23/00 G01L23/26
X	DE 199 00 738 C1 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]) 15 juin 2000 (2000-06-15) * colonne 4, ligne 15 - colonne 7, ligne 27; figures 1-5 *	1,8-17	
A	EP 1 674 845 A (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 28 juin 2006 (2006-06-28) * le document en entier *	1-17	
A	CHEN T L ET AL: "A novel fault-tolerant sensor system for sensor drift compensation" SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, vol. 147, no. 2, 3 octobre 2008 (2008-10-03), pages 623-632, XP023980726 ISSN: 0924-4247 [extrait le 2008-06-03] * le document en entier *	1-17	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01M G01L
A	DATABASE INSPEC [Online] THE INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS, STEVENAGE, GB; Inspec No. Date of the conference: 8 avril 2008 (2008-04-08), MOSALLAE M ET AL: "Comparison of sensor faults detection using independent component analysis and data fusion based on extended Kalman filter" XP002534775 Database accession no. 9939858 * le document en entier *	1-17	
-/--			
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
1 juillet 2009		Gruss, Christian	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		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	
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			

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14) 3



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

FA 716220  
FR 0806463

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		
	& 2008 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON NETWORKING, SENSING AND CONTROL (ICNSC '08) 6-8 APRIL 2008 SANYA, CHINA, 8 avril 2008 (2008-04-08), pages 1053-1058, 2008 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC '08) IEEE Piscataway, NJ, USA ISBN: 978-1-4244-1685-1 -----		
A	FR 2 878 030 A (RENAULT SAS [FR]) 19 mai 2006 (2006-05-19) * le document en entier *	1-17	
A	FR 2 872 282 A (RENAULT SAS [FR]) 30 décembre 2005 (2005-12-30) * le document en entier *	1-17	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		1 juillet 2009	Gruss, Christian
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		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.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		.....	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14) 3

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0806463 FA 716220**

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 **01-07-2009**

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
DE 102007045222 A1	06-03-2008	AUCUN	
-----			
DE 19900738 C1	15-06-2000	AUCUN	
-----			
EP 1674845 A	28-06-2006	CN 1796756 A	05-07-2006
		JP 2006183532 A	13-07-2006
		US 2006142930 A1	29-06-2006
-----			
FR 2878030 A	19-05-2006	EP 1815223 A1	08-08-2007
		WO 2006054029 A1	26-05-2006
		JP 2008520893 T	19-06-2008
		KR 20070068477 A	29-06-2007
		US 2009153337 A1	18-06-2009
-----			
FR 2872282 A	30-12-2005	AUCUN	
-----			