

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
**INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
—  
COURBEVOIE  
—

①1 N° de publication :

**3 064 056**

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

②1 N° d'enregistrement national :

**17 52268**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **G 01 D 3/00** (2017.01), G 01 C 19/00, G 01 C 21/00,  
G 01 C 25/00, G 01 D 18/00, G 01 D 21/00

⑫

**BREVET D'INVENTION**

**B1**

⑤4 PROCÉDE D'ESTIMATION DU BIAIS D'UN CAPTEUR.

②2 Date de dépôt : 20.03.17.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 21.09.18 Bulletin 18/38.

④5 Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 23.07.21 Bulletin 21/29.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE  
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES  
Etablissement public — FR.

⑦2 Inventeur(s) : VILLIEN CHRISTOPHE.

⑦3 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE  
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES  
Etablissement public.

⑦4 Mandataire(s) : INNOVATION COMPETENCE  
GROUP.

**FR 3 064 056 - B1**



## Procédé d'estimation du biais d'un capteur

### Description

#### DOMAINE TECHNIQUE

Le domaine technique de l'invention concerne les capteurs de mouvements, de type gyromètres  
5 ou accéléromètres. L'objectif de l'invention est de traiter les signaux générés par ces capteurs  
en prenant en compte un biais, cela pour obtenir des mesures plus précises.

#### ART ANTERIEUR

Les capteurs de mouvement se sont considérablement développés, notamment en raison de  
leur intégration dans des dispositifs nomades, et en particulier des dispositifs nomades  
10 connectés. Ces capteurs génèrent un signal, en différents instants de mesures, dépendant de  
leur mouvement auxdits instants de mesure. Parmi ces capteurs, citons par exemple les  
gyromètres, permettant d'obtenir une vitesse angulaire de rotation, selon un ou plusieurs angles  
de rotation, à partir de laquelle on peut estimer des angles de rotation du capteur.

Il est connu que les signaux générés par ce type de capteur peuvent être affectés d'un biais.. Il  
15 peut par exemple être causé par une imperfection du capteur, d'origine électrique ou  
mécanique. Dans le cas d'un gyromètre, le biais résulte par exemple d'une variation de  
température ou d'humidité de l'environnement dans lequel est placé le capteur, ou par une  
variation d'un courant d'alimentation du capteur. Ce biais peut varier avec le temps. C'est  
pourquoi il doit fréquemment être estimé de façon à obtenir des mesures suffisamment  
20 précises, ce qui permet de prendre en compte la variation temporelle du biais.

Des procédés ont été développés, visant à estimer le biais, de façon à pouvoir le prendre en  
compte. Une première solution repose sur une comparaison de l'information issue différents  
types de capteurs. Le document US2011/0178707 décrit par exemple une estimation d'un biais  
affectant les mesures d'un gyromètre en estimant une vitesse angulaire à partir d'un  
25 magnétomètre et d'un accéléromètre. La vitesse angulaire ainsi estimée est comparée à la  
vitesse angulaire fournie par le gyromètre. La comparaison permet une détermination du biais  
affectant les valeurs mesurées par le gyromètre. Un tel procédé suppose toutefois la présence  
de capteurs de différents types ainsi que des opérations de calcul complexes.

Une deuxième solution est basée sur la détermination d'instant propices à la détermination du  
30 biais. Par exemple, le document EP0496172 décrit une estimation du biais d'un gyromètre du

système de navigation d'un véhicule. Le biais du gyromètre est évalué lorsque le véhicule est à l'arrêt.

Cette approche est également suivie dans US20110172820, ce document décrivant un procédé d'estimation d'un gyromètre embarqué sur un robot. Le biais du gyromètre est mis à jour lorsque le robot est considéré comme immobile. L'immobilité du robot correspond à un instant auquel les variations des mesures fournies par le gyromètre sont inférieures à un seuil. Lorsqu'un tel seuil est franchi, le robot est considéré comme immobile. Le biais du gyromètre est alors estimé par un calcul d'une valeur moyenne des signaux délivrés par le gyromètre alors que le robot est considéré comme immobile. Il est précisé, dans ce document, que le seuil est déterminé de façon théorique ou expérimentale.

Une approche basée sur la détermination de plages d'immobilité du capteur est satisfaisante, car elle ne nécessite pas le recours à d'autres types de capteurs de mouvement. Cependant, la détection d'une plage d'immobilité est conditionnée par une prise en compte d'un seuil. Or, la détermination d'un tel seuil peut comporter plusieurs écueils : lorsque le seuil est trop élevé, le capteur est considéré comme immobile alors qu'il peut ne pas l'être totalement. Le biais est fréquemment mis à jour, mais peut être mal estimé, et en particulier surestimé si le capteur, considéré comme immobile, est toujours en mouvement. Lorsque le seuil est trop faible, le biais est correctement estimé, car cela correspond à des plages au cours desquelles le capteur est suffisamment immobile. Cependant, le biais peut ne pas être fréquemment mis à jour, et les mesures peuvent subir la variabilité du biais.

L'objectif de l'invention est de permettre une mise à jour précise du biais d'un capteur de mouvement aussi souvent que possible, sans nécessiter le recours à d'autres capteurs de mouvement.

### **EXPOSE DE L'INVENTION**

Un premier objet de l'invention est un procédé de traitement des signaux générés par un capteur, chaque signal étant associé à un instant de mesure, le procédé comportant les étapes suivantes :

- a) durant une phase d'initialisation, définition d'un seuil de dispersion initial et éventuellement d'un biais initial, ce dernier pouvant être nul ;
- b) acquisition d'un signal à un instant de mesure, à l'instant de mesure étant associés :
  - un biais, déterminé au cours d'une itération précédente ou au cours de l'initialisation ;

- un seuil de dispersion, déterminé au cours d'une itération précédente ou au cours de l'initialisation ;
- c) association d'une plage temporelle d'analyse à l'instant de mesure, et calcul d'un indicateur de dispersion, représentant une dispersion des signaux acquis pendant la plage temporelle d'analyse;
- d) comparaison de l'indicateur de dispersion avec le seuil de dispersion associé à l'instant de mesure;
- e) en fonction de la comparaison effectuée lors de l'étape d), maintien du biais à une valeur inchangée ou mise à jour du biais;
- f) soustraction du biais résultant de l'étape e) au signal acquis lors de l'étape b) ;
- g) réitération des étapes b) à f) en incrémentant l'instant de mesure ;

le procédé étant caractérisé en ce que lors de l'étape e), la mise à jour du biais comporte également une mise à jour du seuil de dispersion, en fonction de l'indicateur de dispersion calculé lors de l'étape d), audit instant de mesure.

- Les itérations peuvent être effectuées à chaque instant de mesure, ou tous les  $n$  instants de mesure,  $n$  étant un entier supérieur à 1.

Le capteur peut en particulier être un capteur de mouvement, auquel cas les signaux générés par le capteur sont représentatifs d'un mouvement dudit capteur au cours du temps.

- De préférence, lors de l'étape e), le biais est mis à jour lorsque l'indicateur de dispersion franchit le seuil de dispersion.

De préférence, lors de la mise à jour du seuil de dispersion, ce dernier est remplacé par l'indicateur de dispersion calculé à l'instant de mesure.

- Selon un mode de réalisation, le biais initial est nul. Selon ce mode de réalisation, jusqu'à la première mise à jour du biais, aucun biais n'est soustrait des signaux mesurés. Selon un autre mode de réalisation, le biais initial est prédéterminé, par exemple au cours d'essais du capteur ou au cours d'une utilisation précédente du capteur.

- Selon un mode de réalisation, l'indicateur de dispersion calculé lors de l'étape c) est d'autant plus élevé que les signaux formant la plage temporelle d'analyse ont des valeurs dispersées. Dans ce cas, lors de l'étape e), le biais est mis à jour lorsque l'indicateur de dispersion est inférieur au seuil de dispersion. Alternativement, l'indicateur de dispersion calculé lors de l'étape c) est d'autant plus faible que les signaux formant la plage temporelle d'analyse ont des valeurs dispersées, auquel cas lors de l'étape e), le biais est mis à jour lorsque l'indicateur de dispersion est supérieur au seuil de dispersion.

Selon un mode de réalisation, lorsque le biais est maintenu à une valeur inchangée, le seuil de dispersion est mis à jour, entre deux itérations successives, selon une fonction d'évolution. Ainsi, selon ce mode de réalisation, la valeur du seuil de dispersion peut varier au cours du temps, et plus particulièrement entre deux itérations successives.

- 5 Lors de l'étape d), l'indicateur de dispersion peut être calculé en fonction :
- d'un moment d'ordre supérieur à 1 d'une distribution des signaux acquis au cours de la plage temporelle d'analyse, le moment pouvant être un moment centré ou un moment centré réduit ;
  - ou d'un écart entre une valeur maximale et une valeur minimale des signaux acquis au
- 10 cours de la plage temporelle d'analyse.

Lors de l'étape e), la mise à jour du biais comprend l'association d'une plage temporelle d'estimation à l'instant de mesure, la mise à jour du biais étant réalisée en fonction d'une valeur représentative des signaux mesurés au cours de ladite plage temporelle d'estimation. L'étape e) peut alors comporter une estimation de la valeur moyenne ou de la valeur médiane des signaux

15 générés par le capteur au cours de la plage temporelle d'estimation. La plage temporelle d'estimation peut être identique à la plage temporelle d'analyse.

Le capteur peut notamment être un capteur de mouvement, le signal généré par le capteur à chaque instant de mesure étant représentatif d'un mouvement du capteur audit instant de mesure. Le capteur peut être un gyromètre ou un accéléromètre.

20 Selon un mode de réalisation, deux itérations successives sont effectuées tous les  $n$  instants de mesure,  $n$  étant un entier strictement supérieur à 1. Selon ce mode de réalisation, lors de l'étape g), l'instant de mesure est incrémenté de  $n$  incréments. Entre deux itérations, tout ou partie des signaux de mesures peuvent alors être mémorisés, en particulier durant la plage temporelle d'analyse et la plage temporelle d'estimation correspondant à l'itération suivante.

25 Un autre objet de l'invention est un capteur apte à délivrer un signal à différents instants de mesure, le capteur étant relié à un processeur configuré pour mettre en œuvre les étapes b) à g) du procédé du premier objet de l'invention, à différents instants de mesure, après une phase d'initialisation correspondant à l'étape a) dudit procédé. Le capteur peut notamment être un capteur de mouvement apte à générer, à chaque instant de mesure, un signal représentatif d'un

30 mouvement du capteur audit instant de mesure. Il peut en particulier s'agir d'un gyromètre.

D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus clairement de la description qui va suivre de modes particuliers de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemples non limitatifs, et représentés sur les figures listées ci-dessous.

## **FIGURES**

La figure 1A représente un exemple de dispositif selon l'invention.

La figure 1B montre un exemple illustratif d'une évolution temporelle de signaux générés par un gyromètre.

- 5 La figure 1C montre l'évolution d'un indicateur de dispersion déterminé en fonction des signaux représentés sur la figure 1B. La figure 1C montre également différents instants de mise à jour du biais, ces instants étant définis selon un premier mode de réalisation.

La figure 2A schématise les principales étapes du premier mode de réalisation. La figure 2B schématise les principales étapes d'un deuxième mode de réalisation.

- 10 La figure 3A correspond à la figure 1C. La figure 3B montre l'évolution d'un indicateur de dispersion déterminé en fonction des signaux représentés sur la figure 1B. La figure 3A montre également différents instants de mise à jour du biais, ces instants étant définis selon le deuxième mode de réalisation.

## **EXPOSE DE MODES DE REALISATION PARTICULIERS**

- 15 La figure 1A représente un exemple de dispositif selon l'invention. Un gyromètre 10 génère des signaux  $s_k$  à différents instants de mesure  $t_k$ . Chaque signal  $s_k$  est représentatif d'une vitesse angulaire autour d'un axe de rotation. Le gyromètre peut générer une vitesse angulaire autour de différents axes de rotation, par exemple trois axes de rotation, auquel cas il délivre simultanément, à chaque instant de mesure  $t_k$ , une vitesse angulaire autour de chaque axe de
- 20 rotation.

Dans les exemples qui suivent, on considère une vitesse angulaire autour d'un axe de rotation, sachant que le procédé peut s'appliquer à plusieurs axes de rotation. Dans ce cas, le procédé peut s'appliquer indépendamment à chaque axe de rotation.

- Le dispositif comporte un processeur 20 configuré pour acquérir les signaux  $s_k$  délivrés par le
- 25 processeur et pour mettre en œuvre les étapes décrites par la suite. Le processeur 20 est relié à une mémoire 21 comportant des instructions pour la mise en œuvre desdites étapes.

- La figure 1B montre une évolution temporelle de signaux  $s_k$  générés par le gyromètre au cours du temps. Il s'agit de signaux discrets acquis selon une fréquence d'échantillonnage, cette dernière étant par exemple comprise entre 10 et 200 Hz. L'ensemble des signaux acquis forme
- 30 la courbe représentée sur la figure 1B.

Au-delà d'une phase d'initialisation  $\Delta t_0$ , correspondant à des premiers signaux acquis, à chaque signal mesuré  $s_k$  peut être affecté une plage temporelle d'analyse  $\Delta t_k$ , durant laquelle on peut

calculer un indicateur dit de dispersion  $v_k$ . L'indicateur de dispersion  $v_k$  est représentatif de la dispersion des signaux mesurés durant la plage temporelle d'analyse  $\Delta t_k$  associée à l'instant de mesure  $k$ . L'objectif de l'indicateur de dispersion est de qualifier des instants d'immobilité, durant lesquels le capteur peut être considéré comme immobile. De même que dans l'art  
 5 antérieur, c'est à de tels instants d'immobilité que le biais du capteur peut être estimé.

La plage temporelle d'analyse  $\Delta t_k$  comporte des instants de mesure précédant un instant de mesure  $t_k$ . Par exemple, chaque plage temporelle d'analyse  $\Delta t_k$  rassemble les instants  $t_k \dots t_{k-K}$  où  $k$  correspond à l'incrément de l'instant de mesure du signal  $s_k$  et  $K$  est un entier positif correspondant aux nombres d'instants de mesure formant la plage temporelle d'analyse  $\Delta t_k$ .  $K$   
 10 est de préférence suffisamment élevé pour pouvoir estimer un indicateur de dispersion  $v_k$  suffisamment représentatif de la dispersion des signaux de mesure au cours de la plage temporelle d'analyse  $\Delta t_k$ .  $K$  dépend naturellement de la fréquence d'échantillonnage. Lorsque cette dernière est comprise entre 10 et 200 Hz,  $K$  est de préférence comprise entre 5 et 50, et par exemple égal à 30. La plage temporelle d'analyse  $\Delta t_k$  s'étend typiquement entre 100 ms et  
 15 5s, et de préférence entre 100 ms et 1s. Cela permet une estimation suffisamment précise de la dispersion des signaux de mesure durant la plage temporelle d'analyse, tout en permettant une qualification de phases d'immobilité suffisamment brèves.

L'indicateur de dispersion  $v_k$  associé à un instant de mesure  $t_k$  peut être établi à partir de la variance  $\sigma_k^2$  ou de l'écart type  $\sigma_k$  des signaux mesurés  $s_k$  durant la plage temporelle d'analyse  
 20  $\Delta t_k$ . Plus généralement, l'indicateur de dispersion  $v_k$  correspondant à une plage temporelle d'analyse  $\Delta t_k$  est établi à partir d'un indicateur statistique d'une distribution formée par les signaux mesurés  $s_k$  durant ladite plage temporelle d'analyse. L'indicateur statistique peut être un moment de la distribution, en particulier un moment  $m_r$  d'ordre  $r$  strictement supérieur à 1 de la distribution. L'indicateur de dispersion peut par exemple être obtenu à partir moment  
 25 centré réduit d'ordre 2 (écart-type), ou du coefficient d'asymétrie (moment centré réduit d'ordre 3, connu par le terme anglosaxon skewness) ou à partir du kurtosis (moment centré réduit d'ordre 4). Le terme moment englobe un moment centré ou un moment centré réduit.

L'indicateur de dispersion  $v_k$  peut également être déterminé par une comparaison entre une valeur maximale  $max_k$  et une valeur minimale  $min_k$  des signaux  $s_k$  mesurés durant une plage  
 30 temporelle d'analyse  $\Delta t_k$ . La comparaison peut prendre la forme une soustraction ou un ratio.

Dans les exemples qui suivent, l'indicateur de dispersion  $v_k$  associé à chaque instant de mesure  $t_k$  (et à chaque signal mesuré  $s_k$ ) est l'écart-type des signaux mesurés pendant la plage d'analyse

$\Delta t_k$  associée à l'instant de mesure  $t_k$ . La figure 1C schématise une évolution temporelle de l'indicateur de dispersion  $v_k$  en se basant sur les signaux  $s_k$  représentés sur la figure 1B.

On va à présent décrire les principales étapes d'un premier mode de réalisation de l'invention, en lien avec la figure 2A.

5 Etape 100 : Initialisation.

Au cours d'une phase d'initialisation, correspondant par exemple aux premiers instants de l'utilisation du capteur 10, le biais du capteur est initialisé à une valeur initiale du biais  $m_0$ . La valeur initiale du biais peut être nulle ou être prédéterminée arbitrairement, par exemple à partir d'un biais mémorisé lors d'une utilisation préalable du capteur 10, ou à partir d'essais du capteur réalisés en usine.

L'initialisation comporte également l'affectation d'une valeur initiale à un seuil de dispersion  $v_{th,0}$ . Cette valeur peut être fixe ou résulter d'une utilisation préalable du capteur 10.

Suite à l'étape d'initialisation, les étapes 110 à 150 sont mises en œuvre de façon itérative, chaque itération étant affectée d'un rang d'itération  $k$ . Lors de la première itération,  $k = 1$ .

15 Etape 110 : acquisition d'un signal  $s_k$  généré par le gyromètre 10. Le signal  $s_k$  est acquis à un instant de mesure  $t_k$ . A cet instant de mesure  $t_k$  est associée une plage temporelle d'analyse  $\Delta t_k$  telle que précédemment définie. Tant que  $k < K$ , la plage temporelle d'analyse est définie entre  $t_{k,k=1}$  et l'instant de mesure  $t_k$ .

20 Etape 120 : calcul d'un indicateur de dispersion. On calcule un indicateur de dispersion  $v_k$  des signaux  $s_{k-K} \dots s_k$  mesurés au cours de la plage temporelle d'analyse  $\Delta t_k$ . Cet indicateur de dispersion correspond à l'instant de mesure  $t_k$ . Tant que  $k < K$ , l'indicateur de dispersion est soit considéré comme égal à une valeur arbitraire, soit établi dans la plage d'analyse définie lors de l'étape 110. Les signaux  $s_{k-K} \dots s_k$  sont conservés dans une mémoire, jusqu'au calcul de l'indicateur de dispersion  $v_k$ .

25 Etape 130 : comparaison. L'indicateur de dispersion  $v_k$  correspondant à l'instant de mesure  $t_k$  est comparé au seuil de dispersion  $v_{th,k}$ , dit seuil de dispersion courant, associé à l'instant de mesure  $t_k$ . Lors de la première itération ( $k = 1$ ), le seuil de dispersion  $v_{th,k=1}$  correspond au seuil de dispersion initial  $v_{th,0}$  déterminé au cours de la phase d'initialisation.

30 En fonction de la comparaison, soit une étape 140 de mise à jour du biais et du seuil de dispersion est déclenchée, soit on passe à l'étape 150 de correction du signal mesuré.



Lorsque l'indicateur de dispersion  $v_k$  est d'autant plus élevé que la dispersion des signaux, dans la plage temporelle d'analyse  $\Delta t_k$ , est importante, ce qui correspond au cas représenté sur la figure 2A, l'étape 140 est déclenchée lorsque l'indicateur de dispersion est inférieur au seuil de dispersion courant  $v_{th,k}$ . Lorsque l'indicateur de dispersion  $v_k$  est d'autant plus faible que la dispersion des signaux, dans la plage temporelle d'analyse  $\Delta t_k$ , est importante, l'étape 140 est déclenchée lorsque l'indicateur de dispersion est supérieur au seuil de dispersion courant  $v_{th,k}$ .

Etape 140 : Mise à jour du biais et du seuil de dispersion.

A chaque itération est associé un biais  $m_k$ , dit biais courant, destiné à être soustrait du signal mesuré  $s_k$ . Lors de la première itération ( $k = 1$ ), le biais  $m_{k=1}$  est le biais initial  $m_0$  résultant de l'initialisation. L'étape 140 correspond à une mise à jour du biais à considérer. Cette étape est mise en œuvre lorsque le capteur est considéré comme suffisamment immobile, sur la base de la comparaison effectuée lors de l'étape 130. Le terme suffisamment immobile décrit le fait que la mise à jour est déclenchée lorsque le capteur est considéré comme davantage immobile que lors de la précédente mise à jour. Elle comporte les sous-étapes suivantes :

- 15 • Sous-étape 141 : mise à jour du seuil de dispersion : le seuil de dispersion courant  $v_{th,k}$  est remplacé par la valeur de l'indicateur de dispersion  $v_k$  calculée lors de l'étape 120.
- Sous-étape 142 : définition d'une plage temporelle d'estimation  $\Delta t'_k$ , de façon à estimer le biais du capteur. La plage temporelle d'estimation  $\Delta t'_k$  comporte des instants de mesure précédant l'instant  $t_k$  d'obtention du signal  $s_k$ . Par exemple, chaque plage temporelle d'estimation rassemble les instants  $t_k \dots t_{k-K'}$  où  $k$  est l'instant de mesure du signal  $s_k$  et  $K'$  est un entier positif correspondant aux nombres d'instants de mesure formant la plage temporelle d'estimation  $\Delta t'_k$ .  $K'$  est de préférence compris entre 5 et 50, et par exemple égal à 30. La plage temporelle d'estimation est définie pour estimer une valeur du biais en fonction des signaux  $s_k \dots s_{k-K'}$  mesurés durant ladite plage. Les signaux  $s_k \dots s_{k-K'}$  sont conservés dans une mémoire jusqu'à l'éventuelle mise à jour du seuil de dispersion.

La plage temporelle d'estimation  $\Delta t'_k$  peut être confondue avec la plage temporelle d'analyse  $\Delta t_k$ .

- Sous-étape 143 : mise à jour du biais. Il s'agit de mettre à jour le biais courant  $m_k$  à prendre en compte pour corriger le signal  $s_k$  mesuré. Le biais est mis à jour en fonction d'un indicateur de type moyenne ou médiane des signaux  $s_{k-K'} \dots s_k$  mesurés lors de la

plage temporelle d'estimation  $\Delta t'_k$ . Dans cet exemple, le biais est mis à jour en fonction de la moyenne  $\mu_k$  des signaux mesurés pendant la plage temporelle d'estimation  $\Delta t'_k$ .

#### Etape 150 : Correction du signal mesuré

Au cours de cette étape, le signal mesuré  $s_k$  est corrigé en fonction du biais courant  $m_k$ , en particulier par une soustraction  $s_k - m_k$ . En fonction de la comparaison effectuée lors de l'étape 130, le biais courant  $m_k$  résulte soit d'une itération précédente ou de la phase d'initialisation, soit de la mise à jour effectuée lors de l'étape 140. Lorsqu'au cours de l'initialisation, la valeur du biais initiale est nulle, ou qu'aucune valeur de biais initiale n'est définie, aucune correction du biais n'est effectuée lors de l'étape 150, jusqu'à une première mise à jour du biais.

Les étapes 110 à 150 sont réitérées en incrémentant le rang d'itération  $k$ . L'itération peut avoir lieu à chaque instant de mesure, auquel cas le rang d'itération est incrémenté de 1 de telle sorte que lors de l'itération suivante,  $m_{k+1} = m_k$  et  $v_{th,k+1} = v_{th,k}$ . L'itération peut également être effectuée tous les  $n$  instants de mesures  $n$  étant un entier strictement supérieur à 1, de telle sorte qu'entre deux itérations successives, le capteur mesure  $n-1$  signaux de mesure. Dans ce cas,  $m_{k+n} = m_k$  et  $v_{th,k+n} = v_{th,k}$ . Tout ou partie des signaux mesurés entre deux itérations successives peuvent être mémorisés, en particulier les signaux mesurés durant les plages temporelles d'analyse et d'estimation prises en compte lors de chaque itération.

Les figures 1B et 1C permettent de visualiser l'effet du procédé. On a représenté sur ces figures quatre mises à jour successives du biais affectant les mesures. Suite à l'initialisation, le biais initial  $m_0$  est considéré comme nul et le seuil de dispersion initial est  $v_{th,0}$ . A un instant  $t_{k1}$ , l'indicateur de dispersion  $v_{k1}$  franchit le seuil initial  $v_{th,0}$ . Une première estimation  $m_{k1}$  du biais est effectuée en considérant une plage temporelle d'estimation  $\Delta t'_{k1}$ . A partir de cet instant, le seuil de dispersion courant  $v_{th,k}$  est remplacé par l'indicateur de dispersion  $v_{k1}$  à l'instant  $t_{k1}$ .

A un instant  $t_{k2}$ , l'indicateur de dispersion  $v_{k2}$  franchit le seuil de dispersion  $v_{th,k2} = v_{k1}$ . Une deuxième estimation  $m_{k2}$  du biais est effectuée en considérant une plage temporelle d'estimation  $\Delta t'_{k2}$ . A partir de cet instant, le seuil de dispersion  $v_{th,k}$  est remplacé par l'indicateur de dispersion  $v_{k2}$  à l'instant  $t_{k2}$ . A un instant  $t_{k3}$ , l'indicateur de dispersion  $v_{k3}$  franchit le seuil de dispersion  $v_{th,k3} = v_{k2}$ . Une troisième estimation  $m_{k3}$  du biais est effectuée en considérant une plage temporelle d'estimation  $\Delta t'_{k3}$ . A partir de cet instant, le seuil de dispersion  $v_{th,k}$  est remplacé par l'indicateur de dispersion  $v_{k3}$  à l'instant  $t_{k3}$ . Selon les mêmes principes, une nouvelle mise à jour  $m_{k4}$  du biais et du seuil de dispersion  $v_{th,k4} = v_{k3}$  est

effectuée à l'instant  $t_{k4}$ . A partir de cet instant, le seuil de dispersion  $v_{th,k}$  est remplacé par l'indicateur de dispersion  $v_{k4}$  à l'instant  $t_{k4}$ .

Un aspect important du procédé est le remplacement du seuil de dispersion  $v_{th,k}$  par l'indicateur de dispersion  $v_k$  associé à l'instant de mise à jour  $t_k$ . Dans l'exemple considéré, dans lequel la mise à jour est effectuée lorsque l'indicateur de dispersion est inférieur au seuil de dispersion, cela conduit à une diminution progressive de la valeur du seuil de dispersion, de telle sorte que le seuil de dispersion après une mise à jour est nécessairement inférieur au seuil de dispersion avant la mise à jour. Cela apparaît sur la figure 1C, sur laquelle on observe que :

$$v_{th,k0} > v_{k1} > v_{k2} > v_{k3} > v_{k4}.$$

Lorsque l'indicateur de dispersion est d'autant plus élevé que la dispersion est faible (par exemple en considérant un indicateur de dispersion égal à l'inverse de l'écart type), l'étape 140 est effectuée lorsque l'indicateur de dispersion dépasse le seuil de dispersion. Dans ce cas, le procédé tend à augmenter progressivement la valeur du seuil de dispersion.

D'une façon générale, le procédé tend à attribuer, à chaque biais mis à jour, un indicateur de pertinence, ce dernier correspondant au seuil de dispersion simultanément mis à jour. Un biais n'est mis à jour que si des conditions plus propices à un renouvellement du biais se présentent. De telles conditions se traduisant par un indicateur de dispersion représentatif d'une dispersion des signaux de mesure moindre que lors de la précédente mise à jour.

Dans l'exemple représenté sur les figures 1B et 1C, lorsque  $t_k > t_{k4}$ , l'indicateur de dispersion  $v_k$  augmente. Le seuil de dispersion étant faible ( $v_{th,k} = v_{k4}$ ), aucune autre mise à jour n'est alors effectuée. Une telle situation peut conduire à un écart temporel important entre deux mises à jour du biais successives. Aussi, selon un deuxième mode de réalisation, le seuil de dispersion peut évoluer dans le temps, de manière à moduler progressivement la condition de mise à jour du biais. Ainsi, le seuil de dispersion ne prend pas une valeur fixe, comme dans le premier mode de réalisation, mais peut évoluer progressivement, entre deux incréments temporels successifs, selon une fonction temporelle d'évolution  $f(t_k)$ . Par exemple, le seuil de dispersion peut être constant durant quelques centaines ou milliers d'incrément  $k$ , puis peut progressivement augmenter de façon à autoriser une nouvelle mise à jour. Cela permet de relâcher la condition de stabilité des signaux mesurés autorisant la mise à jour. La figure 2B illustre les principales étapes d'un tel mode de réalisation.

Les étapes présentées sont identiques à celles décrites auparavant. Le procédé comporte une étape 145 d'évolution du seuil de dispersion en fonction de la fonction d'évolution  $f$ . Ainsi, suite à l'étape 140 :

- soit le biais est mis à jour, de même que le seuil de dispersion (étapes 141 à 143) ;
- 5        - soit le biais n'est pas mis à jour, auquel cas l'étape 145 permet un ajustement de la valeur du seuil de dispersion.

Les figures 3A et 3B illustrent un tel mode de réalisation. La figure 3A correspond à une évolution du signal mesuré similaire à celle représentée sur la figure 1B. La figure 3B montre l'évolution temporelle de l'indicateur de dispersion, de façon analogue à la figure 1C. Le biais ainsi que le seuil de dispersion est mis à jour comme détaillé ci-dessus, en lien avec la figure 1C. Suite à l'instant  $t_{k4}$ , le seuil de dispersion  $v_{th,k}$  reste momentanément constant, et égal à  $v_{k4}$ , puis augmente progressivement de façon linéaire. Cela permet d'effectuer une mise à jour à un instant  $t_{k5}$ , lorsque l'indicateur de dispersion  $v_{k5}$  est tel que  $v_{k5} = v_{th,k5} = f(t_{k5})$ . Le recours à un tel ajustement progressif du seuil de dispersion permet d'éviter que deux mises à jour successives du biais soient trop éloignées dans le temps. Cela favorise une prise en compte de la variabilité temporelle du biais.

Bien que décrite en lien avec un gyromètre, l'invention pourra être appliquée à d'autres capteurs nécessitant une mise à jour régulière d'un biais, qu'il s'agisse de capteurs de mouvements ou d'autres types de capteur. Dans le domaine des capteurs de mouvements, l'invention pourra s'appliquer à un gyromètre, comme décrit dans l'exemple ci-dessus, mais également à un magnétomètre, en particulier lorsqu'ils sont configurés pour délivrer une mesure de référence lorsqu'ils sont immobiles, la mesure de référence étant connue. Dans les exemples décrits ci-avant, la mesure de référence est égale à zéro lorsque le gyromètre est immobile. La méthode peut s'appliquer à un axe vertical d'un accéléromètre, la valeur de référence étant la gravité.

25 Dans ce cas, lors d'une plage d'immobilité du capteur, correspondant à la plage d'estimation précédemment décrite, la moyenne des mesures correspond à la somme de la gravité et du biais. Le biais est donc obtenu en soustrayant la gravité à la moyenne des mesures durant la plage d'estimation.

L'invention pourra s'appliquer à des capteurs de mouvement équipant des dispositifs nomades, par exemple des smartphones, des montres, ou des objets connectés.

### REVENDEICATIONS

1. Procédé de traitement de signaux générés par un capteur (10), chaque signal ( $s_k$ ) étant associé à un instant de mesure ( $t_k$ ), le procédé comportant les étapes suivantes :
    - a) durant une phase d'initialisation, définition d'un seuil de dispersion initial ( $v_{th,0}$ ) et d'un biais initial, ce dernier pouvant être nul ;
    - 5 b) acquisition d'un signal ( $s_k$ ) à un instant de mesure ( $t_k$ ), à l'instant de mesure étant associés :
      - un biais ( $m_k$ ), déterminé au cours d'une itération précédente ou au cours de l'initialisation ;
      - 10 - un seuil de dispersion ( $v_{th,k}$ ), déterminé au cours d'une itération précédente ou au cours de l'initialisation ;
    - c) association d'une plage temporelle d'analyse ( $\Delta t_k$ ) à l'instant de mesure ( $t_k$ ), et calcul d'un indicateur de dispersion ( $v_k$ ), représentant une dispersion des signaux acquis pendant la plage temporelle d'analyse;
    - 15 d) comparaison de l'indicateur de dispersion calculé lors de l'étape c) avec le seuil de dispersion ( $v_{th,k}$ ) associé à l'instant de mesure ( $t_k$ );
    - e) en fonction de la comparaison effectuée lors de l'étape d), maintien du biais ( $m_k$ ) associé à l'instant de mesure à une valeur inchangée ou mise à jour dudit biais, la mise à jour du biais comportant également une mise à jour du seuil de dispersion ( $v_{th,k}$ ), en
    - 20 fonction de l'indicateur de dispersion ( $v_k$ ) calculé lors de l'étape d) ;
    - f) soustraction du biais ( $m_k$ ) résultant de l'étape e) au signal acquis ( $s_k$ ) lors de l'étape b);
    - g) réitération des étapes b) à f) en incrémentant l'instant de mesure ( $t_k$ );

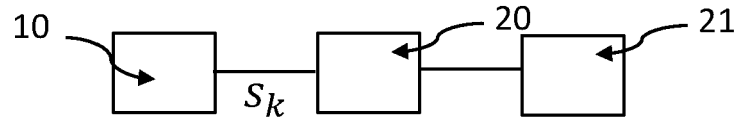
le procédé étant caractérisé en ce que lorsque lors de l'étape e), le biais est maintenu à une valeur inchangée, le seuil de dispersion ( $v_{th,k}$ ) est mis à jour selon une fonction d'évolution ( $f$ )

  - 25 entre deux itérations successives des étapes b) à f).
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel lors de l'étape e), le biais ( $m_k$ ) est mis à jour lorsque l'indicateur de dispersion ( $v_k$ ) franchit le seuil de dispersion ( $v_{th,k}$ ).
  3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, dans lequel lors de l'étape e), lors de la mise à jour du seuil de dispersion ( $v_{th,k}$ ), ce dernier est remplacé par l'indicateur de
  - 30 dispersion ( $v_k$ ) calculé à l'instant de mesure, lors de l'étape c).
  4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'indicateur de dispersion ( $v_k$ ) calculé lors de l'étape c) est d'autant plus élevé que les signaux formant la plage

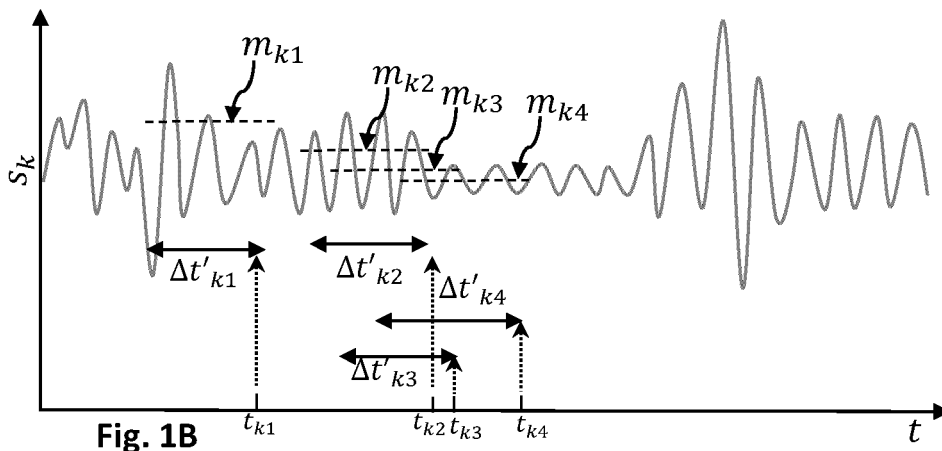
- temporelle d'analyse ( $\Delta t_k$ ) ont des valeurs dispersées, auquel cas lors de l'étape e), le biais ( $m_k$ ) est mis à jour lorsque l'indicateur de dispersion ( $v_k$ ) est inférieur au seuil de dispersion ( $v_{th,k}$ ).
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'indicateur de dispersion ( $v_k$ ) calculé lors de l'étape c) est d'autant plus faible que les signaux formant la plage temporelle d'analyse ( $\Delta t_k$ ) ont des valeurs dispersées, auquel cas lors de l'étape e), le biais ( $m_k$ ) est mis à jour lorsque l'indicateur de dispersion ( $v_k$ ) est supérieur au seuil de dispersion ( $v_{th,k}$ ).
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel lors de l'étape d), l'indicateur de dispersion est calculé en fonction :
- d'un moment d'ordre supérieur à 1 d'une distribution des signaux ( $s_k$ ) acquis au cours de la plage temporelle d'analyse ( $\Delta t_k$ ), le moment pouvant être un moment centré ou un moment centré réduit ;
  - ou d'un écart entre une valeur maximale ( $max_k$ ) et une valeur minimale ( $min_k$ ) des signaux ( $s_k$ ) acquis au cours de la plage temporelle d'analyse ( $\Delta t_k$ ).
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel lors de l'étape e), la mise à jour du biais comprend l'association d'une plage temporelle d'estimation ( $\Delta' t_k$ ) à l'instant de mesure ( $t_k$ ), la mise à jour du biais ( $m_k$ ) étant réalisée en fonction d'une valeur représentative des signaux ( $s_k$ ) mesurés au cours de ladite plage temporelle d'estimation.
8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel l'étape e) comporte une estimation de la valeur moyenne ou de la valeur médiane des signaux générés par le capteur au cours de la plage temporelle d'estimation ( $\Delta' t_k$ ).
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 ou 8, dans lequel la plage temporelle d'analyse ( $\Delta t_k$ ) et la plage temporelle d'estimation ( $\Delta' t_k$ ) sont confondues.
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le capteur (10) est un capteur de mouvement, le signal ( $s_k$ ) généré par le capteur à chaque instant de mesure ( $t_k$ ) étant représentatif d'un mouvement du capteur audit instant de mesure.
11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel le capteur (10) est un gyromètre.
12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel deux itérations successives sont effectuées tous les  $n$  instants de mesure,  $n$  étant un entier strictement supérieur à 1.
13. Capteur (10) apte à délivrer un signal ( $s_k$ ) à différents instants de mesure ( $t_k$ ), le capteur étant relié à un processeur (20) configuré pour mettre en œuvre les étapes b) à g) du procédé

objet de l'une quelconque des revendications 1 à 12, à différents instants de mesure ( $t_k$ ), après une phase d'initialisation correspondant à l'étape a) dudit procédé.

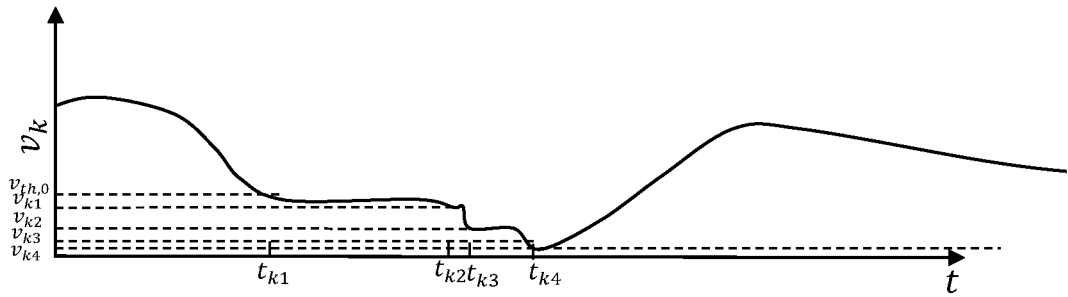
14. Capteur (10) selon la revendication 13, le capteur étant un capteur de mouvement apte à générer, à chaque instant de mesure, un signal ( $s_k$ ) représentatif d'un mouvement du capteur
- 5 audit instant de mesure ( $t_k$ ).



**Fig. 1A**



**Fig. 1B**



**Fig. 1C**



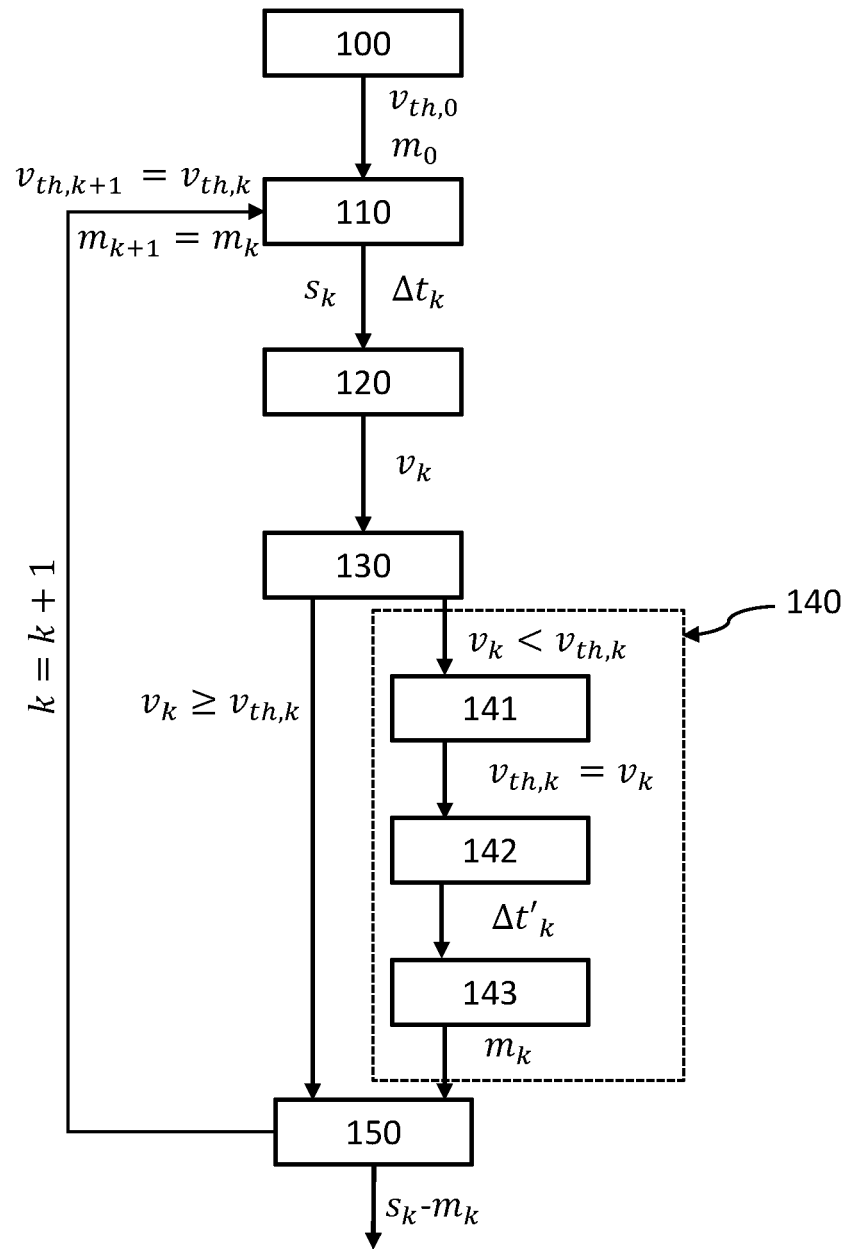
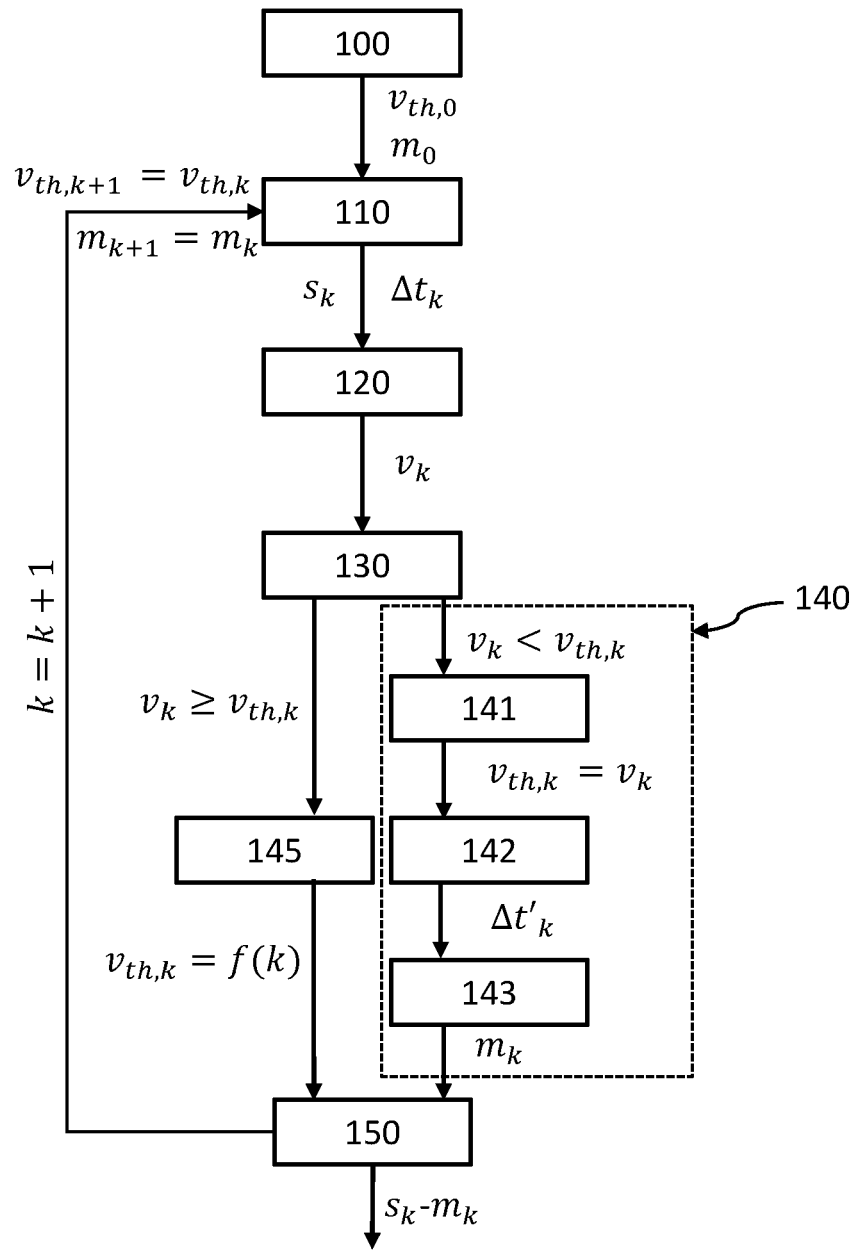
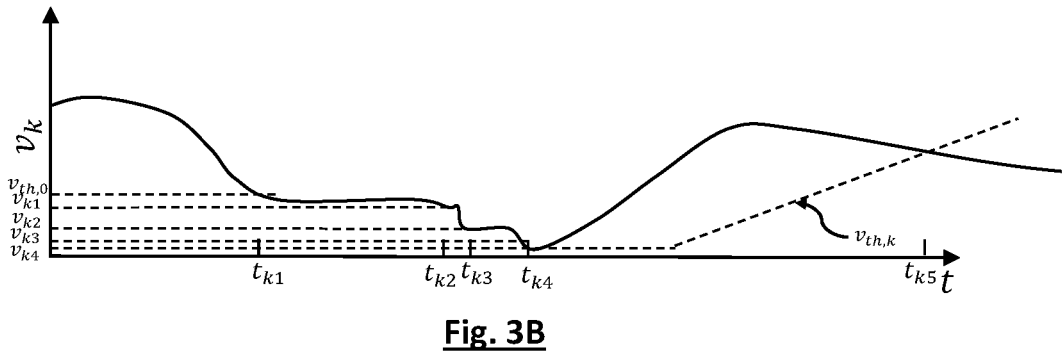
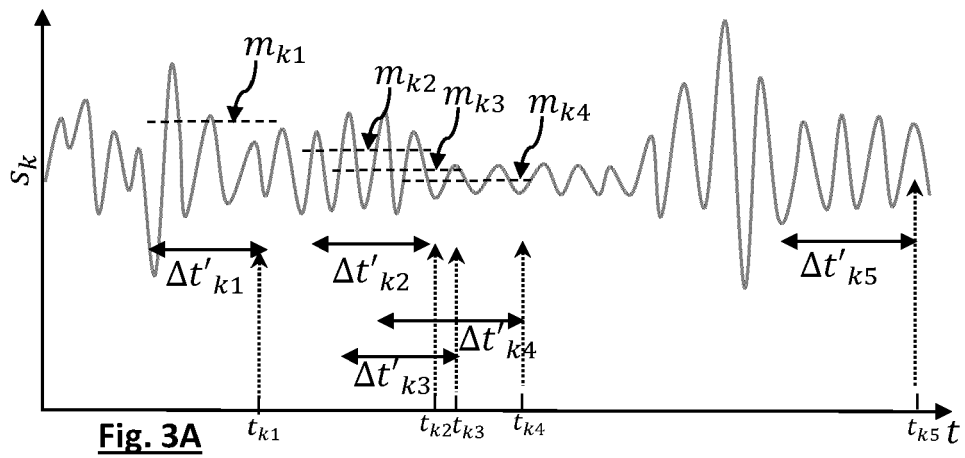


Fig. 2A



**Fig. 2B**



# RAPPORT DE RECHERCHE

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

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

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

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

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

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

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

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

US 2007/136019 A1 (YUN DOO-HEE [KR] ET AL) 14 juin 2007 (2007-06-14)

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

EP 2 721 368 A1 (INVENSENSE INC [US]) 23 avril 2014 (2014-04-23)

US 2014/229135 A1 (NOMURA KAZUO [JP]) 14 août 2014 (2014-08-14)

EP 3 006 897 A1 (SAGEM DEFENSE SECURITE [FR]) 13 avril 2016 (2016-04-13)

US 2011/172820 A1 (KIM DO-HYUNG [KR] ET AL) 14 juillet 2011 (2011-07-14)

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

NEANT