

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 30.07.18.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 31.01.20 Bulletin 20/05.

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 :

○ Demande(s) d'extension :

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

72 Inventeur(s) : GUINART NICOLAS, PLANCKE
SEBASTIEN et BOISSET JEAN-PHILIPPE.

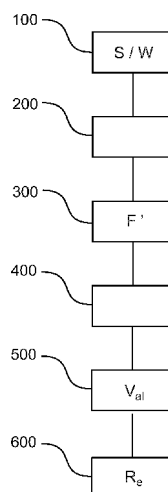
73 Titulaire(s) : CONTINENTAL AUTOMOTIVE FRANCE
Société par actions simplifiée, CONTINENTAL AUTO-
MOTIVE GMBH.

74 Mandataire(s) : CONTINENTAL AUTOMOTIVE
FRANCE Société par actions simplifiée.

54 PROCÉDE D'ESTIMATION DU RAYON EXTERIEUR D'UN PNEUMATIQUE EQUIPANT UNE ROUE D'UN
VEHICULE AUTOMOBILE.

57 Procédé d'estimation du rayon extérieur $R_{>e}$ d'un
pneumatique (13) équipant une roue (10) d'un véhicule au-
tomobile, ladite roue comportant un capteur (14) d'accéléra-
tion radiale. Ledit procédé comporte les étapes suivantes :

- acquisition (100) par ledit capteur d'un signal S lorsque
le véhicule est en mouvement suivant un régime non stabi-
lisé,
- détection (200) d'extrema locaux du signal S, et asso-
ciés respectivement à des valeurs de phase ainsi qu'à des
instants de détection,
- détermination (300) d'une variation de fréquence F' de
rotation de la roue en fonction desdites valeurs de phase et
desdits instants de détection,
- détermination (400), pour au moins un instant de dé-
tection, d'un écart entre l'extremum local associé audit in-
stant de détection et un signal de référence obtenu par
suppression des oscillations du signal S,
- détermination (500) d'une valeur d'accélération longitu-
dinale $V_{>al}$ du véhicule en fonction dudit au moins un écart,
- estimation (600) dudit rayon extérieur $R_{>e}$ en fonction
de $V_{>al}$ et F' .



La présente invention appartient au domaine de la mesure de grandeurs physiques d'une roue d'un véhicule automobile, comme par exemple une voiture. Elle concerne plus particulièrement un procédé d'estimation du rayon extérieur d'un pneumatique équipant une roue d'un véhicule automobile, ainsi qu'une unité roue configurée pour mettre en œuvre un tel procédé. La présente invention trouve une application particulièrement avantageuse, bien que nullement limitative, dans la surveillance de l'état d'usure d'un pneumatique.

Afin d'accroître la sécurité de conduite, les réglementations actuelles imposent à chaque véhicule automobile nouvellement produit d'être équipé d'un système de surveillance de différents paramètres physiques, de sorte à être en mesure de détecter un dysfonctionnement d'un ou plusieurs éléments constitutifs dudit véhicule automobile. Les paramètres mesurés sont typiquement l'accélération radiale d'au moins une roue du véhicule, ainsi que la pression, la température et l'usure du pneumatique équipant cette roue.

De manière conventionnelle, un tel système de surveillance comporte au moins un boîtier électronique, dit encore « unité roue », monté sur une roue du véhicule automobile. Par exemple, une telle unité roue coopère de manière fixe avec une valve de la jante équipant la roue. De manière préférée, chaque roue du véhicule est équipée d'une unité roue afin d'effectuer une surveillance de certains paramètres pour l'ensemble du véhicule.

L'unité roue comprend des capteurs respectivement dédiés à la mesure de certains paramètres, comme par exemple un capteur TPMS (acronyme de l'expression anglo-saxonne « Tire Pressure Monitoring System ») dédié à la mesure de pression du pneumatique. Outre ces capteurs, l'unité roue comporte également un microprocesseur, une batterie, une mémoire et un émetteur radiofréquence. En complément de l'unité roue, le système de surveillance comprend aussi une unité centrale équipant le véhicule et comportant un calculateur électronique intégrant un récepteur radiofréquence connecté à une antenne, cela afin de réceptionner des signaux émis par l'unité roue et, le cas échéant, émettre des alertes à destination du conducteur du véhicule.

La surveillance de l'état d'usure d'un pneumatique d'une roue n'est quant à elle pas effectuée par une unité roue, mais par un ou plusieurs dispositifs dédiés. Elle revêt une grande importance, dans la mesure où elle influe directement sur le

comportement routier du véhicule, aussi bien lors de phases de conduite usuelles et régulières que lors de phases survenant de manière plus occasionnelle (aquaplaning, freinage d'urgence, crevaison, etc.). La nécessité d'un contrôle d'une telle usure est donc requise, et ce d'autant plus qu'il s'agit d'un phénomène affectant de manière progressive et inéluctable le pneumatique.

Un dispositif connu pour surveiller l'usure du pneumatique consiste en une unité de détection adaptée pour détecter l'accélération à laquelle une barre d'usure positionnée dans une rainure de la bande de roulement dudit pneumatique est soumise. Toutefois, un tel dispositif présente le désavantage de ne fournir une indication d'usure qu'une fois que ladite barre entre en contact avec le sol, ce qui n'a effectivement lieu qu'une fois l'usure du pneumatique suffisamment avancée. Autrement dit, ce dispositif ne permet pas de contrôler l'évolution de l'usure du pneumatique tout au long du cycle de vie de ce dernier.

Des dispositifs plus récents ont été proposés pour pallier ce problème et mesurer l'usure du pneumatique de manière graduelle. Par exemple, il a été utilisé des témoins d'usure de dimensions respectives différentes et agencés dans le pneumatique, ainsi que configurés pour émettre des signaux acoustiques caractéristiques lorsque l'usure atteint lesdits témoins. Selon un autre exemple, des capteurs dédiés et disposés à l'intérieur du pneumatique lui-même ont été utilisés. Ces capteurs visent notamment à mesurer des signaux représentatifs d'une déformation d'une surface interne du pneumatique, ou bien encore des signaux représentatifs du glissement du pneumatique ainsi que d'un coefficient d'adhérence audit glissement.

Il n'en reste pas moins que ces solutions actuelles de réalisation sont encore loin de constituer des alternatives de réalisation faciles à mettre en œuvre. Elles nécessitent en effet d'installer des dispositifs en complément des autres capteurs déjà présents, notamment ceux mesurant l'accélération radiale des roues (et intégrés à des unités roues). Cela afin de mesurer des signaux de natures physiques différentes. On comprend donc que davantage d'électronique est requise, complexifiant ainsi la conception d'une roue et, in fine, celle du système de surveillance qui doit être en mesure de traiter ces différents signaux. Cette complexité de mise en œuvre a de plus un impact direct sur le coût de conception.

Il faut également noter que certaines de ces solutions actuelles visent à déterminer l'évolution de paramètres géométriques de la roue (par exemple l'épaisseur du pneumatique). Or le fait de déterminer de tels paramètres géométriques

sur la base de mesures de signaux se rapportant eux-mêmes à la géométrie du pneumatique, comme par exemple la déformation de la surface interne, entraîne un manque de robustesse et de précision des résultats obtenus. Ceci est dommageable dans la mesure où la précision de mesure de tels paramètres géométriques conditionne la précision avec laquelle il est possible d'identifier de potentiels défauts de construction/montage à même d'affecter la sécurité de conduite, Par exemple, en comparant l'épaisseur du pneumatique avec l'épaisseur théorique correspondante préalablement enregistrée dans l'unité roue, un signal d'alerte peut être émis de sorte à identifier une usure trop prononcée, ou anormale, ou bien encore que le type de pneumatique monté sur la roue est incorrect. Il existe par conséquent un besoin de connaître avec une grande précision l'état d'usure du pneumatique.

La présente invention a pour objectif de remédier à tout ou partie des inconvénients de l'art antérieur, notamment ceux exposés ci-avant, en proposant une solution qui permette de déterminer avec une grande précision le rayon extérieur d'un pneumatique équipant une roue d'un véhicule automobile, cela sans réaliser de mesures directes de paramètres géométriques dudit pneumatique. Une telle solution permet en outre de limiter la complexité électronique de mise en œuvre d'un système de surveillance d'un véhicule automobile. Les coûts de conception sont donc réduits. L'invention vise également à proposer une solution permettant d'avoir une unité roue configurée pour déterminer précisément le rayon extérieur du pneumatique.

A cet effet, et selon un premier aspect, l'invention concerne un procédé d'estimation du rayon extérieur R_e d'un pneumatique équipant une roue d'un véhicule automobile, ladite roue comportant un capteur d'accélération radiale. Ledit procédé comporte les étapes suivantes :

- une étape d'acquisition par le capteur d'accélération radiale d'un signal S pendant une fenêtre temporelle W prédéterminée lorsque le véhicule est en mouvement suivant un régime non stabilisé,
- une étape de détection d'au moins trois extrema locaux du signal S , et associés respectivement à des valeurs de phase ainsi qu'à des instants de détection,
- une étape de détermination d'une variation de fréquence F' de rotation de la roue du véhicule, pour la fenêtre temporelle W considérée, en fonction desdites valeurs de phase et desdits instants de détection,
- une étape de détermination, pour au moins un instant de détection, d'un écart entre l'extremum local associé audit au moins un instant de détection et un

signal de référence obtenu par suppression des oscillations du signal S, de sorte que ledit signal de référence soit représentatif de l'accélération centrale de la roue au cours de ladite fenêtre temporelle W,

- une étape de détermination d'une valeur d'accélération longitudinale V_{al} du véhicule pour la fenêtre temporelle W considérée en fonction dudit au moins un écart,
- une étape d'estimation dudit rayon extérieur R_e en fonction de ladite valeur d'accélération longitudinale V_{al} ainsi que de ladite variation de fréquence F' .

Dans des modes particuliers de mise en œuvre de l'invention, le procédé d'estimation du rayon extérieur R_e peut comporter en outre l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles.

Dans un mode particulier de mise en œuvre, l'étape de détermination de la variation de fréquence F' comporte la détermination d'un signal temporel de phase φ par interpolation quadratique des valeurs de phase respectives de trois extrema locaux, ladite variation de fréquence F' étant déterminée par évaluation de la dérivée seconde dudit signal φ .

Dans un mode particulier de mise en œuvre, les trois extrema locaux considérés dans la fenêtre temporelle W sont consécutifs.

Dans un mode particulier de mise en œuvre, le signal S acquis est échantillonné à une fréquence F_e prédéterminée, et ledit signal de référence est obtenu, au cours de l'étape de détermination des écarts, par régression linéaire desdits échantillons du signal S.

Dans un mode particulier de mise en œuvre, une pluralité d'instant de détection sont considérés au cours de l'étape de détermination d'écart, de sorte à obtenir une pluralité d'écarts respectivement associés auxdits instants de détection, ladite valeur d'accélération longitudinale V_{al} étant calculée selon la formule :

$$V_{al} = \sqrt{\Delta M^2 - g^2}$$

où ΔM est une quantité représentative d'une moyenne des valeurs absolues respectives desdits écarts, et g est l'accélération de la pesanteur.

Dans un mode particulier de mise en œuvre, lequel tous les instants de détection déterminés lors de l'étape de détection sont considérés au cours de l'étape de détermination des écarts.

Dans un mode particulier de mise en œuvre, la quantité ΔM est égale au rapport entre la moyenne arithmétique desdites valeurs absolues et une erreur de

gain E_G du capteur d'accélération radiale, ladite erreur de gain E_G ayant été déterminée préalablement à l'étape d'acquisition au cours d'une phase de régime stabilisé du véhicule.

Dans un mode particulier de mise en œuvre, le rayon extérieur R_e est calculé selon la formule :

$$R_e = \frac{V_{al}}{2 \times \pi \times F'}$$

Selon un deuxième aspect, la présente invention concerne une unité roue comportant un capteur d'accélération radiale. En outre, ladite unité roue comporte des moyens configurés pour mettre en œuvre les étapes du procédé d'estimation selon l'invention.

Selon un troisième aspect, la présente invention concerne un véhicule automobile comportant une unité roue selon l'invention.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description suivante, donnée à titre d'exemple nullement limitatif, et faite en se référant aux **figures 1 à 4** qui représentent :

- **Figure 1** : une représentation schématique d'une roue d'un véhicule automobile.
- **Figure 2** : un logigramme d'un exemple de mise en œuvre d'un procédé d'estimation du rayon extérieur R_e du pneumatique d'une roue d'un véhicule automobile.
- **Figure 3** : une courbe représentative d'un exemple de signal S acquis par le capteur d'accélération radiale au cours d'une fenêtre temporelle W .
- **Figure 4** : une représentation d'une restriction de la courbe de la **figure 3**, correspondant à un déplacement du véhicule selon un régime non stabilisé,
- **Figure 5** : un logigramme d'un mode préféré de mise en œuvre du procédé de la **figure 2**, dans lequel une erreur de gain du capteur d'accélération radiale est déterminée.

Dans ces figures, des références identiques d'une figure à une autre désignent des éléments identiques ou analogues. Pour des raisons de clarté, les éléments représentés ne sont pas à l'échelle, sauf mention contraire.

La présente invention appartient au domaine de la mesure de l'état d'usure d'un pneumatique équipant une roue d'un véhicule automobile, comme par exemple une voiture.

Pour la suite de la description, et de manière conventionnelle, l'unité de mesure de l'accélération radiale d'une roue est le $m.s^{-2}$.

La **figure 1** représente schématiquement une roue 10 d'un véhicule automobile.

5 Ladite roue 10 est configurée pour tourner autour d'un axe de rotation 15. Elle est équipée d'une jante 12 ainsi que d'un pneumatique 13 monté sur ladite jante 12. Ledit pneumatique 13 comporte une surface interne coopérant avec la jante 12, ainsi qu'une surface externe, opposée à ladite surface interne, et destinée à prendre appui localement sur le sol lorsque le véhicule est en mouvement. De manière
10 connue, ladite surface externe correspond à une bande de roulement comprenant différents éléments permettant d'assurer un maintien et une adhérence du véhicule sur la route, comme par exemple des rainures, des lamelles, des blocs, etc.

Le véhicule automobile (non représenté sur les figures) est équipé d'un système de surveillance de la pression des pneumatiques. Ledit système de
15 surveillance comprend classiquement une unité centrale électronique (non représentée sur les figures) disposée à l'intérieur du véhicule, et, sur chacune des roues dudit véhicule une unité roue 11. Sans que cela ne nuise à la généralité de l'invention, la suite de la description vise plus particulièrement à détailler le fonctionnement d'une seule unité roue 11, étant entendu que l'exposé donné
20 s'applique clairement à chaque unité roue du véhicule, sans distinction.

Pour la suite de la description, on se place dans la configuration selon laquelle l'unité roue 11 est fixée à l'extrémité de la valve de la jante 12 de la roue 10, par exemple au moyen d'une fixation de type « snap-in » connue de l'homme du métier, et de sorte à être agencée à l'intérieur du pneumatique 13 équipant la roue 10.
25 Rien n'exclut cependant d'avoir une unité roue 11 fixée de manière différente à la valve de la jante 12 de la roue 10, par exemple au moyen d'une fixation par écrou de type « clamp-in », ou bien encore fixée directement sur la jante 12 de la roue 10, par exemple au moyen d'une ceinture métallique connue en soi, par vissage, par collage, etc.

30 L'unité roue 11 comporte un capteur 14 d'accélération radiale configuré pour réaliser des mesures d'accélération radiale de la roue 10. A titre d'exemple nullement limitatif, ledit capteur 14 d'accélération radiale est de type microsystèmes électromécaniques (encore appelés « MEMS », acronyme de l'expression anglo-saxonne « Micro Electro Mechanical System »), par exemple un accéléromètre

piézoélectrique connu en soi. Rien n'exclut cependant, suivant d'autres exemples non détaillés ici, d'avoir un capteur 14 d'accélération radiale d'un autre type connu.

La **figure 2** représente un logigramme d'un exemple de mise en œuvre d'un procédé d'estimation du rayon extérieur R_e du pneumatique 13 équipant la
5 roue 10.

Par « rayon extérieur R_e du pneumatique 13 », on fait référence ici à la distance radiale entre l'axe de rotation 15 de la roue 10 et la bande de roulement du pneumatique 13 lorsque celle-ci n'est pas mise sous charge, c'est-à-dire n'est pas écrasée au niveau d'une zone de contact avec le sol. Ainsi, le rayon extérieur R_e
10 considéré dans la présente invention correspond, selon une terminologie connue de l'homme du métier, au rayon libre du pneumatique 13, et non pas au rayon sous charge.

Pour la mise en œuvre dudit procédé, l'unité roue 11 comporte, par exemple, un circuit de traitement (non représenté sur les figures), comportant un ou
15 plusieurs processeurs et des moyens de mémorisation (disque dur magnétique, mémoire électronique, disque optique, etc.) dans lesquels est mémorisé un produit programme d'ordinateur, sous la forme d'un ensemble d'instructions de code de programme à exécuter pour mettre en œuvre les différentes étapes du procédé d'estimation du rayon extérieur R_e du pneumatique 13. Alternativement, ou en
20 complément, le circuit de traitement de l'unité roue 11 comporte un ou des circuits logiques programmables (FGPA, PLD, etc.), et/ou un ou des circuits intégrés spécialisés (ASIC), et/ou un ensemble de composants électroniques discrets, etc., adaptés à mettre en œuvre tout ou partie desdites étapes du procédé d'estimation du rayon extérieur R_e du pneumatique 13.

25 En d'autres termes, le circuit de traitement de l'unité roue 11 comporte un ensemble de moyens configurés de façon logicielle (produit programme d'ordinateur spécifique) et/ou matérielle (FGPA, PLD, ASIC, composants électroniques discrets, etc.) pour mettre en œuvre les étapes du procédé d'estimation du rayon extérieur R_e du pneumatique 13.

30 Dans un exemple particulier de réalisation, et à titre nullement limitatif, l'unité roue 11 comporte, outre des moyens de mémorisation et un capteur 14 d'accélération radiale, également un microprocesseur, une batterie et un émetteur radiofréquence, ainsi que des capteurs respectivement de température et de pression. L'unité centrale du système de surveillance comprend quant à elle un calculateur
35 électronique intégrant un récepteur radiofréquence connecté à une antenne, cela afin

de réceptionner des signaux émis par l'unité roue 11 et, le cas échéant, émettre des alertes à destination du conducteur du véhicule. Typiquement, l'unité centrale est configurée pour émettre des alertes lorsque la pression d'un pneumatique 13 chute en deçà d'un seuil prédéterminé, informant ainsi un utilisateur du véhicule de la nécessité
 5 de procéder à un gonflage complémentaire, voire éventuellement de remplacer ledit pneumatique 13.

Le procédé d'estimation du rayon extérieur R_e du pneumatique 13 comporte plusieurs étapes. Dans son principe général, ledit procédé consiste à tout d'abord obtenir des mesures effectuées par ledit capteur 14 au cours d'une fenêtre
 10 temporelle. Une variation de fréquence de rotation de la roue 10 ainsi qu'une valeur d'accélération longitudinale du véhicule sont déterminées pour ladite fenêtre temporelle en fonction desdites mesures. Par la suite, le rayon extérieur R_e du pneumatique 13 est estimé en fonction de ladite variation de fréquence et de ladite valeur d'accélération longitudinale. En comparaison avec l'état de l'art, ledit procédé a
 15 pour objectif de permettre une estimation plus fine et plus précise du rayon extérieur R_e du pneumatique 13, l'amélioration de ladite estimation étant conditionnée ici par une détermination précise de ladite variation de fréquence ainsi que de ladite valeur d'accélération longitudinale. Par conséquent, l'estimation du rayon extérieur R_e est obtenue sans qu'il soit nécessaire de réaliser de mesures directes d'autres
 20 paramètres géométriques dudit pneumatique 13. Par « autres paramètres géométriques », on fait référence ici à des valeurs dimensionnelles intrinsèques du pneumatique 13, ou bien encore à des valeurs dimensionnelles représentatives de la position relative du pneumatique 13 par rapport à la roue 10 ou tout autre élément du véhicule.

25 A cet effet, le procédé comporte dans un premier temps une étape 100 d'acquisition par le capteur 14 d'accélération radiale d'un signal S pendant une fenêtre temporelle W prédéterminée lorsque le véhicule est en mouvement suivant un régime non stabilisé.

De manière conventionnelle, le capteur 14 d'accélération radiale procède à
 30 l'acquisition de signaux sous forme analogique. Pour la suite de la description, on adopte la convention selon laquelle l'accélération radiale de la roue 10 est mesurée suivant un axe radial reliant le capteur 14 à l'axe de rotation 15 de la roue 10, ainsi qu'orienté de manière centripète. Suivant une telle convention, et après projection sur ledit axe radial, il est connu qu'un signal d'accélération radiale est, au cours de la
 35 fenêtre temporelle W, la somme de trois composantes :

- une composante A_M dite « moyenne » due à la force centripète (encore plus généralement dite force « centrale » lorsqu'il est fait abstraction de son sens d'orientation) exercée sur le capteur 14 d'accélération radiale, et égale à :

$$R_c \times \omega^2,$$

5 où R_c désigne la distance séparant l'axe 15 de rotation de la roue 10 du capteur 14 d'accélération radiale, et ω désigne la vitesse de rotation de la roue 10 considérée au niveau dudit capteur 14 d'accélération radiale ;

- une composante A_G dite « gravitationnelle » due à la force de gravité exercée sur le capteur 14 d'accélération radiale, et égale à :

10
$$g \times \sin(\omega \times (t-t_0) + \varphi(t_0)),$$

où g représente l'accélération de la pesanteur, t_0 désigne un instant de référence dans la fenêtre temporelle considérée et $\varphi(t_0)$ désigne la phase initiale du signal ;

- une composante A_L dite « longitudinale » due à force de poussée ou de freinage subie par le véhicule au cours de son déplacement, et égale à :

15
$$\gamma \times \sin(\omega \times (t-t_0) + \varphi(t_0)),$$

où γ désigne l'amplitude de la force de poussée ou de freinage. Ainsi, lorsque le véhicule roule en régime stabilisé, c'est-à-dire à vitesse constante, la composante longitudinale A_L est nulle.

20 Il est à noter qu'au cours de son mouvement, la roue 10 du véhicule peut être soumise à des mouvements verticaux, c'est-à-dire orientés suivant le champ de pesanteur, selon notamment l'état de la route (bosses, nids de poule, etc.). A ce mouvement vertical est ainsi associée une composante d'accélération verticale qui n'est toutefois pas prise en compte dans la décomposition donnée ci-dessus de la
25 projection du signal d'accélération radiale sur l'axe radial. En effet, l'état de la route n'étant pas connu à l'avance, il n'est pas possible de modéliser l'accélération verticale correspondante de manière déterministe. Il n'en reste pas moins que les mouvements verticaux causés par l'état de la route restent éphémères, et de ce fait n'affectent pas la validité des résultats obtenus ci-après.

30 Lorsque le véhicule se déplace, l'unité roue 11, et donc le capteur 14 d'accélération radiale *in fine*, suit le mouvement de la roue 10. A cet effet, et tel qu'illustré dans la **figure 1**, l'unité roue 11 va occuper, au cours d'un tour complet de roue 10, notamment quatre positions distinctes, dites positions extrêmes, et notées C_1 , C_2 , C_3 et C_4 . Elles correspondent respectivement aux positions extrêmes
35 haute, gauche, basse et droite. Ainsi, lorsque le capteur 14 d'accélération radiale se

trouve en position C_2 ou C_4 , l'amplitude de la composante longitudinale A_L est, en valeur absolue et lorsque le véhicule est bien en train d'accélérer, maximale alors que celle de la composante gravitationnelle A_G est nulle. Inversement, lorsque le capteur 14 d'accélération radiale se trouve en position C_1 ou C_3 , l'amplitude de la composante gravitationnelle A_G est, en valeur absolue, maximale alors que celle de la composante longitudinale A_L est nulle. On comprend donc que les valeurs de l'accélération radiale oscillent autour de la composante moyenne A_M selon les valeurs respectivement prises par les composantes gravitationnelle A_G et longitudinale A_L .

La **figure 3** est une courbe représentative d'un exemple de signal S_1 acquis par le capteur 14 d'accélération radiale au cours d'une fenêtre temporelle W_1 . Dans l'exemple de la **figure 3**, le signal S_1 est représenté dans un diagramme indiquant sur l'axe des abscisses le temps mesuré en secondes, et sur l'axe des ordonnées la valeur de l'accélération radiale mesurée en $m.s^{-2}$. L'acquisition du signal S_1 débute en un instant T_{ini} pris ici, de manière arbitraire et nullement limitative, comme étant l'origine des temps du diagramme. L'instant final d'acquisition est noté T_{fin} , de sorte que la fenêtre temporelle W_1 correspond à l'intervalle $[T_{ini}, T_{fin}]$. Selon cet exemple, le signal S_1 comporte tout d'abord une première phase correspondant à un déplacement suivant un régime non stabilisé (ou de manière équivalent un régime variable) du véhicule, de l'instant initial T_{ini} jusqu'à un instant intermédiaire T_{int} . Au cours de cette première phase, le véhicule roule suivant un régime où la composante moyenne A_M de l'accélération radiale est croissante, de sorte que sa vitesse augmente. A compter de T_{int} et jusqu'à T_{fin} , le signal S_1 comporte une seconde phase correspondant à un déplacement suivant un régime stabilisé du véhicule. Au cours de cette seconde phase, la composante moyenne A_M de l'accélération radiale et la composante longitudinale A_L sont respectivement constante et nulle, de sorte que le véhicule roule à vitesse constante. En outre les points C_1 , C_2 , C_3 et C_4 , correspondant auxdites positions extrêmes, sont indiqués de manière périodique sur la **figure 3**, en fonction des tours effectués par la roue 10.

Il est à noter que la **figure 3** permet d'illustrer de manière générale l'aspect d'un signal acquis par le capteur 14 d'accélération radiale. Il ressort néanmoins clairement de la description de la **figure 3** que le signal S dont il est fait mention dans l'étape 100 d'acquisition correspond par exemple, en référence à la **figure 3**, à la partie du signal S_1 comprise dans l'intervalle $[T_{ini}, T_{int}]$, cet intervalle correspondant alors à ladite fenêtre temporelle W .

On comprend donc qu'un signal acquis par le capteur 14 d'accélération radiale, s'il présente toujours des oscillations autour de la composante moyenne A_M , peut comprendre une ou plusieurs phases respectivement de régime stabilisé ou de régime non stabilisé (correspondant à une augmentation ou bien à une baisse de la vitesse du véhicule), et ce dans n'importe quel ordre. C'est pourquoi, le signal S de l'étape 100 fait ainsi référence soit à un signal acquis au cours d'une fenêtre temporelle spécifiquement configurée pour limiter l'acquisition à une phase de régime non stabilisé du véhicule, soit à une partie d'un signal comportant plusieurs phases de régime du véhicule dont au moins une phase de régime non stabilisé.

Pour la suite de la description, on adopte la convention selon laquelle le véhicule est configuré pour rouler à une vitesse comprise entre 20 km/h et 150 km/h. Une telle gamme de vitesses correspond à une fréquence de rotation de la roue comprise entre 3 Hz et 25 Hz. Par conséquent, la fenêtre temporelle W est choisie de sorte à permettre l'acquisition d'un signal S pendant une durée appropriée pour la détection d'extrema locaux comme décrit ci-après. Par exemple, la durée de la fenêtre temporelle W est comprise entre 80 ms et 700 ms. Rien n'exclut cependant, suivant d'autres exemples non détaillés ici, que la durée de la fenêtre temporelle W soit choisie en dehors de l'intervalle [80ms, 700 ms], l'homme du métier sachant paramétrer une telle durée en fonction de la gamme de vitesses du véhicule.

On note que l'étape 100 d'acquisition est conditionnée par le fait que le véhicule est en mouvement suivant un régime non stabilisé. Dans un exemple de mise en œuvre, l'étape 100 d'acquisition est exécutée une seule fois par cycle de roulage. Par « cycle de roulage », on fait référence ici à un cycle débutant, par exemple, une fois que le véhicule a roulé pendant au moins une minute à une vitesse supérieure à 20 km/h et se terminant, par exemple, une fois que le véhicule est à l'arrêt pendant au moins 15 minutes. Rien n'exclut cependant, suivant d'autres exemples non détaillés ici, qu'un cycle de roulage soit défini par d'autres paramètres. Alternativement, l'étape 100 est par exemple exécutée périodiquement au bout d'un nombre prédéterminé de cycles de roulage, par exemple tous les cinq cycles de roulage.

Le procédé comporte ensuite une étape 200 de détection d'au moins trois extrema locaux du signal S.

Dans un mode particulier de mise en œuvre, la détection des extrema locaux au sein de la fenêtre temporelle W comporte tout d'abord un échantillonnage du signal S à une fréquence prédéterminée. Par exemple, le signal S est échantillonné

à une fréquence supérieure à 500 Hz, par exemple égale à 2 kHz. Rien n'exclut cependant, suivant d'autres exemples non détaillés ici, d'échantillonner à une fréquence supérieure à 2 kHz. A cet effet, l'homme du métier sait mettre en œuvre l'électronique nécessaire pour échantillonner à une fréquence voulue, dans les limites
 5 de design et de coût prescrites par les spécifications techniques de fabrication de l'unité roue 11.

Il est à noter que par l'expression « extremum local », on fait référence ici au fait que le critère de maximalité (ou bien de minimalité) qui doit être satisfait en un échantillon d'un signal pour que cet échantillon soit considéré comme un extremum
 10 est défini en relation avec une fenêtre de détection autour dudit échantillon.

Par exemple, une fenêtre de détection d'un échantillon donné est définie comme étant l'ensemble regroupant les cinq échantillons antérieurs audit échantillon donné, ainsi que les cinq échantillons ultérieurs audit échantillon donné. L'homme du métier sait choisir de manière appropriée la taille d'une fenêtre de détection à
 15 considérer afin d'assurer une détection précise des extrema locaux d'un signal.

Préférentiellement, le signal S échantillonné est ensuite filtré afin d'écarter les aberrations de mesure dues, par exemple, à de mauvaises conditions de roulage du véhicule. Filtrer ainsi le signal S permet d'éviter de détecter des extrema locaux parmi le bruit pouvant affecter les mesures du capteur 14 d'accélération radiale. Par
 20 exemple, un filtre passe-bas est appliqué au signal S, la fréquence de coupure dudit filtre étant de préférence égale à 200 Hz. Rien n'exclut cependant d'appliquer d'autres types de filtres avec des fréquences de coupure différentes suivant les informations qui doivent être recherchées et isolées dans le signal S.

Une fois le signal S échantillonné, et le cas échéant filtré, les extrema
 25 locaux sont détectés de manière connue en soi, par exemple au moyen d'une fenêtre de détection glissante parcourant la fenêtre temporelle W associée. Autrement dit, il s'agit de parcourir la série temporelle des échantillons et d'y détecter les extrema locaux.

Comme décrit ci-avant, le signal S oscille autour de sa composante
 30 moyenne A_M . On comprend donc que les extrema locaux du signal S correspondent aux valeurs d'accélération radiale acquises aux positions extrêmes C_1 et C_3 , c'est-à-dire lorsque la composante gravitationnelle A_G de l'accélération radiale est maximale en valeur absolue. Ainsi, dans le présent exemple de mise en œuvre, les extrema locaux du signal S sont respectivement associés à des instants de détection
 35 correspondant aux instants auxquels le capteur 14 d'accélération radiale occupe soit

une position C_1 , soit une position C_3 . Ces instants de détection sont en outre mémorisés par les moyens de mémorisation de l'unité roue 11, dans l'attente d'être traités au cours des étapes ultérieures du procédé.

5 De plus, lesdits extrema locaux sont également respectivement associés à des valeurs de phase correspondant aux valeurs de phases desdites positions C_1 et C_3 . En d'autres termes, la différence entre les phases respectives de deux extrema locaux consécutifs du signal S est égale à π . De manière plus générale, la différence entre les phases respectives de deux positions extrêmes quelconques C_1 et C_3 du signal S est un multiple de π .

10 Pour la suite de la description, on adopte la convention selon laquelle, pour un tour de roue 10, les valeurs de phase des extrema locaux correspondant aux positions extrêmes C_1 , C_2 , C_3 et C_4 sont égales respectivement à 0, $\pi/2$, π , $3 \times \pi/2$. Au bout d'un tour de roue 10, la valeur de phase d'un extremum local correspondant à la position C_1 est égale à $2 \times \pi$ (encore noté « 2π »), etc.

15 Il importe de noter que le fait de rechercher les extrema locaux du signal S, plutôt que de considérer d'autres échantillons de manière aléatoire, est avantageux car cela permet de les caractériser de manière certaine via leurs instants de détection et leurs valeurs de phase respectives. En effet, les extrema locaux du signal S correspondent aux seuls échantillons auxquels il est possible d'attribuer
20 respectivement une valeur de phase connue. En dehors de ces extrema locaux, il n'est pas possible de connaître la valeur de phase d'un échantillon.

Ainsi, à l'issue de l'étape 200, chaque extremum local du signal S est associé à une valeur de phase ainsi qu'à un instant de détection dans la fenêtre temporelle W.

25 A la suite de l'étape 200, le procédé comporte une étape 300 de détermination d'une variation de fréquence F' de rotation de la roue 10 du véhicule, pour la fenêtre temporelle W considérée, en fonction desdites valeurs de phase et desdits instants de détection.

Procéder de la sorte pour déterminer la variation de fréquence F' est
30 particulièrement avantageux car cela permet d'obtenir une valeur très précise qui tient compte de la dynamique de la roue 10, et cela lorsque le véhicule se déplace suivant un régime non stabilisé.

Dans un mode particulier de réalisation, un signal temporel de phase φ est déterminé par interpolation quadratique des valeurs de phase respectives de trois
35 extrema locaux détectés au cours de l'étape 200. Ledit signal temporel φ correspond

donc, d'un point de vue mathématique, à une fonction continue dont l'argument est le temps.

Afin d'illustrer, à titre nullement limitatif, un exemple d'interpolation quadratique, on considère, au sein de la fenêtre temporelle W , trois extrema locaux
5 respectivement associés aux valeurs de phase 0 , π et 2π . Ces valeurs de phase correspondent respectivement aux instants de détection notés t_0 , t_1 et t_2 . Le signal de phase φ est recherché sous la forme :

$$\varphi(t) = A \times (t-t_0)^2 + B \times (t-t_0),$$

où A et B sont des constantes. La détermination des constantes A et B
10 s'effectue classiquement en résolvant un système de deux équations à deux inconnues. Ce système s'écrit :

$$\varphi(t_1) = \pi, \text{ et } \varphi(t_2) = 2\pi,$$

de sorte qu'on obtient respectivement :

$$A = \pi \times \frac{2 - \frac{t_2-t_0}{t_1-t_0}}{t_1 \times t_2 \times \left(\frac{t_2-t_0}{t_1-t_0} - 1 \right)} \text{ et } B = \pi \times \frac{(t_2-t_0)^2 - 2 \times (t_1-t_0)^2}{t_1 \times t_2 \times (t_2-t_1)}.$$

15 Selon ces calculs, on observe que lorsque que la durée t_2-t_0 est égale au double de la durée t_1-t_0 , le coefficient A est nul. Cela correspond à la situation dans laquelle le signal S , dont sont extraits les extrema locaux, est une sinusoïde, à savoir donc que le véhicule se déplace à vitesse constante et que le signal de phase est une fonction affine du temps.

20 Par contre, lorsque la durée t_2-t_0 n'est pas égale au double de la durée t_1-t_0 , soit donc lorsque le véhicule se déplace selon un régime variable, on comprend alors que le fait de rechercher une interpolation quadratique de la phase permet avantageusement de faire une estimation plus fine de l'évolution temporelle du signal de phase φ . En effet, dans ce type de régime, l'évolution temporelle du signal
25 de phase φ n'est plus linéaire.

Par conséquent, un avantage lié au fait de faire une interpolation quadratique des extrema locaux détectés dans une fenêtre temporelle W est de permettre l'obtention d'un signal de phase φ représentatif de tout type de régime de déplacement du véhicule, et donc en particulier d'un régime non stabilisé comme cela
30 est le cas dans le cadre de la présente invention.

On note par ailleurs que la détermination du signal de phase φ selon ce mode de mise en œuvre nécessite peu de calculs, et peut donc être exécutée très rapidement. En effet, ladite interpolation quadratique est déterminée par les calculs desdits coefficients A et B . Or ces calculs se basent uniquement sur des opérations

algébriques à partir des instants de détection, plus spécifiquement des durées t_1-t_0 et t_2-t_0 . Par conséquent, l'exécution de ce type de calculs ne requiert pas d'architecture électronique complexe de l'unité roue 11, ce qui en simplifie la conception.

5 La forme sous laquelle est recherché le signal de phase φ , et indiquée ci-avant, correspond à une configuration dans laquelle la phase du signal S acquis dans la fenêtre temporelle W est considérée comme nulle à l'instant t_0 . Il s'agit là d'une convention adoptée afin de simplifier la description de la présente invention. Ainsi, rien n'exclut, suivant d'autres exemples non détaillés ici, d'avoir un extremum local associé
10 à un instant de détection t_0 et pour lequel la valeur de la phase est un multiple de π . Dans ce cas, l'homme du métier sait sous quelle forme rechercher ladite interpolation quadratique.

On note par ailleurs que, pour la mise en œuvre dudit mode particulier, les extrema locaux de la fenêtre temporelle considérée sont consécutifs. Procéder de la
15 sorte permet avantageusement d'interpoler des valeurs de phase peu espacées dans le temps, c'est-à-dire obtenues à partir d'un nombre restreint de tours de la roue 10, par exemple typiquement deux tours de roue 10. De cette manière, il est possible d'obtenir rapidement un signal de phase, sans avoir à attendre de multiples tours de roue 10, ce qui est plus adapté à la détermination d'une fréquence représentative du
20 régime non stabilisé selon lequel le véhicule se déplace.

Toutefois, suivant d'autres exemples de mise en œuvre, rien n'exclut de déterminer un signal temporel de phase φ par interpolation quadratique d'extrema locaux non consécutifs. Dans la mesure où l'interpolation recherchée est une fonction polynomiale de degré deux, la seule condition imposée est de disposer de trois
25 valeurs d'interpolation (soit donc trois extrema). D'une manière générale, quelque soit les extrema locaux considérés, un exemple d'interpolation quadratique consiste à déterminer le polynôme de Lagrange passant par ces extrema locaux.

De plus, les inventeurs ont constaté que le fait de rechercher le signal de phase φ sous la forme d'une fonction polynomiale de degré deux permettait d'obtenir
30 une bonne approximation, et donc une précision suffisante pour la détermination d'une variation de fréquence associée à la fenêtre temporelle. Rien n'exclut cependant de déterminer le signal de phase φ au moyen d'une régression polynomiale de degré supérieur à deux, ou bien encore au moyen d'une interpolation par des fonctions polynomiales par morceaux, comme par exemple des splines.

Une fois le signal de phase φ déterminé pour la fenêtre temporelle W , ladite variation de fréquence F' est à son tour déterminée par évaluation de la dérivée seconde dudit signal φ .

Par exemple, lorsque le signal de phase φ est déterminé par interpolation quadratique sous la forme :

$$\varphi(t) = A \times (t-t_0)^2 + B \times (t-t_0),$$

la fréquence F est donnée par la formule :

$$F = \frac{1}{2\pi} \times \frac{d\varphi(t)}{dt}(t) = \frac{1}{\pi} \times \left[A \times (t - t_0) + \frac{B}{2} \right].$$

Il s'en suit que la variation de fréquence F' vérifie :

$$F' = \frac{1}{2\pi} \times \frac{d^2\varphi(t)}{dt^2} = \frac{A}{\pi}$$

Par conséquent, le fait de déterminer de manière plus précise (par rapport à une simple approximation linéaire) le signal de phase φ permet d'obtenir une valeur très précise de la variation de fréquence F' de rotation de la roue 10. On comprend par ailleurs que le fait de réaliser une interpolation quadratique de trois extrema pour obtenir le signal de phase φ permet de déterminer simplement et très rapidement F' , qui est dès lors constante. De plus, on note que si cette variation de fréquence est déterminée ici dans le cadre d'un véhicule se déplaçant suivant un régime non stabilisé, les calculs mis en œuvre restent applicables à tout type de régime de déplacement dudit véhicule.

On note que si le signal de phase φ est déterminé sous la forme d'un polynôme de degré strictement supérieur à 2, la dérivée seconde du signal de phase φ n'est pas une constante mais une fonction numérique variant avec le temps. Dans ce cas, on adopte la convention selon laquelle la variation de fréquence F' correspond à l'évaluation de la dérivée du signal φ en un instant prédéterminé t_p au sein de la fenêtre temporelle W . Un tel instant t_p ne correspond pas nécessairement à un instant de détection d'un extremum local dans ladite fenêtre W . Par exemple, ledit instant t_p est égal à un instant de début (ou bien à un instant de fin) de la fenêtre W . Rien n'exclut cependant de considérer un instant t_p quelconque au sein de la fenêtre W pour évaluer le signal de phase φ et donc aussi la variation de fréquence F' .

Le procédé comporte ensuite une étape 400 de détermination, pour au moins un instant de détection, d'un écart entre l'extremum local associé audit au moins un instant de détection et un signal de référence obtenu par suppression des oscillations du signal S , de sorte que ledit signal de référence soit représentatif de l'accélération centrale de la roue 10 au cours de ladite fenêtre temporelle W .

La **figure 4** est une représentation d'une restriction de la courbe de la **figure 3** à l'intervalle $[T_{ini}, T_{int}]$, et correspondant au déplacement du véhicule selon un régime non stabilisé.

Notons tout d'abord que « par suppression des oscillations », on fait
 5 référence ici au fait d'obtenir une estimation de la composante moyenne A_M du signal S qui est bien représentative de l'accélération centrale de la roue 10. Par exemple, lorsque le signal S acquis est échantillonné à une fréquence prédéterminée, ledit signal de référence est obtenu par régression linéaire desdits échantillons du signal S . Une régression linéaire permet d'obtenir rapidement une estimation de la
 10 composante moyenne A_M du signal S sans nécessiter la mise en œuvre d'une électronique complexe. Un tel signal de référence obtenu par régression linéaire est par exemple illustré dans la **figure 4**, et noté S_r .

Rien n'exclut cependant de déterminer le signal de référence de manière
 différente, par exemple en filtrant le signal S au moyen d'un filtre passe-bas. Dans ce
 15 cas, la fréquence de coupure du filtre passe-bas appliqué est par exemple inférieure ou égale à 10 Hz, préférentiellement inférieure à 5 Hz, et encore plus préférentiellement inférieure à 1 Hz. Le choix d'une valeur particulière pour ladite fréquence de coupure dépend classiquement du rapport entre la précision recherchée et le coût de mise en œuvre associé (ce coût étant relatif à la complexité de
 20 l'électronique embarquée dans l'unité roue 11).

Un écart, en l'instant de détection qui lui est associé, quantifie la contribution à l'accélération radiale des composantes gravitationnelle A_G et longitudinale A_L . Dans la mesure où le vecteur d'accélération gravitationnelle et le vecteur d'accélération longitudinale sont par définition orthogonaux à tout instant, la
 25 mesure d'un tel écart en l'instant de détection associé est égale à :

$$E_G \times \sqrt{A_L^2 + g^2}$$

où E_G correspond à une erreur de gain du capteur 14 d'accélération radiale. Par exemple, et tel qu'illustré dans la **figure 4**, un écart entre un extremum local associé à une position extrême C_1 ou C_3 et le signal de référence S_r est
 30 mesurée verticalement, c'est-à-dire parallèlement à l'axe des ordonnées. Lesdits écarts sont illustrés dans la **figure 4** au moyen de traits fléchés à leurs deux extrémités.

Pour la suite de la description, et sauf indication contraire, l'erreur de gain E_G est considérée comme unitaire. Une alternative de mise en œuvre dans

laquelle cette erreur de gain est déterminée plus précisément est exposée ultérieurement.

Dans un mode préféré de mise en œuvre, une pluralité d'instants de détection sont considérés, de sorte à obtenir une pluralité d'écarts respectivement associés auxdits instants de détection. Procéder de la sorte permet de recueillir davantage d'information quant à l'évolution de la composante longitudinale A_L de l'accélération radiale, et in fine, comme cela est explicité ci-après plus en détails, de déterminer avec précision une valeur pour la composante longitudinale A_L . De manière encore plus préférée, tous les instants de détection déterminés lors de l'étape 200 de détection sont considérés pour déterminer des écarts.

L'invention n'est cependant pas limitée à la détermination d'une pluralité d'écarts. En effet, rien n'exclut de considérer un seul instant de détection dans la fenêtre temporelle W , de sorte à calculer un seul écart. Typiquement, le choix quant à la détermination du nombre d'écarts à calculer dépend de la précision recherchée pour l'évaluation de la composante longitudinale A_L , ainsi qu'également de la capacité de stockage des moyens de mémorisation de l'unité roue 11.

Le procédé comporte ensuite une étape 500 de détermination d'une valeur d'accélération longitudinale V_{al} du véhicule pour la fenêtre temporelle W considérée en fonction dudit au moins un écart.

Dans un mode préféré de mise en œuvre, lorsqu'une pluralité d'instants de détection sont considérés, de sorte à obtenir une pluralité d'écarts respectivement associés auxdits instants de détection, la valeur d'accélération longitudinale V_{al} est calculée selon la formule :

$$V_{al} = \sqrt{\Delta M^2 - g^2}$$

où ΔM est une quantité représentative d'une moyenne des valeurs absolues respectives desdits écarts. De manière encore plus préférée, tous les instants de détection sont considérés.

Par exemple, la quantité ΔM est égale au rapport entre la moyenne arithmétique desdites valeurs absolues et l'erreur de gain E_G du capteur 14 d'accélération radiale. On comprend donc, au regard des formules données ci-avant pour la mesure d'un écart, qu'en exprimant le coefficient ΔM de cette manière, cela revient à estimer une valeur approchée de l'accélération longitudinale du véhicule pour l'ensemble de la fenêtre temporelle W .

Il est à noter que le fait de considérer les écarts en valeurs absolues permet de supprimer l'effet de toute convention qui pourrait être choisie concernant la

mesure desdits écarts. Typiquement, si les écarts sont mesurés algébriquement par rapport à la composante moyenne de l'accélération du véhicule, ils sont alors alternativement positifs et négatifs.

5 Rien n'exclut cependant de calculer la quantité ΔM d'une manière différente, dès lors qu'elle reste représentative des écarts mesurés au cours de l'étape 400. Par exemple, d'autres types de moyennes sont envisageables, comme une moyenne géométrique, une moyenne quadratique, etc.

10 Rien n'exclut non plus de déterminer pour chaque instant de détection, en fonction de l'écart mesuré lors de l'étape 400 de détection, la valeur de la composante longitudinale A_L associée, puis de calculer une moyenne, par exemple arithmétique, desdites valeurs de composantes longitudinales.

Finalement, le procédé comporte une étape 600 d'estimation dudit rayon extérieur R_e en fonction de ladite valeur d'accélération longitudinale V_{al} ainsi que de ladite variation de fréquence F' .

15 De manière connue, la vitesse du véhicule est égale au produit du rayon extérieur R_e du pneumatique par la vitesse de rotation ω . Ladite vitesse de rotation ω est elle-même égale au produit de la fréquence de rotation de la roue 10 par la quantité 2π . Par conséquent, la dérivée temporelle de la vitesse du véhicule, qui correspond à l'accélération longitudinale dudit véhicule, s'exprime comme les produits
20 entre eux du rayon extérieur R_e , de ladite quantité 2π et de la dérivée temporelle de la fréquence de rotation de la roue 10.

Dès lors, dans un mode préféré de mise en œuvre, le rayon extérieur R_e est calculé selon la formule :

$$R_e = \frac{V_{al}}{2 \times \pi \times F'}$$

25 Un tel calcul permet avantageusement de déterminer le rayon extérieur R_e du pneumatique 13 avec une grande précision. Une telle précision résulte, d'une part, du mode de détermination de la variation de fréquence F' lors de l'étape 300, et d'autre part du mode de détermination de la valeur d'accélération V_{al} lors de l'étape 500. En outre, il faut noter qu'un tel calcul ne nécessite aucune mesure directe
30 de paramètres géométriques dudit pneumatique 13. Par conséquent, l'unité roue 11 détermine ledit rayon extérieur R_e de manière autonome, ce qui contribue favorablement à simplifier l'électronique embarquée dans le véhicule en comparaison avec les solutions connues jusqu'à présent. De plus, la précision atteinte dans le calcul du rayon extérieur R_e se répercute directement sur la précision avec laquelle
35 l'état d'usure du pneumatique 13 est estimé.

Il convient de noter que, jusqu'à présent, le procédé selon l'invention a été décrit de sorte que les étapes 100 à 500 sont exécutées une fois par cycle de roulage, voire éventuellement périodiquement au bout d'un nombre prédéterminé de cycles de roulage. Une telle mise en œuvre n'est pas limitative. Ainsi, selon encore une autre alternative, une fois l'étape 100 d'acquisition réalisée, les étapes 200 à 500 sont itérées au cours du cycle de roulage considéré. Procéder de la sorte permet de mettre à jour plus régulièrement l'estimation du rayon extérieur R_e . A cet effet, la détection d'extrema est par exemple mise en œuvre pour plusieurs sous-fenêtres de la fenêtre temporelle W , le rayon extérieur R_e étant alors estimé pour chacune desdites sous-fenêtres. Lesdites sous-fenêtres correspondent par exemple au glissement d'une première sous-fenêtre.

La **figure 5** représente un organigramme d'un mode préféré de mise en œuvre du procédé d'estimation de la **figure 2**, et dans lequel l'erreur de gain E_G est déterminée préalablement à l'étape 100 d'acquisition. Par conséquent, dans ce mode préféré de mise en œuvre, l'erreur de gain n'est pas fixée unitaire.

Il est connu que l'erreur de gain E_G (encore appelée erreur d'échelle) correspond à l'erreur de pente de la courbe caractéristique du capteur 14 d'accélération radiale. En d'autres termes, il s'agit de la différence entre le signal mesuré par le capteur 14 d'accélération radiale et un signal théoriquement attendu. Aussi, dans un objectif d'amélioration de la précision des mesures effectuées par le capteur 14 d'accélération radiale, il convient d'être en mesure d'estimer ladite erreur de gain. On constate en effet que la tolérance actuelle face aux erreurs de conception d'un capteur 14 d'accélération radiale est de plus en plus faible, étant donné que la précision de mesure est de plus en plus critique pour réaliser des fonctions complexes du système de surveillance du véhicule, comme par exemple la localisation fiable d'une roue particulière subissant une perte de pression. L'estimation d'une erreur de gain du capteur 14 d'accélération radiale permet alors, de manière complémentaire à la détermination de la variation de fréquence de rotation de la roue 10, d'accroître la précision de la détermination de la composante longitudinale A_L , et donc au final celle du rayon extérieur R_e du pneumatique 13.

Tel qu'illustré par la **figure 5**, ladite erreur de gain E_G est préférentiellement déterminée au cours d'une étape 50 antérieure à l'étape 100 d'acquisition. Par exemple, pour une fenêtre temporelle W_a antérieure à la fenêtre temporelle W , un signal d'accélération radiale S_a est acquis antérieurement au

signal S, et une erreur de gain E_G du capteur 14 d'accélération radiale est estimée suivant la formule :

$$E_G = V_G / Q_G,$$

où V_G est représentatif d'une amplitude associée à au moins un extremum local de ce signal antérieur S_a , et Q_G est représentatif d'une amplitude attendue sur la base de mesures théoriquement fournies par le capteur 14 d'accélération radiale pour ledit au moins un extremum local, l'erreur de gain E_G n'étant calculée que si une phase de régime stabilisé de ce signal antérieur S_a est détectée.

La condition visant une détermination de l'erreur de gain E_G uniquement si une phase de régime stabilisé est détectée dans ladite fenêtre temporelle antérieure W_a est fondamentalement liée au fait que le profil dudit signal antérieur S_a est sinusoïdal lors d'une telle phase de régime stabilisé. Autrement dit, la composante longitudinale de l'accélération radiale est nulle.

Par exemple, une fois le signal antérieur S_a acquis, un signal temporel de phase φ_a dit antérieur est déterminé selon une mise en œuvre identique à celle décrite ci-avant pour le signal φ , par exemple par interpolation quadratique. Puis une comparaison entre la dérivée seconde de ce signal de phase antérieur φ_a et une valeur prédéterminée ε est effectuée, de sorte que si

$$|d^2\varphi_a/dt^2| < \varepsilon,$$

une phase de régime stabilisé est détectée.

De préférence, la valeur prédéterminée ε est choisie dans l'intervalle $[0,5, 1]$, par exemple égale à 0,6. Plus la valeur ε est choisie petite, c'est-à-dire proche de zéro, plus la condition à satisfaire pour détecter une phase de régime stabilisé équivaut à vérifier que le profil du signal antérieur S_a est sinusoïdal, c'est-à-dire que la fréquence de rotation de la roue 10 est constante au cours de la fenêtre antérieure W_a . En effet, au regard par exemple de l'expression analytique de φ_a dans le cas d'une interpolation quadratique, on constate que lorsque la valeur ε tend vers 0, la condition de détection d'une phase de régime stabilisé équivaut à rechercher si la durée t_2-t_1 tend à être égale à la durée t_1-t_0 . Rien n'exclut cependant d'avoir une valeur ε choisie dans un autre intervalle dont les bornes inférieure et supérieure sont respectivement plus grande que 0,5 et 1. Le choix des bornes dudit intervalle dépend de la valeur limite de la composante longitudinale de l'accélération radiale qu'on se fixe pour décider si le véhicule est en phase de régime stabilisé.

Le fait que l'erreur de gain E_G associée à une fenêtre temporelle W_a soit calculée uniquement si une phase de régime stabilisé du signal S_a est détectée

permet avantageusement de comparer une amplitude mesurée à une amplitude théorique dudit signal S_a .

Dans un exemple préféré de mise en œuvre, l'amplitude V_G correspond à l'amplitude entre deux extrema locaux consécutifs du signal S_a en phase de régime stabilisé, et Q_G vérifie :

$$Q_G = 2 \times g \times G,$$

où G est représentatif du gain d'un filtre appliqué au signal S_a pour réduire le bruit de mesure. Un tel gain G est une donnée connue et prédéterminée.

Autrement dit, il s'agit dans cet exemple de comparer V_G , qui correspond à l'amplitude crête à crête du signal S_a , avec l'amplitude correspondante théoriquement attendue sur la base de la connaissance du gain G . L'expression analytique de Q_G est justifiée par le fait que, le signal S_a oscille autour de sa composante moyenne avec une amplitude comprise entre $+g$ et $-g$, et modulée par le gain du filtre appliqué. Le fait que V_G corresponde à une amplitude crête à crête est avantageux car V_G dépend alors uniquement de l'erreur de gain.

Rien n'exclut cependant de calculer une erreur de gain E_G avec d'autres valeurs de V_G et Q_G . Par exemple, selon un autre exemple de mise en œuvre, V_G est représentatif d'une amplitude entre un extremum local du signal S_a et la composante moyenne dudit signal S_a . Dès lors, Q_G vérifie :

$$Q_G = g \times G.$$

Il convient néanmoins de noter que dans cet autre exemple, l'amplitude V_G dépend non seulement de l'erreur de gain mais aussi de la manière dont est déterminée la composante moyenne du signal S_a .

Rien n'exclut cependant, suivant une autre alternative de mise en œuvre, par exemple lorsqu'aucune phase de régime stabilisé n'est détectée antérieurement à l'étape 100 de détection du procédé d'estimation, que l'erreur de gain E_G du capteur 14 d'accélération radiale soit considérée comme unitaire. Considérer une erreur de gain E_G unitaire permet de simplifier les calculs, et donc d'alléger la tâche de l'unité roue 11. Cela étant, procéder de la sorte fait également diminuer la précision de la détermination de la composante d'accélération longitudinale. Il n'en reste pas moins que, même en considérant une erreur de gain unitaire, la précision atteinte dans la détermination de la composante d'accélération longitudinale reste très satisfaisante.

De manière générale, il est à noter que les modes de mise en œuvre considérés ci-dessus ont été décrits à titre d'exemple non limitatifs, et que d'autres variantes sont par conséquent envisageables.

Notamment, l'invention a été décrite en considérant que l'unité roue 11 fonctionne avantageusement de manière autonome, c'est-à-dire sans nécessiter d'intervention de la part d'un opérateur extérieur, et comporte, à cet effet, des moyens adaptés à la mise en œuvre de chacune des étapes du procédé de détermination de la position du capteur d'accélération radiale 14. Rien n'exclut cependant que tout ou partie desdites étapes, hormis l'étape 100 d'acquisition, soient réalisées par l'unité centrale équipant le véhicule automobile, ou bien encore par exemple par des calculateurs positionnés dans une station fixe à l'extérieur du véhicule, utilisés par un ou plusieurs opérateurs, et auxquels seraient transmis des données (signaux acquis, etc.) sous forme de signaux radioélectriques.

REVENDEICATIONS

1. Procédé d'estimation du rayon extérieur R_e d'un pneumatique équipant une roue d'un véhicule automobile, ladite roue comportant un capteur d'accélération radiale, ledit procédé **étant caractérisé en ce qu'il** comporte les étapes suivantes :
 - 5
 - une étape (100) d'acquisition par le capteur d'accélération radiale d'un signal S pendant une fenêtre temporelle W prédéterminée lorsque le véhicule est en mouvement suivant un régime non stabilisé,
 - une étape (200) de détection d'au moins trois extrema locaux du signal S, et associés respectivement à des valeurs de phase ainsi qu'à des instants de détection,
 - 10
 - une étape (300) de détermination d'une variation de fréquence F' de rotation de la roue du véhicule, pour la fenêtre temporelle W considérée, en fonction desdites valeurs de phase et desdits instants de détection,
 - une étape (400) de détermination, pour au moins un instant de détection, d'un écart entre l'extremum local associé audit au moins un instant de détection et un signal de référence obtenu par suppression des oscillations du signal S, de sorte que ledit signal de référence soit représentatif de l'accélération centrale de la roue au cours de ladite fenêtre temporelle W,
 - 15
 - une étape (500) de détermination d'une valeur d'accélération longitudinale V_{al} du véhicule pour la fenêtre temporelle W considérée en fonction dudit au moins un écart,
 - 20
 - une étape (600) d'estimation dudit rayon extérieur R_e en fonction de ladite valeur d'accélération longitudinale A_L ainsi que de ladite variation de fréquence F' .
 - 2. Procédé d'estimation selon la revendication 1, dans lequel l'étape (300) de
 - 25
 - détermination de la variation de fréquence F' comporte la détermination d'un signal temporel de phase ϕ par interpolation quadratique des valeurs de phase respectives de trois extrema locaux, ladite variation de fréquence F' étant déterminée par évaluation de la dérivée seconde dudit signal ϕ .
 - 3. Procédé selon revendication 2, dans lequel les trois extrema locaux
 - 30
 - considérés dans la fenêtre temporelle W sont consécutifs.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le signal S acquis est échantillonné à une fréquence prédéterminée, et dans lequel, au cours de l'étape (400) de détermination des écarts, ledit signal de référence est obtenu par régression linéaire desdits échantillons du signal S.

5 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel une pluralité d'instants de détection sont considérés au cours de l'étape (400) de détermination d'écart, de sorte à obtenir une pluralité d'écarts respectivement associés auxdits instants de détection, ladite valeur d'accélération longitudinale V_{al} étant calculée selon la formule :

10
$$V_{al} = \sqrt{\Delta M^2 - g^2}$$

où ΔM est une quantité représentative d'une moyenne des valeurs absolues respectives desdits écarts, et g est l'accélération de la pesanteur.

6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel tous les instants de détection déterminés lors de l'étape (200) de détection sont considérés au cours de
15 l'étape (400) de détermination des écarts.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 6, dans lequel la quantité ΔM est égale au rapport entre la moyenne arithmétique desdites valeurs absolues et une erreur de gain E_G du capteur (14) d'accélération radiale, ladite erreur de gain E_G ayant été déterminée préalablement à l'étape (100) d'acquisition au cours
20 d'une phase de régime stabilisé du véhicule.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel le rayon extérieur R_e est calculé selon la formule :

$$R_e = \frac{V_{al}}{2 \times \pi \times F_r}.$$

9. Unité roue (11) comportant un capteur (14) d'accélération radiale, ladite
25 unité roue (11) étant **caractérisée en ce qu'elle** comporte des moyens configurés pour mettre en œuvre les étapes du procédé d'estimation selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.

10. Véhicule automobile comportant une unité roue (11) selon la revendication 9.

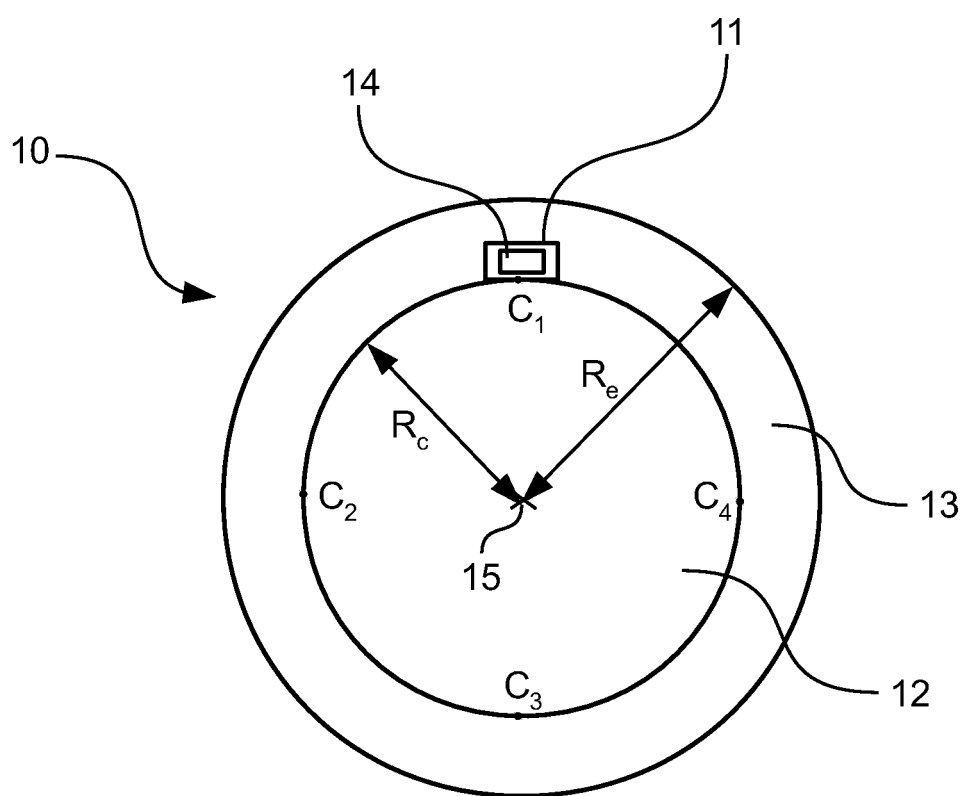


Fig. 1

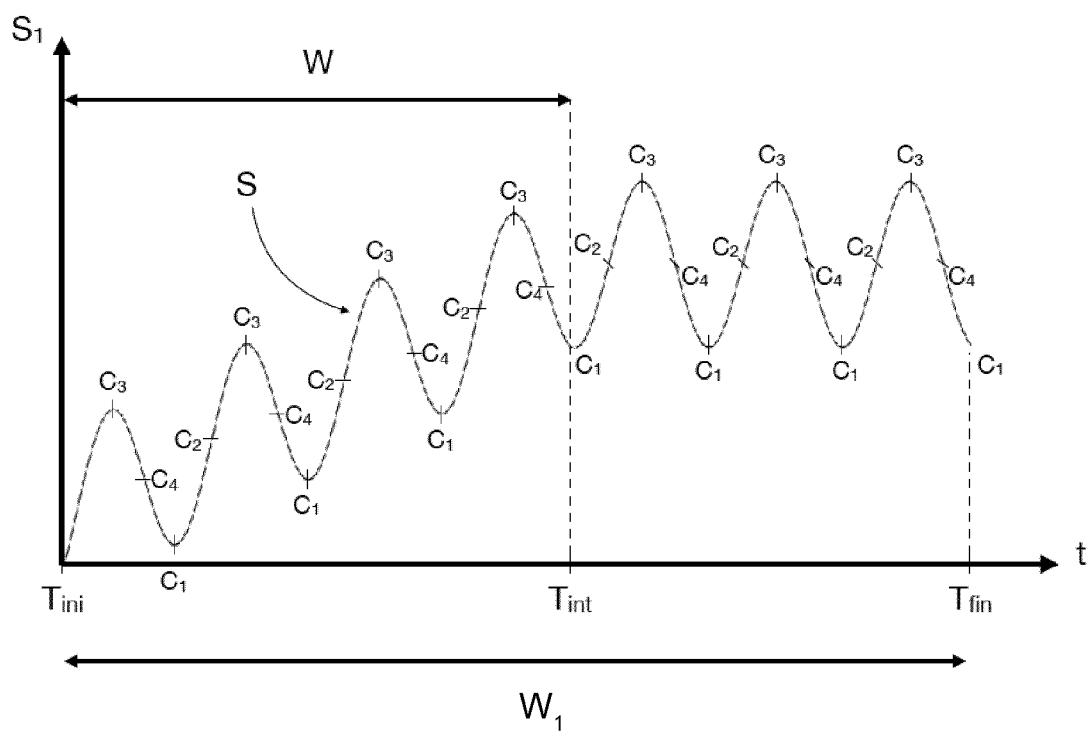


Fig. 3

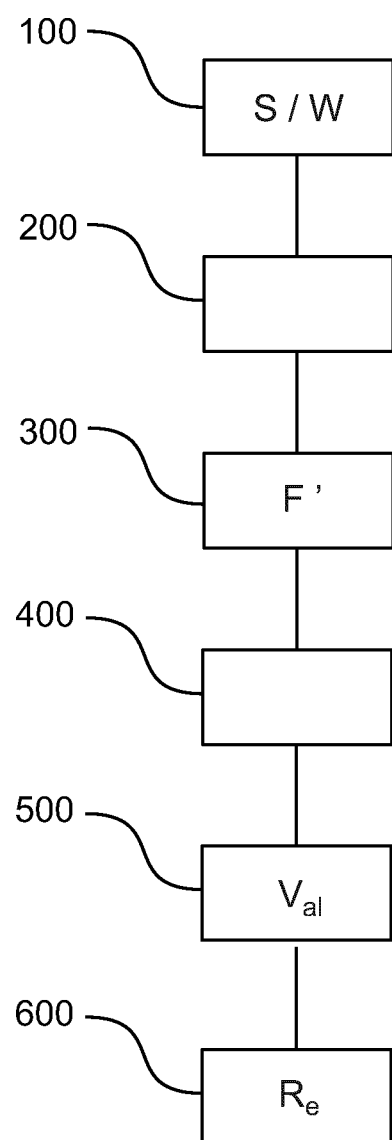


Fig. 2

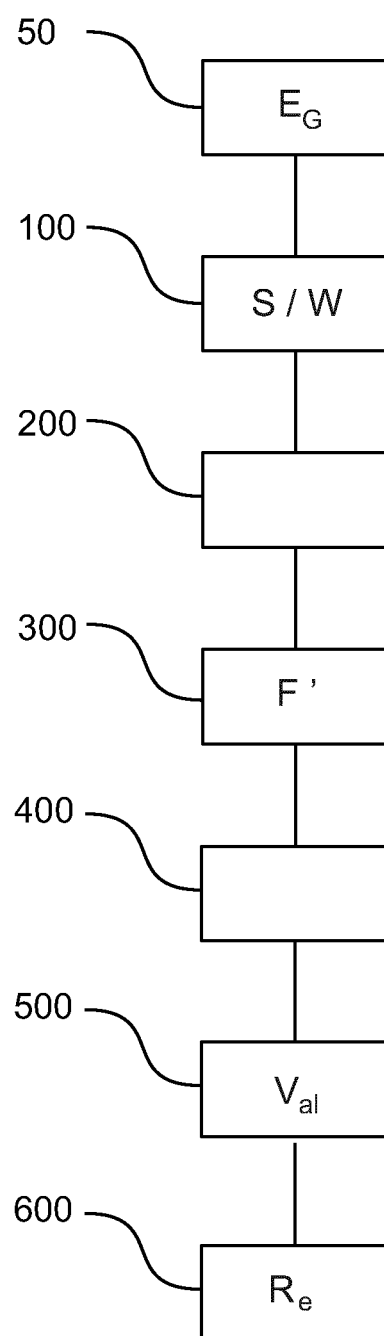


Fig. 5

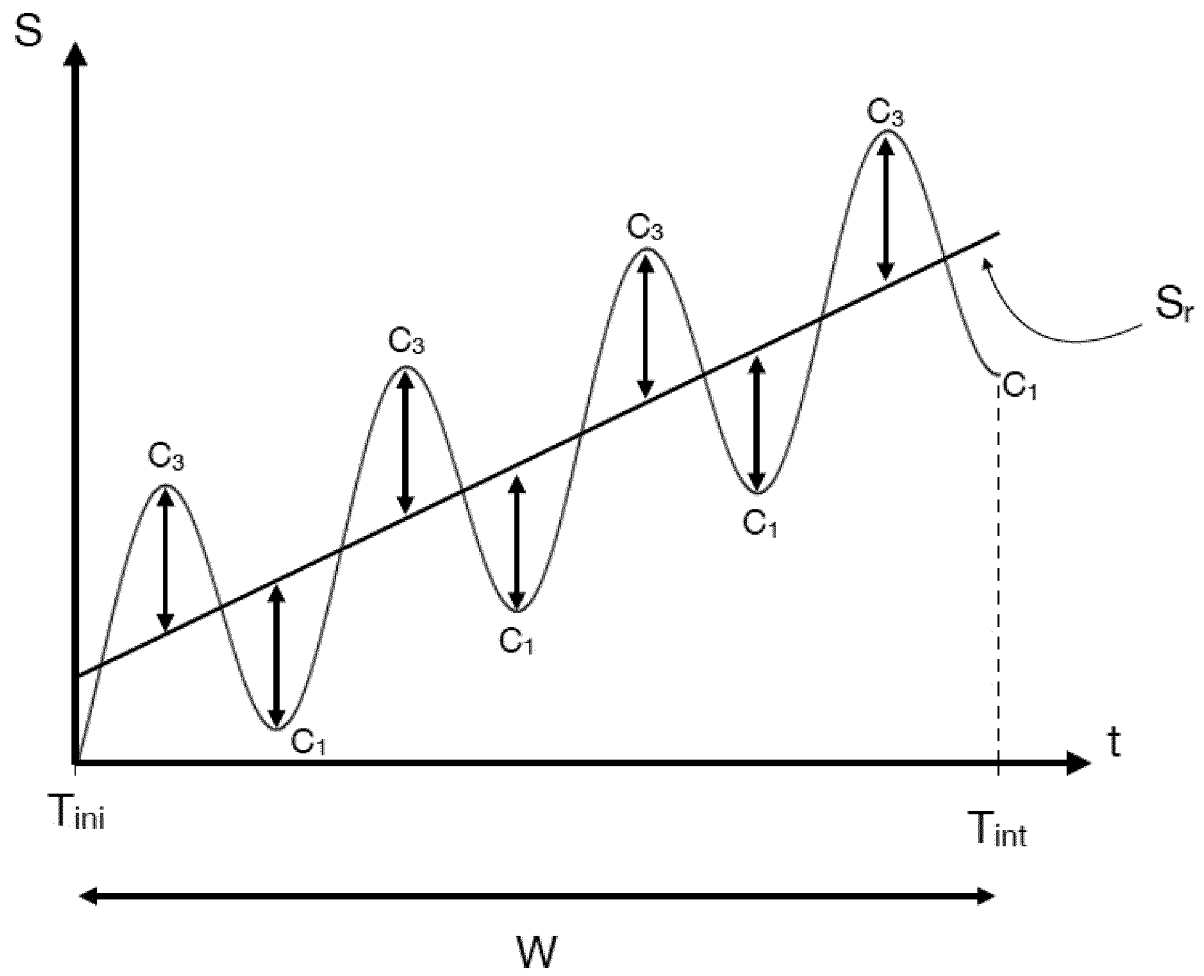


Fig. 4

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 855422
FR 1857076

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		
A	US 2010/010770 A1 (HELCK CHRISTIAN [DE]) 14 janvier 2010 (2010-01-14) * alinéa [0016] - alinéa [0038] * * alinéa [0058] - alinéa [0101]; figures 1-5 *	1-10	G01B21/12 B60C11/24
A	US 2012/319831 A1 (MAEHARA HIROAKI [JP] ET AL) 20 décembre 2012 (2012-12-20) * alinéa [0040] - alinéa [0081]; figures 3A-6B * * alinéa [0084] - alinéa [0085] *	1-10	
A	US 2003/192375 A1 (SUGAI MASARU [JP] ET AL) 16 octobre 2003 (2003-10-16) * alinéa [0049] - alinéa [0106]; figures 1-4E *	1-10	
A	US 2004/225423 A1 (CARLSON CHRISTOPHER R [US] ET AL) 11 novembre 2004 (2004-11-11) * alinéa [0045] - alinéa [0049]; figure 3A *	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B60C G01B G01M
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
16 janvier 2019		Braun, P	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
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		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	

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1857076 FA 855422

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 **16-01-2019**

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
US 2010010770	A1	14-01-2010	CN 101432155 A	13-05-2009
			DE 102006020471 A1	08-11-2007
			EP 2013039 A1	14-01-2009
			ES 2629765 T3	14-08-2017
			JP 5135329 B2	06-02-2013
			JP 2009535611 A	01-10-2009
			US 2010010770 A1	14-01-2010
			WO 2007125033 A1	08-11-2007

US 2012319831	A1	20-12-2012	CN 102991285 A	27-03-2013
			DE 102012105030 A1	20-12-2012
			JP 5447442 B2	19-03-2014
			JP 2013001220 A	07-01-2013
			KR 20120138701 A	26-12-2012
			US 2012319831 A1	20-12-2012

US 2003192375	A1	16-10-2003	JP 3899987 B2	28-03-2007
			JP 2003306093 A	28-10-2003
			US 2003192375 A1	16-10-2003

US 2004225423	A1	11-11-2004	AUCUN	
