

12 BREVET D'INVENTION B1

54 Procédé d'estimation de hauteur de sculpture d'un pneumatique monté sur un véhicule.

22 Date de dépôt : 13.06.23.

30 Priorité :

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : COMPAGNIE GENERALE DES
ETABLISSEMENTS MICHELIN Société en
commandite par actions — FR.

43 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 20.12.24 Bulletin 24/51.

45 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 23.05.25 Bulletin 25/21.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

72 Inventeur(s) : VAYSETTES Jérémy, COPPIN
David et BIESSE Frédéric.

73 Titulaire(s) : COMPAGNIE GENERALE DES
ETABLISSEMENTS MICHELIN Société en
commandite par actions.

74 Mandataire(s) : MANUFACTURE FRANCAISE DES
PNEUMATIQUES MICHELIN.



Description

Titre de l'invention : Procédé d'estimation de hauteur de sculpture d'un pneumatique monté sur un véhicule

Domaine technique

[0001] L' invention concerne un procédé d'estimation de l'usure à une échelle globale ainsi qu'un procédé de prédiction fin de vie d'un pneumatique en condition d'usage sur véhicule et un système de mise en œuvre de ces procédés. Plus particulièrement, l'invention emploie un modèle de température pour obtenir une estimation de hauteur de sculpture précise permettant une prévision de durée de vie restante du pneumatique.

Contexte

[0002] Dans le domaine des procédés d'évaluation de l'usure d'un pneumatique en condition d'usage sur véhicule, il est fréquemment considéré qu'une manière simple et facile de la déterminer est d'évaluer l'usure globale correspondant à la diminution moyenne de la hauteur de la bande de roulement (ou « hauteur de sculpture »). A cet effet, il est couramment envisagé d'employer une grandeur physique intermédiaire sensible à l'usure de la bande de roulement d'un pneumatique telle que, par exemple, le rayon de roulement ou la rigidité de pseudo-glissement K_x du pneumatique. Cette seconde grandeur représente la pente de la courbe représentant les efforts longitudinaux générés par la variation de vitesse de rotation entre le centre roue et la bande de roulement lorsque l'ensemble monté roule sur la route. La sensibilité de la rigidité de pseudo-glissement est bien plus forte à l'usure globale de l'enveloppe pneumatique que la sensibilité du rayon de roulement.

[0003] On connaît dans l'état de la technique des procédés employant une telle seconde grandeur pour caractériser l'usure globale de la bande de roulement du pneumatique en service. Cette grandeur est en effet sensible à la diminution de la hauteur de la sculpture caractérisant l'usure globale de l'enveloppe pneumatique.

[0004] Cette grandeur physique est aussi sensible à d'autres paramètres tels que la pression de gonflage (ou « pression »), la température, la charge portée par l'ensemble monté (ou « charge ») et la nature du sol sur lequel roule l'ensemble monté (ici, des « paramètres influents »). Comme divulguée par la publication WO2020/120923 de la Demanderesse, des variations de l'ensemble des paramètres influents pourraient être prises en considération pour extraire la variation de rigidité longitudinale due uniquement à la diminution de la hauteur de sculpture du pneumatique. Pour ce faire, les solutions préconisées consistent à prendre en compte les variations de ces paramètres influents au travers de mesures additionnelles ou d'informations complémentaires.

[0005] La prise en compte de l'ensemble des paramètres influents (y compris, sans limitation, la charge, la pression, la température et la hauteur sculpture) permet d'être plus précis sur l'estimation de l'usure globale et la prédiction de fin de vie du pneumatique. Toutefois, bien que quelques approches passent également par le calcul du glissement pour estimer l'usure (voir, par exemple, le brevet US10,603,962), aucune ne semble utiliser le même type de relation qui permet de passer de la rigidité de pseudo-glissement K_x à la hauteur de sculpture. En principe, l'augmentation de la rigidité de pseudo-glissement correspond à la diminution de la hauteur de sculpture. En réalité, les simulations montrent que ça augmente assez nettement avec l'usure indépendamment de la rugosité sol. Toutefois, il est constaté que la température de l'air interne d'un pneumatique indique bien son état thermique moyen.

[0006] A partir d'un modèle physique, il serait en théorie possible d'estimer la hauteur de sculpture restante d'un pneumatique d'ensemble monté à un véhicule et d'en déduire par la suite une durée de vie restante pour ce pneumatique. Ainsi, l'invention divulguée se focalise sur l'estimation de température afin d'avoir une estimation de hauteur de sculpture la plus précise possible dans le but de déterminer la durée de vie restante d'un pneumatique.

Résumé de l'invention

[0007] L'invention concerne un procédé d'estimation de hauteur de sculpture d'un pneumatique identifié d'un ensemble monté en condition de roulage sur un véhicule identifié dont le pneumatique a un sommet qui se prolonge par deux flancs se terminant par deux bourrelets de révolution autour d'un axe naturel de rotation, le sommet comprenant une bande de roulement située radialement extérieurement au pneumatique par rapport à l'axe naturel de rotation et présentant une hauteur de sculpture h moyenne, le procédé mis en œuvre par au moins un processeur d'un système qui réalise le procédé d'estimation, l'au moins processeur comprenant un module d'application d'analyse qui applique les données représentatives de caractéristiques de fonctionnement du pneumatique identifié, caractérisé en ce que le procédé d'estimation comprend les étapes suivantes :

- une étape d'identification d'un pneumatique d'un ensemble monté à un véhicule ;
- une étape de choisir une fonction de passage β définie pour une portion de route et la rigidité de la bande de roulement du pneumatique ;
- une étape de choisir une fonction de transfert F de l'ensemble monté entre une rigidité de pseudo-glissement K_x sur un sol de référence et des paramètres influents ; et, sur un cycle de mesures prédéterminé ;
- une étape de détermination d'au moins un effort F_x subi par l'ensemble monté et au moins un taux de glissement $G\%$ au centre roue de l'ensemble monté lors d'un roulage

en ligne droite du véhicule comportant des variations d'accélération sur la portion de route sèche ;

- une étape d'acquisition des paramètres d'usage de l'ensemble monté comprenant les étapes suivantes :
- une étape de détermination d'une charge (Z) subie par l'ensemble monté en condition de roulage ;
- une étape de détermination d'une température (T) de l'ensemble monté en condition de roulage ; et
- une étape de détermination d'une pression de gonflage (P) de la cavité interne de l'ensemble monté en condition de roulage ;

caractérisé en ce que la température est déterminée selon un modèle mathématique du type :

[Math 3]

$$T_{pneu} = 0.985 * \frac{P_{f_{T_{amb f}}} + 1}{P_{i_{T_{amb i}}} + 1} * (T_{amb i}) + 6.25$$

dont $T_{amb i}$ représente la température initiale en Kelvin, et $P_{f_{T_{amb f}}}$ et $P_{i_{T_{amb i}}}$ représentent les pressions respectives en fin et en début d'un trajet prédéterminé du pneumatique identifié.

- [0008] Dans certains modes de réalisation du procédé de l'invention, une épaisseur E de la bande de roulement du pneumatique identifié est déterminée selon un modèle mathématique du type :

[Math 2]

$$E = F^{-1} \left(\frac{Z}{Z_{ref}}, \frac{P}{P_{ref}}, \frac{T}{T_{ref}}, \frac{K_x^{reel}}{K_x^{ref}} \right)$$

dont la fonction de transfert F comprend au moins la pression P de gonflage, la température T, la charge Z et l'épaisseur E de la bande de roulement comme les facteurs influents ; et

dont une première rigidité de pseudo-glissement K_x^{reel} et une seconde rigidité de pseudo-glissement K_x^{ref} sont liées à la détermination de l'épaisseur E.

- [0009] Dans certains modes de réalisation du procédé de l'invention, le procédé comprend en outre une étape de renseignement de l'état de vieillissement du pneumatique identifié pendant laquelle l'identification de l'ensemble monté est employée afin de connaître l'historique de l'utilisation du pneumatique identifié.

- [0010] Dans certains modes de réalisation du procédé de l'invention, le procédé comprend en outre:

- une étape de trace d'un nuage de points qui est réalisée à partir des efforts F_x mesurés et des taux de glissement G% associés lors un roulage sur une portion de route sèche, pendant laquelle une estimation de la première rigidité de pseudo-glissement K

reel est obtenue sur sol réel correspondant à la portion de route sèche ; et

- une étape d'estimation d'une deuxième rigidité de pseudo-glissement K^{ref} en alimentant la fonction de transfert F obtenue pendant l'étape par les paramètres d'usage mesurés pendant l'étape et la hauteur de sculpture h obtenue pendant l'étape.

[0011] Dans certains modes de réalisation du procédé de l'invention, la fonction de passage β est choisie parmi une pluralité possible de fonctions de passage d'une liste des fonctions de passage β potentielles qui soit représentative de la nature médiane des portions de route que rencontrera le véhicule identifié.

[0012] Dans certains modes de réalisation du procédé de l'invention, le procédé comprend en outre une étape d'évaluation de la hauteur moyenne de sculpture en comparant cette hauteur moyenne évaluée avec les hauteurs spécifiques du pneumatique identifié.

[0013] Dans certains modes de réalisation du procédé de l'invention, le procédé comprend en outre une étape d'acquisition de la variation ΔU d'un paramètre U lié à l'utilisation du pneumatique identifié entre deux acquisitions de la hauteur moyenne de sculpture.

[0014] Dans certains modes de réalisation du procédé de l'invention, le procédé comprend en outre une étape d'évaluation de la vitesse d'usure du pneumatique identifié, cette étape comprenant une étape d'évaluation de la bande de roulement au niveau d'un point d'acquisition de la hauteur moyenne de sculpture du pneumatique identifié.

[0015] Dans certains modes de réalisation du procédé de l'invention, le procédé comprend en outre une étape d'évaluation de durée de vie restante du pneumatique identifié, cette étape comprenant une étape d'évaluation de la prédiction fin de vie selon le paramètre U lié à l'utilisation du pneumatique identifié ;

de sorte que la prédiction fin de vie est obtenue en combinant les résultats de l'étape d'identification, de l'étape d'évaluation de la hauteur moyenne de sculpture, et de l'étape d'évaluation de la vitesse d'usure du pneumatique identifié.

[0016] L'invention concerne aussi un système comprenant un réseau de communication qui gère les données représentatives de caractéristiques de fonctionnement d'un pneumatique identifié à partir d'un ensemble monté en condition de roulage sur un véhicule identifié dont le pneumatique est incorporé, caractérisé en ce que le réseau de communication comprend au moins un serveur de communication permettant d'exécuter des instructions programmées stockées dans une mémoire d'un ou des processeurs du système pour mettre en œuvre le procédé divulgué.

[0017] D'autres aspects de l'invention vont devenir évidents grâce à la description détaillée suivante.

Brève description des dessins

[0018] La nature et les divers avantages de l'invention vont devenir plus évidents à la lecture de la description détaillée qui suit, conjointement avec les dessins annexés, sur lesquels

les mêmes numéros de référence désignent partout des parties identiques, et dans lesquels :

[Fig.1] La [Fig.1] représente les constituants d'un pneumatique dans un plan méridien.

[Fig.2] La [Fig.2] représente un mode de réalisation d'un procédé d'estimation de hauteur de sculpture d'un pneumatique de l'invention.

[Fig.3] [Fig.4] **Les Figures 3 et 4 représentent, respectivement, une illustration d'une courbe de simulation de température et une illustration d'une courbe de simulation d'élévation moyenne de température d'un pneumatique d'un ensemble monté sur un véhicule.**

Description détaillée

[0019] En considérant les caractéristiques d'un pneumatique qui est le sujet une estimation de hauteur sculpture, il faut tenir compte de sa géométrie. Un pneumatique est un objet ayant une géométrie connue comprenant généralement plusieurs couches de gomme superposées (ou « couches »), ainsi qu'une structure métallique ou en fibres textiles constituant une carcasse de renfort de la structure de pneumatique. La nature de la gomme et la nature du renfort sont choisies en fonction des caractéristiques finales recherchées. La [Fig.1] comprend une représentation schématique d'un pneumatique 10 comprenant, de façon classique, deux bourrelets circonférentiels destinés à permettre l'accrochage du pneumatique sur une jante. Chaque bourrelet comprend une tringle annulaire de renfort. La constitution d'un pneumatique est typiquement décrite par une représentation de ses constituants dans un plan méridien, c'est-à-dire un plan contenant l'axe de rotation du pneumatique. Les directions radiale, axiale et circonférentielle désignent respectivement les directions perpendiculaires à l'axe de rotation du pneumatique, parallèle à l'axe de rotation du pneumatique, et perpendiculaire à tout plan méridien. Les expressions « radialement », « axialement » et « circonférentiellement » signifient respectivement « selon une direction radiale », « selon la direction axiale » et « selon une direction circonférentielle » du pneumatique. Les expressions « radialement intérieur » et « respectivement radialement extérieur » signifient « plus proche, respectivement plus éloigné, de l'axe de rotation du pneumatique, selon une direction radiale.

[0020] Le pneumatique 10 comprend également une bande de roulement 12, rajoutée sur la surface extérieure de pneumatique. La bande de roulement 12 destinée à entrer en contact avec un sol par l'intermédiaire d'une surface de roulement 12a. Le pneumatique 10 comprend en outre une armature de sommet comprenant une armature de travail 14 et une armature de frettage 16, l'armature de travail 14 ayant des couches de travail représentées par les couches 14a et 14b. Le pneumatique 10 comprend aussi deux flancs (un flanc 18 étant représenté dans la [Fig.1]) et deux bourrages 20

renforcés avec une tringle 22. Une couche carcasse radiale 24 s'étend d'un bourrelet à l'autre en entourant le tringle de manière connue. La bande de roulement 12 comporte des renforcements constitués, par exemple, des couches superposées comportant des fils de renforcement connus. Dans des modes de réalisation, le pneumatique peut inclure une gomme 26 qui évacue l'électricité statique produite lors du roulage.

[0021] La bande de roulement 12 est délimitée, selon la direction radiale, par deux surfaces circonférentielles dont la plus radialement extérieure est la surface de roulement 12a et dont la plus radialement intérieure est appelée la surface de fond de sculpture. La surface de fond de sculpture (ou « surface de fond »), est définie comme la surface translatée de la surface de roulement radialement vers l'intérieur d'une distance radiale égale à la profondeur de sculpture. Il est courant que cette profondeur soit dégressive sur les portions circonférentielles les plus axialement extérieures (appelées « épaules ») de la bande de roulement 12.

[0022] De plus, la bande de roulement d'un pneumatique est délimitée, selon la direction axiale, par deux surfaces latérales. La bande de roulement est en outre constituée par un ou plusieurs mélanges caoutchouteux. L'expression « mélange caoutchouteux » désigne une composition de caoutchouc comportant au moins un élastomère et une charge.

[0023] En se référant aux figures, sur lesquelles les mêmes numéros identifient des éléments identiques, la [Fig.2] représente un diagramme de flux d'un mode de réalisation d'un procédé d'estimation de hauteur de sculpture d'un pneumatique monté sur un véhicule (ou « procédé d'estimation » ou « procédé) 100 de l'invention. Le procédé d'estimation de l'invention est basé sur l'état d'usure d'un pneumatique identifié sur un véhicule identifié, étant défini par une hauteur de sculpture restante. Il est entendu qu'un état d'usure est représenté par une ou des valeurs représentatives de l'écart existant entre l'état neuf (représenté par un pneumatique n'ayant jamais été monté sur véhicule) et l'état usé (représenté par un pneumatique retiré de l'usage en raison d'atteinte du seuil de retrait par usure). L'état d'usure peut prendre la forme d'une valeur unitaire comme la hauteur minimum de sculpture, un ensemble de valeurs définissant la hauteur de la sculpture dans un plan méridien du pneumatique (par exemple, un profil 2D) ou un ensemble de valeurs définissant la hauteur de la sculpture sur tout ou partie de la surface externe du pneumatique (par exemple, un profil 3D).

[0024] Comme utilisé ici, la « durée de vie restante » d'un pneumatique identifié fait référence à son potentiel d'usure résiduel en fonction des valeurs des paramètres influents sur sa longévité. Les paramètres influents comprennent la charge, la pression, la température et la hauteur de sculpture du pneumatique identifié. La durée de vie restante peut être déterminée en continu ou à des intervalles réguliers, prédéfinis ou sporadiques en recueillant les données correspondantes aux paramètres influents sur la

durée de vie du pneumatique identifié. Sur la base des données recueillies, le procédé de l'invention peut définir un état d'usure actuel du pneumatique pour déterminer la durée de vie restante du pneumatique identifié.

[0025] Plus particulièrement, le procédé d'estimation de l'invention est basé sur l'estimation de la température comme paramètre influent dans la détermination de la rigidité de pseudo-glissement K_x . La rigidité de pseudo-glissement K_x est calculée à partir des données transmises par le véhicule et du glissement pour ensuite donner une hauteur de sculpture de chaque pneumatique.

[0026] Ce calcul qui permet de passer de la rigidité de pseudo-glissement K_x à la hauteur de sculpture est appelé aussi « la fonction de transfert F ». L'obtention de la fonction de transfert F est effectuée au travers d'une campagne de caractérisation comprise dans le groupe comprenant simulation numérique et mesures expérimentales.

[0027] Cette fonction de transfert F nécessite des évaluations de rigidité de pseudo-glissement K_x d'un ensemble monté sur un même sol de référence (par « ensemble monté », il est entendu que l'ensemble de pneumatique-frein-roue est concerné). Ces évaluations peuvent être faites expérimentalement sur un même sol en faisant varier les divers paramètres influents soit à l'aide d'un moyen de déplacement de l'ensemble monté comme un véhicule ou une remorque soit sur un banc de mesure. De même, ces évaluations peuvent être simulées numériquement en modélisant, pour chaque évaluation, un même sol de référence. Cette seconde option est peu onéreuse lorsque l'on doit réaliser les fonctions de transfert F pour l'ensemble de la gamme dimensionnelle d'un modèle de pneumatique ou pour divers composants d'ensemble monté. Il est entendu qu'on pourrait combiner les deux types de caractérisations afin de valider un modèle numérique sur une dimension de pneumatique ou un ensemble monté particulier. On pourrait ensuite étendre la caractérisation numériquement sur la gamme dimensionnelle du pneumatique ou des variantes des composants structurels de l'ensemble monté.

[0028] Le manière d'obtention de cette fonction de transfert F est bien décrite dans la publication WO2020/120923 de la Demanderesse. Comme divulguée, l'obtention de la fonction de transfert F est effectuée en employant un modèle mathématique du type :

[Math 1]

$$F = \left(\prod^j \left(\frac{M^j}{M_0^j} \right)^{\alpha_j} \right) * \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^{\alpha}$$

— Où

M_0 et h_{ref} , sont des constantes :

α_j , et α sont des réels ;

M^j sont des facteurs influents ; et

h est la hauteur de sculpture.

- [0029] Cette forme de fonction de transfert est adaptée pour caler les résultats expérimentaux, elle permet de couvrir une large gamme de valeurs pour l'ensemble des paramètres influents au lieu de se focaliser aux alentours d'une position nominale par le biais d'un développement limité par exemple. De plus, les paramètres influents sont ici indépendants les uns des autres facilitant ainsi l'identification des paramètres de la fonction de transfert F . Enfin, cette fonction de transfert est focalisée sur l'interaction d'un seul sol, le sol de référence, avec l'ensemble monté.
- [0030] Il est nécessaire de prendre en compte l'influence de la nature du sol au travers d'un indicateur, la fonction de passage β . On considère que la sensibilité de la rigidité de pseudo-glissement K_x à ce couplage entre l'ensemble monté et les divers sols est intégrée seulement dans la fonction de passage β . L'indicateur choisi est lié à l'ensemble monté et en particulier son interaction avec le sol qui s'exprime au travers de la rigidité de la bande de roulement du pneumatique qui est l'élément structurel du pneumatique en contact avec le sol. La fonction de passage β est liée à la portion de route caractérisée par sa localisation géographique (représentée, par exemple, par une ou des données GPS). Il est entendu qu'on pourrait prendre une fonction forfaitaire pour cette grandeur β connaissant la sensibilité de la rigidité de pseudo-glissement K_x de l'ensemble monté selon la nature du sol, selon l'état du pneumatique et à une estimation de la nature du sol réel de la portion de route. La prise en compte de l'interaction entre le sol et l'ensemble monté est un facteur clé pour une identification de qualité de la hauteur de sculpture h .
- [0031] L'obtention de la fonction de passage β , qui est aussi divulguée dans la publication WO2020/120923 de la Demanderesse, comprend les étapes suivantes :
- une étape de réalisation d'un ensemble de cycles de mesures associés à diverses portions de route sèche dans un même cycle d'état de l'ensemble monté ;
 - une étape d'obtention, pour chaque cycle de mesures, une première rigidité de pseudo-glissement sur sol réel et une seconde rigidité de pseudo-glissement longitudinale sur sol de référence ;
 - une étape d'obtention, pour chaque cycle de mesures, un écart X entre la première et la seconde rigidité de pseudo-glissement ;
 - une étape de définition d'un cycle de mesures cible parmi l'ensemble des cycles de mesures en identifiant celui qui a le plus faible écart X ; et
 - une étape d'affectation de la fonction identité à la fonction de passage β définie pour la portion de route associée au cycle de mesure cible.
- [0032] On entend ici par le terme « cycle de mesures » que l'ensemble monté est à iso condition d'usage pour les paramètres tels que la pression P de gonflage, la température T et de charge Z subie. Il est entendu que le terme « iso condition » fait référence aux variations de ces paramètres au cours du cycle de mesures qui sont insi-

gnifiantes par rapport à la valeur moyenne de ces paramètres sur la totalité du cycle de mesures. De plus, la hauteur de sculpture h et tout autre paramètre influent associé à l'état de l'ensemble monté sont considérés comme invariants au cours du même cycle de mesures. En effet, le cycle de mesures a une durée bien inférieure à la durée nécessaire pour observer une variation de l'état de l'ensemble monté.

[0033] On entend ici par le terme « cycle d'état de l'ensemble monté » que les paramètres influents d'un second groupe H sont constants sur la durée du cycle. En revanche, les paramètres d'un premier groupe G liés à l'usage peuvent varier sur la durée de ce cycle.

[0034] Dans le procédé d'estimation 100 de l'invention, l'estimation de l'usure de pneumatiques est réalisée sur la base d'une détermination d'une épaisseur E de la bande de roulement d'un pneumatique identifié. Cette épaisseur E est déterminée selon un modèle mathématique du type :

[Math 2]

$$E = F^{-1} \left(\frac{Z}{Z_{ref}}, \frac{P}{P_{ref}}, \frac{T}{T_{ref}}, \frac{K_x^{reel}}{K_x^{ref}} \right)$$

dont la fonction de transfert F comprend au moins la pression P de gonflage, la température T , la charge Z et l'épaisseur E de la bande de roulement comme les facteurs influents. Une première rigidité de pseudo-glissement K_x^{reel} et une seconde rigidité de pseudo-glissement K_x^{ref} sont liées à la détermination de l'épaisseur E . Dans ce mode de réalisation du procédé de l'invention, on détermine l'effort F_x , au moins un taux de glissement $g\%$, la charge Z , la pression P de gonflage et la température T comme décrit ci-dessus.

[0035] L'homme de métier comprend que le fonctionnement du pneumatique est donc influencé par son état. Celui-ci est principalement déterminé par la température de la gomme, la pression de gonflage, la hauteur de sculpture restante et le niveau de charge supporté par le pneumatique. La connaissance de ces paramètres, via une mesure directe ou indirecte, est donc fondamentale afin d'analyser le fonctionnement du pneumatique pour déterminer l'usure et d'autres paramètres de fonctionnement (y compris, sans limitation, l'adhérence, la résistance au roulement, et/ou l'endurance).

[0036] La procédé d'estimation 100 de l'invention comprend les étapes suivantes :

- une étape d'identification d'un pneumatique d'un ensemble monté à un véhicule ;
- une étape d'acquisition d'une fonction de passage β définie pour une portion de route et la rigidité de la bande de roulement du pneumatique ;
- une étape d'acquisition d'une fonction de transfert F de l'ensemble monté entre une rigidité de pseudo-glissement K_x sur un sol de référence et des facteurs influents, dont la pression de gonflage P , la température T et la charge Z subie, et la hauteur de sculpture h du pneumatique identifié ;

Sur un cycle de mesures prédéterminé ;

- une étape de détermination d'au moins un effort F_x subi par l'ensemble monté et au moins un taux de glissement $g\%$ au centre roue de l'ensemble monté lors d'un roulage en ligne droite du véhicule comportant des variations d'accélération sur la portion de route sèche ;
- une étape de détermination d'une charge subie par l'ensemble monté en condition de roulage ;
- une étape de détermination d'une température de l'ensemble monté en condition de roulage ; et
- une étape de détermination d'une pression de gonflage de la cavité interne de l'ensemble monté en condition de roulage ;

caractérisé en ce que la température est déterminée selon un modèle mathématique du type :

[Math 3]

$$T_{pneu} = 0.985 * \frac{P_{f_{T_{amb}f}} + 1}{P_{i_{T_{amb}i}} + 1} * (T_{amb i}) + 6.25$$

[0037] dont $T_{amb i}$ représente la température initiale en Kelvin, et $P_{f_{T_{amb}f}}$ et $P_{i_{T_{amb}i}}$ représentent les pressions respectives en fin et en début d'un trajet prédéterminé d'un pneumatique identifié d'un ensemble monté à un véhicule identifié.

[0038] Le modèle a été validé sur des cycles d'usage réalistes du type « Autoroutier », « Routier » et « Urbain ». En se référant encore aux figures, la [Fig.3] représente une illustration d'une courbe de simulation de température de pneumatique sur cinq (5) cycles de cycles réalistes. La [Fig.4] représente une illustration d'une courbe de simulation d'élévation moyenne de température de pneumatique sur les trois types de cycles d'usage réalistes. Les deux Figures 3 et 4 présentent une illustration des courbes de simulation d'un ensemble monté constitué par un des pneumatiques suivantes :

- un pneumatique de dimension 205/55R16 de marque Michelin de la gamme Primacy4 RT ;
- un pneumatique de dimension 205/55R16 de marque Michelin de la gamme CrossClimate+;
- un pneumatique de dimension, 225/45R18 de marque Michelin de la gamme Pilot Sport 4 ; et
- un pneumatique de dimension, 225/45R18 de marque Michelin de la gamme Pilot Sport 4 (usé).

Les hypothèses sous-jacentes à ce modèle sont les suivantes :

- La loi des gaz parfaits est valable.
- Il n'y a aucune perte d'air ou ajout d'air dans la cavité du pneumatique entre les instants où sont mesurés la pression en début et la pression à la fin du trajet simulé.

- La pression en début est considérée être mesurée avec une température d'air interne égale à la température ambiante (donc, l'ensemble monté comprenant l'ensemble de pneumatique, roue et cavité est à l'équilibre thermique avec la température ambiante).

[0039] Dans les Figures 3 et 4, la simulation sur des cycles réalistes montre qu'en raison des variations de sollicitation et de température ambiante au long du cycle, la température de pneumatique varie sans cesse sur le roulage. Il est donc conclu qu'en usage réel, le pneumatique est en permanence en transitoire thermique. Il existe bien un transitoire thermique pneumatique moyen, dont l'amplitude dépend du type de cycle (cycle autoroutier, cycle routier, cycle urbain).

[0040] Les paramètres suivants ont été retenus dans les simulations réalisées :

- Charge de pneumatique : 40% à 100% de la charge ETRTO, par pas de 5% ;
- Pression de début (« pression initiale ») : de 1,8 à 2,8 bar, par pas de 0,1 bar ;
- Vitesse : de 30 à 150 km/h, par pas de 10 km/h ; et
- Température ambiante : de -10°C à +40°C, par pas de 10°C.

Chaque simulation a été réalisée en conditions constante (charge, vitesse, température, etc.).

[0041] Le pneumatique est soumis à des conditions de gonflage et de charge recommandées telles que définies notamment par les normes européennes de la « European Tyre and Rim Technical Organization » (Organisation technique européenne du pneu et de la roue) ou « E.T.R.T.O » dans son « Standards Manual 2020 – Commercial Vehicle Tyres » (Manuel de normes 2020 – Pneus pour véhicules commerciaux). Les déformations en compression et en cisaillement des éléments en relief délimitant la sculpture conditionnent les pressions dans le contact avec le sol et donc l'usure.

[0042] Il est soumis qu'il existe un lien entre la température de l'air interne du pneumatique et la température stabilisée du pneumatique. Il est constaté que la température du pneumatique est généralement supérieure à la température de la jante à laquelle il est monté. En outre, la surface d'échange entre le pneumatique et l'air interne est beaucoup plus grande qu'entre l'air interne et la jante.

[0043] En construisant le modèle pour déterminer une température d'un pneumatique d'un ensemble monté à un véhicule identifié, les simulations tirent les enseignements suivants :

- La température ambiante est indispensable dans le modèle.
- Un modèle moyen sur les quatre (4) pneumatiques donne un résultat sensiblement identique aux modèles spécifiques à chaque pneumatique.
- Les variables F_z , V , et deux variables parmi le triplet (P_i , P_f , T_{air}) semblent nécessaires.

[0044] L'hypothèse faite dans les simulations est que la pression initiale correspond à une température d'air interne égale à la température ambiante. En reprenant la loi des gaz

parfaits ($PV=nRT$), il apparait évident que la température ambiante et la température d'air interne stabilisée sont très corrélées à la pression initiale et à la pression finale stabilisée.

[0045] Le terme "pneumatique identifié" (dans le singulier ou le pluriel) est utilisé ici pour faire référence à un pneumatique qui est monté sur un véhicule identifié (étant un pneumatique encore en service sur le véhicule identifié). Le pneumatique identifié peut comprendre un ou plusieurs capteurs connus pour générer ou capturer des données, telles que les données correspondantes à un environnement opérationnel du véhicule identifié ou une partie de celui-ci. Les capteurs peuvent inclure un ensemble de capteurs pour fournir des données concernant les caractéristiques de fonctionnement du pneumatique identifié. Les capteurs peuvent inclure, par exemple, un ou des capteurs de vitesse, un ou des capteurs d'accélération, un ou des capteurs liés à la traction, un ou des capteurs liés au freinage, et/ou une combinaison de capteurs pour recueillir des données concernant un ou des aspects de la situation dynamique du pneumatique identifié. Les capteurs peuvent aussi fournir des données stockées concernant l'identification du pneumatique identifié (y compris, sans limitation, sa provenance de production, distribution et/ou stockage, sa date de production, son histoire de rechapage si applicable et sa position et son histoire de montage).

[0046] Dans des modes de réalisation, les capteurs sont du type qui fournissent les mesures de la température et de la pression de l'ensemble monté. Ces capteurs peuvent être choisis parmi les capteurs du type TMS (ou « Tire Mounted Sensor ») placé sur la gomme intérieure du pneumatique identifié au droit du sommet de telle manière que le capteur soit sensiblement dans le plan médian du pneumatique. La charge subie par l'ensemble monté est appliquée à l'aide du vérin du banc de mesure où un moyeu dynamométrique mesure la force verticale F_z appliquée ainsi que les composantes longitudinale F_x et axiale F_y . La mesure s'effectue à effort imposé en pilotant la force verticale F_z appliquée. Une variation de couple autour de l'axe de rotation de l'ensemble monté est appliquée au centre roue de l'ensemble monté par l'intermédiaire du banc de mesure. Le couple appliqué est mesuré à l'aide du moyeu dynamométrique. De plus, la position de l'axe de rotation de l'ensemble monté par rapport au sol de roulage est mesurée ainsi que la vitesse de rotation du centre roue de l'ensemble monté au travers d'un codeur monté entre le stator et le rotor de l'axe de rotation du banc de mesure. Enfin, le défilement du sol est aussi piloté par la machine.

[0047] Il faut que la détermination des divers paramètres de l'ensemble monté soit effectuée dans une durée courte correspondant au cycle de mesures. Tous les moyens de l'état de l'art respectant cette contrainte peuvent être employés. Ainsi les mesures de pression et de température seront classiquement obtenues par des capteurs directs ou indirects. A titre d'exemple, un capteur de pression en communication fluide avec la cavité

interne de l'ensemble monté est une mesure directe de la pression de gonflage. A titre d'exemple, un capteur de température du fluide contenu dans la cavité interne est une mesure indirecte de la température de l'ensemble monté (et en particulier de la sculpture du pneumatique). L'emploi d'un modèle thermique prenant en compte les échanges thermiques entre les divers composants (fluide interne, composants de l'ensemble monté et fluide externe) et selon les divers modes de transmission (rayonnement, convection, conduction) est nécessaire. Bien entendu une mesure par l'intermédiaire d'un thermocouple implanté dans le pneumatique est une mesure plus directe de la température mais celle-ci est délicate à mettre en œuvre puisque cela nécessite une modification structurelle de l'enveloppe pneumatique.

[0048] Dans des modes de réalisation, ces capteurs sont choisis parmi les capteurs packagés dans des systèmes électroniques fixés à l'ensemble monté (comme, par exemple, des TPMS (ou « Tire Pressure Monitoring System ») montés à la valve) ou des TMS fixés sur la paroi interne du pneumatique délimitant la cavité interne.

[0049] Des mesures plus directes au niveau de l'ensemble monté peuvent aussi être envisagées. Par exemple, la calibration d'un signal périodique au tour de roue permet d'extraire une dimension longitudinale, caractéristique du contact entre l'enveloppe pneumatique et le sol pour un ensemble monté donné. Dans ce cas, un capteur sensible à la déformation radiale et/ou longitudinale du pneumatique est envisagé (par exemple, un capteur du type accéléromètre ou élément piézoélectrique). L'utilisation d'abaques entre cette dimension caractéristique et la pression de gonflage permet de remonter à une évaluation de la charge subie par l'ensemble monté. Il est entendu que d'autres dispositifs équivalents peuvent aussi être employés.

[0050] Une autre caractéristique évaluée dans la détermination de la rigidité de pseudo-glissement K_x est le taux de glissement $G\%$ de l'ensemble monté au centre roue. Cette grandeur peut être estimée directement par les données fournies par les systèmes électroniques embarqués sur le véhicule (par exemple, le système ABS). Il peut aussi être évalué au travers de trois paramètres élémentaires qui sont la vitesse de rotation de l'ensemble monté au centre roue, le rayon de roulement de l'ensemble monté et la vitesse d'avancement du véhicule.

[0051] La vitesse de rotation peut être simplement obtenue par un codeur tour de roue couplé à une horloge. Le rayon de roulement de l'ensemble monté, qui est peu sensible à l'usure, est obtenu à l'aide de la distance parcourue par le véhicule et du nombre de tours effectués par l'ensemble monté pour parcourir cette distance. Enfin, la vitesse d'avancement du véhicule est obtenue par l'intermédiaire d'un dispositif de mesure haute fréquence pour avoir une précision suffisante (par exemple, un dispositif du type RT 3000).

[0052] Enfin, l'usure globale du pneumatique est évaluée en temps réel par la détermination

quasi simultanée des paramètres de l'ensemble monté, que sont les conditions d'usage, influençant la rigidité de pseudo-glissement K_x de l'ensemble monté et des paramètres d'état de l'ensemble monté et en particulier du pneumatique qui ont été déterminés sur une durée éventuellement plus longue. En particulier il est nécessaire de prendre en compte l'influence de la nature du sol au travers d'un indicateur (i.e., la fonction de passage β).

- [0053] Pour mettre en œuvre le procédé de l'invention par moyen d'ordinateur, un système est fourni qui comprend au moins un réseau de communication (ou « réseau ») qui gère les données entrantes au système des sources variées (par exemple, à partir d'au moins un dispositif du type TMS ou du type TPMS). Le réseau de communication incorpore un ou des serveurs de communication (ou « serveurs ») comprenant chacun un ou des processeurs connectés de manière opérationnelle à une mémoire. La mémoire est configurée pour stocker une application d'analyse des données représentatives des caractéristiques de fonctionnement du pneumatique identifié. Le ou les processeurs comprennent un module d'exécution d'application d'analyse dont le ou les processeurs sont capables d'exécuter des instructions programmées stockées dans la mémoire pour réaliser les étapes du procédé d'estimation 100.
- [0054] Les données entrantes au système réalisant le procédé d'estimation peuvent inclure l'information générale concernant le pneumatique identifié. L'information générale comprend les données stockées concernant l'identification du pneumatique identifié (y compris, sans limitation, sa provenance de production, sa distribution et/ou son stockage, sa date de production, son histoire de rechapage si applicable et sa position et son histoire de montage). Les données correspondantes d'un pneumatique identifié pourraient être gérées par une entité qui gère l'utilisation d'un ou des véhicules auxquels un pneumatique du même type est monté (par exemple, une telle entité peut comprendre une ou des personnes et/ou une ou des compagnies) et/ou le fabricant de tels pneumatiques.
- [0055] Le terme « processeur » (ou, alternativement, le terme "circuit logique programmable") désigne un ou plusieurs dispositifs capables de traiter et d'analyser des données et comprenant un ou plusieurs logiciels pour leur traitement (par exemple, un ou plusieurs circuits intégrés connus par l'homme de métier comme étant inclus dans un ordinateur, un ou plusieurs contrôleurs, un ou plusieurs microcontrôleurs, un ou plusieurs micro-ordinateurs, un ou plusieurs automates programmables (ou « PLC »), un ou plusieurs circuits intégrés spécifiques à une application, un ou plusieurs réseaux de neurones, et/ou un ou plusieurs autres circuits programmables équivalents connus). Le processeur comprend un ou des logiciels pour le traitement des données capturées par le système qui réalise le procédé d'estimation ainsi qu'un ou des logiciels pour l'identification et la localisation des variances et l'identification de leurs sources pour

les corriger.

- [0056] Dans le système qui réalise le procédé de l'invention, la mémoire peut comprendre à la fois des dispositifs de mémoire volatiles et non volatiles. La mémoire non volatile peut comprendre des mémoires à l'état solide, telles que la mémoire flash NAND, la mémoire « vive » (ou « keep-alive memory » ou « KAM ») pour sauvegarder des variables diverses de fonctionnement pendant que le processeur est hors tension, des supports de stockage magnétiques et optiques, ou tout autre dispositif de stockage de données approprié qui conserve les données lorsque le système (et/ou une installation incorporant le système) est désactivé ou perd son alimentation électrique. La mémoire volatile peut comprendre une mémoire statique et dynamique RAM qui stocke des instructions de programme et des données, y compris une application d'apprentissage.
- [0057] Le processeur peut également se référer à une référence (par exemple, un tableau de taille de pneumatiques variés) pour effectuer une détermination finale d'un paramètre ou des paramètres du pneumatique identifié. La référence peut inclure des paramètres de pneumatiques connus correspondant à une pluralité de pneumatiques connus disponibles dans le commerce. La référence de pneumatiques peut inclure des mesures correspondant à une pluralité de pneumatiques disponibles dans le commerce. A titre d'exemple, pour un pneumatique d'une taille 225/50R17, le numéro « 225 » identifie la section transversale du pneumatique en millimètres, le numéro « 50 » indique le rapport d'aspect du flanc, et la mesure « R17 » représente le diamètre de la jante en pouces (étant environ 43,18 centimètres).
- [0058] En se référant encore aux figures, et particulièrement à la [Fig.2], une description détaillée est donnée à titre d'exemple des modes de réalisation du procédé d'estimation 100 de l'invention. Le procédé d'estimation est mis en œuvre par au moins un processeur d'un système qui réalise le procédé d'estimation 100.
- [0059] Tel qu'utilisé ici, le terme « procédé » ou « processus » peut comprendre une ou plusieurs étapes effectuées par au moins un système informatique comportant un ou des processeurs pour exécuter des instructions qui effectuent les étapes. Sauf indication contraire, toute séquence d'étapes est donnée à titre d'exemple et ne limite pas les procédés décrits à une quelconque séquence particulière.
- [0060] En lançant le procédé de l'invention, le procédé d'estimation 100 comprend une étape d'identification 102 de l'ensemble monté comprenant le pneumatique identifié. Cette étape peut être faite par l'intermédiaire de l'affectation de l'identifiant des composants de l'ensemble monté associés au véhicule dans une base de données. Pendant cette étape, l'identification de l'ensemble monté permet de définir une hauteur de sculpture caractéristique (comme, par exemple, la hauteur de sculpture à l'état neuf et la hauteur de sculpture fin de vie du pneumatique).
- [0061] Le procédé d'estimation 100 comprend en outre une étape de choisir 104 une

fonction de passage β dans une liste des fonctions de passage β potentielles qui soit représentative de la nature médiane des portions de route que rencontrera le véhicule.

L'identification de l'ensemble monté réalisée pendant l'étape 102 permet de connaître la rigidité de la bande de roulement du pneumatique, ce qui permet d'estimer une ou quelques fonctions de passage β associées chacune à une portion de route caractérisée par une macrorugosité parmi une pluralité possible de fonctions de passage.

[0062] Le procédé d'estimation 100 comprend en outre une étape de choisir 106 la fonction de transfert F qui lie la rigidité de pseudo-glissement K_x à la hauteur de sculpture h . L'identification de l'ensemble monté réalisée pendant l'étape 102 permet aussi de choisir la fonction de transfert F de l'ensemble monté correspondant dont les paramètres influents sont représentés par la charge Z , la pression P , la température T et la hauteur de sculpture h .

[0063] Le procédé d'estimation 100 comprend en outre une étape de renseignement 108 de l'état de vieillissement du pneumatique identifié. Celle-ci emploie l'identification de l'ensemble monté (réalisée pendant l'étape d'identification 102) afin de connaître l'historique de l'utilisation du pneumatique identifié. Cet historique peut être renseigné au travers de l'interrogation d'une ou des bases de données (soit externes soit présentes sur le véhicule soit présentes sur le ou les serveurs du système qui réalise le procédé d'estimation 100). Si de l'état de vieillissement du pneumatique identifié ne concerne que l'âge du produit ou du nombre total de cycles effectués ou de kilomètres parcourus, l'information peut être présente sur l'ensemble monté au travers d'un dispositif électronique (par exemple, un dispositif du type TMS ou TPMS). Cette étape 108 a lieu au cours d'un cycle d'état comprenant le cycle de mesures permettant l'évaluation de l'épaisseur moyenne du pneumatique.

[0064] Le procédé d'estimation 100 comprend en outre une étape d'acquisition 110 des efforts F_x mesurés au centre roue de l'ensemble monté et les taux de glissement $G\%$ associés. Cette étape est réalisée lors d'un roulage en ligne droite sur une route sèche comprenant des phases d'accélération et de décélération. A défaut des efforts directs F_x au centre roue, l'accès à des caractéristiques du véhicule identifié permet une estimation des efforts F_x au centre roue (comme, par exemple, le couple appliqué au centre roue autour de l'axe naturel de rotation de l'ensemble monté lors des phases d'accélération ou de décélération).

[0065] Le procédé d'estimation 100 comprend en outre une étape d'acquisition 112 des paramètres d'usage de l'ensemble monté. Ces paramètres acquis peuvent comprendre, sans limitation, la pression P de gonflage, la température T du pneumatique de l'ensemble monté et la charge Z appliquée (ou les caractéristiques du véhicule identifié permettant l'obtention de la charge Z , comprenant, sans limitation, sa masse statique, l'état de remplissage du réservoir de carburant et l'indication du nombre de ceintures

de sécurité bouclées). Cette étape 112 doit être effectuée juste avant, pendant ou après le roulage en ligne droite effectué pendant l'étape 110 précédente.

[0066] Dans un mode de réalisation du procédé d'estimation 100, l'étape d'acquisition 112 des paramètres d'usage de l'ensemble monté comprend les étapes suivantes :

- une étape de détermination d'une charge subie par l'ensemble monté en condition de roulage ;
- une étape de détermination d'une température de l'ensemble monté en condition de roulage ; et
- une étape de détermination d'une pression de gonflage de la cavité interne de l'ensemble monté en condition de roulage.

[0067] Dans ce mode de réalisation, la température est déterminée selon un modèle mathématique du type :

[Math 3]

$$T_{pneu} = 0.985 * \frac{P_{f_{T_{amb}f}} + 1}{P_{i_{T_{amb}i}} + 1} * (T_{amb i}) + 6.25$$

dont $T_{amb i}$ représente la température initiale en Kelvin, et $P_{f_{T_{amb}f}}$ et $P_{i_{T_{amb}i}}$ représentent les pressions respectives en fin et en début d'un trajet prédéterminé du pneumatique identifié.

[0068] Le procédé d'estimation 100 comprend en outre une étape de trace 114 d'un nuage de points associé au doublet de valeurs (F_x , $g\%$). Cette étape est réalisée à partir des efforts F_x mesurés ou évalués et des taux de glissement $g\%$ associés lors du roulage sur la portion de route sèche. Pendant cette étape, on retient de ce nuage de points que l'ensemble des points pour lesquels le pneumatique ne glisse pas sur la portion de route. Enfin on identifie la droite de régression linéaire de l'ensemble des points retenus. La pente de cette droite de régression correspond à l'estimation d'une première rigidité de pseudo-glissement K_x sur sol réel correspondant à la portion de route sèche. Il est entendu que cette étape peut être faite entre deux cycles de mesures.

[0069] Le procédé d'estimation 100 comprend en outre une étape d'estimation 116 d'une deuxième rigidité de pseudo-glissement K_x en alimentant la fonction de transfert F obtenue pendant l'étape 104 par les paramètres d'usage mesurés pendant l'étape 112 (par exemple, les conditions de référence Z , P et T) et la hauteur de sculpture h obtenue pendant l'étape 102. En fonction de la sensibilité des caractéristiques de l'ensemble monté au vieillissement, cette étape peut aussi être couplée à l'étape 108 dans laquelle une évaluation du vieillissement de l'ensemble monté est effectuée.

[0070] Le procédé d'estimation 100 comprend en outre une étape d'évaluation 118 de la hauteur moyenne de sculpture et par voie de conséquence de l'usure globale du pneumatique identifié en comparant cette hauteur moyenne évaluée avec les hauteurs spécifiques du pneumatique (par exemple, la hauteur de sculpture à l'état neuf et à la

fin de vie du pneumatique). Pour cela, une relation liant les résultats des étapes 104, 110 et 112 est appliquée dont le résultat est la hauteur moyenne h associée au cycle d'état du pneumatique identifié. Dans le cas où la deuxième rigidité de pseudo-glissement K_x (obtenue pendant l'étape 116) est définie à l'aide de la fonction de transfert F (obtenue pendant l'étape 106). Comme présenté ci-dessus, cette fonction de transfert est le produit de fonctions puissances de paramètres influents indépendants. Ainsi, la hauteur de sculpture h peut être isolée de cette fonction de transfert F . On fait l'hypothèse ici que la fonction de passage β est constante avec la hauteur moyenne de sculpture.

- [0071] Le procédé d'estimation 100 comprend en outre une étape d'acquisition 120 de la variation ΔU d'un paramètre U lié à l'utilisation du pneumatique identifié entre deux acquisitions de la hauteur moyenne de sculpture. Le paramètre U peut être par exemple, le nombre de cycles de rotation autour de l'axe naturel de rotation ou le nombre de kilomètres parcourus par la bande de roulement ou le temps d'utilisation du pneumatique identifié. Les deux acquisitions (h_1 , h_2) de la hauteur moyenne de sculpture peuvent être, par exemple, deux évaluations effectuées par le procédé correspondant à deux états d'usure du pneumatique identifié ou une évaluation de la hauteur moyenne de sculpture combinée avec l'état neuf du pneumatique identifié ou une mesure de la hauteur moyenne du pneumatique identifié par un moyen de mesure externe.
- [0072] Le procédé d'estimation 100 comprend en outre une étape d'évaluation 122 de la vitesse d'usure du pneumatique identifié. Cette étape comprend l'évaluation de la bande de roulement au niveau d'un point d'acquisition de la hauteur moyenne de sculpture du pneumatique identifié. Pour cela, il faut avoir à la fois la variation ΔU du paramètre U lié à l'utilisation du pneumatique identifié (obtenue pendant l'étape 120 précédente) et la variation de la hauteur moyenne Δh correspondante. La variation Δh représente la différence entre les deux obtentions (h_1 , h_2) ayant servi de points de référence à la variation ΔU pendant l'étape 120 précédente. Le rapport de la variation de la hauteur moyenne Δh sur la variation du paramètre lié à l'utilisation du pneumatique ΔU définit la vitesse d'usure de la hauteur moyenne de sculpture selon le paramètre U .
- [0073] Le procédé d'estimation 100 comprend une dernière étape d'évaluation 124 de durée de vie restante du pneumatique identifié. Cette étape consiste à évaluer la prédiction fin de vie selon le paramètre U lié à l'utilisation du pneumatique identifié. Celle-ci est obtenue en combinant les résultats de l'étape d'identification 102, l'étape d'évaluation 118 de la hauteur moyenne de sculpture, et l'étape d'évaluation 122 de la vitesse d'usure du pneumatique identifié.
- [0074] Le procédé d'estimation 100 de l'invention peut être fait par la commande du PLC et

peut inclure des préprogrammations des informations de gestion. Par exemple, un réglage du procédé peut être associé avec les paramètres du pneumatique identifié, les paramètres de l'ensemble monté incorporant le pneumatique identifié et/ou les propriétés des véhicules auxquels le pneumatique identifié est destiné d'être monté. Le système réalisant le procédé d'estimation 100 de l'invention (et/ou une installation incorporant ce système) peut facilement répéter une ou plusieurs étapes du procédé d'estimation 100 dans un ordre prédéterminé.

- [0075] Le système réalisant le procédé d'estimation 100 de l'invention (et/ou une installation incorporant ce système) peut inclure des préprogrammations des informations de gestion. Par exemple, un réglage de procédé peut être associé avec les paramètres des véhicules typiques dans lesquels le système fonctionne. Dans des modes de réalisation de l'invention, le système réalisant le procédé d'estimation 100 de l'invention (et/ou une installation incorporant ce système) peut recevoir des commandes vocales ou d'autres données audio représentant, par exemple, une démarche ou un arrêt du procédé. Une réponse générée peut être représentée de manière audible, visuelle, tactile (par exemple, en utilisant une interface haptique) et/ou de manière virtuelle et/ou augmentée. Cette réponse, associée avec les données correspondantes, peut être enregistrée dans un réseau neuronal.
- [0076] Pour toutes les réalisations du système, un système de surveillance pourrait être mis en place. Au moins une partie du système de surveillance peut être fournie dans un dispositif portable tel qu'un dispositif de réseau mobile (par exemple, un téléphone mobile, un ordinateur portable, un ou des dispositifs portables connectés au réseau (y compris des dispositifs « réalité augmentée » et/ou « réalité virtuelle »), des vêtements portables connectés au réseau et/ou toutes combinaisons et/ou tous équivalents).
- [0077] Dans un mode de réalisation, le procédé d'estimation 100 de l'invention peut comprendre une étape d'entraînement d'un système pour reconnaître des valeurs représentatives des hauteurs de sculpture (par exemple, des valeurs du diamètre interne et du diamètre externe du pneumatique identifié dans l'état neuf) et pour faire une comparaison avec des valeurs ciblées (par exemple, les valeurs de hauteurs de sculpture associées aux durées de vie correspondantes connues). Chaque étape de l'entraînement peut inclure une classification générée par moyens d'auto-apprentissage. Cette classification peut inclure, sans limitation, les paramètres des pneumatiques montés, les configurations des véhicules, les durées de vie attendues pour un pneumatique particulier, et les valeurs attendues à la fin d'un procédé d'estimation en progrès.
- [0078] Il est entendu que plusieurs méthodes d'apprentissage distinctes sont possibles, y compris l'apprentissage supervisé (dans lequel l'algorithme s'entraîne sur un ensemble de données étiquetées et se modifie jusqu'à être capable d'obtenir le résultat souhaité), l'apprentissage non-supervisé ou semi-supervisé (dans lequel les données ne sont pas

étiquetées pour que le réseau puisse s'adapter pour augmenter la précision de l'algorithme), l'apprentissage renforcé (dans lequel l'algorithme est renforcé pour les résultats positifs et sanctionné pour les résultats négatifs) et l'apprentissage actif (l'algorithme demande au fur et à mesure des exemples et labels pour affiner sa prédiction)(voir <https://www.lebigdata.fr/reseau-de-neurones-artificiels-definition>).

- [0079] Les termes « au moins un(e) » et « un(e) ou plusieurs » sont utilisés de manière interchangeable. Les gammes qui sont présentées comme se situant « entre a et b » englobent les valeurs « a » et « b ».
- [0080] Bien que des modes de réalisation particuliers de l'appareil révélé aient été illustrés et décrits, on comprendra que divers changements, additions et modifications peuvent être pratiqués sans s'écarter de l'esprit ni de la portée du présent exposé. Par conséquent, aucune limitation ne devrait être imposée sur la portée de l'invention décrite à l'exception de celles exposées dans les revendications annexées.

Revendications

[Revendication 1]

Un procédé d'estimation (100) de hauteur de sculpture d'un pneumatique identifié d'un ensemble monté en condition de roulage sur un véhicule identifié dont le pneumatique a un sommet qui se prolonge par deux flancs se terminant par deux bourrelets de révolution autour d'un axe naturel de rotation, le sommet comprenant une bande de roulement située radialement extérieurement au pneumatique par rapport à l'axe naturel de rotation et présentant une hauteur de sculpture h moyenne, le procédé mis en œuvre par au moins un processeur d'un système qui réalise le procédé d'estimation (100), l'au moins processeur comprenant un module d'application d'analyse qui applique les données représentatives de caractéristiques de fonctionnement du pneumatique identifié, caractérisé en ce que le procédé d'estimation (100) comprend les étapes suivantes :

- une étape d'identification (102) d'un pneumatique d'un ensemble monté à un véhicule ;
- -une étape de choisir (104) une fonction de passage β dans une liste des fonctions de passage β potentielles qui soit représentative de la nature médiane des portions de route que rencontrera le véhicule, permettant d'estimer une ou quelques fonctions de passage β associées chacune à une portion de route et la rigidité de la bande de roulement du pneumatique ;
- une étape de choisir (106) une fonction de transfert F de l'ensemble monté entre une rigidité de pseudo-glissement K_x sur un sol de référence et des paramètres influents représentés par la charge Z , la pression P , la température T et la hauteur de sculpture h ;
- et, sur un cycle de mesures prédéterminé ;
- une étape de détermination (110) d'au moins un effort F_x subi par l'ensemble monté et au moins un taux de glissement $G\%$ au centre roue de l'ensemble monté lors d'un roulage en ligne droite du véhicule comportant des variations d'accélération sur la portion de route sèche ;
- une étape d'acquisition (112) des paramètres d'usage de l'ensemble monté comprenant les étapes suivantes :
- une étape de détermination d'une charge (Z) subie par l'ensemble monté en condition de roulage ;
- une étape de détermination d'une température (T) de l'ensemble monté en condition de roulage ; et

- une étape de détermination d'une pression de gonflage (P) de la cavité interne de l'ensemble monté en condition de roulage ;
caractérisé en ce que la température est déterminée selon un modèle mathématique du type :

[Math 3]

$$T_{pneu} = 0.985 * \frac{P_{f_{T_{amb f}}} + 1}{P_{i_{T_{amb i}}} + 1} * (T_{amb i}) + 6.25$$

dont $T_{amb i}$ représente la température initiale en Kelvin, et $P_{f_{T_{amb f}}}$ et $P_{i_{T_{amb i}}}$ représentent les pressions respectives en fin et en début d'un trajet prédéterminé du pneumatique identifié.

[Revendication 2]

Le procédé d'estimation (100) de la revendication 1, dans lequel une épaisseur E de la bande de roulement du pneumatique identifié est déterminée selon un modèle mathématique du type :

[Math 2]

$$E = F^{-1} \left(\frac{Z}{Z_{ref}}, \frac{P}{P_{ref}}, \frac{T}{T_{ref}}, \frac{K_x^{reel}}{K_x^{ref}} \right)$$

dont la fonction de transfert F comprend au moins la pression P de gonflage, la température T, la charge Z et l'épaisseur E de la bande de roulement comme les facteurs influents ; et

dont une première rigidité de pseudo-glissement K_x^{reel} et une seconde rigidité de pseudo-glissement K_x^{ref} sont liées à la détermination de l'épaisseur E.

[Revendication 3]

Le procédé d'estimation (100) de la revendication 1 ou de la revendication 2, comprenant en outre une étape de renseignement (108) de l'état de vieillissement du pneumatique identifié pendant laquelle l'identification de l'ensemble monté est employée afin de connaître l'historique de l'utilisation du pneumatique identifié.

[Revendication 4]

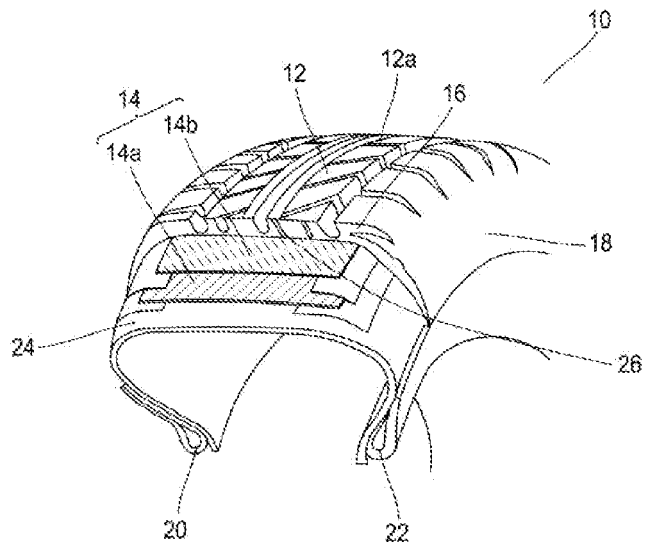
Le procédé d'estimation (100) de la revendication 2, comprenant en outre :

- une étape de trace (114) d'un nuage de points qui est réalisée à partir des efforts F_x mesurés et des taux de glissement G% associés lors un roulage sur une portion de route sèche, pendant laquelle une estimation de la première rigidité de pseudo-glissement K^{reel} est obtenue sur sol réel correspondant à la portion de route sèche ; et

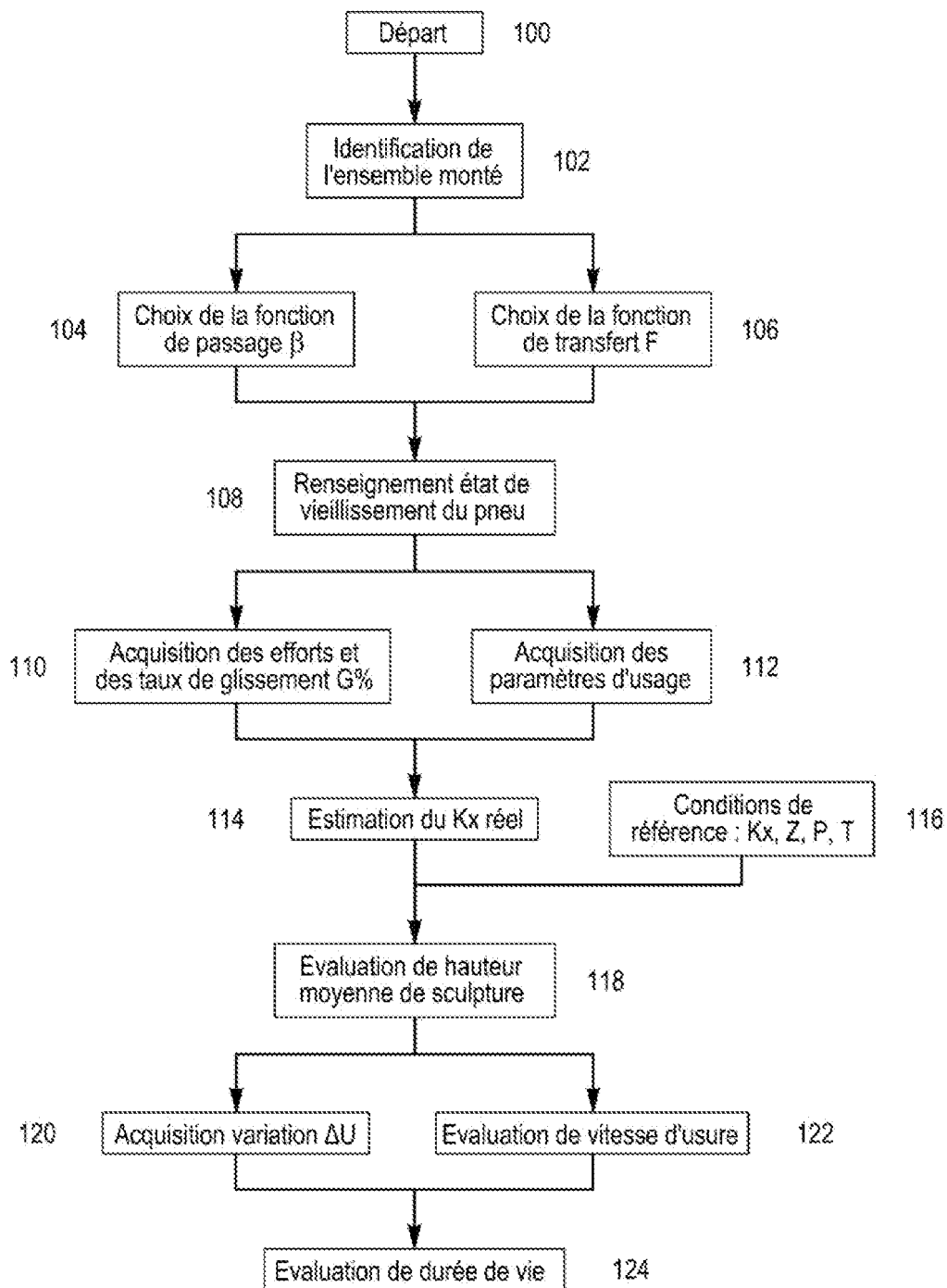
- une étape d'estimation (116) d'une deuxième rigidité de pseudo-glissement K^{ref} en alimentant la fonction de transfert F obtenue pendant l'étape de choisir (106) par les paramètres d'usage mesurés pendant l'étape d'acquisition (112) et la hauteur de sculpture h obtenue pendant

- l'étape de choisir (106).
- [Revendication 5] Le procédé d'estimation (100) de l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la fonction de passage β est choisie parmi une pluralité possible de fonctions de passage d'une liste des fonctions de passage β potentielles qui soit représentative de la nature médiane des portions de route que rencontrera le véhicule identifié.
- [Revendication 6] Le procédé d'estimation (100) de l'une quelconque des revendications 1 à 5, comprenant en outre une étape d'évaluation (118) de la hauteur moyenne de sculpture en comparant cette hauteur moyenne évaluée avec les hauteurs spécifiques du pneumatique identifié.
- [Revendication 7] Le procédé d'estimation (100) de la revendication 6, comprenant en outre une étape d'acquisition (120) de la variation ΔU d'un paramètre U lié à l'utilisation du pneumatique identifié entre deux acquisitions de la hauteur moyenne de sculpture.
- [Revendication 8] Le procédé d'estimation (100) de la revendication 7, comprenant en outre une étape d'évaluation (122) de la vitesse d'usure du pneumatique identifié, cette étape comprenant une étape d'évaluation de la bande de roulement au niveau d'un point d'acquisition de la hauteur moyenne de sculpture du pneumatique identifié.
- [Revendication 9] Le procédé d'estimation (100) de la revendication 8, comprenant une étape d'évaluation (124) de durée de vie restante du pneumatique identifié, cette étape comprenant une étape d'évaluation de la prédiction fin de vie selon le paramètre U lié à l'utilisation du pneumatique identifié ;
de sorte que la prédiction fin de vie est obtenue en combinant les résultats de l'étape d'identification (102), de l'étape d'évaluation (118) de la hauteur moyenne de sculpture, et de l'étape d'évaluation (122) de la vitesse d'usure du pneumatique identifié.
- [Revendication 10] Un système comprenant un réseau de communication qui gère les données représentatives de caractéristiques de fonctionnement d'un pneumatique identifié à partir d'un ensemble monté en condition de roulage sur un véhicule identifié dont le pneumatique est incorporé, caractérisé en ce que le réseau de communication comprend au moins un serveur de communication permettant d'exécuter des instructions programmées stockées dans une mémoire d'un ou des processeurs du système pour mettre en œuvre le procédé de l'une quelconque des revendications 1 à 9.

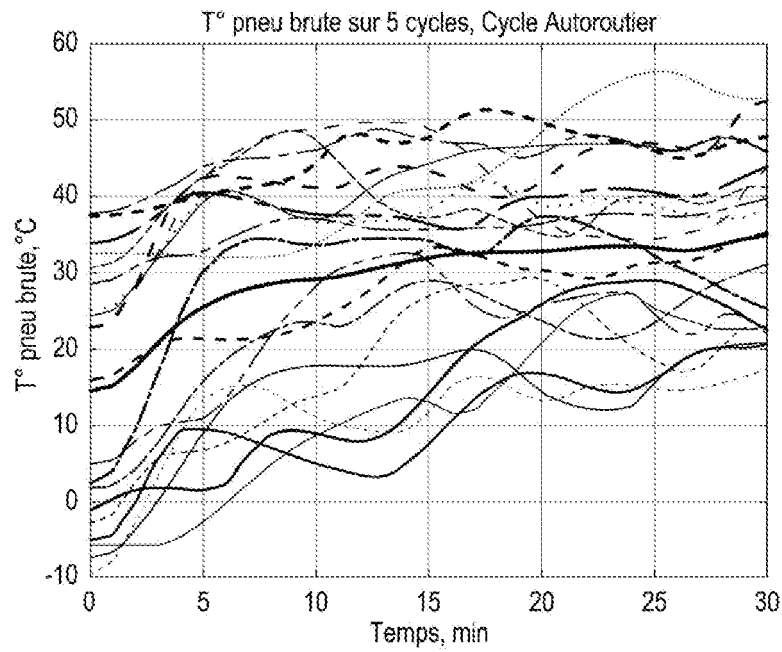
[Fig. 1]



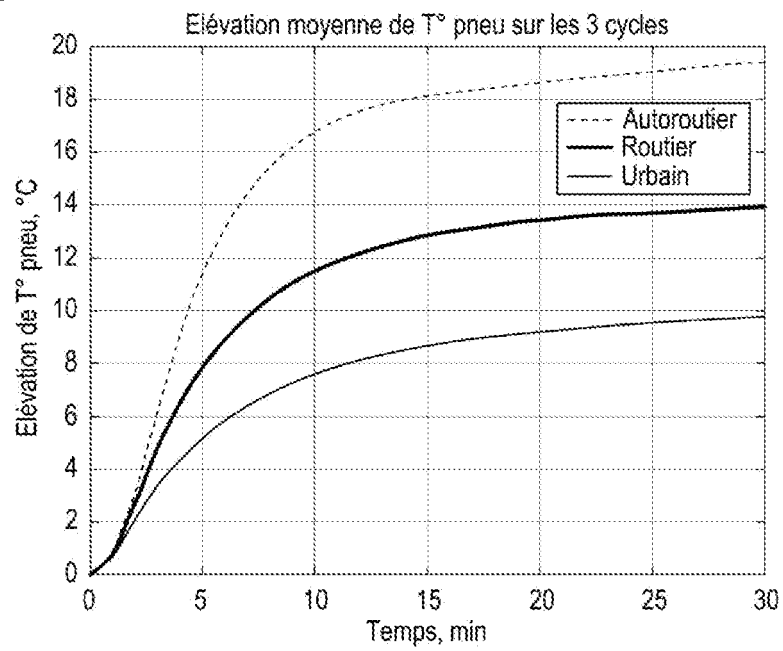
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



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

NEANT

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

WO 2020/120923 A1 (MICHELIN & CIE [FR])
18 juin 2020 (2020-06-18)

US 2015/283869 A1 (ABUGHAIDA AMER [US] ET
AL) 8 octobre 2015 (2015-10-08)

WO 2022/191875 A1 (BRIDGESTONE AMERICAS
TIRE OPERATIONS LLC [US])
15 septembre 2022 (2022-09-15)

US 10 603 962 B2 (GOODYEAR TIRE & RUBBER
[US]) 31 mars 2020 (2020-03-31)

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

NEANT