(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 3 205 771 A1

(12) DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
16.08.2017 Bulletin 2017/33

(51) Int Cl.:
E01B 33/02 (2006.01) *E01B 35/06* (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **17155780.4**

(22) Date de dépôt: **13.02.2017**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
MA MD

(30) Priorité: **12.02.2016 FR 1651177**

(71) Demandeur: **LEYFA Measurement**
31140 Saint Alban (FR)

(72) Inventeurs:
- **LEYMARIE, Alban**
31150 GAGNAC SUR GARONNE (FR)
- **FAURE, Julien**
81700 PUYLAURENS (FR)

(74) Mandataire: **Ipside**
6, Impasse Michel Labrousse
31100 Toulouse (FR)

(54) PROCÉDÉ DE DÉTERMINATION DE RIPAGES D'UN RAIL D'UNE VOIE FERRÉE EN DOMAINE ABSOLU

(57) L'invention concerne un procédé de détermination de ripages d'un rail de voie ferrée en domaine absolu, ledit rail étant échantillonné en des points de contrôle successifs en lesquels ont été obtenues des flèches au moyen de fonctions de transfert distinctes entre elles. En outre le procédé comporte des étapes de :
- de modélisation du rail par un signal dit profil absolu estimé au moyen desdites flèches obtenues,
- décomposition du profil absolu estimé en un premier sous-signal dit tracé visé du rail et représentatif de la trajectoire du rail telle qu'adaptée à satisfaire des conditions améliorées d'exploitation du rail, ainsi qu'en un deuxième sous-signal dit dressage du rail et représentatif des déformations subies par ledit tracé visé du rail au cours du temps,
- détermination auxdits points de contrôle de ripages de sorte qu'en chaque point de contrôle la somme dudit ripage et dudit dressage du rail est nulle.

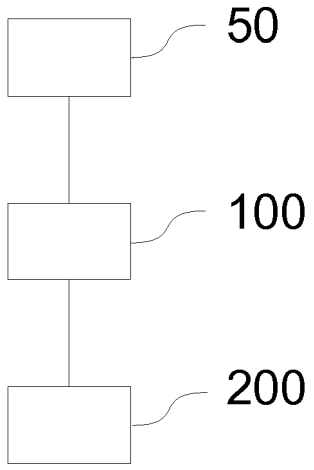

Fig. 1

EP 3 205 771 A1

Description

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] La présente invention appartient au domaine de la maintenance de voies de circulation pour des systèmes de transport guidés. Elle concerne plus particulièrement un procédé de détermination de ripages d'un rail d'une voie ferrée en domaine absolu. La présente invention trouve une application particulièrement avantageuse, bien que nullement limitative, dans la maintenance du tracé de voies ferrées.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE

[0002] Au cours de leur utilisation, les rails de chemins de fer, qui assurent aussi bien le guidage transversal et le soutien vertical de trains, sont soumis à diverses contraintes pouvant affecter leur structure, et donc a fortiori leur trajectoire. En particulier, l'accroissement au cours du temps du trafic ferroviaire, mais aussi de la charge des convois, impactent de manière défavorable les profils notamment transversaux et longitudinaux des rails. C'est aussi le cas de facteurs externes à l'exploitation des rails, comme par exemple les mouvements de terrain ou encore des gradients de température élevés.

[0003] En résulte alors l'apparition de défauts, bien que faibles (de l'ordre de quelques millimètres) mais modifiant notamment localement la courbure des rails, limitant alors l'exploitation de la voie ferrée à une vitesse inférieure à une vitesse prescrite, et impactant la stabilité des trains avec des conséquences importantes sur le confort des utilisateurs voire potentiellement sur la sécurité des circulations.

[0004] Dans l'optique d'un comportement optimal de roulement sur les rails, il importe donc de corriger ces défauts, par exemple par rectification des rails de la voie ferrée. Par rectification d'un rail ferroviaire, on entend ici le fait de lui imposer localement des déplacements selon des directions privilégiées de l'espace.

[0005] De manière conventionnelle, de tels déplacements sont déterminés au moyen d'un procédé comportant une étape préliminaire de détermination de paramètres géométriques caractéristiques de la courbure dudit rail, ainsi qu'une étape de calcul de déplacements à imposer en des points dudit rail, dits points de contrôle, dans le but de calibrer ces paramètres géométriques sur des valeurs correspondantes d'un profil de référence, généralement archivées lors de la pose de la voie ferrée.

[0006] On connait différents procédés selon le principe général décrit ci-avant, notamment ceux visant à déterminer lors de ladite étape préliminaire des distances caractéristiques, dite flèches, mesurant l'écart entre le rail et des cordes réelles ou virtuelles sous-tendant chaque arc reliant deux points de contrôle répartis de part et d'autre, et de manière adjacente, d'un troisième point de contrôle. L'objectif à atteindre étant alors la détermination de distances correctives, dites ripages, à appliquer auxdits points de contrôle afin de modifier lesdites flèches. La méthode dite « Hallade », connue de l'homme du métier, repose sur ce principe général, tout comme par exemple le procédé décrit dans la demande de brevet FR 15 53409.

[0007] Il est à noter que lesdites flèches sont déterminées le long du rail au moyen d'un dispositif de mesure, comme par exemple un lorry. Ce dernier est assimilable à un système mécanique comportant un signal d'entrée et un signal de sortie qui sont respectivement une représentation de la géométrie intrinsèque du rail le long duquel il se déplace et lesdites flèches relevées, ces signaux d'entrée et de sortie étant mises en correspondance au moyen d'une fonction de transfert.

[0008] L'utilisation du formalisme des flèches dans des procédés de ripages est certes avantageuse, et donc largement répandue, car elle permet de décrire des défauts de petites dimensions (quelques millimètres) relativement à certaines grandes distances caractéristiques du rail (plusieurs centaines de mètres pour des rayons de courbure), ce que ne permettent pas des relevés topographiques le long du rail pour ces raisons de rapports de distances, mais aussi de temps et de main d'oeuvre.

[0009] Il convient néanmoins de tenir compte du fait que ces flèches ne constituent pas une représentation la plus fidèle possible de la géométrie intrinsèque du rail. Elles sont en effet obtenues par application de ladite fonction de transfert à des paramètres de la géométrie intrinsèque du rail, ladite fonction de transfert étant classiquement basée sur un modèle théorique de mesure à trois points, et non pas sur les caractéristiques mécaniques propres dudit dispositif de mesure. Ledit modèle théorique introduit donc un biais entre la géométrie réelle du rail et sa représentation au moyen des flèches. En outre, ce biais peut se propager à la détermination des ripages puisque ces derniers sont calculés à partir desdites flèches, de sorte que la correction des défauts du rail peut être entachée d'erreurs et peut être différente de celle qu'il conviendrait d'appliquer au regard de la géométrie du rail.

[0010] En outre, l'efficacité des procédés de détermination de ripages connus de l'homme de métier est limitée par le fait que les flèches sont obtenues par une seule fonction de transfert telle que décrite ci-dessus. En effet, certaines caractéristiques fréquentielles de ladite fonction de transfert, telle que sa bande passante, font qu'elle se comporte comme un filtre coupant certaines longueurs d'onde, se révélant ainsi inadaptée à la représentation de défauts du rail associés auxdites longueurs d'onde coupées. Ces défauts ne sont donc pas pris en compte dans lesdits procédés de détermination de ripages et ne peuvent donc pas être corrigés.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0011] 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 un pro-

cédé qui permette de déterminer les ripages d'un rail d'une voie ferrée en domaine absolu et qui présente des étapes adaptées au calcul des ripages à partir d'une représentation fidèle du rail, ainsi qu'à la prise en compte dans le calcul desdits ripages de défauts du rail répartis sur un spectre étendu (longueurs d'onde de l'ordre du mètre aux longueurs d'onde de l'ordre de la centaine de mètres) grâce à l'utilisation de plusieurs fonctions de transfert.

[0012] A cet effet, l'invention concerne un procédé de détermination de ripages d'un rail de voie ferrée en domaine absolu, ledit rail étant assimilable à une courbe échantillonnée en des points de contrôle successifs en lesquels ont été obtenues des flèches au moyen d'un nombre N de fonctions de transfert distinctes les unes des autres, N étant supérieur ou égal à 1, et chaque flèche étant associée à une seule desdites fonctions de transfert de sorte à former N ensembles de flèches.

[0013] En outre, ledit procédé de détermination de ripages d'un rail de voie ferrée en domaine absolu comporte les étapes successives suivantes de :

- modélisation du rail par un signal dit profil absolu estimé au moyen desdites flèches obtenues,
- décomposition du profil absolu en un premier sous-signal dit tracé visé du rail et représentatif de la trajectoire du rail telle qu'adaptée à satisfaire des conditions améliorées d'exploitation du rail, ainsi que d'un deuxième sous-signal dit dressage du rail et représentatif des déformations subies par ledit tracé visé du rail au cours du temps,
- détermination auxdits points de contrôle de ripages de sorte qu'en chaque point de contrôle la somme dudit ripage et dudit dressage du rail est nulle.

[0014] Dans des modes particuliers de mise en oeuvre, le procédé de détermination de ripages d'un rail de voie ferrée en domaine absolu comporte l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles.

[0015] Dans un mode particulier de mise en oeuvre, ladite décomposition du profil absolu estimé selon le tracé visé du rail et le dressage du rail est obtenue à partir d'un filtrage fréquentiel prédéterminé dudit profil absolu estimé selon respectivement une première fenêtre fréquentielle et une deuxième fenêtre fréquentielle, chacune desdites fenêtres fréquentielles comportant une borne inférieure et une borne supérieure.

[0016] Dans un mode particulier de mise en oeuvre, lesdites première et deuxième fenêtres fréquentielles sont respectivement un premier intervalle de longueurs d'onde et un deuxième intervalle de longueurs d'onde, la borne supérieure et la borne inférieure respectivement dudit premier intervalle et dudit deuxième intervalle étant égales à une borne asservie à l'abscisse curviligne le long du rail ainsi qu'à une valeur prédéterminée de couloir de ripages.

[0017] Dans un mode particulier, une épure du rail a été obtenue lors de la pose ou de la maintenance dudit rail au moyen d'une fonction de transfert associée à ladite épure, et dans lequel l'étape de décomposition du profil absolu comporte les sous-étapes successives suivantes de :

- détermination du tracé visé par application à une épure du rail d'une fonction de transfert inverse de la fonction de transfert associée à ladite épure du rail,
- détermination d'un dressage intermédiaire par différence entre ledit profil absolu estimé et ledit tracé visé,
- détermination dudit dressage du rail par filtrage fréquentiel dudit dressage intermédiaire.

[0018] Dans un mode particulier de mise en oeuvre, lorsque le nombre N de fonctions de transfert est strictement supérieur à 1, ladite étape de modélisation du rail comporte les sous-étapes successives suivantes de:

- estimation de N profils absolus intermédiaires par application à chaque ensemble de flèches d'une fonction de transfert inverse de la fonction de transfert associée audit ensemble de flèches,
- filtrage fréquentiel desdits N profils absolus intermédiaires selon respectivement N sous-fenêtres fréquentielles de sorte à obtenir N profils absolus intermédiaires filtrés,
- recomposition dudit profil absolu estimé à partir desdits N profils absolus intermédiaires filtrés.

[0019] Dans un mode particulier de mise en oeuvre, lorsque le nombre N de fonctions de transfert est strictement supérieur à 1, ladite étape de modélisation du rail comporte les sous-étapes successives suivantes de:

- filtrage fréquentiel desdits N ensembles de flèches selon respectivement N sous-fenêtres fréquentielles de sorte à obtenir N ensembles de flèches filtrés,
- estimation de N profils absolus intermédiaires filtrés par application à chaque ensemble de flèches filtré d'une fonction de transfert inverse de la fonction de transfert associée à l'ensemble de flèches dont le filtrage lors de la sous-étape de filtrage fréquentiel fournit ledit ensemble de flèches filtré,
- recomposition dudit profil absolu estimé à partir desdits N profils absolus intermédiaires filtrés.

[0020] Dans un mode particulier de mise en oeuvre, une valeur seuil est associée à chaque sous-fenêtre fréquentielle lors de ladite sous-étape de filtrage fréquentiel, chacune desdites sous-fenêtres fréquentielles comportant en outre une borne inférieure et une borne supérieure déterminant une plage fréquentielle au cours de laquelle la variation du module de ladite fonction de transfert inverse associée à ladite sous-fenêtre fréquentielle est bornée autour de 1 par ladite valeur seuil.

[0021] Dans un mode particulier de mise en oeuvre,

les bornes inférieure et supérieure respectives desdites sous-fenêtres fréquentielles sont déterminées de manière itérative de sorte que la réunion desdites sous-fenêtres fréquentielles décrivent un spectre fréquentiel continu similaire au spectre du rail.

[0022] Dans un mode particulier de mise en oeuvre, lesdits profils absolus intermédiaires filtrés sont additionnés composante fréquentielle par composante fréquentielle au cours de ladite sous-étape de recomposition dudit profil absolu estimé.

[0023] Dans un mode particulier de mise en oeuvre, lorsque le nombre N de fonctions de transfert est strictement supérieur à 1, ladite étape de modélisation du rail comporte les sous-étapes successives suivantes de:

- filtrage fréquentiel desdits N ensembles de flèches selon respectivement N sous-fenêtres fréquentielles de sorte à obtenir N ensembles de flèches filtrés,
- détermination d'un signal de flèches filtré par recomposition desdits N ensembles de flèches filtrés,
- détermination dudit profil absolu estimé par application audit signal de flèches filtré d'une fonction de transfert inverse d'une fonction de transfert théorique admettant en entrée et sortie respectivement un profil absolu, représentatif de la géométrie réelle du rail, et ledit signal de flèches filtré.

PRÉSENTATION DES FIGURES

[0024] Les caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux appréciés grâce à la description qui suit, description qui expose les caractéristiques de l'invention au travers de modes de mise en oeuvre préférés, qui n'en sont nullement limitatifs.

[0025] La description s'appuie sur les figures annexées qui représentent :

- Figure 1 : une représentation d'un organigramme d'un exemple de mise en oeuvre d'un procédé de détermination de ripages d'un rail d'une voie ferrée en domaine absolu.
- Figure 2 : une représentation d'un organigramme d'un exemple de mise en oeuvre du procédé de la figure 1 au cours duquel, lors d'une étape 100, le tracé visé est obtenu par déconvolution d'une épure du rail, et le dressage est obtenu par filtrage fréquentiel d'un dressage intermédiaire obtenu quant à lui par différence entre ledit profil absolu estimé et ledit tracé visé.
- Figure 3 : une représentation d'un organigramme d'un exemple de mise en oeuvre du procédé de la figure 1 au cours duquel, lors de l'étape 50, le profil absolu estimé du rail est modélisé grâce à des flèches relevées le long du rail au moyen d'un nombre N de fonctions de transfert, N étant strictement plus grand que 1.
- Figure 4 : une représentation d'un organigramme d'un exemple de mise en oeuvre du procédé de la figure 1, lors de l'étape 50, le profil absolu estimé du rail est modélisé grâce à N ensembles de flèches filtrés, N étant strictement plus grand que 1.
- Figure 5 : une représentation d'un organigramme d'un exemple de mise en oeuvre du procédé de la figure 1, lors de l'étape 50, le profil absolu estimé du rail est modélisé par déconvolution d'un signal de flèches filtré obtenu par recomposition de N ensembles de flèches filtrés, N étant strictement plus grand que 1.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE D'UN MODE DE MISE EN OEUVRE DE L'INVENTION

[0026] La figure 1 représente un organigramme d'un exemple de mise en oeuvre d'un procédé de détermination de ripages d'un rail d'une voie ferrée en domaine absolu.

[0027] L'invention, telle que décrite dans le présent exemple de réalisation, vise spécifiquement un rail ferroviaire, mais reste applicable à tous types de rails, notamment ceux de systèmes de transports guidés destinés à circuler sur un réseau monorail ou multirails.

[0028] En particulier, une voie ferrée est un réseau double rails. Dès lors, ladite invention s'applique à l'un quelconque des deux rails de ladite voie ferrée, sans perte de généralité, et étant entendu qu'une fois des ripages déterminés pour un desdits deux rails (préférentiellement le rail de plus grand rayon pour l'homme du métier dans la mesure où ledit rail de plus grand rayon est en pratique le rail de guidage en courbe), ces ripages sont aussi reliables à l'autre desdits deux rails grâce à la connaissance de l'entre rail desdits deux rails.

[0029] De manière classique, un rail de ladite voie ferrée est assimilable dans un plan longitudinal relativement au sens de déplacement le long dudit rail à une courbe s'étendant entre une première extrémité et une deuxième extrémité, et comportant des éléments successifs tels que des alignements ainsi que des arcs de cercles reliés entre eux par des raccordements progressifs, chacun desdits éléments comportant une origine et une fin. En particulier, ces différents éléments participent à la caractérisation de la géométrie du rail dans la mesure où ils présentent une courbure, fonction du déplacement suivant leur trajectoire respective, qui est :

- nulle pour les alignements,
- constante non nulle pour les arcs de cercles,
- de variation linéaire pour les raccordements progressifs.

[0030] De plus, on note que chaque point de ladite courbe du rail est associé, de manière connue en soi, à un repère de Frenet comportant, d'une part, un vecteur unitaire tangent à ladite courbe en ledit point, et d'autre part un vecteur unitaire normal audit vecteur tangent.

[0031] On définit pour la suite de la description les côtés gauche et droit dudit rail comme étant les côtés situés

sur la gauche et la droite de tout système de transport guidé circulant, le long du rail dans le sens du kilométrage, de ladite première extrémité à ladite deuxième extrémité.

[0032] Il est à noter que dans la suite de la description, la distance entre deux points de ladite courbe est comprise au sens de la longueur du segment reliant lesdits deux points. Ainsi, ladite distance est différenciée de la distance curviligne séparant lesdits deux points, cette dernière étant comptée le long de la courbe du rail au moyen de l'abscisse curviligne s ayant pour origine l'un desdits deux points.

[0033] En munissant ledit plan longitudinal d'un repère cartésien comportant une origine quelconque fixe, notée O, ainsi que deux axes, un axe des abscisses X et un axe des ordonnées Y, lesdits deux axes passant par O et étant non parallèles entre eux, ladite courbe admet une représentation sous forme d'un signal (autrement dit d'une fonction numérique) donnant une ordonnée de ladite courbe dans ledit repère cartésien selon l'abscisse X, et est noté dans la suite de la description R(X). Il est cependant important de noter que dans ledit repère cartésien, et pour certaines configurations géométriques du rail, ledit signal R(X) ne correspond pas à une représentation explicite de la courbe du rail, ce qui peut encore être formulé d'un point de vue mathématique en constatant que ladite fonction R(X) est multivaluée, ou encore non univoque (dit encore autrement, il existe au mois une droite parallèle à l'axe des ordonnées Y et qui intersecte la courbe du rail en au moins 2 points). Il est connu de l'homme du métier qu'une telle représentation est désavantageuse lorsqu'il importe d'étudier d'un point de vue numérique la géométrie du rail.

[0034] Aussi, on définit pour la suite de la description une paramétrisation de la courbe du rail sous la forme d'un signal (autrement dit d'une fonction numérique) noté Y_t dépendant de l'abscisse curviligne s le long de la courbe du rail. En notant C la courbure locale de la courbe du rail, qui est également une fonction de s de manière connue en soi, ledit signal $Y_t(s)$ est défini au moyen de la formule suivante :

$$Y_t(s) = \iint C(s)\, ds^2$$

[0035] Une telle paramétrisation de la courbe du rail est bien connue de l'homme du métier et présente l'avantage d'être explicite, c'est-à-dire que la fonction $Y_t(s)$ est monovaluée, ou encore univoque. De cette manière, la fonction $Y_t(s)$ est définie uniquement à partir d'invariants euclidiens qui sont respectivement l'abscisse curviligne le long de la courbe du rail ainsi que la courbure de ladite courbe. Cette paramétrisation du rail est par conséquent qualifiée d'absolue intrinsèque car elle constitue une représentation de la géométrie du rail qui est indépendante de son orientation dans ledit plan longitudinal. Dans la suite de la description, ladite paramétrisation absolue intrinsèque est nommée profil absolu du rail. Par ailleurs, ledit profil absolu est classiquement représenté dans un repère orthogonal ayant pour abscisse s et pour ordonnée $Y_t(s)$, et dit repère orthogonal absolu.

[0036] On définit également pour la suite de la description une flèche en un point déterminé du rail, dit point de la flèche, comme étant la distance entre ledit point de la flèche et un point auxiliaire d'une corde, de longueur prédéfinie, sous-tendant un sous-ensemble dudit rail contenant ledit point de la flèche. En outre, ledit point auxiliaire de la corde est la projection, sur ladite corde, du point de la flèche selon la direction du vecteur normal du repère de Frenet associé audit point de la flèche (qui est encore la direction selon l'ordonnée du repère de Frenet).

[0037] Ladite flèche est une mesure algébrique, c'est-à-dire une longueur affectée d'un signe positif ou négatif selon que le point de flèche est, conventionnellement, situé sur un élément de la courbe du rail dont le centre de courbure est positionné respectivement à droite ou à gauche du rail. De plus ladite flèche participe aussi à la caractérisation de la géométrie du rail dans la mesure où son sens de variation, eu égard à la position du point de la flèche le long du rail, est identique à celui de la courbure, tel que décrit ci-avant.

[0038] On comprend ainsi que la caractérisation d'une flèche relève non seulement du point du rail en lequel celle-ci est mesurée, mais aussi tout autant de la longueur de la corde associée. Il est donc virtuellement possible de définir une infinité de flèches en un même point d'un rail, en fonction de la longueur de la corde employée et de la position dudit point du rail relativement aux deux points d'intersection de la corde et dudit rail.

[0039] Par exemple, et à titre d'exemple nullement limitatif, la corde utilisée pour déterminer une flèche est de longueur adaptée de telle sorte que les deux points du rail positionnés à l'intersection de la corde et dudit rail, dits points adjacents, sont équidistants dudit point de la flèche de 10m (en conséquence la corde a une longueur inférieure à 20m). Une telle configuration est classiquement utilisée en ingénierie ferroviaire, c'est-à-dire connue de l'homme du métier, et est avantageuse lorsque, par exemple, un cordeau est utilisé pour mesurer les flèches sur le terrain, ce dernier ne subissant dès lors pas de déformations sensibles sous l'effet de son poids. Rien n'exclut cependant d'avoir d'autres configurations de longueur de corde, par exemple avec une longueur de corde de 10m et des points adjacents positionnés, de manière nullement limitative, à équidistance du point de la flèche. Dans d'autres exemples, ledit point de la flèche n'est pas équidistant desdits points adjacents.

[0040] Une flèche est mesurée (ou, de manière équivalente, relevée) par des moyens de mesure connus de l'homme du métier, dont le fonctionnement peut être automatique, tel que par exemple des capteurs de déplacement linéaire, ou bien nécessitant une intervention humaine. La mesure de la flèche est par conséquent dépendante de la géométrie du rail, mais aussi surtout desdits moyens de mesure mis en oeuvre et de leurs dépla-

cements le long du rail de sorte qu'elle fournit une paramétrisation du rail qualifiée de relative, par opposition au profil absolu décrit ci-avant.

[0041] Ledit profil absolu et les flèches relevées le long du rail sont mis en correspondance dans cet ordre au moyen d'une fonction de transfert caractéristique desdits moyens de mesure mis en oeuvre. De cette manière, le profil absolu du rail constitue un signal d'entrée des moyens de mesure, ladite fonction de transfert réalisant des opérations mathématiques à partir de quantités géométriques caractéristiques dudit profil absolu de sorte à fournir un signal de sortie desdits moyens de mesure, à savoir lesdites flèches. Il est à noter que, comme c'est déjà le cas pour le profil absolu, ledit signal de flèches est fonction de l'abscisse curviligne le long de la courbe du rail. Ledit signal de flèches est classiquement représenté dans un repère orthogonal ayant pour abscisse s et pour ordonnée la valeur de la flèche, et dit repère orthogonal des flèches.

[0042] Dans la suite de la description, on adopte la convention qu'un signal est une fonction numérique qui satisfait les conditions nécessaires et suffisantes (régularité, périodicité) à un développement en harmoniques sinusoïdales, lesdites harmoniques allant des basses aux hautes fréquences (respectivement, de manière équivalente, des grandes aux petites longueurs d'onde) selon un pas prédéterminé, chacune desdites harmoniques sinusoïdales étant en outre caractérisée par son amplitude et sa phase. Dans la suite de la description, on emploie aussi l'expression « composante fréquentielle » au lieu de celle d'harmonique sinusoïdale sans que cela n'entraîne de confusion. En outre, le fait de se placer en régime harmonique en ce qui concerne la description de signaux équivaut de façon connue de l'homme du métier à décrire ces derniers en régime fréquentiel.

[0043] Dans le présent mode de mis en oeuvre de l'invention, le profil absolu du rail (respectivement le signal de flèches) est une fonction continue s'étendant entre lesdites première et deuxième extrémités du rail, cette fonction pouvant en outre être définie comme la restriction d'une fonction périodique de période égale à la longueur du rail. A cet effet, le profil absolu du rail (respectivement le signal de flèches) satisfait bien les conditions nécessaires et suffisantes à un développement en harmoniques sinusoïdales.

[0044] On adopte aussi la convention selon laquelle lesdits moyens de mesure, mettant en correspondance le profil absolu du rail avec le signal de flèches, sont des systèmes linéaires, continus et invariants de sorte qu'un signal de sortie est une fonction linéaire du signal d'entrée qui lui est associé, et que le principe de superposition s'applique. Les correspondances qui en découlent entre amplitudes des signaux d'entrée et de sortie d'une part, et phases des signaux d'entrée et de sortie d'autre part, sont connues de l'homme du métier. Il est à noter qu'une telle convention est mise en défaut, et donc non applicable, dans l'hypothèse où lesdits moyens de mesure ont pour entrée non pas ledit profil absolu, mais ledit signal R(X). En effet, le caractère non univoque du signal R(X) implique que les moyens de mesure ne peuvent être modélisés au moyen de systèmes linéaires. Dès lors, le fait d'utiliser ledit profil absolu est clairement un avantage dans la perspective de développements numériques.

[0045] Il est par ailleurs avantageux d'utiliser le profil absolu $Y_t(s)$ pour décrire le rail à la place de la fonction R(X) puisqu'il permet d'estimer une flèche en un point du rail de manière simple à partir d'une mesure de distance directement dans ledit repère orthogonal absolu. En effet, une flèche en un point du rail d'abscisse curviligne s_f, définie à partir d'une corde de longueur L prédéterminée ainsi que par les distances respectives des points adjacents au point de la flèche, s'obtient dans ledit repère orthogonal absolu en mesurant directement un écart d'ordonnée, à l'abscisse s_f, entre la courbe $Y_t(s)$ et une corde annexe. Ladite corde annexe étant définie de sorte que sa projection sur l'axe des abscisses s dans le repère orthogonal absolu est de longueur L, et que ses deux extrémités se projettent sur l'axe des abscisses s en deux points d'abscisses respectives égales aux abscisses curvilignes desdits deux points adjacents. De telles caractéristiques sont bien connues de l'homme du métier.

[0046] On comprend donc ainsi que le profil absolu $Y_t(s)$ est une représentation avantageuse du rail et de sa géométrie. Plus particulièrement, le lien entre ledit profil absolu et les mesures de flèches le long du rail, tel qu'exposé ci-avant, fait qu'on entend par « détermination de ripages en domaine absolu » la détermination de ripages dudit profil absolu $Y_t(s)$, ces ripages étant destinés à faire varier l'amplitude dudit profil absolu $Y_t(s)$ de sorte à corriger les défauts du rail.

[0047] Enfin, on introduit pour la suite de la description la notion de couloir de ripages qui correspond à l'écart maximal admissible entre des ripages effectués respectivement à gauche et à droite du rail. Ledit couloir de ripages est typiquement une contrainte technique fixée par un opérateur de maintenance du rail dans le but de respecter, par exemple, des contraintes de gabarits ainsi que d'obstacles imposées audit rail.

[0048] Le procédé de détermination de ripages en domaine absolu se décompose en plusieurs étapes successives.

[0049] La courbe du rail est échantillonnée en des points de contrôle successifs en lesquels ont été préalablement obtenues des flèches au moyen d'un nombre N de fonctions de transfert distinctes les unes des autres, N étant supérieur ou égal à 1, et chaque flèche étant associée à une seule desdites fonctions de transfert de sorte à former N ensembles de flèches.

[0050] Lesdites fonctions de transfert sont respectivement associées à des moyens de mesure distincts les uns des autres. Par exemple, et à titre d'exemple de mise en oeuvre nullement limitatif, les flèches sont obtenues au moyen de deux fonctions de transfert :

- une première fonction de transfert, préférentiellement associée à des premiers moyens de mesure configurés de sorte que la corde a une longueur de 4,4m, et chaque flèche obtenue par ladite première fonction de transfert est associée à un point de flèche équidistant desdits deux points adjacents,
- une deuxième fonction de transfert, préférentiellement associée à des seconds moyens de mesure configurés de sorte que la corde a une longueur de 7,4m, et chaque flèche obtenue par ladite deuxième fonction de transfert est associée à un point de flèche distant de 2,2m d'un desdits deux points adjacents.

[0051] Préférentiellement, ces deux fonctions de transfert sont respectivement associées à deux moyens de mesure différents, comme par exemple, et à titre nullement limitatif, deux lorries.

[0052] Rien n'exclut cependant d'avoir d'autres fonctions de transfert respectivement associées à des moyens de mesure configurés différemment, comme par exemple des moyens de mesure dits configurés en base 10, c'est-à-dire de sorte que chaque flèche est relevée en un point de flèche équidistant de 5m desdits points adjacents.

[0053] De manière plus générale, tout moyen de mesure de flèches est caractérisé par la longueur de corde utilisée ainsi que par la position relative d'un point de flèche par rapport aux points adjacents audit point de flèche. Aussi, la présente invention est décrite avec pour seule limitation théorique le fait qu'un point de flèche ne peut être confondu avec un point adjacent qui lui est associé. Cela revient à dire que, pour chaque moyen de mesure, ladite longueur de corde ainsi que ladite position relative du point de flèche, hors points adjacents, sont a priori laissées libres. Toutefois, il convient de noter qu'il existe des configurations des moyens de mesure présentant des caractéristiques connues et, dans certains cas, recherchées par l'homme du métier. Par exemple, pour des moyens de mesure configurés de sorte qu'un point de flèche est positionné à équidistance des points adjacents audit point de la flèche, la fonction de transfert desdits moyens de mesure présente un déphasage nul. A contrario, si ledit point de la flèche n'est pas équidistant desdits points adjacents, la fonction de transfert desdits moyens de mesure présente un déphasage non nul. De préférence, lorsqu'il s'agit d'effectuer des opérations de convolution/déconvolution sur un signal, comme cela est décrit ultérieurement, il est connu de l'homme du métier que l'utilisation de fonctions de transfert présentant un déphasage nul ou constant, de module présentant des zéros isolés ainsi que décroissant lentement aux grandes longueurs d'onde, est avantageux.

[0054] De cette manière, on comprend que lesdits points de contrôle en lesquels les flèches sont préalablement relevées sont répartis le long du rail sans nécessairement être équidistant les uns des autres. On comprend aussi que si lesdites fonctions de transfert ont toutes en commun le même signal d'entrée, à savoir le profil absolu de la voie, chaque flèche relevée correspond à une sortie d'une unique fonction de transfert. Ainsi, les flèches se répartissent en N ensembles distincts, dits ensembles de flèches, selon les fonctions de transfert dont elles dépendent respectivement.

[0055] Dans un mode de mise en oeuvre, lesdits points de contrôle sont matérialisés physiquement sur la voie ferrée au moyen de marques identifiables visuellement, comme par exemple des bornes mises en place lors de la pose de ladite voie ferrée, et sont destinés à repérer les emplacements où le rail sera rectifié au moyen d'une modification de flèche, donc d'un ripage, lesdits emplacements étant dès lors confondus avec les points de flèches tels que définis ci-avant.

[0056] Dans un autre mode de mise en oeuvre, lorsque des dégradations sont subies par le rail, que ce soit pour causes naturelles ou bien d'origine humaine, il arrive que tout ou partie des points de contrôle disparaisse de sorte que la pérennisation de la maintenance de la voie ferrée nécessite l'implantation de nouveaux points de contrôle. A cet effet, et en référence à la demande de brevet FR 14 61093 de la demanderesse, il est connu un procédé de mesure de la courbe du rail adapté à réaliser des mesures justes et fidèles de la géométrie de la courbe du rail, ainsi qu'à mettre en forme lesdites mesures de sorte à fournir lesdits points de contrôle.

[0057] Dans un exemple de mise en oeuvre dudit procédé de mesure de la courbe du rail, la localisation des points de contrôle est réalisée au moyen du dispositif de mesure décrit dans la demande de brevet FR 14 50897 de la demanderesse.

[0058] Le procédé de détermination de ripages en domaine absolu comporte dans un premier temps une étape 50, consécutive à l'obtention des flèches en lesdits points de contrôle du rail, de modélisation du rail par un signal dit profil absolu estimé au moyen desdites flèches obtenues. A cet effet, et en référence à la demande de brevet EP 2 806 065 de la demanderesse, il est connu un procédé d'estimation du profil absolu du rail adapté à la détermination, pour une fonction de transfert associée à des moyens de mesure, d'une fonction de transfert inverse de sorte que l'application de ladite fonction de transfert inverse auxdites flèches obtenues fournie une estimation juste et fidèle du profil absolu du rail.

[0059] On comprend donc que lorsque le nombre N de fonctions de transfert est strictement plus grand que 1, le procédé décrit dans la demande de brevet EP 2 806 065 est adapté à l'estimation de N profils absolus grâce en premier lieu à la détermination de N fonctions de transfert inverses respectivement associées auxdites N fonctions de transfert. Aussi, on adopte dans la suite de la description la convention que ledit profil absolu estimé lors de l'étape 50 correspond à l'une desdites N estimations du profil absolu ou bien encore à une combinaison desdites N estimations du profil absolu. Dans ce dernier cas, ladite combinaison sera détaillée ultérieurement dans un mode préféré de mise en oeuvre de l'invention.

[0060] Ainsi, à l'issue de l'étape 50 de modélisation du

rail par un profil absolu estimé, est supposée disponible à tout instant une base de données comportant les points de contrôle le long de la courbe du rail, des flèches relevées en lesdits points de contrôle et réparties selon N ensembles de flèches, N fonctions de transfert ainsi que le profil absolu estimé du rail. En outre, lorsque le nombre N est strictement supérieur à 1, lesdites N fonctions de transfert sont toutes distinctes puisqu'associées à des moyens de mesure distincts, de sorte que parmi lesdites N fonctions de transfert, il en existe une et une seule, dite fonction de transfert passante, ayant une fréquence de coupure supérieure aux fréquences de coupure respectives des autres fonctions de transfert. Lorsque N est égal à 1, l'unique fonction de transfert utilisée au cours de l'étape 50 est aussi ladite fonction de transfert passante.

[0061] Le procédé de détermination de ripages d'un rail en domaine absolu comporte ensuite une étape 100 de décomposition du profil absolu estimé en :

- un premier sous-signal dit tracé visé du rail et représentatif de la trajectoire du rail telle qu'adaptée à satisfaire des conditions améliorées d'exploitation du rail,
- un deuxième sous-signal dit dressage du rail et représentatif des déformations subies par ledit tracé visé du rail au cours du temps

[0062] Les conditions améliorées d'exploitation du rail ont trait à la sécurité de déplacement de transports guidés le long du rail à vitesse prescrite ainsi qu'au confort de voyageurs desdits systèmes de transports guidés selon un ensemble de normes, dont notamment la norme NF EN 13848-1. Le dressage du rail, quant à lui, est représentatif de défauts du rail qui s'opposent au respect des conditions de sécurité, et dans une moindre mesure au respect du confort des utilisateurs.

[0063] Dans un mode de mise en oeuvre de l'étape 100, ladite décomposition du profil absolu estimé selon le tracé visé du rail et le dressage du rail est obtenue à partir d'un filtrage fréquentiel prédéterminé dudit profil absolu estimé selon respectivement une première fenêtre fréquentielle et une deuxième fenêtre fréquentielle, chacune desdites première et deuxième fenêtres fréquentielles comportant une borne inférieure et une borne supérieure. Ledit filtrage fréquentiel selon lesdites première et deuxième fenêtres fréquentielles correspond ainsi à respectivement un premier et deuxième filtrages passe-bande du profil absolu estimé, de sorte à isoler les contributions de longueurs d'onde, respectivement contenues dans lesdites fenêtres fréquentielles, à l'amplitude et à la phase dudit profil absolu estimé.

[0064] Par exemple, et à titre nullement limitatif, lesdites première et deuxième fenêtres fréquentielles sont respectivement un premier intervalle de longueurs d'onde [3m, 70m] et un deuxième intervalle de longueurs d'onde [70m, 150m], de sorte que la borne supérieure dudit premier intervalle de longueurs d'ondes est égale à la borne inférieure dudit deuxième intervalle de longueurs d'ondes. Cela signifie que le tracé visé du rail (respectivement le dressage du rail) se décompose selon une somme d'harmoniques sinusoïdales, ces dernières étant de longueurs d'onde respectives comprises entre 3m et 70m (respectivement comprises entre 70m et 150m), ainsi que d'amplitudes et de phases identiques respectivement aux amplitudes et phases des harmoniques sinusoïdales du profil absolu estimé ayant mêmes longueurs d'onde. On comprend donc que la somme algébrique des harmoniques sinusoïdales du tracé visé et du dressage correspond au développement en harmoniques sinusoïdales du profil absolu estimé.

[0065] En outre, un tel choix des bornes desdits premier et deuxième intervalles de longueurs d'onde est avantageux car représentatif des harmoniques du profil absolu estimé contribuant majoritairement, d'une part, à s'opposer aux normes de sécurité, et d'autre part à représenter la trajectoire du rail en conditions améliorées. En effet, il est connu de l'homme du métier que la délimitation entre sécurité et confort se fonde sur le spectre des défauts dans la mesure où se sont les harmoniques des paramètres mesurés, donc ici les flèches, mais donc de manière équivalente le profil absolu estimé par linéarité des fonctions de transfert, qui excitent des modes propres des véhicules circulant sur le rail. Ainsi, il est notamment connu que :

- ledit premier intervalle de longueurs d'onde correspond à de courtes longueurs d'onde au regard de la longueur totale du rail (plusieurs kilomètres), et sont ainsi les plus contraignantes en termes de sécurité, et dans une moindre mesure en terme de confort,
- ledit deuxième intervalle de longueurs d'onde correspond à des longueurs d'onde suffisamment grandes pour être représentatives de la trajectoire du rail en conditions améliorées

[0066] Rien n'exclut, suivant d'autres exemples non détaillés ici, d'avoir d'autres intervalles de longueurs d'onde au moyen desquelles sont obtenus par filtrage fréquentiel du profil absolu estimé ledit tracé visé et ledit dressage.

[0067] Par exemple, le premier intervalle de longueurs d'onde peut être séparé en deux sous-intervalles qui sont respectivement [3m, 25m] et [25m, 70m], de sorte à isoler avec précision, si la maintenance du rail le nécessite, les harmoniques sinusoïdales de longueurs d'onde comprises entre 3m et 25m représentatives de défauts particulièrement problématiques du point de vue des normes de sécurité.

[0068] Dans un mode préférentiel de mise en oeuvre de l'étape 100, lesdites première et deuxième fenêtres fréquentielles sont respectivement un premier intervalle de longueurs d'onde et un deuxième intervalle de longueurs d'onde dont respectivement la borne supérieure et la borne inférieure sont égales à une borne asservie à l'abscisse curviligne le long du rail ainsi qu'à une valeur

prédéterminée de couloir de ripages. A cet effet, il convient dans un premier temps de déterminer l'abscisse curviligne des origines et fins respectives des éléments composant le rail, ces éléments étant de type alignements, arcs de cercle et raccordements progressifs comme évoqué ci-avant. Les origines et fins desdits éléments, ainsi que leurs abscisses curvilignes respectives, s'obtiennent par exemple visuellement au moyen d'un signal de flèches représenté dans ledit repère orthogonal des flèches, ledit signal de flèche étant alors avantageusement, et de manière connue de l'homme du métier, celui qui est obtenu au moyen de ladite fonction de transfert passante. En effet, ladite fonction de transfert passante est adaptée à fournir un signal de flèches dont la représentation dans le repère orthogonal des flèches laisse apparaître, de manière suffisante nette pour être notée visuellement, l'enchaînement des différents éléments composant le rail.

[0069] Dès lors, la borne asservie est obtenue selon une règle d'asservissement stipulant que lorsque l'abscisse curviligne le long du rail est comprise dans un intervalle dont les bornes sont les abscisses curvilignes d'un élément du rail (alignement, cercle, raccordement progressif), ladite borne asservie est égale à :

- la longueur le long du rail dudit élément (soit donc la longueur curviligne dudit élément) si l'amplitude crête à crête du dressage du rail, obtenu par filtrage fréquentiel du profil absolu estimé selon ledit premier intervalle de longueurs d'onde dont la borne supérieure est égale à ladite borne asservie, reste inférieure à ladite valeur prédéterminée du couloir de ripages,
- sinon une valeur de longueur d'onde obtenue par descente itérative par rapport à la longueur curviligne dudit élément jusqu'à ce que l'amplitude crête à crête du dressage du rail, obtenu par filtrage fréquentiel du profil absolu estimé selon ledit premier intervalle de longueurs d'onde dont la borne supérieure est égale à ladite borne asservie, reste inférieure à ladite valeur prédéterminée du couloir de ripages.

[0070] Aussi, il convient d'observer que le filtrage fréquentiel du profil absolu estimé, selon ledit mode préférentiel de mise en oeuvre de l'étape 100, se fait par éléments successifs du rail. Or, comme lesdits éléments sont a priori de nature géométrique différente, et que de plus ils comportent chacun des défauts qui leur sont propres, ladite borne asservie est a fortiori différente selon qu'elle est associée à tel ou tel élément du rail. Autrement dit, dans ledit mode préférentiel de mise en oeuvre de l'étape 100, le dressage du rail est un signal fonction de l'abscisse curviligne et défini par morceaux, chaque morceau étant associé à un élément, si bien que ledit signal comporte des discontinuités entre deux morceaux consécutifs. Dès lors, il est connu de l'homme du métier que ledit dressage peut être rendu continu au moyen d'une interpolation linéaire deux morceaux consécutifs présentant une discontinuité, ce qui est effectivement réalisé.

[0071] Il convent de noter que ledit mode préférentiel de mise en oeuvre de l'étape 100 est particulièrement avantageux dans la mesure où il constitue un filtrage passe-bande adaptatif, c'est-à-dire qu'il permet de sélectionner pour chaque élément du rail des bornes de fenêtres fréquentielles adaptées à isoler au mieux les défauts du rail.

[0072] La figure 2 représente un autre mode particulier de mise en oeuvre du procédé de la figure 1 au cours duquel, lors de l'étape 100, le tracé visé est obtenu par déconvolution d'une épure du rail, et le dressage est obtenu par filtrage fréquentiel d'un dressage intermédiaire obtenu quant à lui par différence entre ledit profil absolu estimé et ledit tracé visé.

[0073] Par épure, on entend un ensemble de flèches (et donc de manière équivalente un signal de flèches) mesurées en des points de contrôle, ledit ensemble ayant été relevé lors de la pose initiale ou la maintenance du rail. Une telle épure est représentative de la géométrie du rail telle que dimensionnée à son origine, c'est-à-dire avant que ledit rail ne subisse des déformations en raison de son exploitation, et est donc représentative d'une géométrie optimale dudit rail. En outre, il est connu de l'homme du métier qu'une épure du rail est typiquement consignée dans des cahiers d'exploitation et de maintenance du rail lors de la pose dudit rail, lesdits cahiers étant rendus accessibles à des personnes habilitées à les consulter.

[0074] Par ailleurs, il convient de noter qu'en tant que signal de flèches, une épure du rail est mise en correspondance avec le profil absolu dudit rail au moyen d'une fonction de transfert, ladite fonction de transfert étant associée à des moyens de mesure utilisés lors de la pose du rail pour relever ladite épure. Typiquement, les moyens de mesure utilisés pour fournir une épure du rail sont de type 3 points purs, avec une corde de longueur 20m et le point de la flèche positionné à équidistance desdits points adjacents, de sorte que la fonction de transfert et la fonction de transfert inverse associées auxdits moyens de mesure sont connues analytiquement. Rien n'exclut cependant qu'une épure du rail puisse être obtenue avec des moyens de mesure configurés selon des caractéristiques techniques différentes. Néanmoins, dans ledit mode particulier de mise en oeuvre de l'étape 100, sont supposées connues la fonction de transfert et la fonction de transfert inverse associées aux moyens de mesure d'une épure du rail.

[0075] Tel qu'illustré par la figure 2, ladite étape 100 se décompose en plusieurs sous-étapes successives.

[0076] Dans un premier temps, l'étape 100 comporte une sous-étape 101 de détermination du tracé visé par application à une épure du rail d'une fonction de transfert inverse de la fonction de transfert associée à ladite épure du rail.

[0077] A l'issue de ladite sous-étape 101, ledit tracé visé est donc différent du profil absolu estimé, et est re-

présentatif de la géométrie intrinsèque du rail lors de la pose de la voie ferrée.

[0078] L'étape 100 comporte ensuite une sous-étape 102 de détermination d'un dressage intermédiaire par différence entre ledit profil absolu estimé et ledit tracé visé.

[0079] Ledit dressage intermédiaire est un signal représentatif des variations subies par le rail au cours du temps du fait de son exploitation. Autrement dit, il représente la variation de géométrie intrinsèque du rail entre la date de pose du rail et une date ultérieure à ladite date de pose du rail. Il convient toutefois de noter que le spectre fréquentiel du dressage intermédiaire est aussi étendu que celui du tracé visé, ou bien encore du profil absolu estimé. Cela signifie notamment que ledit dressage intermédiaire comporte des harmoniques sinusoïdales dont la fréquence n'est pas représentative de fréquences caractéristiques de défauts du rail tels que recherchés par l'homme du métier.

[0080] Aussi, l'étape 100 comporte une sous-étape 103 de détermination dudit dressage du rail par filtrage fréquentiel dudit dressage intermédiaire.

[0081] Dans un mode de mise en oeuvre de ladite sous-étape 103, ledit filtrage fréquentiel s'effectue au moyen d'une fenêtre fréquentiel de sorte à isoler des défauts du rail considérés comme étant d'intérêt dans l'optique de corriger le rail au moyen de ripages. Autrement dit, ledit filtrage fréquentiel correspond à un filtrage passe-bande. Par exemple, et à titre nullement limitatif, ladite fenêtre fréquentielle correspond à un intervalle de longueurs d'onde [3m, 70m] ou bien encore [3m, 25m] comme exposé ci-avant. Dans un autre exemple, la borne supérieure de ladite fenêtre fréquentielle est déterminée selon des caractéristiques techniques identiques à celles exposées ci-avant dans ledit mode préférentiel de mise en oeuvre de l'étape 100.

[0082] A l'issue de l'étape 100, est ainsi disponible le tracé visé du rail représentatif de la trajectoire du rail telle que désirée dans des conditions améliorées d'exploitation. Est aussi disponible le dressage du rail qui traduit les défauts du rail, c'est-à-dire les déformations subies par ce dernier au cours du temps et qui, une fois ajoutées audit tracé visé dans le sens algébrique du terme, fournissent le profil absolu estimé du rail tel que calculé au cours de ladite étape 50.

[0083] Le procédé de détermination de ripages en domaine absolu comporte enfin une étape 200 de détermination auxdits points de contrôle de ripages de sorte qu'en chaque point de contrôle la somme dudit ripage et du dressage du rail est nulle.

[0084] Dans un mode de mise en oeuvre de l'étape 200, la détermination desdits ripages consiste dans un premier temps à créer une fonction dite fonction de ripages comme étant l'opposé, au sens algébrique du terme, du dressage du rail. Ledit dressage du rail étant une fonction de l'abscisse curviligne, la fonction de ripages est obtenue en multipliant ledit dressage par - 1 de sorte qu'en chaque point de l'abscisse curviligne le long du rail, la somme du dressage et de la fonction de ripages est nulle. Puis, dans un deuxième temps, la détermination des ripages auxdits points de contrôle est donnée par la valeur de ladite fonction de ripages évaluée aux abscisses curvilignes desdits points de contrôle.

[0085] Une telle façon de déterminer les ripages auxdits points de contrôle est avantageuse car elle est effectuée à partir d'une véritable description géométrique du rail, à savoir le profil absolu estimé de ce dernier. Il s'agit donc d'un avantage par rapport aux méthodes traditionnelles de détermination de ripages, telle que par exemple la méthode Hallade, au cours desquelles des ripages sont calculés à partir de valeurs de flèches qui sont une paramétrisation relative et non absolue du rail, lesdites flèches étant en outre obtenues par application d'au moins une fonction de transfert de moyens de mesure au profil absolu du rail. Or, il convient de noter que l'expression de ladite au moins une fonction de transfert utilisée au cours desdites méthodes traditionnelles de détermination de ripages se base sur le principe de mesure tel que théoriquement mis en oeuvre par lesdits moyens de mesure, s'éloignant ainsi de la réalité empirique découlant des contraintes mécaniques subies par lesdits moyens de mesure. Par exemple, et à titre nullement limitatif, ladite au moins une fonction de transfert est celle, connue de l'homme du métier, d'un dispositif de type 3 points purs.

[0086] Ainsi, on comprend que les ripages obtenus à l'issue de l'étape 200 ont été avantageusement calculés à partir du profil absolu estimé décrivant avec précision le rail tel que posé sur la voie, et non pas à partir de sa représentation au moyen des flèches. Une telle manière de procéder permet de gagner en précision (de l'ordre du millimètre) dans la détermination des valeurs des ripages.

[0087] Par ailleurs, l'opération mathématique permettant de déterminer les ripages à partir du profil absolu estimé est simple à effectuer dans la mesure où elle consiste à prendre l'opposé du dressage du rail. Il s'agit là encore d'un avantage au regard des calculs itératifs coûteux en temps réalisés au sein des méthodes traditionnelles (un ripage en un point de contrôle fixé du rail étant dépendant des valeurs des flèches en tous les autres points de contrôle situés de par et d'autre dudit point de contrôle fixé).

[0088] Enfin, la détermination des ripages telle que décrite dans l'étape 200 est avantageuse car elle permet de corriger les défauts du rail de sorte que la position de ce dernier avant et après correction des défauts n'est pas modifiée. Ce qui permet notamment de respecter les contraintes de gabarits ainsi que d'obstacles imposées à la voie ferrée. En effet, dans la mesure où le dressage du rail consiste en une somme d'harmoniques sinusoïdales, la périodicité desdites harmoniques sinusoïdales impliquent que pour que le dressage du rail soit annulé, les ripages sont répartis de manière uniforme à gauche et à droite du rail. Comme les ripages sont des distances algébriques, on en déduit que la somme des ripages à

droite du rail est égale à l'inverse de la somme des ripages à gauche du rail. Dit autrement, le procédé est adapté à avoir autant de ripages à droite du rail qu'à gauche du rail.

[0089] Alternativement, dans un autre mode de mise en oeuvre de l'étape 200, et lorsqu'il n'est pas nécessaire d'obtenir une fonction de ripages permettant de déterminer des ripages en des points autres que lesdits points de contrôle par continuité de ladite fonction de ripages, les ripages sont déterminés directement à partir des valeurs du dressage du rail en lesdits points de contrôle multipliées par -1. Cette manière de procéder se révèle avantageuse dans l'optique d'un gain de temps de calcul puisque la fonction de ripages toute entière n'est pas calculée. Toutefois, on note qu'une estimation de la fonction de ripages peut être obtenue ultérieurement, sans faire usage du dressage du rail, en interpolant lesdits ripages déterminés en les points de contrôle du rail (interpolation linéaire, splines, etc.). La qualité de cette estimation est classiquement dépendante du pas d'échantillonnage du rail en lesdits points de contrôle.

[0090] La figure 3 représente un mode préféré de mise en oeuvre du procédé de la figure 1 au cours duquel, lors de l'étape 50, le profil absolu estimé du rail est modélisé grâce à des flèches relevées le long du rail au moyen d'un nombre N de fonctions de transfert, N étant strictement plus grand que 1.

[0091] Dans ledit mode préféré de mise en oeuvre, et tel qu'illustré par la figure 3, ladite étape 50 se décompose en plusieurs sous-étapes successives.

[0092] Dans un premier temps, l'étape 50 comporte une sous-étape 51a d'estimation de N profils absolus intermédiaires par application à chaque ensemble de flèches d'une fonction de transfert inverse de la fonction de transfert associée audit ensemble de flèches. Chaque fonction de transfert inverse est par exemple déterminée au moyen du procédé d'estimation de profil absolu décrit dans la demande de brevet EP 2 806 065.

[0093] Chacun desdits N profils absolus intermédiaires fournit une approximation du profil absolu réel du rail, les différences entre ces N profils absolus intermédiaires résultant des différences entre les N fonctions de transfert, et donc N fonctions de transfert inverses, auxquelles ils sont respectivement associés. Que lesdites N fonctions de transfert, et donc aussi lesdites N fonctions de transfert inverses, soient distinctes les unes par rapport aux autres est par exemple dû au fait qu'elles sont associées à des moyens de mesure ayant des configurations distinctes, comme évoqué ci-avant dans les exemples où la longueur de corde utilisée et/ou la position du point de la flèche par rapport auxdits points adjacents varient.

[0094] L'étape 50 comporte ensuite une sous-étape 52a de filtrage fréquentiel desdits N profils absolus intermédiaires selon respectivement N sous-fenêtres fréquentielles de sorte à obtenir N profils absolus intermédiaires filtrés.

[0095] Dans un mode principal de mise en oeuvre de ladite sous-étape 52a, ledit filtrage fréquentiel selon lesdites N sous-fenêtres fréquentielles correspond à N filtrages passe-bande des N profils absolus intermédiaires. Il s'agit là, pour chaque profil absolu intermédiaire, d'isoler les contributions de longueurs d'onde contenues dans la sous-fenêtre fréquentielle associée audit profil absolu intermédiaire.

[0096] De manière classique, le profil absolu du rail ne peut être déterminé de manière parfaite à partir d'un ensemble de flèches associées à une fonction de transfert, et donc aussi à une fonction de transfert inverse, dans la mesure où ladite fonction de transfert inverse comporte une bande passante de sorte qu'elle se comporte comme un filtre atténuant, voire coupant, certaines longueurs d'onde. La fonction de transfert inverse est ainsi inadaptée à la restitution de paramètres géométriques et de défauts du rail associés auxdites longueurs d'onde trop atténuées et coupées, et donc au final du profil absolu du rail dans son entièreté. En revanche, il est connu de l'homme du métier que ladite fonction de transfert inverse est adaptée à restituer correctement les harmoniques sinusoïdales (amplitudes et phases) du profil absolu dans un intervalle de longueurs d'onde au cours duquel son module est à variation bornée autour de 1afin de minimiser tout phénomène de distorsion fréquentielle. Il est en outre connu de l'homme du métier qu'il est avantageux d'imposer une contrainte de monotonie de la variation du module de la fonction de transfert inverse sur ledit intervalle de longueurs d'onde. Cela n'est pas envisagé dans la suite de la description.

[0097] Par exemple, une valeur seuil V_S^i, pour i appartenant à l'ensemble discret [1,N], est associée à chaque sous-fenêtre fréquentielle lors de ladite sous-étape de filtrage fréquentiel de sorte que la largeur de chaque sous-fenêtre fréquentielle détermine une plage fréquentielle (et donc de manière équivalente un intervalle de longueurs d'onde) au cours de laquelle la variation du module de la fonction de transfert inverse associée à ladite sous-fenêtre fréquentielle est bornée autour de 1 par ladite valeur seuil de sorte que l'amplitude crête à crête dudit module reste inférieure ou égale au double de ladite valeur seuil. Autrement dit, le module de la fonction de transfert inverse est compris dans l'intervalle $[1- V_S^i, 1+ V_S^i]$. Une telle mise en oeuvre revient donc à appliquer, pour chaque valeur seuil, un filtrage passe-bande selon ledit intervalle de longueurs d'onde, les bornes dudit intervalle étant déterminées par ladite valeur seuil. Dans un autre exemple, le module de la fonction de transfert inverse est compris dans un intervalle [0,8 , 1,3].

[0098] On comprend dès lors que choisir de façon adaptée la valeur seuil de chaque sous-fenêtre fréquentielle permet avantageusement lors de ladite sous-étape 52a de déterminer N profils absolus intermédiaires filtrés, chaque profil absolu intermédiaire filtré se décomposant selon des harmoniques sinusoïdales de fréquences (ou de manière équivalente de longueurs d'onde) comprises

dans la sous-fenêtre fréquentielle associée audit profil absolu intermédiaire filtré, ces harmoniques sinusoïdales restituant de manière fidèle les amplitudes et phases des harmoniques de mêmes fréquences appartenant au profil absolu du rail.

[0099] Il est à noter que par « choisir de façon adaptée la valeur seuil de chaque sous-fenêtre fréquentielle », on entend choisir la valeur seuil de chaque sous-fenêtre fréquentielle de sorte que, d'une part, le module de chacune desdites fonctions de transfert inverses soit borné autour de 1 comme évoqué ci-avant, et aussi que, d'autre part, lesdites sous-fenêtres fréquentielles ne se chevauchent pas et permettent de décrire de manière continue un spectre fréquentiel similaire au spectre du profil absolu, dit spectre du rail.

[0100] Ainsi, dans un mode préférentiel de mise en oeuvre dudit mode principal de mise en oeuvre de la sous-étape 52a, les bornes inférieure et supérieure respectives desdites sous-fenêtres fréquentielles sont déterminées de manière itérative au moyen de valeurs seuils associées respectivement auxdites sous-fenêtres fréquentielles et de sorte que la réunion desdites sous-fenêtres fréquentielles décrivent un spectre fréquentiel continu similaire au spectre du rail.

[0101] Par exemple, et dans un premier temps, lesdites N fonctions de transfert sont triées par ordre d'intérêt, ledit intérêt étant fonction du moyen de mesure le plus approprié au type de rail dont on souhaite obtenir un profil absolu estimé. Ce choix est laissé à l'appréciation de l'homme du métier, et peut par exemple consister à trier lesdites fonctions de transfert inverses par longueur de corde décroissante des moyens de mesure qui leur sont associés, ou inversement. On remarque par ailleurs que trier lesdites N fonctions de transfert est équivalent à trier selon le même ordre lesdites fonctions de transfert inverses ainsi que lesdits N profils absolus intermédiaires obtenus à l'issue de l'étape 51 a. Dans la suite de la description, lesdits N profils absolus intermédiaires sont triés par ordre d'intérêt décroissant, et sont nommés dans cet ordre : premier profil absolu intermédiaire, deuxième profil absolu intermédiaire, etc. Dès lors, et dans un deuxième temps, un premier profil absolu intermédiaire filtré est déterminé par filtrage dudit premier profil absolu intermédiaire au moyen d'une première sous-fenêtre fréquentielle. Les bornes inférieure et supérieure de ladite première sous-fenêtre fréquentielle sont quant à elles déterminées au moyen d'une première valeur seuil selon des caractéristiques techniques identiques à celles décrites ci-avant pour que le module de la fonction de transfert inverse associée audit premier profil absolu intermédiaire soit borné autour de 1. Puis, dans un troisième temps, un deuxième profil absolu intermédiaire filtré est déterminé par filtrage dudit deuxième profil absolu intermédiaire au moyen d'une deuxième sous-fenêtre fréquentielle. Les bornes inférieure et supérieure de ladite deuxième sous-fenêtre fréquentielle sont quant à elles déterminées au moyen d'une deuxième valeur seuil selon des caractéristiques techniques identiques à celles décrites ci-avant pour que le module de la fonction de transfert inverse associée audit deuxième profil absolu intermédiaire soit borné autour de 1, et par ailleurs sous la contrainte que la borne inférieure de ladite deuxième sous-fenêtre fréquentielle soit égale à la borne supérieure de ladite première sous-fenêtre fréquentielle. Les bornes inférieure et supérieure des autres sous-fenêtres fréquentielles sont ensuite déterminées itérativement, en suivant l'ordre d'intérêt choisi, selon le même principe de sorte que la réunion desdites sous-fenêtres fréquentielles décrivent un spectre fréquentiel continu similaire au spectre du rail.

[0102] On comprend en effet que lorsque par exemple au moins deux sous-fenêtres fréquentielles se chevauchent de sorte à définir une plage fréquentielle commune auxdites au moins deux sous-fenêtres fréquentielles, les profils absolus intermédiaires filtrés respectivement associés auxdites au moins deux sous-fenêtres fréquentielles comportent des harmoniques sinusoïdales de fréquences respectives identiques puisque comprises dans ladite plage fréquentielle commune. Dès lors, les amplitudes desdites harmoniques sinusoïdales de fréquences respectives communes s'ajoutent lors de la recomposition du profil estimé, comme décrit ci-après, ce qui conduit à une contribution énergétique, aux dites fréquences communes, surévaluée pour ledit profil absolu estimé.

[0103] Par ailleurs, on comprend qu'il est aussi avantageux que lesdites sous-fenêtres fréquentielles soient contigües de sorte qu'aucune harmonique sinusoïdale, potentiellement porteuse d'énergie à une fréquence appartenant au spectre du rail, ne soit omise lors de la recomposition du profil absolu estimé, comme décrit ci-après.

[0104] L'étape 50 comporte ensuite une sous-étape 53a de recomposition dudit profil absolu estimé à partir desdits N profils absolus intermédiaires filtrés.

[0105] Dans un mode de mise en oeuvre de ladite sous-étape 53a, lesdits profils absolus intermédiaires filtrés sont additionnés composante fréquentielle par composante fréquentielle au cours de ladite sous-étape de recomposition dudit profil absolu estimé.

[0106] Dans un exemple de mise en oeuvre, lorsque les N profils absolus intermédiaires filtrés se décomposent selon des harmoniques sinusoïdales de fréquences (ou de manière équivalente de longueurs d'onde) comprises dans les sous-fenêtres fréquentielles associées respectivement auxdits N profils absolus intermédiaires filtrés, de sorte que lesdites sous-fenêtres fréquentielles ne se chevauchent pas et permettent de décrire de manière continu un spectre fréquentiel similaire au spectre du rail, le profil absolu estimé du rail est obtenu en sommant toutes les harmoniques sinusoïdales desdits N profils absolus intermédiaires filtrés. De cette manière, le profil absolu estimé obtenu par sommation est avantageusement adapté à décrire la géométrie réelle du rail.

[0107] On comprend donc que l'utilisation d'une pluralité de fonctions de transfert, telle que décrite ci-avant dans l'étape 50 et illustré par la figure 2, permet de con-

tourner des difficultés inhérentes à l'utilisation d'une seule fonction de transfert, dont notamment le fait que ladite une seule fonction de transfert est inadaptée à la représentation de l'ensemble des défauts du rail, et donc a fortiori à la détermination de ripages ajustés à la géométrie réelle du rail tout entier.

[0108] La figure 4 représente un autre mode particulier de mise en oeuvre du procédé de la figure 1 au cours duquel, lors de l'étape 50, le profil absolu estimé du rail est modélisé grâce à N ensembles de flèches filtrés, N étant strictement plus grand que 1.

[0109] Tel qu'illustré par la figure 4, ladite étape 50 se décompose en plusieurs sous-étapes successives.

[0110] Dans un premier temps, l'étape 50 comporte une sous-étape 51b de filtrage fréquentiel desdits N ensembles de flèches selon respectivement N sous-fenêtres fréquentielles de sorte à obtenir N ensembles de flèches filtrés.

[0111] Dans un mode de mise en oeuvre de ladite sous-étape 51 b, ledit filtrage fréquentiel selon lesdites N sous-fenêtres fréquentielles correspond à N filtrages passe-bande des N ensembles de flèches. Il s'agit là, pour chaque ensemble de flèches, d'isoler les contributions de longueurs d'onde contenues dans la sous-fenêtre fréquentielle associée audit ensemble de flèches. Un tel filtrage fréquentiel est réalisé selon des caractéristiques techniques identiques à celles décrites ci-avant dans la sous-étape 52a, à savoir que lesdits ensembles de flèches de ladite sous-étape 51 b remplacent lesdits profils absolus intermédiaires de ladite sous-étape 52a.

[0112] L'étape 50 comporte ensuite une sous-étape 52b d'estimation de N profils absolus intermédiaires filtrés par application à chaque ensemble de flèches filtré d'une fonction de transfert inverse de la fonction de transfert associée à l'ensemble de flèches dont le filtrage lors de l'étape 51 b fournit ledit ensemble de flèches filtré. Une telle estimation desdits N profils absolus intermédiaires filtrés est réalisée selon des caractéristiques techniques identiques à celles décrites ci-avant dans la sous-étape 51 a, à savoir que lesdits profils absolus intermédiaires filtrés et ensembles de flèches filtrés de ladite sous-étape 51 b remplacent respectivement lesdits profils absolus intermédiaires et ensembles de flèches de ladite sous-étape 51b.

[0113] Enfin, l'étape 50 comporte une sous-étape 53b de recomposition dudit profil absolu estimé à partir desdits N profils absolus intermédiaires filtrés. Une telle recomposition dudit profil absolu estimé est réalisée selon des caractéristiques techniques identiques à celles décrites ci-avant dans la sous-étape 53a.

[0114] La figure 5 représente un autre mode particulier de mise en oeuvre du procédé de la figure 1 au cours duquel, lors de l'étape 50, le profil absolu estimé du rail est modélisé par déconvolution d'un signal de flèches filtré obtenu par recomposition de N ensembles de flèches filtrés, N étant strictement plus grand que 1.

[0115] Tel qu'illustré par la figure 5, ladite étape 50 se décompose en plusieurs sous-étapes successives.

[0116] Dans un premier temps, l'étape 50 comporte une sous-étape 51c de filtrage fréquentiel desdits N ensembles de flèches selon respectivement N sous-fenêtres fréquentielles de sorte à obtenir N ensembles de flèches filtrés. Ladite sous-étape 51 c est strictement identique à ladite sous-étape 51 b décrite ci-avant. En conséquence, chaque ensemble de flèches filtré, et donc aussi chaque fonction de transfert associée audit ensemble de flèches filtrés, est associé à une plage fréquentielle comportant une borne inférieure et une borne supérieure.

[0117] L'étape 50 comporte ensuite une sous-étape 52c de détermination d'un signal de flèches filtré par recomposition desdits N ensembles de flèches filtrés. Une telle détermination dudit signal de flèches filtré est réalisée selon des caractéristiques techniques identiques à celles décrites ci-avant dans la sous-étape 53a, à savoir que ledit signal de flèches filtré et lesdits N ensembles de flèches filtrés de ladite sous-étape 52c remplacent respectivement ledit profil absolu estimé et lesdits N profils absolus intermédiaires filtrés de ladite sous-étape 53a.

[0118] Il convient de noter que le spectre fréquentiel dudit signal de flèches filtré couvre l'ensemble du spectre du rail. Il s'agit néanmoins d'un signal de flèches artificiel dans la mesure où il consiste en un assemblage de signaux de flèches obtenus respectivement à partir de moyens de mesure distincts. Toutefois, dans le domaine fréquentiel, il est théoriquement possible de considérer ledit signal de flèches filtré comme un signal obtenu à partir de moyens de mesure théoriques dont l'entrée est le profil absolu du rail. De tels moyens de mesure théoriques établissent la correspondance entre ledit profil absolu du rail et ledit signal de flèches filtré au moyen d'une fonction de transfert théorique.

[0119] Ainsi, l'étape 50 comporte une sous-étape 53c de détermination dudit profil absolu estimé par application audit signal de flèches filtré d'une fonction de transfert inverse d'une fonction de transfert théorique admettant en entrée et sortie respectivement ledit profil absolu du rail et ledit signal de flèches filtré.

[0120] Dans un mode préféré de mise en oeuvre de ladite sous-étape 53c, et dans un premier temps, les modules des fonctions de transfert associées auxdits ensembles de flèches filtrés sont restreints aux plages fréquentielles déterminées lors de ladite sous-étape 51 c de sorte à former respectivement des modules restreints. Lesdits modules restreints sont ensuite concaténés de sorte à former le module de ladite fonction de transfert théorique. On comprend donc qu'ainsi le module de la fonction de transfert théorique est défini morceau par morceau, chaque morceau étant associé à une seule desdites plages fréquentielles, et qu'il couvre bien l'ensemble du spectre du rail. Dès lors, et dans un deuxième temps, le module de la fonction de transfert inverse est déterminé par inversion desdits modules restreints sur leurs plages fréquentielles respectives. Enfin, dans un troisième temps, ledit profil absolu estimé est déterminé selon des caractéristiques techniques identiques à celles

décrites la demande de brevet EP 2 806 065.

[0121] De manière plus générale, il est à noter que les exemples de mise en oeuvre considérés ci-dessus ont été décrits à titre d'exemples non limitatifs, et que d'autres variantes sont par conséquent envisageables.

[0122] Par exemple, quelques modifications mineures dudit procédé permettent la détermination de relevages d'un rail d'une voie ferrée, c'est-à-dire de déplacements correctifs verticaux adaptés à corriger des défauts relevés sur le profil en long dudit rail.

[0123] Par ailleurs, l'invention a été décrite en considérant un procédé de détermination de ripages d'un rail d'une voie ferrée. Rien n'exclut, suivant d'autres exemples, d'avoir un procédé de rectification, selon des caractéristiques sensiblement similaires, appliqué à la rectification de poutres métalliques utilisées dans des structures de bâtiment ou bien encore de rails guidés d'ascenseur.

Revendications

1. Procédé de détermination de ripages d'un rail de voie ferrée en domaine absolu, ledit rail étant :

- assimilable à une courbe échantillonnée en des points de contrôle successifs en lesquels ont été obtenues des flèches au moyen d'un nombre N de fonctions de transfert distinctes les unes des autres, N étant supérieur ou égal à 1, et chaque flèche étant associée à une seule desdites fonctions de transfert de sorte à former N ensembles de flèches,

caractérisé en ce qu'il comporte les étapes successives suivantes :

- une étape 50 de modélisation du rail par un signal dit profil absolu estimé au moyen desdites flèches obtenues,
- une étape 100 de décomposition du profil absolu estimé en une somme d'un premier sous-signal dit tracé visé du rail et représentatif de la trajectoire du rail telle qu'adaptée à satisfaire des conditions améliorées d'exploitation du rail, ainsi que d'un deuxième sous-signal dit dressage du rail et représentatif des déformations subies par ledit tracé visé du rail au cours du temps,
- une étape 200 de détermination auxdits points de contrôle de ripages de sorte qu'en chaque point de contrôle la somme dudit ripage et dudit dressage du rail est nulle.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ladite décomposition du profil absolu estimé selon le tracé visé du rail et le dressage du rail est obtenue à partir d'un filtrage fréquentiel prédéterminé dudit profil absolu estimé selon respectivement une première fenêtre fréquentielle et une deuxième fenêtre fréquentielle, chacune desdites fenêtres fréquentielles comportant une borne inférieure et une borne supérieure.

3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel lesdites première et deuxième fenêtres fréquentielles sont respectivement un premier intervalle de longueurs d'onde et un deuxième intervalle de longueurs d'onde, la borne supérieure et la borne inférieure respectivement dudit premier intervalle et dudit deuxième intervalle étant égales à une borne asservie à l'abscisse curviligne le long du rail ainsi qu'à une valeur prédéterminée de couloir de ripages.

4. Procédé selon la revendication 1, dans lequel une épure du rail a été obtenue lors de la pose ou de la maintenance dudit rail au moyen d'une fonction de transfert associée à ladite épure, et dans lequel l'étape 100 comporte les sous-étapes successives suivantes :

- une sous-étape 101 de détermination du tracé visé par application à une épure du rail d'une fonction de transfert inverse de la fonction de transfert associée à ladite épure du rail,
- une sous-étape 102 de détermination d'un dressage intermédiaire par différence entre ledit profil absolu estimé et ledit tracé visé,
- une sous-étape 103 de détermination dudit dressage du rail par filtrage fréquentiel dudit dressage intermédiaire.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel, lorsque le nombre N de fonctions de transfert est strictement supérieur à 1, ladite étape 50 de modélisation du rail comporte :

- une sous-étape 51a d'estimation de N profils absolus intermédiaires par application à chaque ensemble de flèches d'une fonction de transfert inverse de la fonction de transfert associée audit ensemble de flèches,
- une sous-étape 52a de filtrage fréquentiel desdits N profils absolus intermédiaires selon respectivement N sous-fenêtres fréquentielles de sorte à obtenir N profils absolus intermédiaires filtrés,
- une sous-étape 53a de recomposition dudit profil absolu estimé à partir desdits N profils absolus intermédiaires filtrés.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel, lorsque le nombre N de fonctions de transfert est strictement supérieur à 1, ladite étape 50 de modélisation du rail comporte :

- une sous-étape 51 b de filtrage fréquentiel desdits N ensembles de flèches selon respective-

ment N sous-fenêtres fréquentielles de sorte à obtenir N ensembles de flèches filtrés,
- une sous-étape 52b d'estimation de N profils absolus intermédiaires filtrés par application à chaque ensemble de flèches filtré d'une fonction de transfert inverse de la fonction de transfert associée à l'ensemble de flèches dont le filtrage lors de l'étape 51 b fournit ledit ensemble de flèches filtré,
- une sous-étape 53b de recomposition dudit profil absolu estimé à partir desdits N profils absolus intermédiaires filtrés.

7. Procédé selon l'une des revendications 5 à 6, dans lequel une valeur seuil est associée à chaque sous-fenêtre fréquentielle lors de ladite sous-étape de filtrage fréquentiel, chacune desdites sous-fenêtres fréquentielles comportant en outre une borne inférieure et une borne supérieure déterminant une plage fréquentielle au cours de laquelle la variation du module de ladite fonction de transfert inverse associée à ladite sous-fenêtre fréquentielle est bornée autour de 1 par ladite valeur seuil.

8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel les bornes inférieure et supérieure respectives desdites sous-fenêtres fréquentielles sont déterminées de manière itérative de sorte que la réunion desdites sous-fenêtres fréquentielles décrivent un spectre fréquentiel continu similaire au spectre du rail.

9. Procédé selon l'une des revendications 5 à 8, dans lequel lesdits profils absolus intermédiaires filtrés sont additionnés composante fréquentielle par composante fréquentielle au cours de ladite sous-étape de recomposition dudit profil absolu estimé.

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel, lorsque le nombre N de fonctions de transfert est strictement supérieur à 1, ladite étape 50 de modélisation du rail comporte :

- une sous-étape 51 c de filtrage fréquentiel desdits N ensembles de flèches selon respectivement N sous-fenêtres fréquentielles de sorte à obtenir N ensembles de flèches filtrés,
- une sous-étape 52c de détermination d'un signal de flèches filtré par recomposition desdits N ensembles de flèches filtrés,
- une sous-étape 53c de détermination dudit profil absolu estimé par application audit signal de flèches filtré d'une fonction de transfert inverse d'une fonction de transfert théorique admettant en entrée et sortie respectivement un profil absolu du rail, représentatif de la géométrie réelle du rail, et ledit signal de flèches filtré.

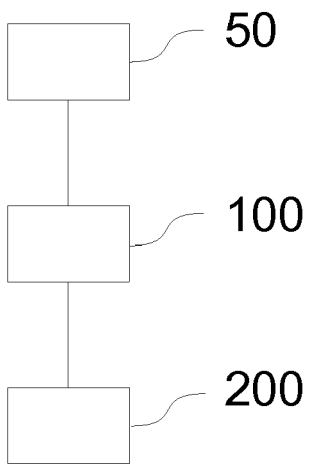

Fig. 1

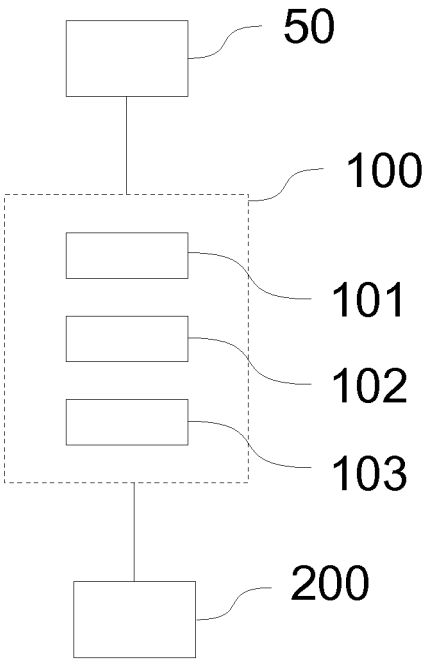

Fig. 2

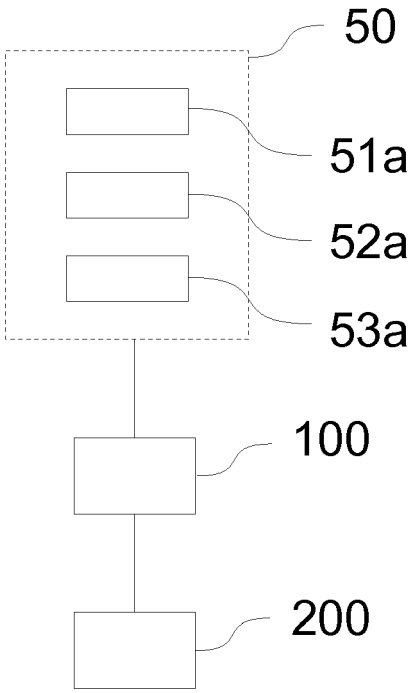

Fig. 3

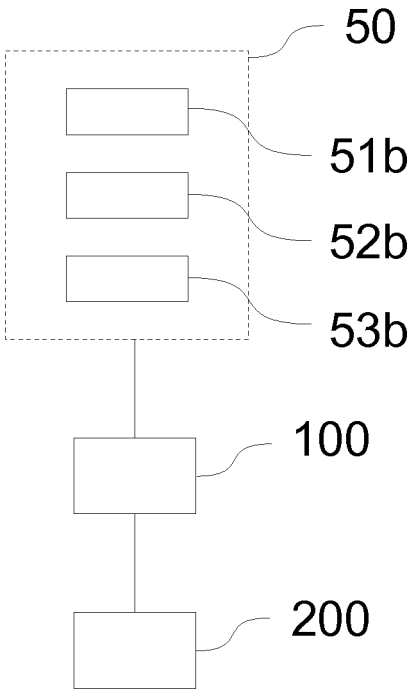

Fig. 4

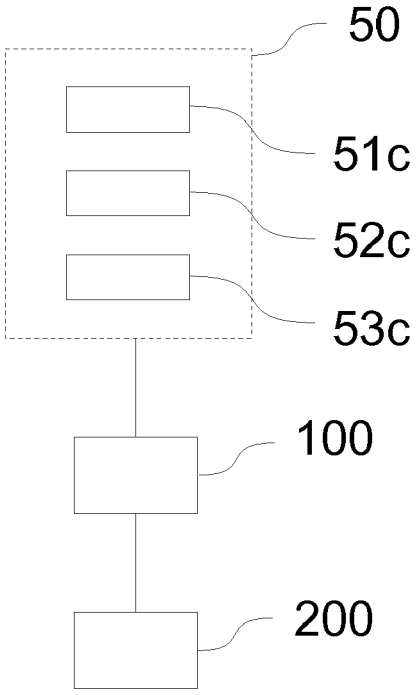

Fig. 5

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 17 15 5780

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	US 5 012 413 A (SROKA DENNIS A [US] ET AL) 30 avril 1991 (1991-04-30)	1	INV. E01B33/02 E01B35/06
Y	* colonnes 3-5; revendication 1; figures *	2-10	

Y,D	EP 2 806 065 A1 (LEYFA MEASUREMENT [FR]) 26 novembre 2014 (2014-11-26) * le document en entier *	2-10	

A	DE 37 00 806 A1 (VNII TRANSPORT STROITELSTVU [SU]) 28 juillet 1988 (1988-07-28) * pages 12-21; figures *	1-10	

A	EP 0 207 197 A1 (SCHEUCHZER FILS AUGUSTE [CH]) 7 janvier 1987 (1987-01-07) * pages 6-8; figures *	1-10	

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)

E01B

Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications

Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
Munich	29 mai 2017	Movadat, Robin

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

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 antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons
.....
& : membre de la même famille, document correspondant

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO. EP 17 15 5780

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits members sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

29-05-2017

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)			Date de publication
US 5012413	A	30-04-1991	AUCUN			
EP 2806065	A1	26-11-2014	EP	2806065	A1	26-11-2014
			EP	3162958	A1	03-05-2017
			FR	3005321	A1	07-11-2014
DE 3700806	A1	28-07-1988	AT	389133	B	25-10-1989
			CH	674382	A5	31-05-1990
			DE	3700806	A1	28-07-1988
EP 0207197	A1	07-01-1987	AT	41796	T	15-04-1989
			AU	580429	B2	12-01-1989
			DD	248159	A5	29-07-1987
			DE	3569137	D1	03-05-1989
			EP	0207197	A1	07-01-1987
			ES	8801010	A1	16-02-1988
			JP	S6286201	A	20-04-1987
			US	4724653	A	16-02-1988

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- FR 1553409 **[0006]**
- FR 1461093 **[0056]**
- FR 1450897 **[0057]**
- EP 2806065 A **[0058] [0059] [0092] [0120]**