



(11)

**EP 2 806 065 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**21.09.2016 Bulletin 2016/38**

(51) Int Cl.:  
**E01B 35/00<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Numéro de dépôt: **14167077.8**

(22) Date de dépôt: **05.05.2014**

**(54) Procédé de mesure et d'estimation de géométrie d'une voie ferrée**

Mess- und Schätzverfahren zum Ermitteln der Gleislage einer Eisenbahnstrecke

Method for measuring and estimating the track position of a railway track

(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**

(30) Priorité: **05.05.2013 FR 1354118**

(43) Date de publication de la demande:  
**26.11.2014 Bulletin 2014/48**

(73) Titulaire: **Leyfa Measurement  
81012 Albi (FR)**

(72) Inventeurs:  
• **FAURE, Julien  
81000 ALBI (FR)**  
• **LEYMARIE, Alban  
81000 ALBI (FR)**  
• **ROLS, Claude  
31140 AUCAMVILLE (FR)**

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

(56) Documents cités:  
**WO-A1-2004/029825 US-A- 3 604 359**

**EP 2 806 065 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

**Description****Domaine de l'invention**

5 **[0001]** L'invention appartient au domaine de la métrologie, plus spécifiquement du contrôle des infrastructures ferroviaires pour assurer la sécurité et le confort des circulations sur ces infrastructures ferroviaires.

**[0002]** L'invention concerne plus particulièrement l'obtention et l'analyse de données géométriques relatives à une voie ferrée d'une infrastructure ferroviaire notamment le nivellement et le dressage.

10 **Etat de l'art**

**[0003]** La mesure de la géométrie des voies ferrées est un domaine des sciences ferroviaires particulièrement hétéroclite, tant par la diversité des techniques et moyens de mesure employés que par la finalité des mesures, voir par exemple les documents US 3 604 359 A et WO 2004/029825 A1.

15 **[0004]** En effet, si la quantification et l'évaluation de la qualité de la géométrie des voies ferrées est nécessaire pour assurer la sécurité et le confort des circulations ferroviaires sur l'infrastructure inspectée, elle trouve une application de plus en plus importante lors des phases de maintenance et des grandes opérations de travaux dans des buts de préparation, constitution des données d'entrée pour les études, récolement provisoire, ou encore réception pour l'entrée en domaine de maintenance.

20 **[0005]** Il apparaît de plus en plus essentiel de pérenniser les infrastructures face au vieillissement mais aussi de les contrôler afin de s'assurer que leurs caractéristiques restent conformes aux normes de maintenance en vigueur, que ce soit dès la pose de travaux neufs ou lors des activités de maintenance.

**[0006]** Il est tout aussi important de s'assurer de la bonne exécution de ces travaux. Par ailleurs, ces surveillances correspondent de surcroît à une obligation légale ou réglementaire selon le type de réseau considéré. Par exemple, sur 25 le Réseau Ferré National français, le contrôle de la géométrie de la voie des lignes à grandes vitesses s'exercent tous les 15 jours contre tous les 6 mois à un an sur les lignes du réseau classiques et ce, d'après les Instructions Nationales établies par SNCF Infra en tant que Gestionnaire d'Infrastructures pour le compte de Réseau Ferré de France. Sur les réseaux urbains, dont le contrôle est assumé par un service technique d'Etat déconcentré, le pas d'inspection est annuel.

30 **[0007]** La mesure de la géométrie d'une voie ferrée se caractérise généralement par un ensemble de paramètres mathématiques. Ces paramètres, au nombre de sept, sont les suivants :

- le nivellement du rail de la file intérieure et celui du rail de la file extérieure ;
- le dévers ;
- le gauche ;
- 35 - le dressage du rail de la file intérieure et celui du rail de la file extérieure ;
- l'écartement.

**[0008]** Par rail de la file intérieure, on entend le rail situé du côté de l'entrevoie en cas de voie double ou le rail de la file du petit rayon.

40 **[0009]** Par rail gauche, on entend le rail opposé au rail précédent.

**[0010]** Les paramètres d'écartement et de gauche ne servent essentiellement que pour les questions de sécurité. Il s'agit des paramètres devant être contrôlés à minima, notamment sur les voies de service et industrielles. Pour les voies du réseau principal, il est impératif de disposer des paramètres complets tels le nivellement et le dressage qui portent à la fois sur les questions de sécurité mais aussi de confort. Cependant, la délimitation entre sécurité et confort ne se 45 fonde pas réellement sur tel ou tel paramètre mais plus sur le spectre des défauts dans la mesure ou ce sont les composantes fréquentielles des paramètres mesurés (nivellement, dressage) qui excitent des modes propres des véhicules. Ainsi, concernant le nivellement et le dressage, on sépare généralement les domaines de longueurs d'onde compris entre trois domaines :

- 50 - un premier domaine D1 où les longueurs d'onde sont comprises entre 3 et 25m, qui ne concerne que la sécurité,
- un deuxième domaine D2 où les longueurs d'onde sont comprises entre 25m et 70m, qui concerne la sécurité et le confort
- un troisième domaine D3 où les longueurs d'onde sont comprises entre 70m et 150m, qui concerne uniquement le confort.

55 **[0011]** La forme la plus commune de la mesure de la géométrie voie est celle de l'inspection des réseaux nationaux avec des moyens lourds de type voiture ou rame de mesure. Ces inspections périodiques, généralement semestrielles, sont réalisées en charge (c'est-à-dire que la mesure se déroule sous la charge réelle que la voie ferrée supporte

habituellement au passage des circulations ferroviaires) et visent à suivre la qualité globale de la géométrie voie ainsi qu'à détecter et quantifier les défauts afin de préserver la sécurité et le confort des circulations mais aussi permettre la maintenance préventive conditionnelle qui est déclenchée à partir de l'identification de dépassements de seuils normés par un ou plusieurs des paramètres mesurés. Ces déclenchements d'opérations sont destinés, entre autres, à éviter

que des dégradations irréversibles des constituants de la voie se produisent.

**[0012]** On peut citer entre autre le train à grande vitesse, dénommé IRIS 320®, constitué d'une rame entière d'un train à grande vitesse.

**[0013]** Le principe appliqué dans ce train à grande vitesse est la mesure inertielle. La mesure inertielle permet avantageusement la mesure directe du nivellement et du dressage absolu de la voie. Cette mesure permet donc d'obtenir

directement les profils absolus de la voie.

**[0014]** Le terme profil absolu fait référence au nivellement et/ou au dressage de la voie ferrée.

**[0015]** Le principe de mesure se fonde sur l'évaluation de la position du rail dans les directions verticales et latérales par rapport à une référence inertielle donnée par des gyroscopes et des accéléromètres. Il faut au minimum, un accéléromètre et un gyroscope par axe de repère.

**[0016]** Une centrale de référence inertielle est montée sur une poutre indéformable, par exemple, de type caisse ou bogie. A cela s'ajoute également des systèmes additionnels de mesure laser destinés à déterminer la position de la centrale inertielle par rapport aux rails. La mesure de la distance de la centrale inertielle aux rails est nécessaire afin d'évaluer la position des rails dans la référence inertielle. En effet la mesure des voies à joints ou des voies présentant de nombreuses lacunes, est délicate car les systèmes de mesure laser décrochent au niveau des joints ou lacunes.

**[0017]** Un tel dispositif à mesure inertielle sans contact permet une mesure de l'ensemble des paramètres de la géométrie voie jusqu'à une vitesse de circulation sur la voie du train de 360 km/h.

**[0018]** Cependant, un tel dispositif présente quelques inconvénients non négligeables que sont la difficulté de la gestion des lacunes des voies ferrées, par exemple aux joints et dans les appareils de voie, le cout particulièrement élevé d'un engin unique ou encore la nécessité d'une vitesse minimale de circulation sur la voie de la voiture de mesure d'au moins 60 km/h.

**[0019]** La mesure inertielle, à la différence d'une mesure à corde (avec ou sans contact) est dépendante de la vitesse du vecteur qui embarque le système de mesure. En effet, l'estimation des déplacements de la référence inertielle se base sur des mesures d'accélération et de rotation à partir desquelles on peut retrouver lesdites valeurs de déplacements. On comprend aisément qu'à faible vitesse, les niveaux d'accélération relevés sont faibles et donc insuffisants pour obtenir correctement des valeurs de déplacement. L'adéquation entre le spectre de l'entrée du système inertiel et la fonction de transfert des accéléromètres le composant pour partie ne peut se faire qu'à des vitesses de l'ordre de celle indiquée précédemment. Dans tous les cas, il n'est pas possible d'obtenir de mesures pour des marches au pas ou lente.

**[0020]** Le champ d'application des voitures de mesure équipées d'un tel système à mesure inertielle sans contact est donc limité.

**[0021]** A côté de ce système unique, on peut également citer les voitures Mauzin dont le principe de mesure est un principe à corde avec contact. Dotées de huit roues de mesures pour la prise de mouvement dans les directions verticales et trois paires de galets palpeurs pour les mesures dans la direction horizontale, ces voitures constituent la référence de la mesure en France pour les lignes classiques. La fonction de transfert de tels engins a l'intéressante particularité d'être proche de l'unité pour les longueurs d'ondes usuelles proches des bornes du domaine D1. La bande passante à -3dB du système a été astucieusement définie pour que les défauts, dont les fréquences correspondent statistiquement à celles que l'on retrouve sur le réseau classique, soient restitués en vraie grandeur.

**[0022]** Cependant, de telles voitures sont particulièrement coûteuses à construire mais surtout à entretenir en raison de la très grande rigueur mécanique de l'entretien qui doit être fait, à la fois sur le vecteur mais aussi sur la prise et la transmission mécanique du mouvement. L'exploitation d'une telle voiture ne peut se concevoir qu'à l'échelle de sociétés nationales ou multinationales en raison des coûts importants liés à la formation et à la traction des trains spéciaux de mesure englobant voiture de mesure, voitures pour le poids frein et locomotives encadrant le convoi pour sa réversibilité. La programmation des tournées d'enregistrement de la géométrie des voies se fait donc plusieurs mois à l'avance, et il n'existe pas de flexibilité concernant des besoins locaux particuliers. Ces voitures exercent donc un contrôle annuel ou semestriel avec aucune possibilité d'adaptation des pas de mesure au besoin particuliers des mainteneurs locaux (selon travaux en cours etc.).

**[0023]** Au côté de ces voitures de mesure existe un ensemble de besoin qui s'identifie d'autant plus clairement que l'on comprend que les inspections des voitures de mesure sont prévues des années à l'avance et que leur faible nombre ne permet pas un emploi correspondant à tous les besoins des responsables de la maintenance des voies ferrées. Ceux-ci disposent en effet de besoin plus ou moins ponctuels, comme la validation de chantiers, le suivi de défauts identifiés etc. dont la réalisation peut avoir lieu entre deux grandes inspections.

**[0024]** Ainsi, depuis une décennie, sont apparus sur le marché ferroviaire, principalement grâce au progrès de l'instrumentation et de la micro informatique, des dispositifs de mesure plus légers et de type manuels. Ces dispositifs de mesure se présentent sous la forme de petits chariots poussés à la main, couramment dénommés lorries dans le milieu

ferroviaire.

**[0025]** Trois grandes catégories de lorries se détachent :

- première catégorie : les lorries de contrôle dont les fonctionnalités sont uniquement de mesurer et contrôler les paramètres usuels de sécurité que sont le gauche et l'écartement. Ces lorries sont de petites dimensions, de l'ordre de 1 à 2 mètres, donc facilement transportables. Ces lorries sont des améliorations directes des dispositifs manuels, du type règles à devers et écartement, pour effectuer des courses de mesure jusqu'à quelques centaines de mètres et réaliser, à la différence des dispositifs manuels, la mesure en continu. Les besoins couverts sont essentiellement ceux de la petite inspection, de la vérification limitée à ces deux paramètres de travaux effectués, en attendant le passage de la voiture de mesure. A titre d'exemple, on peut citer le lorry de mesure Diamond's® de la société Geismar ;
- deuxième catégorie : les lorries destinés de manière quasi exclusives au chantier et visant à faciliter le travail historique des géomètres topographes. Il s'agit d'engins de petites dimensions, très légers (de l'ordre de 40 kg), poussés à la main et recevant généralement des mires de géomètre, des cibles de théodolite ou des stations totales. Soit le lorry est visé depuis une station totale fixe au sol, soit la station totale est installée sur le lorry et vise des mires fixes au sol ou sur des points fixes. Ces systèmes sont destinés à guider des bourreuses où permettre des récolements de projet de géomètres. C'est surtout durant la phase même de la pose des rails que ces systèmes présentent une utilité ou pour les lignes à grande vitesse. Ces systèmes nécessitent alors l'implantation de goujons géo-référencés sur des points fixes, ces goujons étant référencés dans des repères absolus de type nivellement général de la France (NGF) ou Lambert étendu. Ces systèmes, couteux à poser et entretenir, ne sont pas généralisés à l'ensemble du réseau.. A titre d'exemple, on peut citer le lorry Amberg GRP5000 ou encore le Hergie de la société Rhomberg. Ces deux lorries portent la mire. Les données fournies ne sont cependant pas exploitables facilement et directement pour la maintenance car elles ne peuvent pas être comparées aux seuils de maintenance prédéfinis.
- troisième catégorie : les lorries de mesure relative, destinés à mesurer le nivellement et le dressage. Ces lorries mesurent essentiellement des flèches sur des cordes matérialisées par des poutres. En raison de la difficulté de rendre les mesures indépendantes des défauts de gauche, que ce soit par soucis d'ergonomie, ou par difficulté mécanique, les bases de mesures sont particulièrement limitées avec un maximum atteint à 5m. Il s'agit par exemple des lorries Plasma de la société Rhomberg ou bien du lorry EMA de la société Vögel und Plötscher.

**[0026]** Ces trois types de lorries ne remplissent que partiellement le besoin qui peut exister entre les pas de mesure des voitures d'inspection ou en attendant le premier passage après pose ou renouvellement de voie.

**[0027]** Les lorries de la troisième catégorie ne mesurent que sur de courtes bases de mesure (de l'ordre de 1 à 2 mètres) et ne peuvent mesurer qu'un profil « local » de la voie, c'est-à-dire les défauts de faibles longueurs d'onde. Au-delà, la très grande majorité d'entre eux ne fournit que des flèches brutes, sans recoloration, c'est-à-dire sans élimination de l'influence de la fonction de transfert.

**[0028]** De plus, les mesures effectuées sur ces lorries ne sont réalisées que sur un seul rail à la fois, et ne permettent donc pas de prendre correctement en compte les courbes et contre courbes.

**[0029]** Un autre inconvénient pour les lorries de la 2<sup>ème</sup> classe est que la mesure topographique renseigne avant tout sur un positionnement en x, y, z de l'axe de la voie. On n'obtient ainsi aucune information pouvant être facilement identifiée par le terrain, à l'oeil notamment en raison de l'abstraction du formalisme de la représentation, éloigné du formalisme utile pour la maintenance voie et précisé dans la norme NF EN 13848-1. La mesure est discrétisée, généralement tous les 5 à 10 mètres, ce qui ne permet d'apprécier que les composantes de longueur d'onde au moins supérieures à ces valeurs, soit 10-20 mètres minimum.

**[0030]** Ces inconvénients sont d'autant plus visibles lors des opérations de récolements provisoires des travaux de voie ferrée. En effet, lors de ces récolements, le besoin, auquel ne répondent pas ces lorries, correspond à une mesure effectuée à partir d'engins légers, facilement dérailables entre les différents trains de chantier afin de ne pas gêner les circulations, qui puissent fournir en temps réel l'ensemble des paramètres de la géométrie de la voie et permettre de disposer de mesure sur des bases de mesures plus grandes ou absolues afin de mieux quantifier les défauts de grandes longueurs.

**[0031]** Les résultats de mesure de la majorité de ces lorries ne sont pas en conformité avec les attendues des normes NF EN 13848-4 en vigueur depuis 2010. En effet, que ce soit au niveau du formalisme des données, au niveau de l'exhaustivité des paramètres mesurés ou de la correction de l'influence des fonctions de transfert, le nombre d'écarts à la norme les rend impropres à une utilisation conforme aux attendues de cette série de normes européennes.

**[0032]** L'inconvénient majeur de ces différents lorries au-delà des inconvénients précédemment décrits réside dans l'impossibilité de fournir des données compatibles avec les attendus des opérations de récolement des travaux ou bien préparation des opérations à venir. Les lorries de la deuxième catégorie, les lorries topographiques, ne peuvent de surcroît fournir d'informations utiles et détectables à l'oeil en temps réel.

**Exposé de l'invention**

**[0033]** La présente invention a pour but de pallier aux inconvénients précédemment évoqués.

**[0034]** L'invention est relative à un procédé d'obtention d'un signal de flèches sur base de mesure virtuellement allongée à partir de signaux de flèches obtenus par un dispositif de mesure.

**[0035]** Le procédé comporte une étape d'application d'un filtre à réponse impulsionnelle sur les signaux de flèches, ledit filtre à réponse impulsionnelle étant caractérisé par une fonction polynomiale dont les coefficients sont déterminés à partir d'une fonction de transfert inverse dudit dispositif de mesure et une fonction de transfert caractérisant un deuxième dispositif de mesure de base de mesure plus grande.

**[0036]** Le procédé comporte une étape préalable de détermination des coefficients de la fonction polynomiale du filtre à réponse impulsionnelle. Ladite étape comporte :

- une sous-étape d'obtention des valeurs numériques des modules et arguments d'une fonction de transfert caractérisant le dispositif de mesure,
- une sous-étape d'obtention des valeurs numériques des modules et arguments d'une fonction de transfert caractérisant le deuxième dispositif de mesure de base de mesure plus grande,
- une sous-étape d'inversion numérique des modules et de prise de l'opposé des arguments de ladite fonction de transfert,
- une sous-étape de multiplication par le module de la fonction de transfert du deuxième dispositif et de sommation de l'argument de la fonction de transfert du deuxième dispositif,
- une sous-étape d'estimation polynomiale du rapport des fonctions de transfert caractérisant le deuxième dispositif et le dispositif de mesure à partir des rapports des modules et de la différence des arguments des fonctions de transfert.

**[0037]** Dans des modes de mises en oeuvres préférés, le filtre à réponse impulsionnelle est un filtre à réponse impulsionnelle infinie.

**[0038]** Dans des modes de mises en oeuvres préférés, le filtre à réponse impulsionnelle est un filtre à réponse impulsionnelle finie.

**Présentation des figures**

**[0039]** L'invention sera maintenant plus précisément décrite dans le cadre de modes de réalisation préférés, qui n'en sont nullement limitatifs, représentés sur les figures 1 à 11, dans lesquelles :

La figure 1, représente une vue en perspective d'un dispositif de mesure pour la mise en oeuvre d'une étape du procédé selon l'invention,

La figure 2 représente une vue latérale du dispositif de mesure de la figure 1,

La figure 3 représente un agrandissement du dispositif de mesure au niveau d'un chariot de guidage,

La figure 4 représente une vue en perspective de la première plateforme du chariot de guidage,

La figure 5 représente une vue latérale de la première plateforme du chariot de guidage,

La figure 6 représente une vue latérale opposée de la première plateforme du chariot de guidage,

La figure 7a représente une vue de dessus d'un plateau de mesure de la première plateforme du chariot de guidage destiné à recevoir les bras de mesure du chariot de guidage,

La figure 7b représente une coupe transversale de la figure 7a au niveau d'une double chape,

La figure 8 représente une vue de dessus d'un chariot de stabilisation,

La figure 9 représente une vue en perspective du chariot de stabilisation de la figure 8,

La figure 10 représente une vue de côté du chariot de stabilisation,

La figure 11 représente un schéma synoptique du procédé d'estimation d'un profil absolu d'une voie ferrée à partir de signaux de flèches obtenus par un dispositif de mesure

### Description détaillée de l'invention

**[0040]** Un exemple de réalisation d'un dispositif de mesure 1 pour la mise en oeuvre d'un procédé selon l'invention est à présent décrit de manière détaillée et illustrée par les figures 1 à 10.

**[0041]** L'invention est décrite dans le cas d'une voie ferrée 5 d'un réseau national, à écartement normal, soit 1435mm, mais l'invention est également applicable à tous les types de voies ferrées, notamment les voies à écartement métrique. lequel l'axe X représente la direction longitudinale de la voie ferrée, l'axe Y représente la direction transversale aux rails, c'est-à-dire dans le sens des traverses, et l'axe Z représente l'axe vertical, perpendiculaire aux deux axes X et Y.

**[0042]** Le dispositif de mesure 1 est adapté à la mesure des sept paramètres de la géométrie de la voie. Plus spécifiquement, le dispositif de mesure 1 est adapté à la mesure du nivellement et du dressage de chaque file de rail 6, 7 par une mesure de flèches via le principe de mesure de corde à trois points.

**[0043]** La mesure de dressage est obtenue à partir de la mesure d'une flèche horizontale, c'est-à-dire une flèche mesurée dans un plan XOY.

**[0044]** La mesure de nivellement est obtenue à partir de la mesure d'une flèche verticale, c'est-à-dire une flèche mesurée dans un plan XOZ.

**[0045]** Le dispositif de mesure 1, destiné à être installé sur les deux files de rails 6, 7 d'une voie ferrée 5, comporte :

- un chariot de guidage 10,
- deux bras de mesure 20 s'étendant de part et d'autre du chariot de guidage 10,
- deux chariots de stabilisation 30, chaque chariot de stabilisation 30 étant relié au chariot de guidage par un bras de mesure.

#### Le chariot de guidage 30

**[0046]** Le chariot de guidage 30 comporte, comme illustré sur les figures 3 à 7b :

- une première plateforme 11 destinée à être positionnée sur une première file de rail 6,
- une seconde plateforme 12 destinée à être positionnée sur une seconde file de rail 7,
- une barre de liaison 13 rigide destinée à relier les deux plateformes 11, 12, et destinée à être positionnée selon un axe transversal Y, parallèlement aux traverses.

**[0047]** La première plateforme 11, illustrée figure 4 à 7b, comporte :

- un premier ensemble, dit de roulage 110, destiné à prendre appui et à faire rouler la première plateforme 11 sur la première file de rail 6,
- un second ensemble, dit de liaison 111, destiné à relier la première plateforme 11 aux bras de mesure 20.

**[0048]** Dans l'ensemble de la description, par deux pièces solidaires ou deux pièces liées/reliées solidairement, on entend deux pièces liées mécaniquement autorisant au moins un degré de liberté.

**[0049]** Par degré de liberté dans une liaison, on entend un mouvement relatif indépendant d'une pièce par rapport à une autre autorisé par cette liaison.

**[0050]** L'ensemble de roulage 110 comprend au moins une roue 1101 destinée à venir s'appuyer sur le dessus du champignon de la première file de rail, dit plan de roulement 62. Dans un exemple préféré de réalisation, illustré sur la figure 6, deux roues 1101 sont appuyées sur la première file de rail 6 afin de conférer une stabilité au chariot de guidage 10 qui repose ainsi sur trois roues 1101 et est donc insensible au gauchissement de la voie. Les deux roues sont espacées l'une de l'autre, selon l'axe longitudinal X, d'une distance telle que l'empattement formé entre les deux roues 1101 puisse permettre aisément le franchissement des lacunes des parties de croisements des appareils de voie.

**[0051]** Des trains de galets d'appui 1102 sont destinés à être positionnés contre un flanc intérieur 63 du champignon 61 de la première file de rail 6, situé en vis-à-vis du champignon 71 de la seconde file de rail opposée 7. Dans un exemple préféré de réalisation, illustré sur la figure 4, deux trains de galets d'appui 1102 prennent appui contre la première file de rail 6, un train de galets par roue.

**[0052]** Dans un exemple de réalisation, chaque train de galets d'appui 1102 comprend trois galets d'appui afin de pouvoir franchir aisément les lacunes des rails, que ce soit au niveau des joints de rail, qu'au niveau des appareils de dilatation etc. Les deux trains de galets 1102 sont espacés l'un de l'autre, selon l'axe longitudinal X, d'une distance telle

que cette distance soit supérieure à la longueur d'une lacune maximale existante en voie.

**[0053]** L'ensemble de roulage 110 comporte en outre des moyens magnétiques 1103 destinés à maintenir plaquer la roue 1101, et par conséquent la première plateforme 11, contre le rail 6, pour éviter les déraillements de ladite plateforme.

**[0054]** Dans un exemple non limitatif de réalisation, les moyens magnétiques 1103 sont des blocs aimantés, préférentiellement au nombre de deux.

**[0055]** Les moyens magnétiques 1103 sont destinés à être disposés contre un flanc du champignon de la première file de rail 6. Dans l'exemple non limitatif de la figure 4, les moyens magnétiques sont disposés contre le flanc intérieur 63 afin de ne présenter aucune gêne dans le franchissement des appareils de voie et des platelages de passage à niveau. Ce flanc intérieur 63 étant garanti d'être libre, puisque c'est sur lui que vient prendre appui le boudin des roues des véhicules ferroviaires.

**[0056]** L'ensemble de liaison 111 comprend, illustré sur les figures 4 à 6 :

- un premier bloc, dit plateau de mesure 1111, destiné à assurer la continuité rigide des deux bras de mesure 20, sur lequel va venir se solidariser les deux bras de mesure, afin de ne former qu'une seule et même base de mesure,
- un second bloc, dit embase de mesure 1112, sur lequel va venir se fixer en liaison pivot le plateau de mesure 1111, ledit second bloc roulera dans des moyens de guidage 131 portés par la barre de liaison 13.

**[0057]** Le plateau de mesure 1111 présente une forme sensiblement parallélépipédique rectangle, de longueur L (selon l'axe transversal Y) supérieure à une largeur du rail. Le plateau de mesure 1111 présente une largeur telle qu'une distance entre les plaques verticales d'extrémités des bras de liaison soit suffisamment courte pour que le dispositif de mesure reste assimilable à un système de mesure de corde à trois points.

**[0058]** Le plateau de mesure 1111 est suffisamment rigide pour être insensible à la flexion que peut subir le chariot de guidage 10.

**[0059]** Le plateau de mesure 1111 est avantageusement réalisé dans un matériau en aluminium ou en acier traité.

**[0060]** Le plateau de mesure 1111 comporte, au niveau de flancs longitudinaux 11111, des chapes 11112, figures 7a et 7b. Chaque flanc longitudinal 11111 comporte une double chape. Au total, le plateau de mesure 1111 comporte quatre chapes 11112. Dans chaque double chape se monte sans jeu un arbre 11113 porté par des paliers à roulement montés serrés. Chaque arbre 11113 est solidarisé respectivement à un bras de mesure 20 décrit ultérieurement.

**[0061]** L'embase de mesure 1112 présente une forme sensiblement parallélépipédique rectangle.

**[0062]** Dans un exemple de réalisation, l'embase de mesure 1112 présente une largeur sensiblement identique à la largeur du plateau de mesure.

**[0063]** L'embase de mesure 1112, au niveau d'une première face, est solidaire d'une face dite inférieure 11114, du plateau de mesure 1111. Seule une rotation selon l'axe vertical Z entre le plateau de mesure 1111 et l'embase de mesure 1112 est autorisée. Le but recherché est de permettre au chariot de guidage 10 de former un angle avec les bras de mesure (toujours alignés) lorsque le dispositif de mesure 1 entre ou sort d'une courbe de la voie ferrée 5.

**[0064]** L'embase de mesure 1112, au niveau d'une seconde face, opposée à la première face, est en liaison glissière avec la barre de liaison 13. Ladite embase de mesure 1112 comporte deux trains de galets qui roulent sur les moyens de guidage 131 portés par ladite barre de liaison.

**[0065]** Les moyens de guidage 131 sont destinés à permettre le déplacement latéral, selon l'axe transversal Y, de la première plateforme 11.

**[0066]** Dans un mode de réalisation préféré, les moyens de guidage 131 sont deux rails de guidage parallèles, préférentiellement en acier traité, insérés dans ladite barre de liaison.

**[0067]** Les galets présentent une forme complémentaire à la forme des rails de guidage.

**[0068]** La forme des galets est définie de telle sorte que lesdits galets maintiennent l'embase de mesure 1112 solidaire de la barre de liaison 13 de sorte à permettre une rotation selon l'axe vertical Z, tout en permettant une translation d'axe transversal Y. Cette translation d'axe transversal Y permet, via le plateau de mesure 1111, en liaison pivot d'axe vertical Z avec cette embase de mesure 1112 mais solidaire de lui dans cette même direction verticale, aux bras de mesure 20 de matérialiser la corde dès lors qu'une courbe se crée sur la voie.

**[0069]** L'empattement entre les deux trains de galet a une importance particulière et doit être un certain nombre de fois la valeur de l'entraxe des deux rails de guidage sur lequel ces trains de galets roulent et ce afin d'éviter que l'embase de mesure puisse glisser dans une direction autre que parallèle auxdits rails de guidage. L'importance de ce guidage parallèle est rendu nécessaire par la volonté d'éviter tous efforts non normaux aux bras de mesure et donc de favoriser d'éventuelles flexions.

**[0070]** La minimisation des flexions permet de rendre la mesure de flèches horizontales pour le dressage par le dispositif de mesure 1 juste et fidèle, mais surtout de rendre cette mesure totalement indépendante du paramètre du dévers et donc de mesurer le dressage des voies ferrées même dans les extrémités de l'étendue de mesure du dévers, c'est-à-dire en courbe de grand dévers, jusqu'à 220mm.

**[0071]** En conclusion, la liaison solidaire entre la barre de liaison 13 et la première plateforme 11 du chariot de guidage

se résume uniquement à une translation d'axe transversal Y. Une translation d'axe horizontal X est impossible car il y a absence de jeu entre les galets et les rails de guidage 131 respectifs. Une translation d'axe vertical Z est impossible car les galets et les rails de guidage respectifs sont de formes complémentaires. La forme complémentaires des galets et des rails de guidage respectifs ainsi que l'absence de jeu empêche le tangage du dispositif de mesure, soit empêche la rotation selon l'axe transversal Y. Une rotation selon l'axe horizontal X et l'axe vertical Z est impossible du au fait que les deux trains de galets sont séparés par un empattement prédéfini.

**[0072]** La seconde plateforme 12 comporte un ensemble de roulage 120, comme pour la première plateforme 11, destiné à prendre appui et à faire rouler la seconde plateforme 12 sur la seconde file de rail 7.

**[0073]** L'ensemble de roulage 120 comprend au moins une roue 1201 destinée à venir s'appuyer sur le plan de roulement 72 du second rail 7. Dans un exemple préféré de réalisation, illustré sur la figure 1, une unique roue 1201 est appuyée sur le rail.

**[0074]** Un train de galets d'appui 1202 est destiné à être positionné contre un flanc intérieur 73 du champignon 71 du second rail 7, situé en vis-à-vis du champignon 61 du premier rail 6.

**[0075]** Dans un exemple non limitatif de réalisation, le train de galets d'appui 1202 comprend trois galets d'appui.

**[0076]** L'ensemble de roulage 120 comporte en outre des moyens magnétiques (non représentés) destinés à maintenir plaqué la roue 1201, et par conséquent la seconde plateforme 12, contre le second rail 7, pour éviter les déraillements de ladite seconde plateforme.

**[0077]** Dans un exemple de réalisation, les moyens magnétiques sont un unique bloc aimanté.

**[0078]** Les moyens magnétiques sont destinés à être disposés contre un flanc du champignon du rail.

## Les bras de mesure 20

**[0079]** Chaque bras de mesure 20 est assimilé à une poutre suffisamment rigide de sorte à résister à la torsion et la flexion lors du déplacement du dispositif de mesure sur la voie ferrée.

**[0080]** Chaque bras de mesure 20 comprend une âme 21 de longueur  $L_b$  prédéfinie comportant, à des extrémités longitudinales 22, une plaque de renfort 23, 24 et destinée à assurer la liaison avec le chariot de guidage 10.

**[0081]** Les bras de mesure 20 sont destinés à être positionnés, lorsque le dispositif de mesure 1 est placé sur la voie ferrée 5, de sorte que leurs âmes 21 sont dans l'axe longitudinal X et les plaques de renfort 23, 24 dans l'axe transversal Y.

**[0082]** Une plaque de renfort, dite première plaque externe 23, de chaque bras de mesure 20 comprend des premiers moyens de liaison 231 destinés à se solidariser avec le plateau de mesure 1111 de l'ensemble de liaison 111 de la première plateforme 11 du chariot de guidage 10.

**[0083]** Dans un exemple préféré de réalisation, les premiers moyens de liaison 231 sont un mors présentant une forme sensiblement parallélépipédique dont une face 2311, destinée à être positionnée en regard de l'arbre 11113, est évidée de façon triangulaire, de telle sorte que le positionnement du mors 231 (évidement triangulaire) sur l'arbre 11113 (forme sensiblement circulaire) assure une liaison trois points, donc une absence de jeu entre eux, ce qui à terme minimise les erreurs de mesure des flèches horizontale et verticale.

**[0084]** Dans un mode de réalisation d'une première plaque externe 23, ladite première plaque externe comporte des raidisseurs 232 au niveau d'une face 233 des premières plaques de renfort 23 en vis-à-vis de l'ensemble de liaison.

**[0085]** Dans un exemple non limitatif, les raidisseurs 232 sont des nervures.

**[0086]** De préférence, la première plaque externe 23 présente une longueur, selon l'axe transversal Y, sensiblement égale à la longueur L du plateau de mesure 1111 du chariot de guidage 10.

**[0087]** La seconde plaque de renfort, dite seconde plaque externe 24, de chaque bras de mesure 20 comprend des seconds moyens d'accrochage 241 avec le chariot de stabilisation 30.

**[0088]** Dans un mode de réalisation d'une seconde plaque externe 24, ladite seconde plaque externe comporte des raidisseurs 242 au niveau d'une face 243 de la seconde plaque externe opposée à la face liée à l'âme du bras de mesure.

**[0089]** Dans un mode de réalisation d'une âme 21 d'un bras de mesure 20, l'âme 31 présente une structure de type treillis triangulé avec un choix d'entraxe des tubes composant le treillis qui les rendent éloignés de la fibre neutre de l'âme.

**[0090]** Dans un exemple de réalisation, l'âme 31 est un prisme droit à base triangle formé par un assemblage de tubes sous forme d'un treillis, de largeur (selon l'axe transversal Y) inférieure à la longueur de la première plaque externe.

L'âme 31 comporte en outre une jambe de force 211 pour limiter la torsion.

**[0091]** Dans un autre exemple de réalisation, l'âme 21 est un parallélépipède quelconque formé par un assemblage de tubes sous forme d'un treillis, de largeur (selon l'axe transversal Y) sensiblement égale à la longueur de la première plaque.

**[0092]** De préférence, afin de minimiser la génération de flexion, chaque bras de mesure 20 est réalisé en monobloc.

**[0093]** Chaque bras de mesure 20 est fixé solidairement respectivement à un arbre 11113 monté dans une double chape 11112. Ce montage sert à constituer l'interface avec les premières plaques externes 23 des bras de mesure. Les premières plaques externes 23, du côté du chariot de guidage, comportent chacune deux mors 231, préférentiellement en acier traité, qui vient reposer sur deux arbres 11113, préférentiellement en acier traité, portés par une double chape.

La liaison ainsi formée est purement trois points, donc sans possibilité de jeux. Ces doubles chapes portent des arbres montés sans jeu, 5 les mors 231 disposés sur les premières plaques externes 23 des bras de mesure sont positionnés et maintenus toujours sur une même face de chaque double chape, chacun par un système de brides 26 et de sauterelles 27, illustré figure 6, assurant la mise et le maintien en position et ce, afin de ne jamais avoir de décalage du zéro de la mesure de flèche.

**[0094]** L'unique degré de liaison entre les bras de mesure 20 et le chariot de guidage 10 est une rotation d'axe transversal Y. Cette unique rotation est possible via le principe du mors qui enserre les axes tenus par les doubles chapes. Il n'existe pas d'autre rotation, ni aucune translation selon l'un quelconque des trois axes.

**[0095]** La distance entre l'axe des deux doubles chapes de chaque côté du plateau de mesure doit être suffisamment grande pour que le guidage soit rigoureux afin d'éviter un éventuel fléchissement. Cette distance doit être supérieure à une fraction de la longueur de chaque bras de mesure. Cette distance joue un rôle important dans l'obtention d'une rigidité globale de la corde de mesure représentée par les deux bras de mesure liaisonnés au niveau de ce plateau de mesure.

**[0096]** Dans un exemple non limitatif de réalisation, une telle distance est de 7,4% de la longueur du plus long bras de mesure.

**[0097]** De préférence, les bras de mesure sont réalisés dans un matériau léger, par exemple en aluminium.

### Les chariots de stabilisation 30

**[0098]** Les chariots de stabilisation 30 sont sensiblement identiques. La description se fera uniquement sur un chariot de stabilisation.

**[0099]** Un chariot de stabilisation 30 comporte, comme illustré sur les figures 8 à 10 :

- une plateforme 31 destinée à être positionnée sur la première file de rail 6, comportant trois ensembles de roulage 311 en série le long de l'axe longitudinal X,
- un quatrième ensemble de roulage 32 destiné à être positionné sur la seconde file de rail 7,
- une traverse rigide 33 destinée à relier la plateforme 31 au quatrième ensemble de roulage 32.

**[0100]** Les trois ensembles de roulage 311a, 311b sont espacés les uns de l'autre, selon l'axe longitudinal X, d'une distance telle que la distance formée entre l'ensemble de roulage dit central 311a et les deux ensembles de roulage dits externes 311b permettent, via des bielles rotulées, de prévenir le déraillement du dispositif de mesure, le moment nécessaire au décollement des aimants solidaires des dits ensemble de roulement étant d'autant plus grand que l'espacement entre ces ensembles de roulage est grand.

**[0101]** L'ensemble de roulage central 311a est solidaire de la deuxième plaque externe 24 d'un bras de mesure 20.

**[0102]** Dans un exemple non limitatif, l'ensemble de roulage central 311a est solidaire de la deuxième plaque externe 24 par une équerre dotée d'un alésage qui porte le palier dans lequel s'emmanche l'axe de la roue.

**[0103]** Les trois ensembles de roulage 311a, 311b de la plateforme 31 du chariot de stabilisation 30 comprennent chacun au moins une roue 3111 destinée à venir s'appuyer sur le plan de roulement 62 du premier rail 6. Dans un exemple préféré de réalisation d'un ensemble de roulage, illustré sur la figure 10, une roue est appuyée sur le rail.

**[0104]** Des trains de galets d'appui 3112 sont destinés à être positionnés contre le flanc intérieur 63 du champignon 61 de la première file de rail 6. Dans un exemple préféré de réalisation, illustré sur la figure 10, deux trains de galets d'appui prennent appui contre la première file de rail.

**[0105]** Dans un exemple de réalisation, le train de galets d'appui des trois ensembles de roulage central comprend trois galets d'appui afin de pouvoir franchir aisément les lacunes des rails.

**[0106]** Les trains de galets 3112 sont espacés l'un de l'autre, selon l'axe longitudinal X, d'une distance telle que cette distance soit supérieure à la longueur d'une lacune maximale existante en voie. Les trois ensembles de roulage 311 a, 311 b comportent en outre des moyens magnétiques 3113 destinés à maintenir plaquer la roue 3111, et par conséquent la plateforme 31, contre la première file de rail 6, pour éviter les déraillements de ladite plateforme.

**[0107]** Dans un exemple non limitatif de réalisation, les moyens magnétiques 3113 sont des blocs aimantés, préférentiellement au nombre de deux pour l'ensemble de roulage central 311a et au nombre de un pour les deux autres ensembles de roulage 311 b.

**[0108]** Les moyens magnétiques 3113 sont destinés à être disposés contre un flanc du champignon du rail. Dans l'exemple de la figure 9, les moyens magnétiques sont disposés contre le flanc intérieur 63 afin de ne présenter aucune gêne dans le franchissement des appareils de voie et des platelages de passage à niveau. Ce flanc intérieur étant garanti d'être libre, puisque c'est sur lui que vient prendre appui le boudin des roues des véhicules ferroviaires.

**[0109]** Le quatrième ensemble de roulage 32 est destiné à prendre appui et à rouler sur la seconde file de rail 7.

**[0110]** Le quatrième ensemble de roulage comprend une roue 321 destinée à venir s'appuyer sur le plan de roulement 72 de la seconde file de rail 7.

**[0111]** La traverse rigide 33 relie la roue 3111 de l'ensemble de roulage central 311 a à la roue 321 du quatrième ensemble de roulage 32.

**[0112]** La traverse rigide 33 est positionnée de sorte à se retrouver selon l'axe transversal Y, lorsque le dispositif de mesure 1 est en place sur la voie ferrée.

**[0113]** Les deux ensembles de roulage externes 311 b sont reliés à la traverse rigide 33, via une poutre 34. Une première extrémité de la poutre reliant ladite poutre à un cadre mobile coulissant 35 sur la traverse est une liaison pivot. Il n'y a ainsi pas de rotation par rapport à la traverse rigide 33, mais un degré de liberté en translation selon l'axe transversal Y et un degré de liberté en translation selon l'axe vertical Z. Ledit cadre mobile coulissant 35 fait l'interface avec la traverse rigide 33 et permet de ne pas impacter la mesure de flèche horizontale par le grand empattement entre les deux ensembles de roulages externes 311 b. Ce cadre mobile coulissant 35 permet également de rendre le comportement du chariot de stabilisation insensible au gauche de la voie. En effet, le gauche est la distance d'un point aux plans formés par les quatre autres. S'il n'y a que trois points de contact roue/ rail, deux sur une file de rail et un sur la file opposée, il ne peut y avoir de gauche. Ce cadre mobile, permet au chariot de stabilisation d'avoir ce mode de réalisation en rendant les roues des ensembles de roulage externes indépendantes dans les plans verticaux et latéraux des roues portant la traverse. Une seconde extrémité de la poutre, opposée à la première extrémité, reliant la poutre à l'ensemble de roulage externe est une liaison rotule.

**[0114]** La traverse rigide 33 comporte une liaison glissière 36 à laquelle sont reliées solidairement deux bielles rotulées 361, lesdites deux bielles rotulées étant reliées solidairement chacune à une poutre.

**[0115]** La liaison glissière 36 est destinée à empêcher les décrochements ou déraillements de la roue 321 du quatrième ensemble de roulage 32 de la seconde file de rail 7 et fausser les mesures enregistrées par le dispositif de mesure. De tels décrochements ou déraillements pourraient apparaître lorsque la voie ferrée présente une courbe ou tout simplement lorsque des éléments perturbateurs, tels que des cailloux, sont sur le plan de roulement 72 de la seconde file de rail 7.

**[0116]** Chaque bielle rotulée 361 est solidarisée à un ensemble de roulage externe 311 b par une rotule 37. La liaison entre un bras de mesure 20 et un chariot de stabilisation 30 est donc une liaison rotule, ce qui permet une rotation selon les trois axes X, Y et Z. Il n'existe pas de translation possible sur lesdits trois axes.

**[0117]** Le chariot de stabilisation 30 comporte en outre un moyen de rappel élastique 38 reliant la liaison glissière à une extrémité de la traverse se situant du côté du quatrième ensemble de roulage. Ce moyen de rappel élastique permet avantageusement de maintenir l'ensemble de roulage central 331a plaqué contre la première file de rail 6.

**[0118]** Le dispositif de mesure 1 comporte également un dispositif de localisation de la position odométrique (non représenté) des points fixes sur la voie ferrée.

**[0119]** Le dispositif d'odométrie permet la détermination de la mesure d'une distance parcourue sur la voie par le dispositif de mesure 1.

**[0120]** Dans un mode de réalisation préféré, le dispositif d'odométrie comporte un codeur incrémental visant une roue dentée du dispositif de mesure. Dans un exemple de réalisation, le dispositif d'odométrie est positionné sur la roue 1201 de l'ensemble de roulage 120 de la seconde plateforme 12 du chariot de guidage 10.

**[0121]** Dans un autre mode de réalisation, le dispositif d'odométrie comporte un dispositif auxiliaire de localisation, par exemple du type par satellite tel que le système dit GPS (Global positioning system). Un tel dispositif auxiliaire permet de prélocaliser le dispositif de mesure sur la voie en assurant un repérage absolu approximatif.

**[0122]** Le dispositif de mesure 1 comporte en outre des premiers moyens de mesure (non représenté) pour la mesure du devers et du gauche de la voie ferrée 5.

**[0123]** Les premiers moyens de mesure du devers sont préférentiellement un inclinomètre destiné à mesurer un angle dans le plan YOZ.

**[0124]** Les premiers moyens de mesure permettent d'une part la mesure directe du devers de la voie ferrée et d'autre part la mesure indirecte du gauche, via une mesure différentiel du devers.

**[0125]** Dans un mode de réalisation, l'inclinomètre est positionné sur la barre de liaison 13 du chariot de guidage 10.

**[0126]** Dans un autre mode de réalisation, l'inclinomètre est positionné sur la traverse 33 du chariot de stabilisation 30.

**[0127]** Le dispositif de mesure 1 comporte en outre des deuxième moyens de mesure (non représentés) pour la mesure d'écartement de la voie ferrée.

**[0128]** Les deuxième moyens de mesure sont préférentiellement un capteur de déplacement linéaire destiné à mesurer une variation de l'écartement entre les deux files de rail.

**[0129]** Avantagusement, le capteur de déplacement est positionné sur la barre de liaison 13 du chariot de guidage 10, selon l'axe transversal Y.

**[0130]** Dans un exemple non limitatif de réalisation, le capteur de déplacement est positionné sur une face, dite horizontale, de la barre de liaison du chariot de guidage, lorsque le dispositif de mesure est en place sur la voie ferrée afin de mesurer différentiellement la position du plateau de mesure portant les éléments de roulage et de la barre de liaison.

**[0131]** Dans un exemple de réalisation, le capteur de déplacement est relié à la barre de liaison par des têtes de centrage et des boulons.

**[0132]** De préférence, le capteur de déplacement est un capteur de type magnétostrictif, par exemple le capteur MKS

de la société TWK.

**[0133]** Le dispositif de mesure 1 comporte en outre des troisièmes moyens de mesure 2 pour la mesure directe de la flèche horizontale. La mesure de la flèche horizontale donne l'information sur le dressage de la première file de rail.

**[0134]** Le dressage de la seconde file de rail est avantageusement déterminé à partir de la mesure de l'écartement et celle de la flèche horizontale de la première file de rail.

**[0135]** Les trois chariots (de guide et de stabilisation) sont en contact avec la première file de rail et les bras de mesure matérialisent une corde rigide. Le dispositif de mesure 1 est ainsi assimilable à un système de mesure à corde à trois points.

**[0136]** Lorsque la voie ferrée présente une courbe, on observe un déplacement selon l'axe transversal Y des deux bras de mesure 20 rigides matérialisant la corde et rendus solidaires par l'embase de mesure du chariot de guidage par rapport à la barre de liaison dudit chariot de guidage. Il est alors possible de réaliser une mesure directe de la flèche horizontale.

**[0137]** Les troisièmes moyens de mesure sont préférentiellement des capteurs de déplacement linéaire.

**[0138]** Avantageusement, le capteur de déplacement est positionné sur la barre de liaison du chariot de guidage, selon l'axe transversal Y.

**[0139]** De préférence, le capteur de déplacement est un capteur de type magnétostrictif, par exemple le capteur MKS de la société TWK.

**[0140]** Dans un exemple non limitatif de réalisation, le capteur de déplacement est positionné sur la face verticale de la barre de liaison du chariot de guidage comportant les moyens de coulissage afin de mesurer différenciellement le déplacement du plateau de mesure, solidaire des deux bras de mesure.

**[0141]** L'embase de mesure comporte sur une de ses faces verticales, un point d'accroche, rotulé de la bielle de liaison avec le capteur de déplacement linéaire.

**[0142]** De préférence, le capteur de déplacement est un capteur de type magnétostrictif, par exemple le capteur MKS de la société TWK.

**[0143]** Le dispositif de mesure comporte en outre des quatrièmes moyens de mesure 3 pour la mesure indirecte de la flèche verticale. La mesure de la flèche verticale donne l'information sur le nivellement relatif de la première file de rail.

**[0144]** Le nivellement de la seconde file de rail est avantageusement déterminé à partir de la mesure de devers et celle de la flèche verticale de la première file de rail.

**[0145]** Lorsque la voie ferrée présente des différences de hauteur, on observe un déplacement selon l'axe vertical Z d'au moins un des deux bras de mesure rigides matérialisant la corde et rendus solidaires par l'embase de mesure du chariot de guidage. Il est alors possible de réaliser une mesure indirecte de la flèche verticale, au signe près, et par conséquent du nivellement relatif.

**[0146]** Les quatrièmes moyens de mesure sont préférentiellement un capteur de déplacement linéaire.

**[0147]** Avantageusement, le capteur de déplacement est positionné sur les deux bras de mesure 20, à proximité des premières plaques externes desdits bras de mesure, selon l'axe longitudinal X.

**[0148]** De préférence, le capteur de déplacement est un capteur de type magnétostrictif, par exemple le capteur MKS de la société TWK.

**[0149]** Préférentiellement, le capteur de déplacement est positionné sur la partie la plus éloignée de l'ensemble de roulage du chariot de guidage, c'est-à-dire la partie la plus haute par rapport à la voie ferrée lorsque le dispositif de mesure est en place sur la voie ferrée.

**[0150]** Des extrémités des bras de mesure positionnées du côté du chariot de guidage comportent des éléments de fixation des deux parties d'un capteur de déplacement, comme illustré sur la figure 6.

**[0151]** Dans un mode de réalisation préféré, les éléments de fixation sont des axes coniques filetés, emmanchés dans un tube du treillis constituant le bras de mesure préalablement percé et alésé coniquement.

**[0152]** Dans ce mode de réalisation, un axe conique fileté est monté par bras de mesure.

**[0153]** Dans un exemple de réalisation, le capteur de déplacement est fixé solidaire de l'axe conique fileté d'un bras de mesure, la partie mobile du capteur de déplacement est reliée par une bielle rotulée, à l'extrémité de l'axe conique fileté emmanché sur le bras de mesure opposé.

**[0154]** L'obtention des paramètres de devers et de gauche à partir des signaux obtenus avec les premiers et seconds moyens de mesure est de type connu en soi et ne sera décrit ici.

**[0155]** La possibilité d'obtenir un profil absolu de nivellement (respectivement de dressage) à partir d'une mesure relative du signal de flèche verticale (respectivement horizontale) obtenu avec les quatrièmes moyens de mesure (respectivement troisièmes moyens de mesure) est de type connu en soi.

**[0156]** Dans un exemple de réalisation, le profil absolu de nivellement (respectivement le profil absolu de dressage) de la voie ferrée est obtenu au moyen d'un procédé de déconvolution du signal de flèche verticale (respectivement horizontale) obtenu avec les quatrièmes moyens de mesure (respectivement troisièmes moyens de mesure) et d'un masque de convolution du dispositif de mesure idéalisé.

**[0157]** Ce procédé présente cependant l'inconvénient de ne pas pouvoir réaliser d'estimation en temps réel. Il présente

également des difficultés pour l'obtention des profils absolus de nivellement (respectivement de dressage) notamment aux petites longueurs d'ondes. Le masque de convolution, dans le cas de dispositifs de mesure complexe, décrit davantage le principe de mesure que la configuration de mesure réelle du dispositif de mesure et tenant compte de la réalisation des liaisons cinématiques etc. qui font qu'un dispositif de mesure est rarement d'un type trois points pur.

**[0158]** De manière connue en soi, une mesure de type 3 points est une mesure de flèches, c'est-à-dire une mesure relative visant à obtenir une différence orthogonale entre une matérialisation d'une corde dont les extrémités sont en contact avec le rail et un point du rail situé entre ces deux extrémités. Ce point peut être situé à égale distance des extrémités, ou à une distance quelconque.

**[0159]** Dans un autre mode de réalisation, l'obtention des paramètres de dressage et de nivellement à partir des signaux obtenus avec les troisièmes et quatrièmes moyens de mesure est obtenu à partir d'un procédé de traitement tel que maintenu décrit.

**[0160]** De manière connue en soi, le terme de dressage désigne la description du tracé de la voie ferrée dans un plan horizontal, XOY, tel que présenté sur la figure 1. Cette description peut se faire selon deux modes. Respectivement, le terme de nivellement désigne la description du tracé de la voie ferrée dans un plan vertical, XOZ, tel que présenté sur la figure 1.

**[0161]** Le premier mode est constitué par une représentation cartésienne, superposant ce que l'homme du métier désigne comme tracé plan : un ensemble d'arcs de cercles et d'alignements, reliés entre eux par des clothoïdes ou branches de spirale de Cornu, qui sont parfois remplacés par des approximations en paraboles cubiques ; avec les défauts de positionnement de la voie ferrée. Ce premier mode de description peut être qualifié d'absolu, car il se fait dans une référence absolue, indépendante de tout dispositif de mesure relatif, de dimension finie. Cette description peut aisément se faire par une série de Fourier, dans laquelle chaque composante sinusoïdale participe à la description globale du tracé en plan ou en long (selon si l'on parle de dressage ou de nivellement) ainsi que des défauts de longueurs d'onde plus ou moins importantes. L'homme du métier admet qu'une séparation franche existe entre la porteuse de ces signaux « absolus » décrivant le tracé et les composantes fréquentielles de plus hautes fréquences, décrivant des défauts superposés, plus ou moins courts.

**[0162]** Ce tracé cartésien, correspondant à une fonction  $y=e(x)$  où  $x$  est l'abscisse curviligne, le long de la voie ferrée (l'abscisse curviligne est habituellement assimilée à l'abscisse cartésienne, comme dans la demande de brevet WO 2004/029825) (respectivement,  $z=e(x)$  pour le nivellement). Cette fonction peut être décrite par une série de Fourier. On représentera donc avantageusement le profil absolu de la voie ferrée par une somme de sinusoïde.

**[0163]** L'autre mode de description est celui caractérisé par des flèches horizontales et/ou verticales selon que l'on décrive le tracé dans le plan horizontal et/ou vertical. Ce signal de flèches,  $y_2=v(x)$ , respectivement  $z_2=v(x)$ , est aussi une fonction de l'abscisse curviligne et des relations mathématiques existent entre ledit signal de flèches et le signal absolu dont il est question au paragraphe ci-dessus.

**[0164]** Il est également clair et évident que ce procédé de traitement d'un signal de mesure de flèche, qu'elle soit verticale ou horizontale, peut être adapté à tout type de dispositif de mesure, autre que celui décrit, adapté à la mesure de ladite flèche.

**[0165]** Un dispositif de mesure sur base relative, quel qu'il soit est caractérisé par une fonction de transfert. Ladite fonction de transfert fait le lien entre les amplitudes et phases des composantes fréquentielles du signal d'entrée (représentant les profils absolus de voie mesurés) et celles des composantes fréquentielles du signal de sortie. Ces fonctions de transfert servent uniquement pour la modélisation des paramètres de nivellement et de dressage. Lesdits paramètres du nivellement et du dressage sont mesurés par le dispositif de mesure à l'aide d'un principe de mesure à corde de type trois points correspondant à des mesures de flèches verticales et horizontales.

**[0166]** Le procédé de traitement des données de mesures du nivellement et du dressage (flèches) décrit est avantageusement adapté à l'obtention de flèches extrapolées sur des bases de mesure allongées ou bien à l'obtention de composantes du signal sur des domaines de longueur d'onde précis pour lesquelles leurs amplitudes ont été restaurées à leur valeur vraies, c'est-à-dire à l'obtention de profils absolus sur des bandes passantes spécifiques. De telles bandes passantes sont par exemple les domaines de longueurs d'onde [3m ; 25m] et [25m ; 70m] connus de l'homme du métier, ou D1 et D2 tels que définis par la norme NF EN 13848-1. Par base de mesure, on entend la matérialisation de la corde du principe de mesure.

**[0167]** Par flèches obtenues sur base longue, ou en contracté base longue ou base allongée, on entend, un signal de flèches obtenues par post traitement sur une base virtuellement longue. Ce signal « allongé » est obtenu à partir d'un signal physique, réel mesuré sur une base de mesure réelle d'un dispositif tel que décrit précédemment. Ces flèches obtenues sur base longue doivent correspondre exactement aux flèches que l'on obtiendrait vraiment avec un système de mesure à corde de longueur égale à la longueur de la base virtuellement longue ou allongée.

**[0168]** Le procédé d'estimation d'un profil absolu d'une voie ferrée à partir de signaux de flèches obtenus par le dispositif de mesure 1 comporte une étape d'application 50 d'un filtre 51 à réponse impulsionnelle sur les signaux de flèches, ledit filtre à réponse impulsionnelle étant caractérisé par une fonction polynomiale dont les coefficients sont déterminés à partir d'une fonction de transfert inverse dudit dispositif de mesure.

**[0169]** La mise en oeuvre du procédé concerne en fait deux paramètres que sont le nivellement et le dressage car il s'agit de deux paramètres constituant une approche de mesure indirecte de ce que l'on qualifie de nivellement et dressage. Le nivellement est décrit soit dans le cadre d'une mesure à corde par des flèches tout comme le dressage soit par une description cartésienne, absolue.

**[0170]** L'entrée du dispositif de mesure est constituée par le profil « absolu » de la voie ferrée (ladite description cartésienne) qui peut être assimilé comme vu à un signal à plusieurs composantes sinusoïdales allant des basses aux hautes fréquences.

**[0171]** Le profil absolu de la voie ferrée peut être représenté comme une somme de sinusoïdes de longueurs d'onde différentes. La porteuse est basée sur les composantes de grandes longueurs d'ondes liées au profil en long. On retrouve d'autres sinusoïdes superposées.

**[0172]** En faisant l'hypothèse que le dispositif de mesure est un dispositif linéaire continu et invariant, on peut représenter son entrée comme la somme de plusieurs signaux et donc étudier le passage des composantes une à une à travers le filtre à réponse impulsionnelle que constitue le dispositif de mesure. Si on observe donc le passage des composantes une à une, on a en entrée un signal sinusoïdal caractérisé par son amplitude et sa longueur d'onde spatiale.

**[0173]** La sortie est représentée par le tracé de  $v(x)$  qui est un signal constitué des flèches mesurées par le dispositif de mesure 3 points sur cette sinusoïde ou bien un signal de variation de hauteur par rapport à un plan moyen, tel que par exemple le système MAUZIN.

**[0174]** Cette sortie est dans tous les cas sinusoïdale également. Une représentation correcte du nivellement (qui est une amplitude par rapport à un profil moyen) peut être donnée par le tracé des flèches de nivellement prises sur une certaine longueur de corde.

**[0175]** Cette vision induit une distorsion de la réalité.

**[0176]** Cette question se pose également de la même manière pour le dressage, seul le plan est différent.

**[0177]** Un système de mesure se comporte comme un filtre qui amplifie ou atténue les amplitudes des composantes du signal d'entrée selon leur longueur d'onde. Pour caractériser la fonction de transfert FT, on a en entrée l'amplitude du signal représentant le profil vertical de la voie (profil absolu de nivellement), respectivement profil horizontal de la voie (profil absolu de dressage), et en sortie l'amplitude de  $v(x)$ , signal représentant le tracé des flèches de nivellement, respectivement tracé des flèches de dressage.

**[0178]** Le tracé des flèches de nivellement ou de dressage est donc un signal filtré à partir des signaux absolus caractérisant la voie ferrée que l'on mesure.

**[0179]** La fonction de transfert d'un système à corde ou de type différence hauteur par rapport à hauteur moyenne d'un châssis (principe MAUZIN) va donc être caractérisée par son module et son argument. La fonction de transfert est une fonction de la longueur d'onde des composantes des défauts de nivellement ou de dressage et des profils en long et en plan (porteuses). La connaissance de la fonction de transfert permet de connaître pour chaque composante sinusoïdale, l'atténuation ou l'amplification de l'amplitude de la composante (ayant même longueur d'onde) du signal d'entrée ainsi que le déphasage.

**[0180]** Le module est défini pour chaque longueur d'onde des composantes sinusoïdales comme le rapport de l'amplitude du signal de flèches (signal de sortie) sur l'amplitude du signal d'entrée (ou profil absolu). L'argument correspond lui à une différence de phase. On a donc pour une composante de  $\lambda$  donné,  $FT(\lambda)=b/a$  où  $b$  est l'amplitude de la composante de longueur d'onde  $\lambda$  dans le signal de sortie et  $a$  l'amplitude de la composante de longueur d'onde  $\lambda$  dans le signal d'entrée.

**[0181]** Le module et l'argument de la fonction de transfert sont une application de  $R$  dans  $R$ , il s'agit d'une fonction de  $\lambda$  (et de l'asymétrie de la base de mesure). Cette fonction est bornée puisque le module ne peut varier qu'entre 0 et 2. La corde servant de base de mesure étant limitée, on comprend que les systèmes de type 3 points sont des filtres passe haut. L'atténuation est donc de plus en plus importante aux grandes et très grandes longueurs d'ondes. Le module tend vers 0 quelque soit le type de système caractérisé par une fonction de transfert. Il tend plus ou moins rapidement vers ce 0.

**[0182]** Pour rappel, les systèmes de mesure à corde de type trois points sont considérés comme linéaires continus et invariants ce qui permet d'utiliser le théorème de la superposition. Ainsi, l'étude des systèmes se fait réponse sinusoïdes par sinusoïdes. On compare donc la réponse sinusoïdale d'un système à corde à une entrée sinusoïdale à celle d'un autre système de base de mesure plus grande.

**[0183]** Pour une longueur d'onde  $\lambda$  donnée,  $e(x)$  est l'entrée mesurée (une des composantes sinusoïdales du profil absolu de la voie ou une représentation simplifiée de la voie) et  $E$  son amplitude ;  $e(x)=E.\cos(\omega.x)$ , avec  $\omega$  la pulsation

spatiale  $\left(\omega = \frac{2\pi}{\lambda}\right)$  pour une longueur d'onde donnée.

**[0184]** Il vient facilement que l'amplitude de la sortie  $v(x)$  du dispositif de mesure 1, appelée signal des flèches vaut  $V_1=FT_1.E$  où  $FT_1$  est la valeur du module de la fonction de transfert du dispositif de mesure pour ce  $\lambda$  donné.

**[0185]** De même, dans les mêmes conditions, pour un autre dispositif de mesure du même type mais de base plus

longue :

$V_2 = FT_2 \cdot E$  où  $FT_2$  est la valeur du module de la fonction de transfert du dispositif de mesure pour une longueur d'onde  $\lambda_2$  donnée.

or, comme  $E = V_1 / FT_1$  on a bien  $V_2 = (FT_2 / FT_1) \cdot V_1$ .

**[0186]** Ainsi, toujours pour  $\lambda$  donné, pour obtenir l'amplitude du signal de la flèche d'un système à base longue à partir d'un signal de flèche à base courte, il convient de multiplier l'amplitude du signal de flèches base courte par le rapport des modules des Fonctions de Transfert pour ce  $\lambda$  considéré. Pour l'obtention d'un profil « absolu », on multiplie uniquement par l'inverse du module de la fonction de transfert du système de mesure.

**[0187]** A titre illustratif, un exemple numérique est donné ci-après :

L'entrée est caractérisée par son amplitude et sa longueur d'onde ( $E$  et  $\lambda$ ), l'amplitude de l'entrée est l'amplitude de la sinusoïde par rapport à la ligne de foi (0) soit l'amplitude par rapport au profil moyen de la voie.  $E = 10\text{mm}$  et  $\lambda = 25\text{m}$ .

**[0188]** La sortie ou réponse du dispositif de mesure 1 (base symétrique  $10\text{m}$   $2c = 10\text{m}$ ) caractérisé par le module de sa Fonction de Transfert a pour caractéristique une amplitude (généralement différente de celle de l'entrée) mais une même longueur d'onde. Son amplitude vaut ici  $0,69 \cdot E$  soit  $6,9\text{mm}$ .

**[0189]** Pour une même entrée mais avec un système de mesure à corde symétrique de  $20\text{m}$   $2c = 20\text{m}$ , l'amplitude du signal de sortie vaut :  $1,81 \cdot E$  soit  $18,1\text{ mm}$ .

**[0190]**  $0,69$  et  $1,81$  sont les modules des fonctions de transfert base  $10\text{m}$  et base  $20\text{m}$  pour ce  $\lambda$  donnée ( $25\text{m}$ ).

**[0191]** Si on avait multiplié l'amplitude du signal de sortie 1 par  $2,623 (= 1,81 / 0,69)$  on aurait bien obtenu  $1,81\text{ mm}$  soit l'amplitude du signal de sortie du système à corde extrapolé.

**[0192]** Le principe général sur lequel se base le procédé consiste donc à exprimer pour toutes longueurs d'onde, le rapport des modules de la fonction de transfert du système extrapolé sur la fonction de transfert du dispositif de mesure réelle. Ou l'inverse du rapport des modules, si on souhaite retrouver, l'entrée du dispositif de mesure, soit le profil absolu de la voie.

**[0193]** Ainsi, pour un signal de sortie, somme de plusieurs sinusoïdes de longueurs d'onde différentes, il conviendra de multiplier l'amplitude de chaque composante par le rapport des modules pour cette composante donnée (à un  $\lambda$  donné). Le signal total ainsi modifié représentera le signal de flèches que l'on obtiendrait avec un système à corde extrapolée.

**[0194]** Il est en revanche, nécessaire de ne pas perdre de vue, que dans le cas général, la correction des amplitudes doit également s'accompagner d'une correction des phases.

**[0195]** Soit :

$$v(x) = A_0 \cdot \cos(\omega_0 \cdot x + \varphi_0) + A_1 \cdot \cos(\omega_1 \cdot x + \varphi_1) + A_2 \cdot \cos(\omega_2 \cdot x + \varphi_2) + \dots + A_n \cdot \cos(\omega_n \cdot x + \varphi_n)$$

où  $\varphi_0, \dots, \varphi_n$  est la phase,

$\omega_0, \dots, \omega_n$  est la pulsation spatiale,

$v(x)$  est le signal de flèches issu de la mesure d'un profil de voie ferrée par un dispositif de mesure caractérisé par une Fonction de Transfert  $FT_1$ .

**[0196]** Le signal  $V(x)$  correspondant au signal de flèches extrapolées sur une base différente s'exprime

$$V(x) = A_0' \cdot \cos(\omega_0 \cdot x + \varphi_0') + A_1' \cdot \cos(\omega_1 \cdot x + \varphi_1') + A_2' \cdot \cos(\omega_2 \cdot x + \varphi_2') + \dots + A_n' \cdot \cos(\omega_n \cdot x + \varphi_n')$$

**[0197]** Où les amplitudes sont modifiées de la façon suivante :

$$A_0' = A_0 \cdot \frac{|FT_2|(\omega_0)}{|FT_1|(\omega_0)} \quad A_1' = A_1 \cdot \frac{|FT_2|(\omega_1)}{|FT_1|(\omega_1)} \quad A_2' = A_2 \cdot \frac{|FT_2|(\omega_2)}{|FT_1|(\omega_2)}$$

$$\dots \quad A_n' = A_n \cdot \frac{|FT_2|(\omega_n)}{|FT_1|(\omega_n)}$$

[0198] Et les phases sont modifiées de la sorte :

$$\varphi_0' = \varphi_0 + \arg(FT_2)_{(\omega_0)} - \arg(FT_1)_{(\omega_0)}$$

$$\varphi_1' = \varphi_1 + \arg(FT_2)_{(\omega_1)} - \arg(FT_1)_{(\omega_1)}$$

$$\varphi_2' = \varphi_2 + \arg(FT_2)_{(\omega_2)} - \arg(FT_1)_{(\omega_2)}$$

$$\dots$$

$$\varphi_n' = \varphi_n + \arg(FT_2)_{(\omega_n)} - \arg(FT_1)_{(\omega_n)}$$

[0199] On appelle ce signal obtenu à partir d'une extrapolation : « signal des flèches équivalentes sur base longue ». Ainsi, les « flèches équivalentes base 31 m » correspondent à un passage de la base courte à la base longue par la méthode de multiplication de l'amplitude de chaque composante du signal base courte par un rapport pour chaque composante.

[0200] On peut retrouver de la même manière, les amplitudes absolues des composantes du signal E(x) décrivant le profil absolu de nivellement et de dressage de la voie en prenant une fonction de transfert du système base longue égale à 1. On retrouve donc :

$$E(x) = E_0 \cdot \cos(\omega_0 \cdot x + \varphi_0) + E_1 \cdot \cos(\omega_1 \cdot x + \varphi_1) + E_2 \cdot \cos(\omega_2 \cdot x + \varphi_2) + \dots + E_n \cdot \cos(\omega_n \cdot x + \varphi_n)$$

[0201] qui correspond bien à la description absolue de la géométrie en plan horizontal et en plan vertical de la voie ferrée.

[0202] Ce sont des méthodes particulières d'application de ces principes généraux qui sont décrites.

[0203] Avantageusement, le filtre à réponse impulsionnelle est un filtre à réponse impulsionnelle infinie.

[0204] Le procédé d'estimation comporte une étape préalable de détermination des coefficients de la fonction polynomiale du filtre à réponse impulsionnelle comportant :

- une sous-étape 60 d'obtention des valeurs numériques des modules et arguments d'une fonction de transfert caractérisant le dispositif de mesure,
- une sous-étape 61 d'inversion numérique des modules et de prise de l'opposé des arguments de ladite fonction de transfert,
- une sous-étape 63 d'une estimation polynomiale de la fonction de transfert inverse à partir des modules et arguments de la fonction de transfert inverse,

lesdits coefficients de la fonction polynomiale du filtre à réponse impulsionnelle correspondant aux coefficients de l'estimation polynomiale de la fonction de transfert inverse.

[0205] L'étape préalable peut être réalisée à chaque mesure des paramètres géométriques d'une voie ferrée. Mais avantageusement, les coefficients de l'estimation polynomiale de la fonction de transfert inverse étant toujours les mêmes pour le dispositif de mesure, cette étape peut être réalisée une seule et unique fois, pour un dispositif de mesure.

[0206] Cette étape est à réaliser pour chaque dispositif de mesure différent utilisé.

[0207] Avantageusement, les valeurs numériques des modules et arguments de la fonction de transfert caractérisant le dispositif de mesure sont obtenues à partir d'une modélisation cinématique. L'utilisation d'une modélisation cinématique du dispositif de mesure permet de tenir compte du fait que ledit dispositif de mesure, de par l'agencement de ses différents composants n'est pas rigoureusement un système trois points. L'algorithme de modélisation cinématique fournit une représentation rigoureuse de la fonction de transfert réelle et non approchée du dispositif de mesure. Cette modélisation utilise les propriétés de linéarité, continuité et invariabilité des dispositifs de mesure à corde telles que communément admises par l'homme du métier, et ce afin d'utiliser les théorèmes de superposition. Le comportement

du dispositif de mesure est étudié afin de connaître sa réponse théorique à une entrée unitaire (exemple : entrée sinusoïdale de longueur d'onde précise, entrée créneau, entrée rampe...). La réponse totale du dispositif de mesure correspond à la somme des réponses unitaires. Nous avons vu que la géométrie de la voie ferrée peut être décrite pour le nivellement et le dressage par une série de Fourier, comme somme de composantes sinusoïdales décrivant un bruit rose et des raies spécifiques à des longueurs d'onde bien particulières. La fonction de transfert du dispositif de mesure sera donc aisément déterminée par l'étude de chaque réponse élémentaire à ces entrées unitaires. La modélisation cinématique, par calcul numérique, d'un dispositif de mesure roulant sur une voie ferrée permet donc de déterminer la modification de l'amplitude et de la phase des signaux élémentaires par le filtre que constitue ledit dispositif de mesure. La fonction de transfert étant une fonction mathématiques de la longueur d'onde des composantes fréquentielles décrivant le dressage (ou le nivellement) et de l'asymétrie de la prise de mesure sur la corde matérialisant la base de mesure relative, l'algorithme travaille par itération avec un pas suffisamment étroit.

**[0208]** Les modules de la fonction de transfert sont donc connus pour chaque composante fréquentielle de longueurs d'onde ( $\lambda$ ) variant de  $\lambda_{\min}$  à  $\lambda_{\max}$  selon un incrément correspondant au pas d'itération dont il est question dans le paragraphe précédent. Leur détermination se fait par le rapport de l'amplitude de la composante fréquentielle correspondant à la sortie du dispositif de mesure sur l'amplitude de la composante fréquentielle correspondant à l'entrée simulée numériquement. Les arguments sont déterminés par différence des phases à l'origine de ces mêmes signaux.

**[0209]** Dans un mode de réalisation préféré, l'étape préalable de détermination des coefficients de la fonction polynomiale du filtre à réponse impulsionnelle comporte une sous-étape 62 de fenêtrage fréquentiel de la fonction de transfert inverse, dans lequel la sous-étape d'estimation polynomiale de la fonction de transfert inverse à partir des modules et arguments de la fonction de transfert inverse est réalisée pour chaque fenêtre et dans lequel le signal de flèche est fenêtré fréquemment 65 avant l'application du filtre à réponse impulsionnelle.

**[0210]** Dans un exemple de réalisation, la détermination des limites haute et basse des fenêtres est réalisée en fonction de la courbe du module de la fonction de transfert inverse. Les limites haute et basse sont définies à partir des pentes du module de la fonction de transfert inverse, par calcul de la variation de la dérivée seconde du module. Lorsque cette variation est supérieure à un seuil prédéfini, une limite haute/basse est déterminée.

**[0211]** Lorsqu'il est souhaité obtenir d'un signal de flèches sur base de mesure virtuellement allongée à partir de signaux de flèches obtenus par le dispositif de mesure, l'étape préalable de détermination des coefficients de la fonction polynomiale du filtre à réponse impulsionnelle est modifiée de telle sorte que :

- une sous étape d'obtention des valeurs numériques des modules et arguments d'une fonction de transfert caractérisant un deuxième dispositif de mesure de base de mesure plus grande, s'ajoute à la sous étape d'obtention des valeurs numériques des modules et arguments d'une fonction de transfert caractérisant le dispositif de mesure,
- une sous étape de multiplication par le module de la fonction de transfert du deuxième dispositif et de sommation de l'argument de la fonction de transfert du deuxième dispositif s'ajoute à la sous-étape d'inversion numérique des modules et prise de l'opposé des arguments de ladite fonction de transfert,
- la sous-étape d'estimation polynomiale de la fonction de transfert inverse à partir des modules et arguments de la fonction de transfert inverse est remplacée par une sous-étape d'estimation polynomiale du rapport des fonctions de transfert caractérisant le deuxième dispositif et le dispositif à partir des rapports des modules et de la différence des arguments des fonctions de transfert.

**[0212]** Le procédé de traitement de signal permet donc de réaliser, pour le dispositif de mesure :

- le calcul du signal de flèches sur base allongée (extrapolation du signal des flèches) à partir du signal de flèches sur base courte, que ce soit pour les flèches verticales ou horizontales,
- le calcul du signal sur une même base de mesure mais dans une configuration de prise de mesure différente.

**[0213]** Les caractéristiques géométriques du dispositif de mesure peuvent être avantageusement calculées de sorte à faciliter le procédé d'estimation d'un profil absolu et le procédé d'obtention d'un signal de flèches sur base de mesure allongée.

**[0214]** Ces caractéristiques géométriques du dispositif de mesure sont avantageusement déterminées par une boucle d'optimisation sur l'algorithme de modélisation cinématique du procédé d'estimation d'un profil absolu et du procédé d'obtention d'un signal de flèches sur base de mesure allongée.

**[0215]** Ainsi, dans un exemple d'optimisation du chariot de mesure

, chaque bras de mesure présente une longueur de 5,2m. Les deux bras de mesure présente une longueur totale de 10,4m. Cette longueur totale est un compromis entre la longueur minimale de la base de mesure d'un système de mesure afin d'obtenir une fonction de transfert dont la coupure des composantes de grandes longueurs d'onde est compatible avec les résultats attendus aux termes de l'application du procédé de traitement du signal visant à obtenir des composantes fréquentielles dont la longueurs d'onde varient entre 3m et 70m ou encore les domaines D1 et D2 et

la nécessité de disposer d'une structure qui n'influencera pas la mesure et dont les valeurs de flexion et torsion doivent rester petites devant la résolution des mesures de géométrie voie réalisées. La longueur des bras est un élément de l'optimisation du dispositif de mesure afin de permettre la mise en oeuvre aisée du procédé de traitement des signaux de mesure. La modélisation d'un tel dispositif de mesure tel que présenté utilise une description par fonction de transfert

liant l'entrée (le profil réel, absolu de la voie) au signal de sortie (l'image qui est en donné). Cette fonction de transfert a un module qui est une fonction de la longueur d'onde des défauts mesurés (paramètre de l'entrée) mais aussi des caractéristiques du système de mesure, dont en particulier les longueurs des bras de mesure.

**[0216]** De préférence, afin de mettre en oeuvre le procédé de traitement du signal associé au dispositif de mesure, la longueur totale des deux bras de mesure, mais aussi leur longueur individuelle, doivent être dimensionnés précisément.

**[0217]** La longueur totale des bras de mesure doit être telle qu'elle reste inférieure à  $1/7^e$  de la valeur de la longueur d'onde des défauts de nivellement ou de dressage les plus longs dont on souhaite restaurer l'amplitude absolue, mais aussi que cette longueur définisse un système avec une fonction de transfert telle, que le rapport des modules entre la fonction de transfert du système à base allongée que l'on souhaite obtenir et ladite fonction de transfert soit inférieur ou égale à 4 pour la base allongée objectif.

**[0218]** En effet, concernant l'obtention de flèches sur base extrapolée, on souhaite que le rapport des modules (module de la fonction de transfert de base virtuellement allongée et module de la fonction de transfert du système de mesure) utilisés dans le procédé décrit reste inférieure à une valeur de 4.

**[0219]** La limite réside essentiellement dans la valeur des rapports des modules. On ne peut espérer retrouver convenablement l'amplitude des composantes qui ont été atténuées de plus de 80 - 90%.

**[0220]** Ainsi, il ne faut pas espérer pouvoir obtenir une extrapolation sur des bases dont la longueur à obtenir conduit nécessairement à avoir des rapports de FT où au dénominateur on retrouve des atténuations trop grandes (ce qui correspond aux atténuations du système à corde la plus courte au-delà de certaines valeurs de longueurs d'onde). On obtiendrait ainsi de trop fortes valeurs du rapport des modules pour certaines longueurs d'onde. Or, comme l'amplitude des composantes du signal est multipliée par ce rapport selon les longueurs d'onde, on serait conduit à voir certaines amplitudes de composantes multipliées par des valeurs très élevées. Le bruit se trouverait donc tout autant amplifié.

**[0221]** Ainsi, une fonction de transfert correspondant à un dispositif de mesure à grande base de mesure, aura une Bande Passante assez élargie et donc repoussera les grandes atténuations à des longueurs d'ondes bien importantes. En comparaison, la fonction de transfert du dispositif de mesure que l'on souhaite « extrapoler » conduit à une atténuation assez rapide aux grandes longueurs d'onde. Il faut donc sélectionner à partir de l'allure de la fonction de transfert du dispositif de mesure le plus court, les longueurs d'ondes au-delà desquelles on ne pourra guère aller car l'atténuation devient trop forte. Et ce, afin d'éviter des problèmes de valeurs de rapport aberrantes.

**[0222]** Ceci explicite la problématique du choix d'une longueur d'un système de mesure dont la longueur doit être d'au moins.

**[0223]** C'est essentiellement les valeurs du rapport des fonctions de transfert que l'on cherche à contrôler à travers le choix de valeurs d'atténuation du filtre correspondant au système à extrapoler. En effet, de trop grandes valeurs d'atténuation au dénominateur vont conduire à un rapport trop grand. Ce rapport (pour une longueur d'onde précise) étant multiplié à l'amplitude de la composante (ayant cette longueur d'onde), on risque d'amplifier tout autant le bruit que le signal.

**[0224]** Pour exprimer la limite pour l'extrapolation, il faut prendre en compte deux aspects : on pourra extrapoler d'une base à l'autre tant que le rapport des modules n'est pas supérieur à quatre pour quelques longueurs d'onde que ce soit. Cette limite de quatre n'a comme fondement que le niveau d'exactitude du signal de flèches sur base extrapolée que l'on souhaite obtenir et le niveau d'exactitude constatée de la mesure à l'aide du système de mesure décrit. Ce choix dépend du fait, que la précision que l'homme de l'art accepte pour une mesure de flèche sur base extrapolée est de l'ordre du millimètre. La meilleure précision atteignable pour des systèmes de mesure de géométrie ne saurait être inférieure à 0,25mm. Le rapport de 4 est donc lié à ce rapport des précisions.

**[0225]** L'homme du métier, spécialiste des questions d'étude de tracé, utilise fréquemment des méthodes de rectification des courbes par la méthode des flèches. Ces procédés de rectification de courbe s'appuient donc sur des données d'entrées fournies par des dispositifs de mesure fournissant des flèches sur des bases de 20m de long.

**[0226]** De nombreuses publications existent :

« Nouvelle méthode de raccordement des courbes » par M. E. HALLADE, RGCF 31<sup>ème</sup> année - 1<sup>er</sup> semestre avril 1908 - n° 4,

V-693 « Dévers à donner aux voies principales - Raccordements des courbes entre elles et avec les alignements droits - Rectification des courbes déformées » Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée Service de la Voie 1928,

« COURBES des CHEMINS DE FER » conférence par M. CHAPPELET année 1930 - 1931,

« Le raccordement parfait » par M. A. CAQUOT, RGCF - 68<sup>ème</sup> année janvier 49 - n°1,

« RECTIFICATION DU TRACE DES COURBES » mémento didactique école Nationale de Nanterre M. PLOUDRE

1983,

« Les raccordements de courbure et de dévers dans le tracé des voies de chemin de fer, étude globale du problème »  
par M. H. PERROT 1983,

[0227] Ont figé l'état de l'art concernant les besoins de mesures pour les études de rectification de tracé.

[0228] Les bases de mesure des flèches y sont toutes décrites comme faisant 20m. Actuellement, ces méthodes sont toujours en vigueur sur les grands réseaux nationaux et le besoin en données d'entrée implique une fourniture de flèches base 20m.

[0229] De telles longueurs de base de mesure pour des systèmes physique, de type « lorries » sont invisibles avec le degré de précision des flèches à mesurer, millimétrique souhaité par l'homme de l'art. En effet de simples modélisations de Résistance des Matériaux, montrent que les déformations des structures composant nécessairement ces lorries de mesure, s'ils faisaient une vingtaine de mètre de long sont largement supérieures au millimètre, notamment dans les courbes de fort dévers.

[0230] Le dispositif de mesure tel que décrit, a été dimensionné pour permettre d'obtenir, à l'aide du procédé décrit, des flèches sur base virtuellement allongée de 20m, à l'aide d'un dispositif de mesure réel de base de mesure plus courte, dont la longueur permet d'envisager de plus petites déformations.

[0231] De préférence, on utilise une longueur totale de 10,4m, valant  $1/6,7^e$  de la valeur de la borne haute du domaine D2 qui est de 70m. Cette longueur totale permet donc de respecter un rapport des modules inférieur à 4 pour obtenir des flèches extrapolées sur une base virtuelle de 20m de longueur.

[0232] La longueur des bras de mesure doit de préférence être différente afin d'obtenir un positionnement asymétrique du chariot de guidage qui porte la tête de mesure et qui matérialise le point de la corde où est mesurée la flèche verticale ou horizontale afin que le module de la fonction de transfert ne comporte pas de zéro pour des composantes du signal de longueur d'onde particulière, telle que par exemple la demie corde ou le quart de corde pour des systèmes de mesure à corde symétrique.

## Revendications

1. Procédé d'obtention d'un signal de flèches sur base de mesure virtuellement allongée comportant les étapes :

- d'obtention de signaux de flèches par un dispositif de mesure (1),
- d'application d'un filtre (51) à réponse impulsionnelle sur les signaux de flèches, ledit filtre à réponse impulsionnelle étant **caractérisé par** une fonction polynomiale dont les coefficients sont déterminés à partir d'une fonction de transfert inverse dudit dispositif de mesure et une fonction de transfert caractérisant un deuxième dispositif de mesure de base de mesure plus grande,

**caractérisé en ce que** le procédé d'obtention d'un signal de flèches sur base de mesure virtuellement allongée comporte une étape préalable de détermination des coefficients de la fonction polynomiale du filtre à réponse impulsionnelle, ladite étape comportant :

- une sous-étape d'obtention des valeurs numériques des modules et arguments d'une fonction de transfert caractérisant le dispositif de mesure (1),
- une sous-étape d'obtention des valeurs numériques des modules et arguments d'une fonction de transfert caractérisant le deuxième dispositif de mesure de base de mesure plus grande,
- une sous-étape d'inversion numérique des modules et de prise de l'opposé des arguments de ladite fonction de transfert du dispositif de mesure,
- une sous-étape de multiplication par le module de la fonction de transfert du deuxième dispositif et de sommation de l'argument de la fonction de transfert du deuxième dispositif,
- une sous-étape d'estimation polynomiale du rapport des fonctions de transfert caractérisant le deuxième dispositif et le dispositif de mesure à partir des rapports des modules et de la différence des arguments des fonctions de transfert.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Erhalten eines Pfeilsignals auf der Grundlage eines virtuell verlängerten Messens, umfassend die Schritte:

- des Erhaltens von Pfeilsignalen durch eine Messvorrichtung (1),
- des Anwendens eines Filters (51) mit Impulsantwort auf die Pfeilsignale, wobei der Filter mit Impulsantwort durch eine Polynomfunktion, deren Koeffizienten ausgehend von einer inversen Übertragungsfunktion der Messvorrichtung bestimmt werden, und eine Übertragungsfunktion gekennzeichnet wird, die eine zweite Grundmessvorrichtung von größerem Maß charakterisiert,

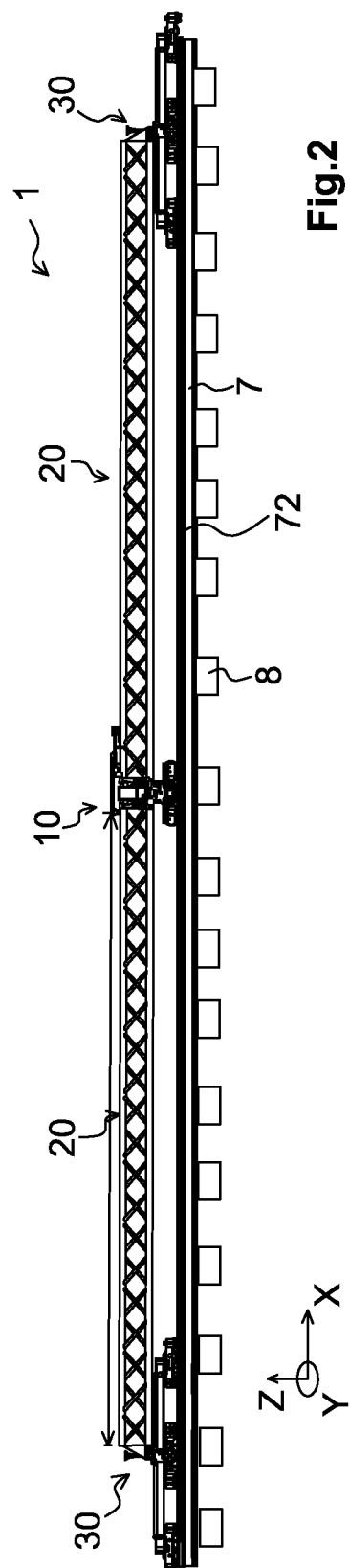
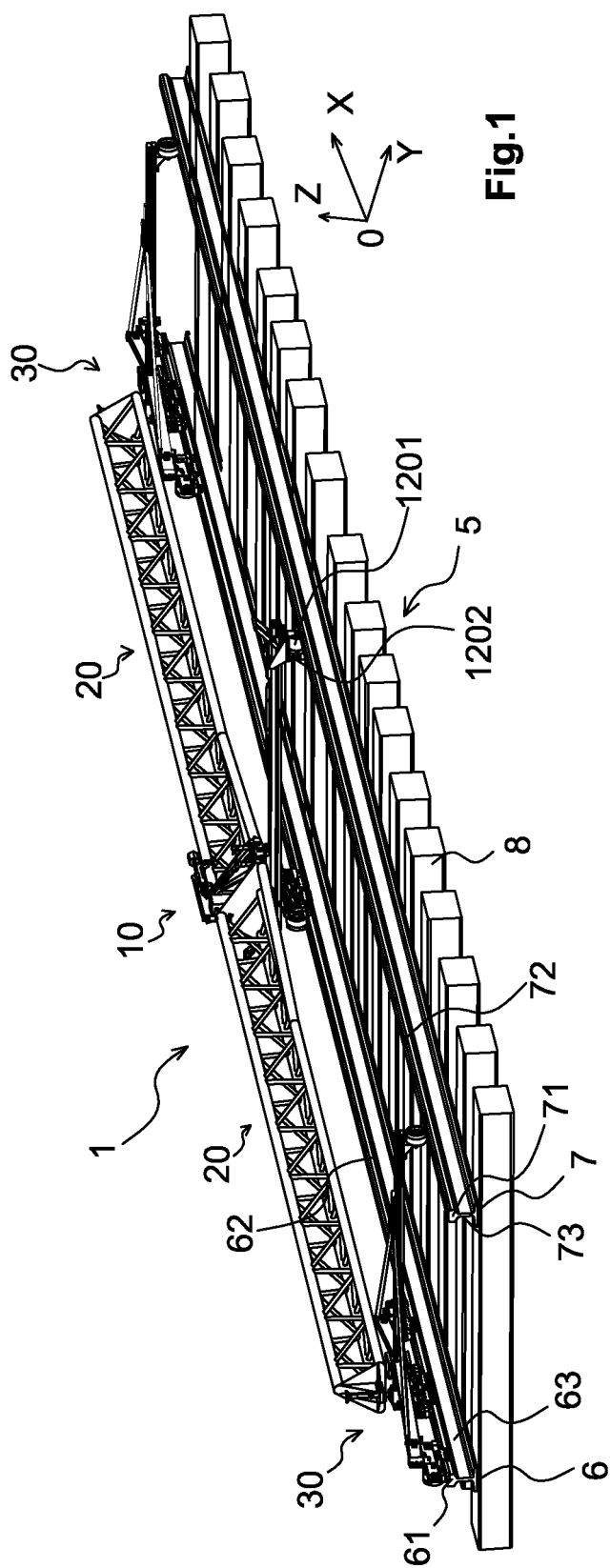
**dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren zum Erhalten eines Pfeilsignals auf der Grundlage eines virtuell verlängerten Messens einen vorhergehenden Schritt des Bestimmens der Koeffizienten der Polynomfunktion des Filters mit Impulsantwort aufweist, wobei der Schritt Folgendes aufweist:

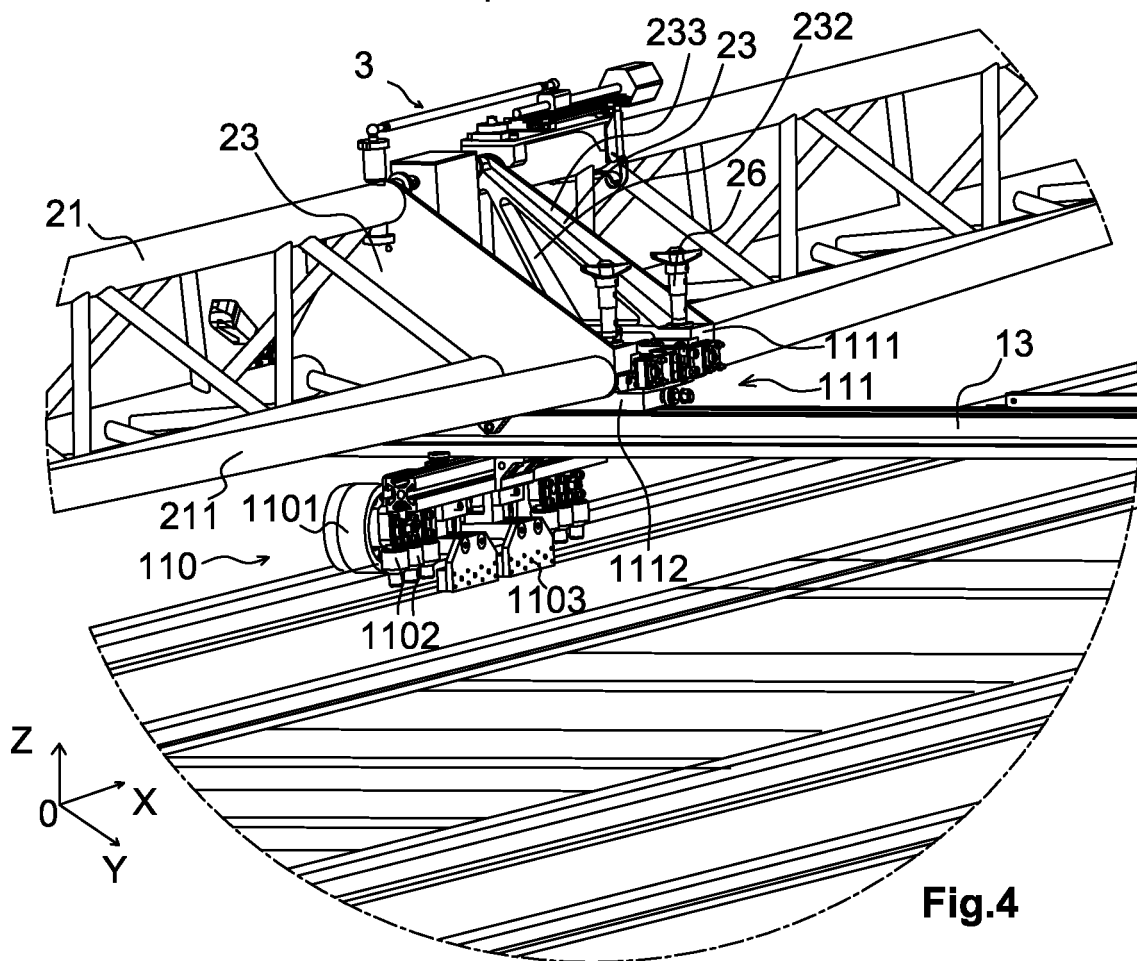
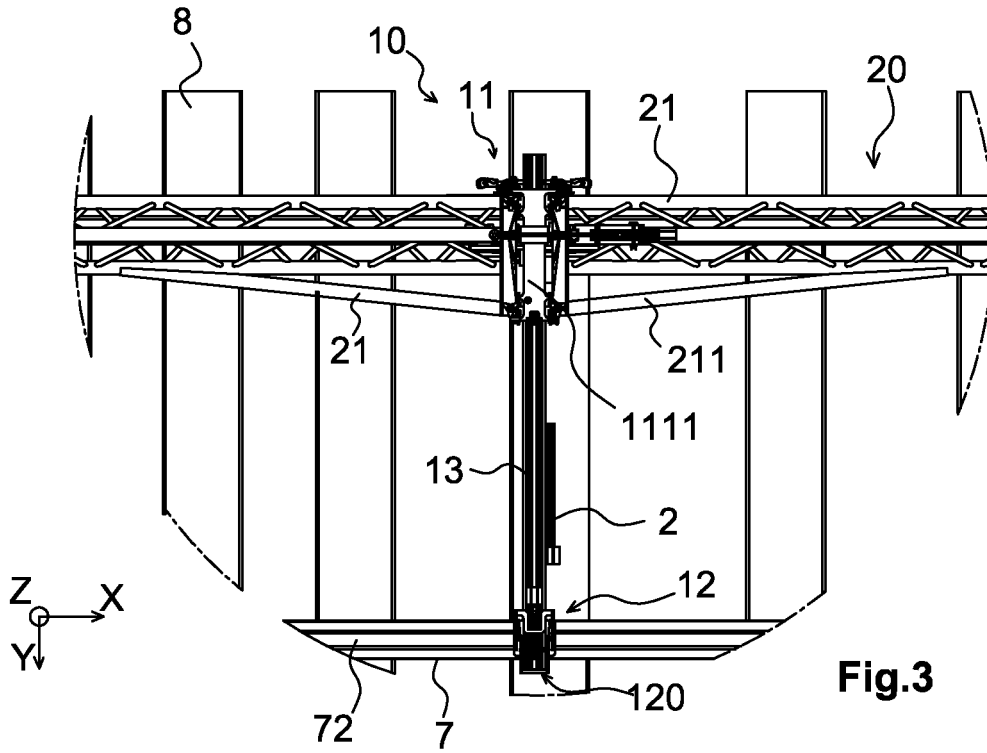
- einen Unterschritt des Erhaltens der digitalen Werte der Module und Argumente von einer Übertragungsfunktion, die die Messvorrichtung (1) charakterisiert,
- einen Unterschritt des Erhaltens der digitalen Werte der Module und Argumente von einer Übertragungsfunktion, die die zweite Grundmessvorrichtung von größerem Maß charakterisiert,
- einen Unterschritt der numerischen Inversion der Module und des Nehmens des Gegenteils der Argumente der Übertragungsfunktion der Messvorrichtung,
- einen Unterschritt des Multiplizierens mit dem Modul der Übertragungsfunktion der zweiten Vorrichtung und des Addierens des Arguments der Übertragungsfunktion der zweiten Vorrichtung,
- einen Unterschritt der Polynomschätzung des Verhältnisses der Übertragungsfunktionen, die die zweite Vorrichtung und die Messvorrichtung charakterisieren, ausgehend von den Verhältnissen der Module und der Differenz der Argumente der Übertragungsfunktionen.

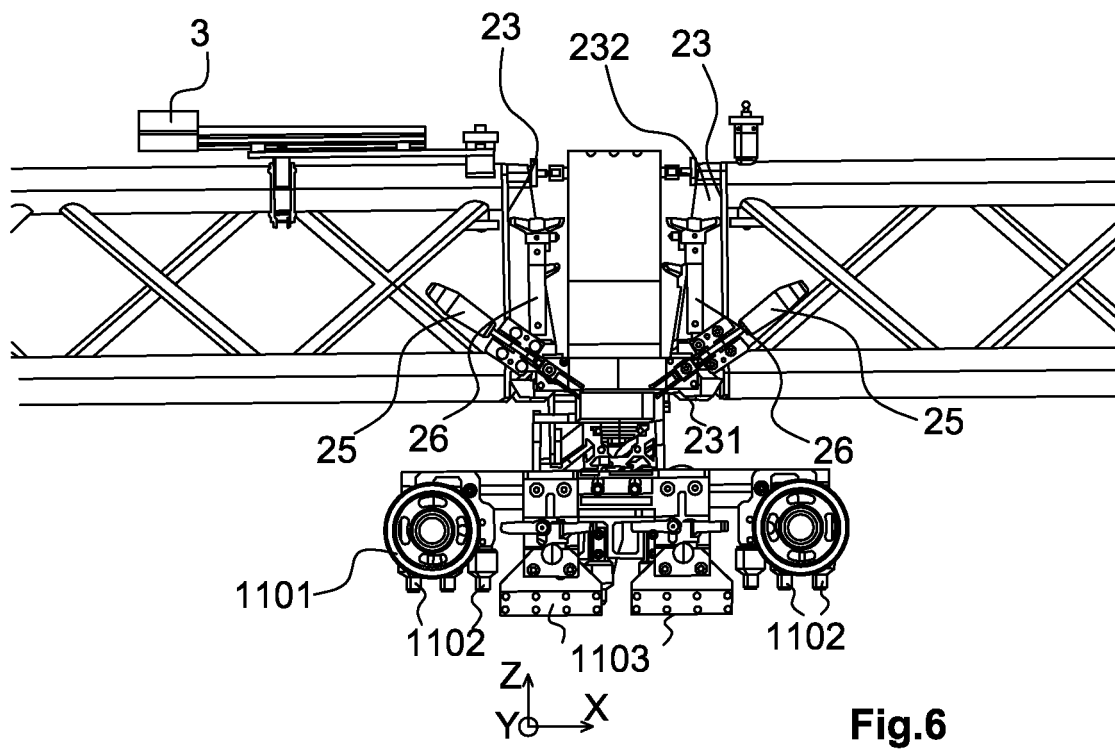
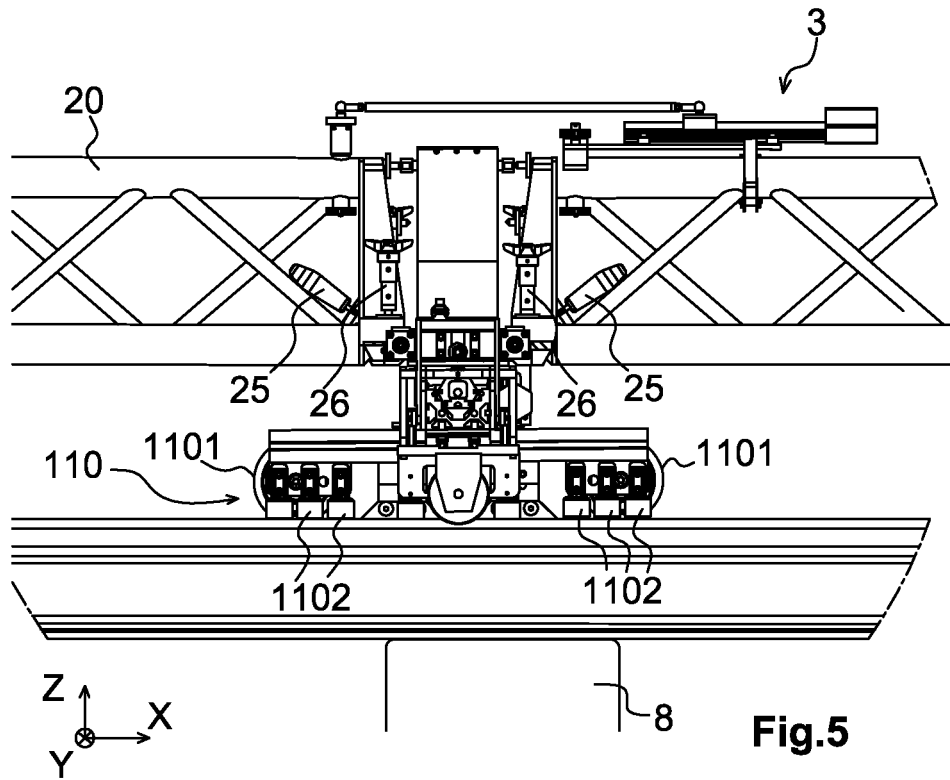
## Claims

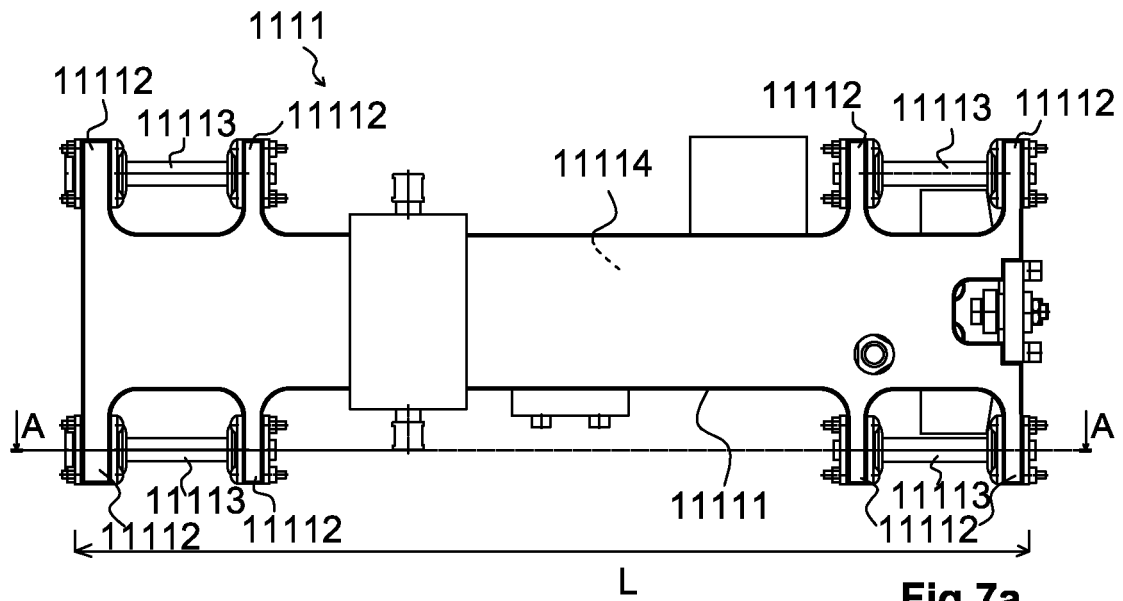
1. Method of obtaining an alignment versine signal by an extrapolated chord based measurement comprising the steps:

- of obtaining alignment versine signals by a measurement device (1),
- of application of an impulse response filter (51) to the alignment versine signals, said impulse response filter being **characterized by** a polynomial function whose co-efficients are determined from an inverse transfer function of said measurement device and a transfer function characterizing a second chord based measurement device with a longer chord length, **characterized in that** the method of obtaining an alignment versine signal by an extrapolated chord based measurement comprises a preliminary step of determination of the co-efficients of the polynomial function of the impulse response filter, said step comprising:
  - a sub step of obtaining numerical values of the modulae and arguments of a transfer function characterizing the measurement device (1),
  - a sub step of obtaining numerical values of the modulae and arguments of a transfer function characterizing the second chord based measurement device with a longer chord length,
  - a sub step of numerical inversion of the modulae and of taking the opposite of the arguments of said transfer function of the measurement device,
  - a sub step of multiplication by the modulus of the transfer function of the second chord based measurement device and of summing of the argument of the transfer function of the second chord based measurement device,
  - a sub step of polynomial estimation of the ratio of the transfer functions characterizing the second chord based measurement device and the measurement device from the ratios of the modulae and the difference in the arguments of the transfer functions.

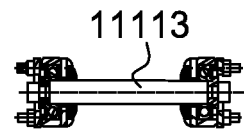
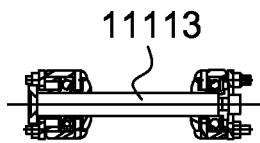




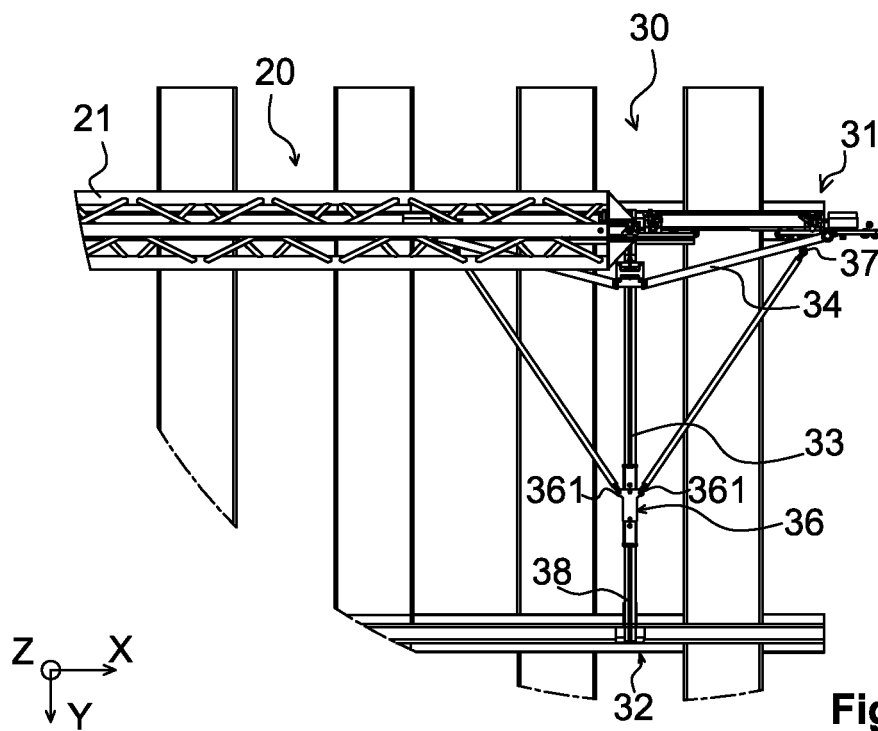




**Fig. 7a**



**Fig. 7b**



**Fig. 8**

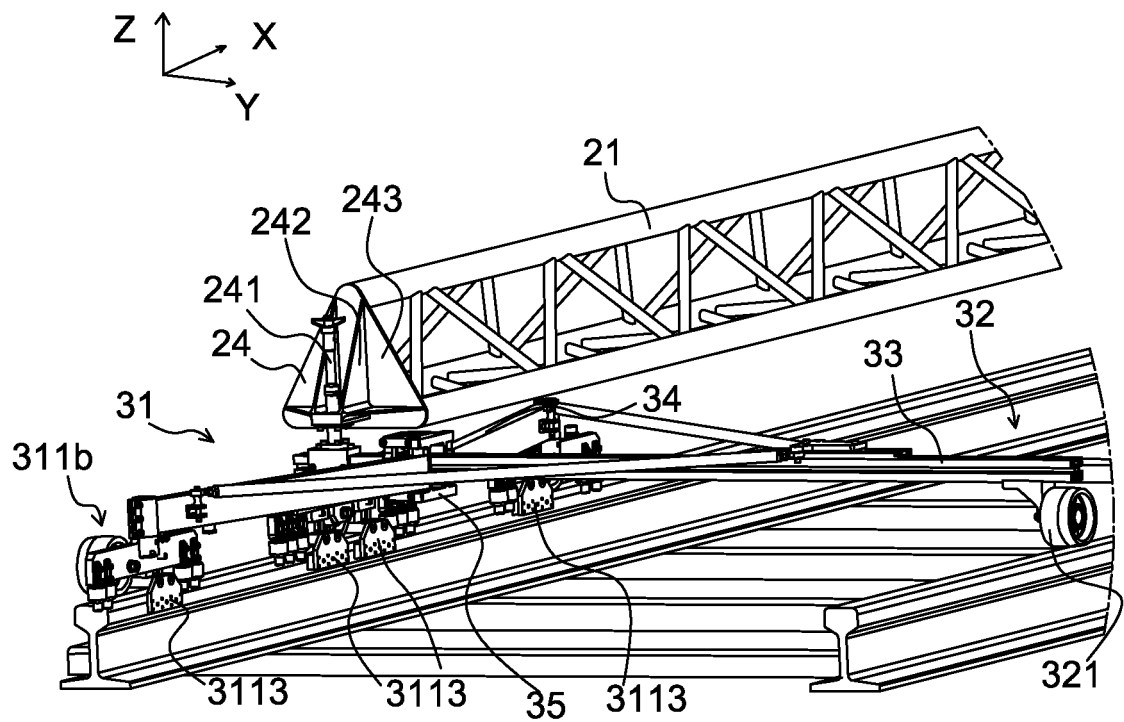


Fig.9

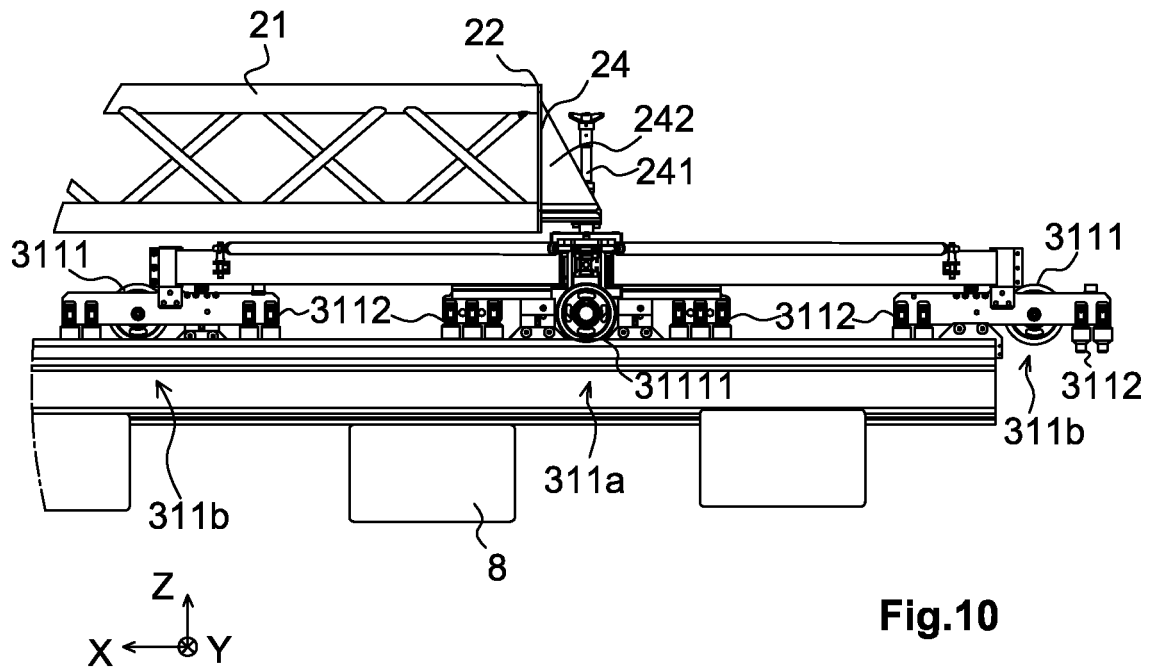
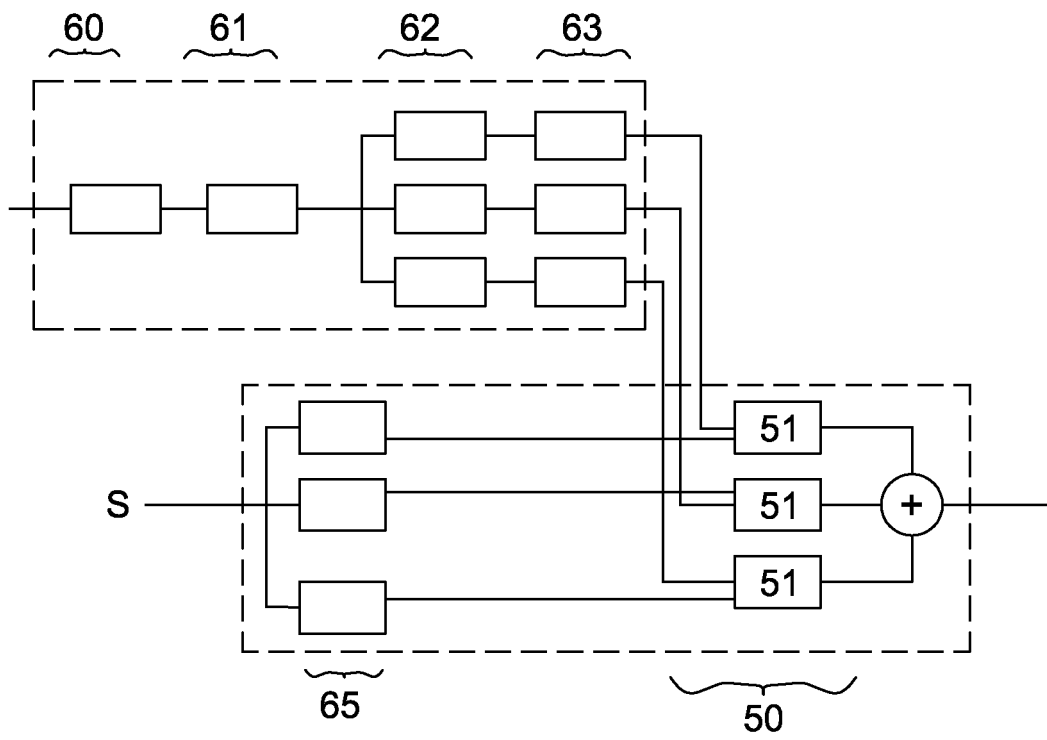


Fig.10



**Fig.11**

**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**

- US 3604359 A [0003]
- WO 2004029825 A1 [0003]
- WO 2004029825 A [0162]