



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
25.09.2024 Bulletin 2024/39

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
B61L 23/04^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **24163258.7**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
B61L 23/047

(22) Date de dépôt: **13.03.2024**

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
GE KH MA MD TN

(72) Inventeurs:
• **FUNFSCHILLING, Christine**
75013 Paris (FR)
• **CHIAOUI, Malek**
91120 Palaiseau (FR)

(74) Mandataire: **Fache, Sébastien**
ETNA
3, rue Geoffroy Marie
75009 Paris (FR)

(30) Priorité: **14.03.2023 FR 2302346**

(71) Demandeur: **SA SNCF Réseau**
93200 Saint-Denis (FR)

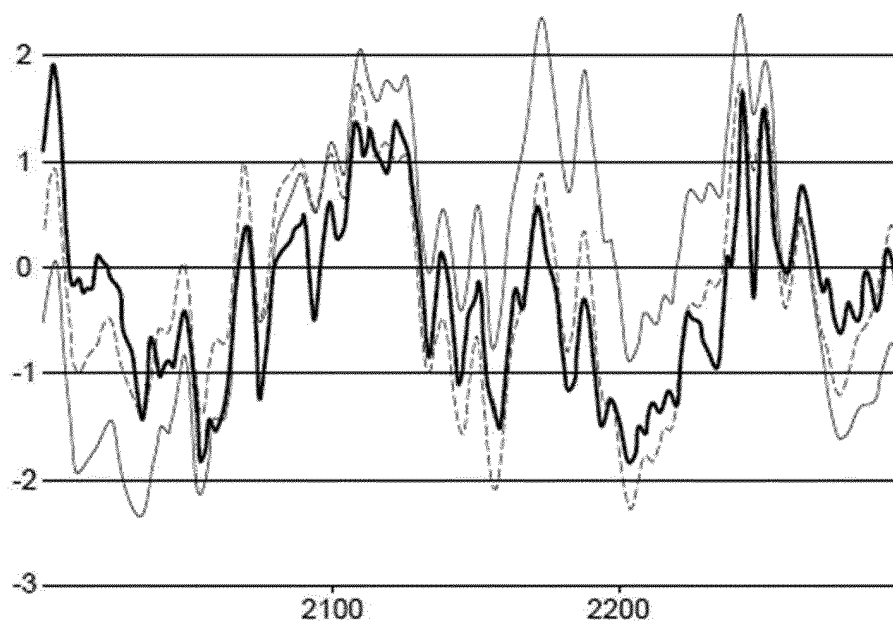
(54) **PROCÉDÉ ET SYSTÈME DE DÉTECTION ET DE CARACTÉRISATION DE DÉFAUTS GÉOMÉTRIQUES D'UNE VOIE FERRÉE**

(57) Procédé et système de détection et de caractérisation de défauts géométriques d'une voie ferrée.

L'invention porte principalement sur la détection de défauts géométriques d'une voie ferrée qui permet de

caractériser les défauts de nivellement longitudinaux et transversaux d'une voie ferrée et d'estimer de manière fiable et reproductible des défauts de dressage et d'écartement de ladite voie ferrée.

[Fig 2]



Description

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] L'invention s'inscrit dans le domaine ferroviaire et concerne plus précisément la surveillance des défauts géométriques des voies ferrées.

[0002] L'invention porte plus particulièrement sur un procédé et un système de détection des défauts géométriques d'une voie ferrée, ces défauts étant l'expression d'une déformation indésirable de la voie ferrée.

ART ANTERIEUR ET INCONVENIENTS DE L'ART ANTERIEUR

[0003] La géométrie des voies ferrées est un paramètre essentiel à la circulation ferroviaire. En effet, le nombre de défauts géométriques de la voie et surtout leur amplitude doivent être les plus faibles possibles pour permettre la circulation des trains en assurant le confort pour les passagers et en évitant les endommagements prématurés du matériel.

[0004] Les défauts géométriques, représentés respectivement sur les figures 1A à 1D, sont principalement de quatre types. Le premier (figure 1A), l'écartement, correspond à une modification, par rapport à la distance nominale, de la distance entre les deux rails. Le deuxième (figure 1B), le dressage, est un changement brutal de position des deux rails dans le plan de la voie sur une courte distance par rapport au tracé de la voie. Le troisième (figure 1C), le nivellement transversal, également appelé gauche, est un affaissement ou un surélévement de l'un des rails de la voie sur une courte distance. Enfin, le quatrième défaut (figure 1D), le nivellement longitudinal, est un affaissement ou un surélévement anormal des deux rails de la voie sur une courte distance (c'est à dire une distance de quelques dizaines de mètres).

[0005] Il est connu de mesurer directement le profil d'une voie ferrée à l'aide d'un dispositif de mesure embarqué sur un engin ferroviaire, le dispositif de mesure étant généralement un système optique du type télémètre à nappe laser. Le profil de chaque rail de la voie est ainsi obtenu, et par conséquent les éventuels défauts géométriques et leur position sur la voie sont détectés.

[0006] Cependant, il est nécessaire d'utiliser un engin ferroviaire dédié à la réalisation de ces mesures, car l'installation du système optique de mesure demande d'effectuer au préalable des tests de calibration qui sont dépendants de l'engin ferroviaire. En outre, les moyens de mesure mis en oeuvre doivent être à la fois précis et robustes, car souvent installés en extérieur sous le plancher de l'engin (en vis-à-vis des rails). Enfin, l'engin ferroviaire dédié à la mesure doit nécessairement parcourir régulièrement l'ensemble des voies ce qui engendre une gêne pour la circulation commerciale des trains.

[0007] Il est également connu de la publication FR3062141 un système de détection des défauts de nivellement longitudinaux et transversaux des voies ferrées,

lequel système est prévu pour être installé sur des matériels roulant ferroviaires en circulation commerciale.

[0008] Cependant, le système décrit dans cette publication n'est pas en mesure de détecter l'ensemble des défauts géométrique de la voie ferrée, et notamment les défauts d'écartement et de dressage, en particulier parce que la trajectoire latérale des essieux est différente de la position latérale des rails.

OBJECTIF DE L'INVENTION

[0009] L'invention vise ainsi à proposer un procédé permettant de détecter l'ensemble des défauts de géométrie de la voie ferrée et cela sans interférer avec la circulation commerciale des trains.

[0010] L'invention vise également à proposer un système de détection des défauts de géométrie d'une voie ferrée ne nécessitant pas l'intégration d'instruments de mesure complexes et coûteux.

EXPOSE DE L'INVENTION

[0011] À cet effet, le procédé de détection et de caractérisation des défauts de géométrie d'une voie ferrée comprenant deux rails opposés, mis en oeuvre par un système de détection installé sur un matériel roulant ferroviaire circulant sur ladite voie ferrée, lequel système comprend des moyens de mesures des accélérations verticales subies par ledit matériel roulant au niveau des deux rails et des moyens de commande reliés auxdits moyens de mesure d'accélération, caractérisé en ce qu'il comprend au moins les étapes successives de :

- Acquisition périodique d'une position géographique du matériel roulant circulant sur la voie ferrée, et de deux accélérations verticales subies par le matériel roulant au niveau de deux points de mesure opposés situés à un même niveau transversal ;
- Association pour chaque période d'acquisition, de la position géographique acquise avec les deux accélérations verticales correspondantes ;
- Détermination pour chaque position géographique acquise, d'un couple de deux flèches verticales calculées à partir des accélérations verticales considérées ;
- Comparaison entre les couples de flèches déterminés pour les positions géographiques acquises successives ;
- Détermination des défauts de nivellements longitudinaux et transversaux de la voie ferrée lorsque la différence entre deux couples de flèches consécutifs est supérieure à un seuil déterminée, et association de chaque défaut de nivellement longitudinal ou transversal avec la position géographique considérée ;
- Sélection dans une base de données de données relatives à une voie ferrée étalon, lesquelles données comprennent les défauts de nivellements lon-

gitudinaux et transversaux ainsi que les défauts de dressage et d'écartement de la voie ferrée étalon et les positions géographiques respectives desdits défauts de nivellements longitudinaux et transversaux, de dressage et d'écartement sur la voie étalon ;

- Caractérisation, à partir de la base de données sélectionnée, de la dépendance statistique entre les défauts de nivellements longitudinaux et transversaux d'une part et les défauts de dressage et d'écartement d'autre part de la voie étalon ;
- Application de la dépendance statistique par conditionnement aux défauts de nivellements longitudinaux et transversaux de la voie ferrée, et
- Estimation des défauts de dressage et d'écartement de la voie ferrée et de leurs positions géographiques respectives sur la voie ferrée.

[0012] Le procédé de l'invention peut également comporter les caractéristiques optionnelles suivantes considérées isolément ou selon toutes les combinaisons techniques possibles :

- L'étape de détermination de la dépendance statistique est réalisée par un calcul de covariance entre les défauts de nivellements longitudinaux et transversaux d'une part et les défauts de dressage et d'écartement d'autre part de la voie étalon.
- Le matériel roulant comprenant des moyens de mesures des accélérations transversales subies par un essieu dudit matériel roulant circulant sur la voie ferrée, le procédé comprend une étape supplémentaire d'amélioration de l'estimation des défauts de dressage et d'écartement de la voie ferrée selon les sous-étapes suivantes :
 - Acquisition d'au moins une accélération transversale subie par l'essieu du matériel roulant concomitamment à l'acquisition périodique de la position géographique du matériel roulant circulant sur la voie ferrée et des deux accélérations verticales ;
 - Détermination des trajectoires latérales de l'essieu à partir des données d'accélérations transversales acquises ;
 - Association de chaque position géographique et des deux accélérations verticales acquises avec l'accélération transversale correspondante ;
 - Simulation du comportement du train pendant la circulation étudiée à partir de l'estimation des défauts de dressage et d'écartement de la voie ferrée et des défauts de nivellements longitudinaux et transversaux de la voie ferrée déterminés ;
 - Optimisation de l'estimation des défauts de dressage et d'écartement de la voie ferrée par comparaison de ladite simulation avec les mesures d'accélération transversales ou des tra-

jectoires latérales de l'essieu.

- L'étape de caractérisation de la dépendance statistique par conditionnement est également appliquée aux accélérations transversales ou aux trajectoires latérales de l'essieu.
- L'étape de détermination de la dépendance statistique est enrichie par un calcul de covariance entre les défauts de nivellements longitudinaux et transversaux d'une part et les accélérations transversales ou les trajectoires latérales de l'essieu d'autre part.
- L'étape d'optimisation met en oeuvre une fonction coût pour comparer la simulation du comportement dynamique du train aux mesures d'accélération transversales ou aux trajectoires latérales de l'essieu.
- Le procédé comprend une étape de prédiction de l'évolution de la géométrie de la voie ferrée à partir de la détermination des défauts de nivellements longitudinaux et transversaux et des estimations des défauts de dressage et d'écartement de la voie ferrée obtenus à différents instants.
- Le procédé comprend une étape de transmission des données de défauts de nivellements transversaux et longitudinaux, de dressage et d'écartement de la voie ferrée vers un serveur distant.

[0013] L'invention vise également un système de détection et de caractérisation des défauts de géométrie d'une voie ferrée comprenant deux rails opposés, apte à être installé sur un matériel roulant ferroviaire et à mettre en oeuvre le procédé tel que décrit précédemment, lequel système comprend au moins des moyens configurés pour mesurer des accélérations verticales subies par ledit matériel roulant au niveau des deux rails opposés et des moyens de commande reliés auxdits moyens de mesure d'accélération verticale.

[0014] Le système de détection et de caractérisation peut également comporter les caractéristiques optionnelles suivantes considérées isolément ou selon toutes les combinaisons techniques possibles :

- Le système comprend des moyens configurés pour mesurer des accélérations transversales subies par ledit matériel roulant et pour calculer les trajectoires latérales d'un essieu du matériel ferroviaire à partir desdites accélérations transversales.

[0015] L'invention vise également un matériel roulant ferroviaire comprenant au moins une caisse s'étendant selon un axe longitudinal et au moins deux essieux et un système de détection et de caractérisation de défauts de géométrie d'une voie ferrée tel que décrit précédemment.

[0016] Le matériel roulant peut également comporter les caractéristiques optionnelles suivantes considérées isolément ou selon toutes les combinaisons techniques possibles :

- Le système comprend au moins un accéléromètre transversal monté sur un essieu, et au moins deux accéléromètres verticaux respectivement montés sur deux boîtes d'essieu transversalement opposées.

PRESENTATION DES FIGURES

[0017] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront clairement de la description qui en est donnée ci-dessous, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux figures annexées parmi lesquelles :

[Fig. 1A]

[Fig. 1B]

[Fig. 1C]

[Fig. 1D] Les figures 1A à 1D représentent chacune un défaut particulier de géométrie de la voie ferrée ;
[Fig. 2] La figure 2 représente un graphique illustrant des courbes représentant les défauts de dressage sur une portion de la voie ferrée.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

[0018] Il est tout d'abord précisé que sur les figures, les mêmes références désignent les mêmes éléments quelle que soit la figure sur laquelle elles apparaissent et quelle que soit la forme de représentation de ces éléments. De même, si des éléments ne sont pas spécifiquement référencés sur l'une des figures, leurs références peuvent être aisément retrouvées en se reportant à une autre figure.

[0019] Il est également précisé que les figures représentent essentiellement un mode de réalisation de l'objet de l'invention mais qu'il peut exister d'autres modes de réalisation qui répondent à la définition de l'invention.

[0020] La présente invention concerne un procédé de détection des défauts de géométrie des voies ferrées. Ce procédé est mis en oeuvre par un système de détection simple et peu coûteux, qui est installé sur une rame commerciale.

[0021] Le système de l'invention est prévu pour être installé sur un matériel roulant de type train commercial destiné au transport de voyageurs ou au fret. En d'autres termes, il n'est pas nécessaire d'utiliser un matériel roulant ferroviaire spécifiquement dédié à l'installation du système de détection, mais n'importe quel train commercial est utilisable. Non seulement cela évite l'occupation de la voie ferrée par des trains uniquement dédiés à des mesures en vue de l'entretien des voies, mais au surplus les mesures peuvent être réalisées sur un nombre important de voies, et la fréquence des mesures sur chaque voie est simplement limité par le nombre de trains commerciaux circulant sur la voie ferrée.

[0022] Dans la suite de la description, on utilisera le terme train pour définir le matériel roulant ferroviaire, mais il va de soi que le système de l'invention peut être

installé sur n'importe quel type de matériel roulant ferroviaire.

[0023] Le train sur lequel est installé le système de détection de l'invention est mis en circulation sur une voie ferrée comprenant deux rails opposés et dont on veut connaître la topographie et déterminer tous les défauts de géométrie - c'est-à-dire les défauts de nivellement longitudinaux et transversaux, de dressages et d'écartements. Le train, qui s'étend selon un axe longitudinal, comprend au moins une caisse et au moins deux essieux, chaque essieu comprenant deux boîtes d'essieu disposées au niveau de ses extrémités respectives. Typiquement, le train comprend plusieurs caisses et de fait plusieurs essieux.

[0024] Selon l'invention, le système de détection comprend des moyens de mesure des accélérations subies par les différents éléments du train circulant sur la voie ferrée. Le système de détection comprend ainsi un accéléromètre vertical installé sur chaque boîte d'essieux. Le système comprend donc au moins deux accéléromètres verticaux installés à distance l'un de l'autre selon une direction transversale : les deux accéléromètres verticaux sont donc à un même niveau transversal, pour permettre de mesurer deux accélérations verticales subies par le train au niveau des rails respectifs.

[0025] Le système comprend également un accélérateur vertical installé sur chaque bogie du train, qui aident à la calibration des modèles utilisés pour affiner l'estimation des défauts de dressage et d'écartement.

[0026] Le système comprend au moins un accéléromètre transversal installé sur un essieu dont les boîtes d'essieu sont elles-mêmes équipées d'accéléromètres verticaux. Par ailleurs le système peut comprendre un ou deux accéléromètres transversaux - ou latéraux - respectivement installés sur l'une des caisses du train et sur l'un des bogies.

[0027] Le système de détection comprend également un dispositif de positionnement géographique du type GPS (pour « Global Positioning System »), des moyens de communication sans fil et des moyens de contrôle et de commande comprenant typiquement au moins un processeur et un espace mémoire, qui sont généralement intégrés dans les moyens de commande du train.

[0028] Ainsi le système de l'invention, qui est prévu pour être installé sur le train, comprend au moins trois accéléromètres verticaux, trois accéléromètres transversaux, un dispositif de positionnement géographique, des moyens de communication sans fil et des moyens de contrôle et de commande.

[0029] Le procédé de détection des défauts géométriques de la voie ferrée selon l'invention va maintenant être décrit.

[0030] Le train est équipé du système de détection de l'invention et circule sur la voie ferrée dont on veut connaître la topographie et plus particulièrement sur laquelle on veut détecter les défauts géométriques de nivellements longitudinaux et transversaux, de dressages et d'écartements.

[0031] Au cours d'une première étape, les moyens de commande pilotent l'acquisition périodique de deux accélérations verticales subies par le train au niveau de deux points de mesure opposés situés à un même niveau transversal, d'une accélération transversale subie par le train et d'une position géographique du train. Les moyens de commande associent alors, pour chaque période d'acquisition, la position géographique acquise avec la valeur d'accélération transversale et le couple de valeurs d'accélérations verticales considérées.

[0032] Au cours d'une deuxième étape, les moyens de commandes déterminent, pour chaque position géographique acquise, un couple de flèches verticales à partir des deux accélérations verticales considérées, par exemple avec un filtrage spatial. Le couple de flèches verticales ainsi déterminées correspond à un déplacement vertical du train au-dessus de chaque rail de la voie ferrée, sur un même niveau transversal.

[0033] Au cours d'une troisième étape, les moyens de commande comparent ensuite les couples de flèches verticales successifs. Autrement dit, chaque couple de flèches déterminé à partir d'accélérations verticales acquises à une période déterminée est comparée avec le couple de flèches déterminé à partir des accélérations verticales acquises à la période qui suit immédiatement. Si la différence deux à deux entre les flèches des couples successifs est supérieure à un seuil déterminé, alors les moyens de commande identifient la présence d'un défaut de nivellement et l'associent à la position géographique considérée. Par ailleurs, si le dépassement du seuil ne concerne que l'une des deux flèches verticales du couple, alors les moyens de commande identifient un défaut de nivellement transversal, tandis que si le dépassement de seuil concerne les deux flèches verticales du couple, alors les moyens de commande identifient un défaut de nivellement longitudinal.

[0034] Au cours d'une quatrième étape, les moyens de commande sélectionnent dans une base de données, enregistrée dans l'espace mémoire desdits moyens de commande, des données correspondant à une ou des voie(s) ferrée(s) étalon similaire à la voie ferrée étudiée sur laquelle circule le train. Par similaire, on entend une voie ferrée étalon dont les vitesses de circulation recommandées, le tonnage et le type de trains circulant sur cette voie ferrée étalon sont équivalents à ceux de la voie ferrée étudiée. La base de données comprend la topographie de cette voie étalon ainsi qu'une liste de tous les défauts de géométrie - nivellements longitudinaux et transversaux, dressages et écartements - et leurs positions géographiques respectives. La base de données comprend également des données d'accélérations transversales et des trajectoires latérales d'essieux de matériaux roulants ferroviaires connus circulant sur cette voie étalon. On entend par trajectoires latérales de l'essieu la composante transversale de déplacement de l'essieu. Dans la suite de la description, on utilisera simplement l'expression « trajectoire de l'essieu » pour définir la trajectoire latérale dudit essieu.

[0035] Il existe une dépendance statistique entre d'une part les défauts de nivellements longitudinaux et transversaux et d'autre part les défauts d'écartements et de dressages. En particulier, cette dépendance statistique peut être déterminée par un calcul de covariance.

[0036] Aussi, au cours de la cinquième étape, la dépendance statistique entre les différents défauts géométriques de la voie ferrée étalon est déterminée par un calcul de covariance entre une première série de variables correspondant aux défauts de nivellements longitudinaux et transversaux de la voie étalon et une seconde série de variables correspondant aux défauts de dressages et d'écartements de la voie ferrée étalon.

[0037] Cette dépendance statistique est alors appliquée, au cours d'une sixième étape, aux défauts verticaux de la voie ferrée précédemment déterminés sur laquelle circule le train équipé du système de détection de défauts géométriques. Les moyens de commande en déduisent alors une estimation des défauts de dressages et d'écartements de la voie ferrée, ainsi que leurs positions géographiques respectives.

[0038] De manière avantageuse, les quatrième et cinquième étapes sont complétées par la dépendance statistique avec les accélérations transversales ou les trajectoires associées de l'essieu déterminées par double intégration des accélérations transversales qui seraient, dans l'étape de construction des dépendances statistiques, mesurées par le système de détection et de caractérisation de défauts de la voie ferrée, ou simulées sur la voie étalon. Ces dépendances enrichies sont appliquées pour estimer les défauts de dressage et d'écartement par conditionnement.

[0039] Les méthodes de conditionnement sont des méthodes d'analyse bien connues de l'homme du métier - par exemple le conditionnement gaussien - au cours de laquelle est mesurée la dépendance de la solution d'un problème (ici les défauts de dressage et d'écartement de la voie ferrée) par rapport aux données dudit problème (ici les défauts de nivellement longitudinaux et transversaux de la voie ferrée).

[0040] Au cours d'une septième étape, les moyens de commande améliorent l'estimation des défauts de dressages et d'écartements de la voie ferrée en utilisant les mesures d'accélérations transversales par les accéléromètres transversaux considérés.

[0041] Au cours d'une première sous étape, les moyens de commande réalisent une simulation du comportement dynamique du train sur les défauts verticaux, de dressages et d'écartements de la voie ferrée estimés précédemment, par exemple à l'aide d'un modèle de dynamique ferroviaire - par exemple un code de dynamique ferroviaire par corps rigide - qui utilise comme données d'entrée l'estimation des défauts géométriques de la voie ferrée réalisée à l'étape précédente, et également les défauts de nivellements longitudinaux et transversaux déterminés à la troisième étape, le tracé de la voie ferrée, la vitesse de circulation du train et les caractéristiques mécaniques du train. Concernant le « comportement dy-

namique du train » sur la voie, ce dernier correspond aux accélérations que le train subit, aux efforts que le train transmet à la voie, et aux efforts qui transitent dans les différentes suspensions du train.

[0042] Les données de sortie du modèle de dynamique ferroviaire forment un ensemble d'accélérations ou de trajectoires d'essieu. Ces dernières permettront l'estimation des défauts de dressages et d'écartements de la voie ferrée en résolvant le problème inverse associé.

[0043] Au cours d'une seconde sous-étape, les données issues de la simulation sont comparées avec les mesures effectuées par les accéléromètres transversaux et les trajectoires de l'essieu associées déterminées par intégration. Une boucle d'optimisation via une fonction de perte - ou de coût - est alors mise en oeuvre par les moyens de commande pour rapprocher la simulation des mesures d'accélération transversales précédemment acquises et / ou des trajectoires de l'essieu associées. Avantagusement, l'optimisation sera réalisée avec des algorithmes génétiques, connus pour fournir une solution approchée à ce type de problème d'optimisation en un temps raisonnable.

[0044] Les résultats de la simulation et de l'amélioration de l'estimation sont alors envoyés par les moyens de commande - via les moyens de communication sans fil - vers un serveur distant pour une exploitation ultérieure.

[0045] La figure 2 illustre un graphique illustrant trois courbes représentant les défauts de dressages sur une portion de la voie ferrée. L'axe des ordonnées du graphique représente l'amplitude des défauts de dressages tandis que l'axe des abscisses représente l'abscisse curviligne sur la portion de voie étudiée.

[0046] La première courbe en trait plein épais illustre les défauts réels de dressages, la seconde courbe en trait plein fin représente la première estimation des défauts de dressages, et la troisième courbe en trait discontinu représente l'estimation améliorée par la simulation des défauts de dressages. On voit que la mise en oeuvre du procédé fournit une estimation précise des défauts de dressages, par l'utilisation de méthodes de détermination indirectes.

[0047] Ainsi, le système et le procédé de détection de l'invention permettent de déterminer de manière précise, fiable et reproductible l'ensemble des défauts de géométrie de la voie ferrée - défauts de nivellement longitudinaux et transversaux, de dressages et d'écartements - sans nécessiter une installation complexe et coûteuse, et sans nécessiter de matériel roulant ferroviaire spécifique.

[0048] Enfin, le procédé de détection peut comprendre une étape supplémentaire qui vise à prédire l'évolution de la géométrie de la voie ferrée.

[0049] En effet, les moyens de commande exploitent des simulations améliorées de la voie ferrée obtenues à différents instants pour déterminer l'évolution de la géométrie de la voie ferrée dans le temps. Puis, en utilisant un modèle de prédiction, par exemple un modèle de sé-

ries temporelles, notamment un modèle ARMA (autorégressifs et moyenne mobile) instationnaire, les moyens de commande déterminent une prédiction de l'évolution à venir de la géométrie de la voie ferrée. Cette dernière étape du procédé permet de prévoir des créneaux de maintenance de la voie ferrée, ce qui renforce la qualité tout en maîtrisant les coûts d'intervention.

10 Revendications

1. Procédé de détection et de caractérisation de défauts de géométrie d'une voie ferrée comprenant deux rails opposés, mis en oeuvre par un système de détection installé sur un matériel roulant ferroviaire circulant sur ladite voie ferrée, lequel système comprend des moyens de mesures des accélérations verticales subies par ledit matériel roulant au niveau des deux rails et des moyens de commande reliés auxdits moyens de mesure d'accélération, **caractérisé en ce qu'il** comprend au moins les étapes successives de :

- Acquisition périodique d'une position géographique du matériel roulant circulant sur la voie ferrée, et de deux accélérations verticales subies par le matériel roulant au niveau de deux points de mesure opposés situés à un même niveau transversal ;
- Association, pour chaque période d'acquisition, de la position géographique acquise avec les deux accélérations verticales correspondantes ;
- Détermination, pour chaque position géographique acquise, d'un couple de deux flèches verticales calculées à partir des accélérations verticales considérées ;
- Comparaison entre les couples de flèches déterminés pour les positions géographiques acquises successives ;
- Détermination des défauts de nivellements longitudinaux et transversaux de la voie ferrée lorsque la différence entre deux couples de flèches consécutifs est supérieure à un seuil déterminé, et association de chaque défaut de nivellement longitudinal ou transversal avec la position géographique considérée ;
- Sélection dans une base de données de données relatives à une voie ferrée étalon, lesquelles données comprennent les défauts de nivellements longitudinaux et transversaux ainsi que les défauts de dressage et d'écartement de la voie ferrée étalon et les positions géographiques respectives desdits défauts de nivellements longitudinaux et transversaux, de dressage et d'écartement sur la voie étalon ;
- Caractérisation, à partir de la base de données sélectionnée, de la dépendance statistique en-

- tre une première série de variables correspondant aux défauts de nivellements longitudinaux et transversaux, et une seconde série de variables correspondant aux défauts de dressage et d'écartement de la voie étalon ;
- Application de la dépendance statistique par conditionnement aux défauts de nivellements longitudinaux et transversaux de la voie ferrée, et
 - Estimation des défauts de dressage et d'écartement de la voie ferrée et de leurs positions géographiques respectives sur la voie ferrée.
2. Procédé de détection selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** l'étape de caractérisation de la dépendance statistique est réalisée par un calcul de covariance entre les défauts de nivellements longitudinaux et transversaux d'une part et les défauts de dressage et d'écartement d'autre part de la voie étalon.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le matériel roulant comprend des moyens de mesures des accélérations transversales subies par un essieu dudit matériel roulant circulant sur la voie ferrée, **caractérisé en ce que** le procédé comprend une étape supplémentaire d'amélioration de l'estimation des défauts de dressage et d'écartement de la voie ferrée selon les sous-étapes suivantes :
- Acquisition d'au moins une accélération transversale subie par l'essieu du matériel roulant concomitamment à l'acquisition périodique de la position géographique du matériel roulant circulant sur la voie ferrée et des deux accélérations verticales ;
 - Détermination des trajectoires latérales de l'essieu à partir des données d'accélérations transversales acquises ;
 - Association de chaque position géographique et des deux accélérations verticales acquises avec l'accélération transversale correspondante ;
 - Simulation du comportement dynamique du train à partir de l'estimation des défauts de dressage et d'écartement de la voie ferrée et des défauts de nivellements longitudinaux et transversaux de la voie ferrée déterminés ;
 - Optimisation de l'estimation des défauts de dressage et d'écartement de la voie ferrée par comparaison de ladite simulation avec les mesures d'accélération transversales ou des trajectoires latérales de l'essieu.
4. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** l'étape de caractérisation de la dépendance statistique par conditionnement est également appliquée aux accélérations transversales
- ou aux trajectoires latérales de l'essieu.
5. Procédé selon les revendications 2 et 3 ou selon les revendications 2 à 4, **caractérisé en ce que** l'étape de détermination de la dépendance statistique est enrichie par un calcul de covariance entre les défauts de nivellements longitudinaux et transversaux d'une part et les accélérations transversales ou les trajectoires latérales de l'essieu d'autre part.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, **caractérisé en ce que** l'étape d'optimisation met en oeuvre une fonction de coût pour comparer la simulation du comportement dynamique du train aux mesures d'accélération transversales ou aux trajectoires latérales de l'essieu.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend une étape de prédiction de l'évolution de la géométrie de la voie ferrée à partir de la détermination des défauts de nivellements longitudinaux et transversaux et des estimations des défauts de dressage et d'écartement de la voie ferrée obtenus à différents instants.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend une étape de transmission des données de défauts de nivellements transversaux et longitudinaux, de dressage et d'écartement de la voie ferrée vers un serveur distant.
9. Système de détection et de caractérisation des défauts de géométrie d'une voie ferrée comprenant deux rails opposés, apte à être installé sur un matériel roulant ferroviaire et à mettre en oeuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend au moins des moyens configurés pour mesurer des accélérations verticales subies par ledit matériel roulant au niveau des deux rails opposés et des moyens de commande reliés auxdits moyens de mesure d'accélération verticale.
10. Système selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'il** comprend des moyens configurés pour mesurer des accélérations transversales subies par ledit matériel roulant et pour calculer les trajectoires latérales d'un essieu du matériel ferroviaire à partir desdites accélérations transversales.
11. Matériel roulant ferroviaire comprenant au moins une caisse s'étendant selon un axe longitudinal et au moins deux essieux, **caractérisé en ce qu'il** comprend un système de détection et de caractérisation de défauts de géométrie d'une voie ferrée selon la revendication 9 ou 10.

12. Matériel selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le système comprend au moins un accéléromètre transversal monté sur un essieu, et au moins deux accéléromètres verticaux respectivement montés sur deux boîtes d'essieu transversalement opposées. 5

10

15

20

25

30

35

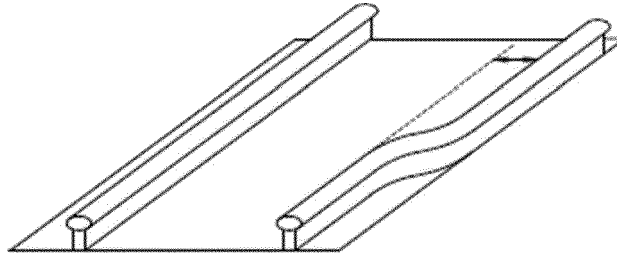
40

45

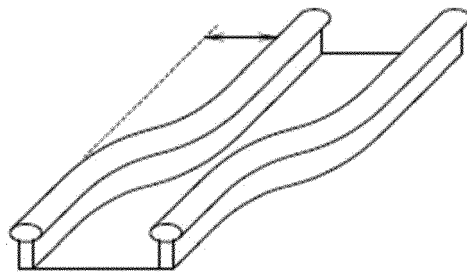
50

55

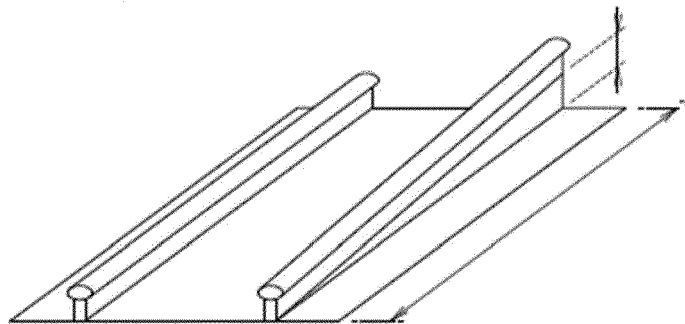
[Fig 1A]



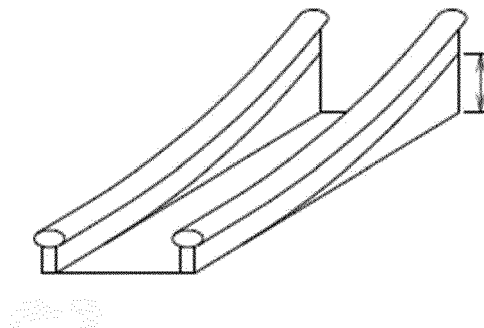
[Fig 1B]



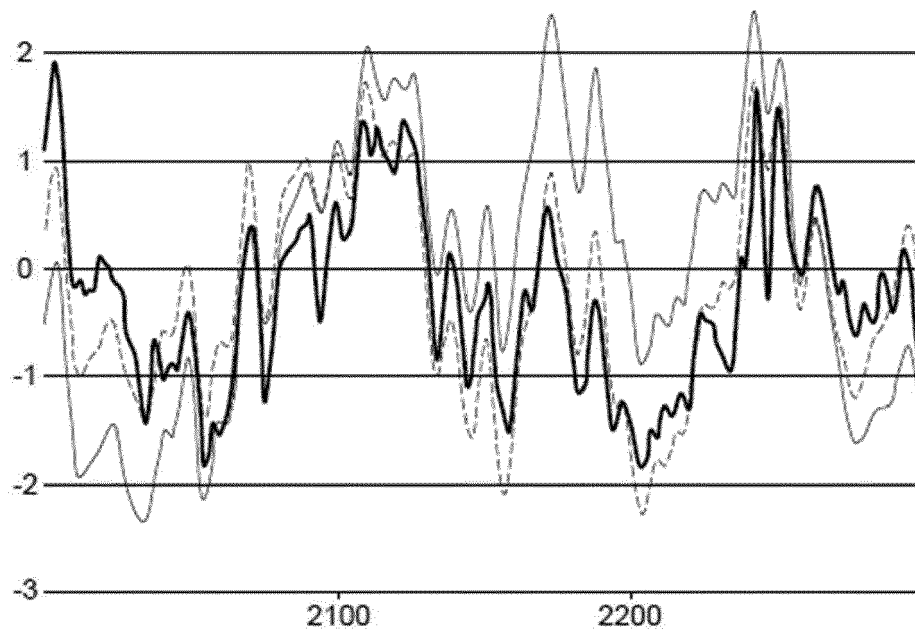
[Fig 1C]



[Fig 1D]



[Fig 2]





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 24 16 3258

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	EP 3 351 452 A1 (SNCF RESEAU [FR]) 25 juillet 2018 (2018-07-25) * alinéas [0009] - [0023], [0039] - [0046], [0054] - [0062]; figure 1 * -----	1-12	INV. B61L23/04
A	LASISI AHMED ET AL: "Rail Track Quality and T-Stochastic Neighbor Embedding for Hybrid Track Index", 2019 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIG DATA (BIG DATA), IEEE, 9 décembre 2019 (2019-12-09), pages 1470-1477, XP033721404, DOI: 10.1109/BIGDATA47090.2019.9006236 * page 1474 - page 1475; figures 2, 9; tableau II * -----	1-12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) B61L
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 1 août 2024	Examineur Massalski, Matthias
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.

EP 24 16 3258

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

01 - 08 - 2024

10	Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
15	EP 3351452 A1	25 - 07 - 2018	EP 3351452 A1	25 - 07 - 2018
			ES 2750027 T3	24 - 03 - 2020
			FR 3062141 A1	27 - 07 - 2018
20	-----			
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0460

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- FR 3062141 [0007]