

(19)



(11)

EP 4 491 489 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
15.01.2025 Bulletin 2025/03

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
B61L 15/00^(2006.01) B61L 23/04^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **24188221.6**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
**B61L 15/0081; B61L 23/042; B61L 23/044;
B61L 23/045; B61L 23/048**

(22) Date de dépôt: **12.07.2024**

(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:
• **RIVERO, Alain**
75013 PARIS (FR)
• **PETITET, Gilles**
75014 PARIS (FR)

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

(30) Priorité: **13.07.2023 FR 2307537**

(71) Demandeur: **Société Nationale SNCF**
93200 Saint Denis (FR)

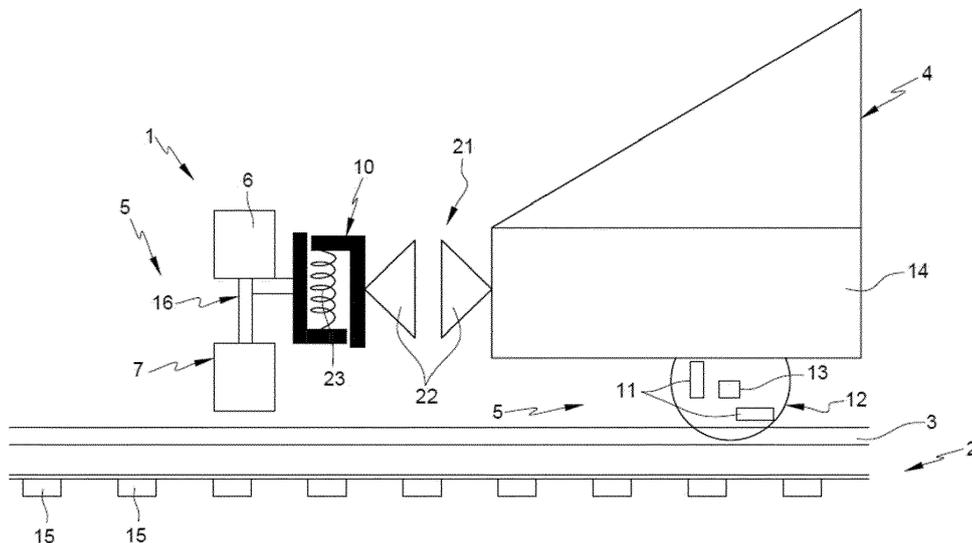
(54) **SYSTÈME ET PROCÉDÉ DE DÉTECTION DES DÉFAUTS D'UNE VOIE FERRÉE**

(57) L'invention porte principalement sur un système de détection (1) de défauts d'une voie ferrée (2) configuré pour :

- Analyser chaque donnée enregistrée et déterminer un écart entre ladite donnée et une donnée de référence déterminée.
- Classifier la donnée analysée en donnée de discontinuité si l'écart déterminé est supérieur à un seuil déterminé ;

- Sélectionner au moins une information contextuelle associée à ladite donnée de discontinuité ;
- Etablir un indice de corrélation entre l'information contextuelle et la donnée de discontinuité, et
- Qualifier la donnée de discontinuité en défaut de voie ferrée (2) si l'indice de corrélation est inférieur à un second seuil déterminé.

[Fig 2]



EP 4 491 489 A1

Description

DOMAINE TECHNIQUE

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

[0002] L'invention porte plus particulièrement sur un système et un procédé de qualification de données relatives aux rails d'une voie ferrée dans le but de détecter des défauts. L'invention porte également sur la qualification de données relatives aux organes de roulement des matériels roulant ferroviaire.

ART ANTERIEUR ET INCONVENIENTS DE L'ART ANTERIEUR

[0003] L'intégrité des voies ferrées est un paramètre essentiel à la circulation ferroviaire. En effet, le nombre de défauts 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] Corollairement, l'intégrité des organes de roulement des trains et autres matériels roulant ferroviaire est également un paramètre essentiel pour la sécurité et le confort de circulation.

[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, 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. Enfin, ce dispositif de mesure ne permet pas toujours de correctement qualifier les données acquises, ce qui in fine ne permet pas de différencier un véritable défaut de voie ferrée d'une simple discontinuité dans ladite voie ferrée.

OBJECTIF DE L'INVENTION

[0007] L'invention vise ainsi à proposer un système de détection de défauts d'une voie ferrée qui pallient les inconvénients de l'art antérieur.

EXPOSE DE L'INVENTION

[0008] À cet effet, l'invention concerne un système de détection des défauts d'une voie ferrée comprenant deux rails opposés, apte à être installé sur un matériel roulant

ferroviaire et comprenant au moins des moyens d'acquisition de données configurés pour être disposés en vis-à-vis des deux rails de la voie ferrée, et des moyens informatiques de gestion desdits moyens d'acquisition configurés pour commander l'acquisition et l'enregistrement de données représentatives d'au moins une caractéristique de la voie ferrée et d'informations contextuelles au moins représentatives d'un élément d'infrastructure de la voie ferrée autre que les rails, lesquels moyens informatiques de gestion sont en outre configurés pour :

- Analyser chaque donnée enregistrée et déterminer un écart entre ladite donnée et une donnée de référence déterminée ;
- Classer la donnée analysée en donnée de discontinuité si l'écart déterminé est supérieur à un seuil déterminé ;
- Sélectionner au moins une information contextuelle associée à ladite donnée de discontinuité ;
- Etablir un indice de corrélation entre l'information contextuelle et la donnée de discontinuité, et
- Qualifier la donnée de discontinuité en défaut de voie ferrée si l'indice de corrélation est inférieur à un second seuil déterminé.

[0009] Le système de l'invention peut également comporter les caractéristiques optionnelles suivantes considérées isolément ou selon toutes les combinaisons techniques possibles :

- Les moyens d'acquisition de données comprennent des moyens d'acquisition d'images.
- Les moyens d'acquisition d'images comprennent au moins deux caméras linéaires ou matricielles pour chaque rail de la voie ferrée configurées pour être disposées en regard des rails de la voie ferrée.
- Les moyens d'acquisition d'images comprennent au moins deux caméras sensibles dans le spectre ultraviolet de la lumière respectivement configurées pour être disposées en regard des rails de la voie ferrée.
- Les moyens d'acquisition de données comprennent des moyens de stabilisation des moyens d'acquisition d'images.
- Les moyens d'acquisition comprennent au moins un microphone prévu pour être installé sur une roue du matériel roulant ferroviaire, les moyens d'acquisition d'images étant prévus pour acquérir les données d'infrastructure et le microphone étant prévu pour acquérir les informations contextuelles, et les moyens de gestion comprennent des moyens de synchronisation des données avec les informations contextuelles.
- Les moyens d'acquisition comprennent une pluralité d'accéléromètres prévus pour être installés sur les roues du matériel roulant ferroviaire et configurés pour détecter les défauts des roues dudit matériel ferroviaire.
- Le système comprend au moins une sonde de tem-

pérature prévue pour être installée sur au moins un essieu du matériel roulant ferroviaire.

[0010] L'invention vise également un procédé de détection de défauts 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 au moins des moyens d'acquisition de données et d'informations contextuelles configurés pour être disposés en vis-à-vis des deux rails de la voie ferrée, et des moyens informatiques de gestion desdits moyens d'acquisition de données, lequel procédé comprend au moins les étapes successives de :

- Acquisition et enregistrement de données représentatives d'au moins une caractéristique des rails de la voie ferrée et d'informations contextuelles ;
- Analyse de chaque donnée enregistrée, et détermination d'un écart entre ladite donnée et une donnée de référence déterminée ;
- Si l'écart déterminé est supérieur à un seuil déterminé, classification de la donnée associée en donnée de discontinuité ;
- Sélection d'au moins une information contextuelle associée à ladite donnée analysée ;
- Etablissement d'un indice de corrélation entre l'information contextuelle et la donnée de discontinuité associée, et
- Qualification de la donnée de discontinuité en défaut de voie ferrée si l'indice de corrélation est inférieur à un second seuil déterminé.

[0011] Le procédé de détection peut également comporter les caractéristiques optionnelles suivantes considérées isolément ou selon toutes les combinaisons techniques possibles :

- Les moyens de gestion du système de qualification comprennent des moyens de synchronisation, et le procédé comprend, préalablement à l'analyse de chaque donnée, une étape de synchronisation entre lesdites données et les informations contextuelles.
- Les moyens de synchronisation comprennent des moyens de géolocalisation, le système de détection comprend des moyens de communication reliés au moyen de gestion et à un réseau étendu, le procédé comprend une étape d'acquisition de coordonnées de position concomitante à l'étape d'acquisition des données et une étape d'association de chaque donnée avec chaque coordonnée de position acquise au même instant, et l'étape de qualification de la donnée de discontinuité comprend les sous-étapes suivantes :
 - Récupération des indices de corrélation établis par au moins deux autres systèmes de détection installés sur deux autres matériels roulants fer-

roviaires, lesdits indices de corrélation étant établis à partir de données de discontinuité partageant les mêmes coordonnées de position ;

- Calcul d'un indice de corrélation final à partir des trois indices de corrélation provenant des trois systèmes de détection ;
- Qualification définitive de la discontinuité en défaut de voie ferrée si l'indice de corrélation final est supérieur à un troisième seuil déterminé.

[0012] L'invention vise également un matériel roulant ferroviaire comprenant un système de détection de défauts tel que décrit précédemment.

PRESENTATION DES FIGURES

[0013] 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. 1] La figure 1 représente une vue schématique en coupe transversale d'une partie du système de qualification de l'invention ;

[Fig. 2] La figure 2 représente une vue schématique de côté du système de qualification de l'invention installé sur un matériel roulant ferroviaire.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

[0014] 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.

[0015] 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.

[0016] La présente invention concerne un procédé de détection des défauts des rails 3 des voies ferrées 2. Ce procédé est mis en oeuvre par un système de détection 1 simple et peu coûteux, qui est installé sur une rame commerciale 4. Avantagusement, ce système de détection 1 permet également de détecter des défauts sur les roues 12 dudit matériel roulant ferroviaire 4 sur lequel il est installé.

[0017] Le système de détection 1 de l'invention est prévu pour être installé sur un matériel roulant ferroviaire 4 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 1, mais n'importe quel train commercial est utilisable. Non

seulement cela évite l'occupation de la voie ferrée 2 par des trains uniquement dédiés à des mesures en vue de l'entretien des voies 2, mais au surplus les mesures peuvent être réalisées sur un nombre important de voies 2, et la fréquence des mesures sur chaque voie ferrée 2 est simplement limité par le nombre de trains commerciaux 4 circulant sur la voie ferrée 2.

[0018] Dans la suite de la description, on utilisera le terme train pour définir le matériel roulant ferroviaire 4, mais il va de soi que le système de détection 1 de l'invention peut être installé sur n'importe quel type de matériel roulant ferroviaire 4.

[0019] Le train 4 sur lequel est installé le système de détection 1 de l'invention est mis en circulation sur une voie ferrée 2 comprenant deux rails opposés 3 et dont on veut connaître la topographie et déterminer les défauts structurels de la voie ferrée 2 - c'est-à-dire les ruptures dans les rails 3, les défauts de surface des rails 3, les ruptures d'éclisses (non représentées) qui assurent la jonction entre deux rails consécutifs 3, les écrous manquants (non représentés). Le train 4, qui s'étend selon un axe longitudinal, comprend au moins une caisse 14 et au moins deux essieux, chaque essieu comprenant deux boîtes d'essieu disposées au niveau de ses extrémités respectives. Typiquement, le train 4 comprend plusieurs caisses 14 et de fait plusieurs essieux, et chaque essieu comprend deux roues 12.

[0020] Selon l'invention, le système de détection 1 comprend des moyens d'acquisition de données 5 configurés pour acquérir :

- des données représentatives d'au moins une caractéristique des rails 3 de la voie ferrée 2 - que l'on nommera dans la suite de la description données de qualification, et
- des informations contextuelles représentatives d'un élément statique d'infrastructure de la voie ferrée 2 autre que les rails 3, ou représentative d'un élément du train 4 en interaction avec le rail 3.

[0021] Les données de qualification sont celles contenant les informations structurelles des rails 3 et des éléments de liaison des rails consécutifs 3 (tresses, éclisses). En d'autres termes, si le rail 3 ou l'élément de liaison analysés comprennent des défauts structurels, les données de qualification comprennent des indications de la présence de ces défauts structurels. Les données de qualification peuvent avantageusement concerner le train 4 sur lequel est installé le système de détection 1 - en particulier les roues 12 du train 4 via des données d'accélération subies par les roues 12.

[0022] Les informations contextuelles comprennent les éléments associés à la voie ferrée 2 - autre que les rails 3 - et au train 4 qui sont néanmoins en interaction avec les rails 2. Ces informations contextuelles acquises peuvent provenir des éléments structurels de la voie ferrée 3 - les éclisses reliant deux rails 3 entre eux, les écrous reliant les éclisses aux rails 3, les traverses 15, le

ballast -, ou encore de l'interaction entre le train circulant 4 et les rails 3 de la voie ferrée 2 - par exemple le son des roues 12 sur les rails 3, ou la température des essieux.

[0023] Le système de détection 1 comprend également des moyens informatiques de gestion des moyens d'acquisition de données 5. Ces moyens de gestion comprennent typiquement une unité centrale 6 comportant au moins un processeur, une carte graphique ou processeur FPGA (de l'anglais « Field-Programmable Gate Array », en français « réseau de portes programmables ») et des moyens de stockage des données dans lesquels sont installés un ou plusieurs algorithmes de traitement des données. Les moyens de gestion comprennent également des moyens d'horodatage des données et des informations contextuelles, un dispositif de positionnement géographique du type GPS (pour « Global Positioning System ») et des moyens de communication sans fil.

[0024] En référence à la figure 1, les moyens d'acquisition de données 5 comprennent des moyens d'acquisition d'images 7 reliés aux moyens de gestion et montés sur une armature 16 reliée au train 4.

[0025] Cette armature 16 comprend une tige centrale transversale 17 (c'est-à-dire qui s'étend perpendiculairement à l'axe longitudinal du train 4 ou de la voie ferrée 2) reliée à pivotement à la caisse considérée 14 du train 4 selon un axe de pivotement transversal, et deux portions d'armature en V 18 solidaires des extrémités de la tige centrale 17, les portions d'armature 18 étant disposées en vis-à-vis des rails respectifs 3 de la voie ferrée 2.

[0026] Les moyens d'acquisition d'images 7 comprennent quatre caméras linéaires ou matricielles 8, réparties deux à deux sur chaque portion d'armature en V 18. Plus précisément, pour chaque portion d'armature en V 18, deux caméras linéaires ou matricielles 8 sont montées au niveau des parties d'extrémités des branches 19 de la portion en V considérée 18. Avantageusement, les moyens d'acquisition de données 5 comprennent des dispositifs d'éclairage (non représentés) associés aux caméras 8 pour améliorer la qualité des images acquises par ces dernières.

[0027] Au surplus, chaque caméra linéaire ou matricielle 8 est montée libre à translation selon une direction parallèle à la branche 19 sur laquelle elle est montée. Avantageusement, chaque caméra linéaire ou matricielle 8 est montée sur un rail à translation motorisée solidaire de la branche considérée 19 de la portion d'armature en V 18 et piloté par l'unité centrale 6 des moyens de gestion. De la même manière, la tige centrale 17 est montée sur la caisse considérée 14 du train 4 via un dispositif motorisé rotatif piloté par l'unité centrale 6. De la sorte, l'unité centrale 6 peut orienter de manière précise et individuelle chaque caméra linéaire ou matricielle 8, afin que ces dernières explorent chacune la partie de rail désirée. Les caméras linéaires ou matricielles 8 sont prévues pour détecter les défauts de surface sur les rails 3 et les ruptures e rails 3.

[0028] Les moyens d'acquisition d'images 7 compren-

nent également deux caméras sensibles dans le spectre ultraviolet de la lumière 9 - que l'on nommera caméras UV 9 dans la suite de la description - qui sont montées à translation transversale (c'est-à-dire perpendiculairement à l'axe longitudinale du train 4 ou de la voie ferrée 2) au niveau de la base 20 de chaque portion d'armature en V 18 et sont disposées en vis-à-vis des rails respectifs 3. A l'instar des caméras linéaires ou matricielles 8, chaque caméra UV 9 est montée sur un rail à translation motorisée piloté par l'unité centrale 6. L'unité centrale 6 peut ainsi orienter de manière précise et individuelle chaque caméra UV 9, afin que ces dernières soient parfaitement en vis-à-vis des rails respectifs 3. Les caméras UV 9 permettent de détecter les taches d'hydrocarbures sur la surface des rails 3.

[0029] En référence à la figure 2, le système de détection 1 de l'invention est relié à la caisse considérée 14 du train 4 par l'intermédiaire de moyens de solidarisation 21, lesquels moyens de solidarisation 21 comprennent par exemple deux attaches 22 coopérant entre elles et respectivement solidarisée au système de détection 1 et à la caisse considérée 14 du train 4.

[0030] Le système de détection 1 comprend également des moyens de stabilisation 10 disposé entre l'armature 16 et l'attache considérée 22 des moyens de solidarisation 21. Ces moyens de stabilisation 10 comprennent au moins un amortisseur 23 qui permettent de maintenir la distance constante entre les moyens d'acquisition d'images 7 et les rails 3, que le train 4 soit ou non en mouvement sur la voie ferrée 2.

[0031] Optionnellement, les moyens d'acquisition de données 5 peuvent comprendre des moyens de détection des défauts dans le rail 3, comme par exemple des détecteurs à courant de Foucault (non représentés) solidaires de l'armature 16 et reliés aux moyens de gestion.

[0032] Les moyens d'acquisition des données 5 comprennent en outre des microphones 11 reliés aux moyens de gestion, idéalement quatre microphones 11 disposées deux à deux sur les roues 12 d'un essieu. Pour chaque roue 12, l'un des microphones 11 est orienté vers les rails 2 pour capter les sons provoqués par le déplacement de la roue 12 sur le rail considéré 3 - et en particulier le bruit émis par une roue 12 passant sur un joint entre deux rails 3 - et l'autre microphone 11 orienté de manière à capter les bruits aérodynamiques provoqués par le déplacement du train 4. La mesure des bruits aérodynamiques permet de soustraire ces bruits des enregistrements réalisés par les micros orientés vers les voies et ainsi isoler les bruits provoqués par les défauts.

[0033] Le système de détection 1 comprend également des moyens de mesure des accélérations subies par les roues du train 4 circulant sur la voie ferrée 3. Idéalement, les roues 12 de deux essieux sont équipées chacune d'un accéléromètre 13, si bien que le système de détection 1 comprend quatre accéléromètres reliés aux moyens de gestion. Ces accéléromètres 13 permettent d'identifier des défauts dans les organes de roule-

ment du train, dont font partie les essieux et les roues 12.

[0034] Le système de détection 1 comprend au moins une sonde de température (non représentée) reliée aux moyens de gestion et installée sur une boîte d'un essieu du train 4. Cette sonde mesure la température de la boîte d'essieu pour identifier un éventuel grippage de ladite boîte d'essieu, notamment si la température mesurée est supérieure à une valeur déterminée.

[0035] Enfin, le système de détection 1 comprend des moyens d'alimentation en énergie, par exemple des batteries.

[0036] Selon l'invention, un procédé de détection de défauts d'une voie ferrée 2 mis en oeuvre par le système de détection 1 va maintenant être décrit.

[0037] Le train 4 étant en circulation sur la voie ferrée 2, les moyens de gestion commandent les moyens d'acquisition 5 pour que ces derniers acquièrent de manière continue un flux de données et un flux d'informations contextuelles. Plus précisément, les caméras linéaires ou matricielles 8 et les caméras UV 9 acquièrent des images caractéristiques de la surface des rails, les accéléromètres 13 acquièrent des données d'accélération des roues du train, les microphones 11 enregistrent en continu les sons émis par les roues 12 circulant sur les rails 3, et la température de la ou des boîtes d'essieu est enregistrée en continu par la ou les sondes de température.

[0038] Parallèlement à leur acquisition, chaque donnée de voie ferrée 2 et chaque information contextuelle est associée à une géolocalisation acquise par les moyens de positionnement, et le cas échéant sont horodatées par les moyens d'horodatage. Ainsi, les données et informations contextuelles acquises sont synchronisées au cours d'une deuxième étape du procédé.

[0039] Au cours d'une troisième étape, les données acquises sont analysées par l'unité centrale 6 des moyens informatiques de gestion afin de déterminer un écart entre chaque donnée et une donnée de référence déterminée. Par exemple, l'unité centrale 6 détermine si l'amplitude d'une discontinuité au niveau de la surface du rail considéré 3 est supérieure à une amplitude seuil déterminée et enregistrée dans les moyens de stockage de l'unité centrale 6.

[0040] L'analyse de ces données et des écarts associés est réalisée par les algorithmes enregistrés dans les moyens de stockage de l'unité centrale 6. En outre, les informations contextuelles sont également classifiées par ces algorithmes. Avantagusement, ces analyses et comparaisons sont réalisées par des réseaux de neurones convolutifs.

[0041] Selon l'invention, plusieurs réseaux de neurones convolutifs sont utilisés, notamment :

- Un premier réseau de neurones analyse les données de surface provenant des moyens d'acquisition d'images, pour détecter les attaches défectueuses, les défauts de surface, les ruptures d'éclisses ou de rail 3, les écrous manquants 3 et par extension

d'autres défauts présents sur les infrastructures de la voie ferrée 2 (par exemple : les traverses défectueuses, les fontis, les défauts de ballasts) ;

- Un deuxième réseau de neurones pour analyser une partie des informations contextuelles, en particulier la présence d'éclisses, de traverses 15 ou de tresses (éléments qui assurent les connexions entre structures métalliques pour assurer leur équipotentialité), et
- Un troisième réseau de neurones pour analyser une autre partie des informations contextuelles, en particulier les sons acquis par les microphones 11.

[0042] Les autres données provenant des accéléromètres et informations contextuelles provenant des sondes de température sont enregistrées et associées à des coordonnées de position, et le cas échéant horodatées.

[0043] Au cours d'une quatrième étape, si pour l'une des données considérées l'unité centrale 6 détecte que l'écart déterminé est supérieur à l'écart seuil, alors ladite unité centrale 6 classe cette donnée en donnée de discontinuité. Cela signifie que cette donnée de discontinuité est susceptible d'être associée à un défaut de voie ferrée 2 - en particulier une rupture de rail 3 ou d'éclisse ou un défaut de surface du rail 3.

[0044] Comme les moyens d'acquisition 5 ne sont pas en mesure de faire la différence entre un véritable défaut et une discontinuité structurelle normale - par exemple un joint entre deux rails 3 sera détecté en donnée de discontinuité alors qu'il ne s'agit pas d'un défaut de voie ferrée 2 - le procédé met en oeuvre une cinquième étape qui va permettre de qualifier cette donnée de discontinuité selon un indice de confiance déterminé. Typiquement, cet indice de confiance varie entre 70% et 90% selon le capteur ayant acquis la donnée.

[0045] Pour réaliser cette qualification de la donnée de discontinuité, l'unité centrale 6 comprend des algorithmes supplémentaires permettant de réaliser de la fusion de données provenant des différents réseaux de neurones convolutifs, des capteurs de température et des accéléromètres.

[0046] A titre d'exemple, deux modèles de fusion, l'un utilisant la méthode bayésienne des champs aléatoires de Markov et l'autre la théorie probabiliste de croyance de Dempster Shafer, sont enregistrés dans les moyens de stockage de l'unité centrale 6.

[0047] Les données et informations contextuelles ayant été préalablement synchronisées, le modèle de fusion va sélectionner une ou plusieurs informations contextuelles associées à la donnée de discontinuité, puis va établir un indice de corrélation entre ladite donnée de discontinuité et la ou les informations contextuelles associées. L'obtention de cet indice de corrélation dépend du type de modèle de fusion utilisé. Par exemple, la méthode bayésienne des champs aléatoires de Markov va établir un lien de corrélation entre la donnée de discontinuité et la ou les informations contextuelles associées, alors que la méthode basée sur la théorie proba-

biliste de croyance de Dempster Shafer va établir une probabilité comprise entre 0 (aucune corrélation) et 1 (corrélation maximale).

[0048] En particulier, si une rupture de continuité au niveau d'un rail 3 est détectée, le modèle de fusion va rechercher dans l'image acquise la présence d'une éclisse ou d'une tresse. Si une éclisse ou une tresse est détectée, alors la donnée de discontinuité sera qualifiée en donnée normale, notamment un joint entre deux rails 3 - c'est-à-dire pas un défaut - avec un indice de confiance déterminé représentatif de l'indice de corrélation déterminé par le modèle de fusion.

[0049] Si aucune éclisse ou tresse n'est détectée, le modèle de fusion va analyser le son produit par le déplacement des roues 12 sur le rail 3. Si aucun son particulier n'est détecté, le modèle de fusion va conclure à un joint de rails - donc une situation normale - avec un second indice de confiance déterminé représentatif de l'indice de corrélation déterminé par le modèle de fusion. Si un son particulier est détecté, la donnée sera qualifiée en défaut avec ce même indice de confiance.

[0050] Par ailleurs, les informations contextuelles provenant des caméras UV 9 permettent également de qualifier une donnée de discontinuité présentant un défaut de surface : si la caméra UV 9 renvoie une information contextuelle caractéristique d'une tache d'hydrocarbure, la donnée de discontinuité est qualifiée comme telle par le modèle de fusion avec un troisième indice de confiance déterminé représentatif de l'indice de corrélation déterminé par le modèle de fusion. A l'inverse, si la caméra UV 9 ne renvoie aucune information particulière, la donnée de discontinuité est qualifiée en défaut de surface de rail 3 avec ce même indice de confiance.

[0051] Enfin, en l'absence de données de discontinuité associées aux rails 3, le système de détection 1 permet également d'identifier des défauts de roues 12 : si le ou les accéléromètres détectent une accélération périodique, l'unité centrale 6 va conclure à un défaut des organes de roulement.

[0052] Le modèle de fusion permet d'affiner ce diagnostic avec les informations provenant de la sonde de température : si la température de l'essieu considéré dépasse une valeur déterminée, par exemple 100 degrés Celsius, alors l'unité centrale conclue à un grippage des roues.

[0053] Le système de détection 1 comprend également, enregistré dans les moyens de stockage de l'unité centrale, au moins un algorithme mettant en oeuvre un modèle de fusion de décision pour qualifier les données de discontinuité avec un indice de confiance augmenté, permettant d'éviter d'avoir recours à l'intervention d'opérateurs humains.

[0054] Le modèle de fusion de décision peut mettre en oeuvre une ou plusieurs méthodes parmi les suivantes :

- Analyse en Composantes Principales (ACP) ;
- Projections en Structures Latentes (PSL) ;
- Analyse discriminante (AD), Analyse qualitative des

- tendances (QTA) ;
- k plus proches voisins (kNN) ;
- Arbre de décisions ;
- Théorie de croyance ;
- Les bond Graph, et
- Logique floue.

[0055] La liste ci-dessus est bien entendue non exhaustive.

[0056] Pour améliorer l'indice de confiance d'une qualification d'une donnée de discontinuité, le procédé met en oeuvre les sous étapes suivantes :

L'unité centrale 6 va dans un premier temps récupérer les données de discontinuité ayant les mêmes coordonnées de position et obtenues par au moins deux autres systèmes de détection 1 installés sur deux autres trains respectifs 4, et leurs indices de confiance respectifs.

[0057] Un indice de confiance globale va ainsi être calculé par l'unité centrale 6 via le modèle de fusion de décisions. Cet indice de confiance est d'autant plus élevé que le nombre de données de discontinuités de mêmes coordonnées et provenant d'autres trains est élevé. En l'occurrence, en utilisant les données de discontinuité provenant de trois systèmes de détection 1 installés sur trois trains différents 4, l'indice de confiance global obtenu pour qualifier la donnée de discontinuité est comparable à l'indice de confiance associé à un opérateur humain.

[0058] Ainsi, le système et le procédé de détection de l'invention permettent de déterminer de manière précise, fiable et reproductible les défauts structurels de la voie ferrée 3 et le cas échéant des organes de roulement du train 4 sans nécessiter une installation complexe et coûteuse, sans nécessiter de matériel roulant ferroviaire spécifique et sans nécessité l'intervention d'opérateurs humains dans le traitement des données acquises.

Revendications

1. Système de détection (1) de défauts d'une voie ferrée (2) comprenant deux rails opposés (3), apte à être installé sur un matériel roulant ferroviaire (4) et comprenant au moins des moyens d'acquisition de données (5) configurés pour être disposés en vis-à-vis des deux rails (3) de la voie ferrée (2), et des moyens informatiques de gestion (6) desdits moyens d'acquisition (5) configurés pour commander l'acquisition et l'enregistrement de données représentatives d'au moins une caractéristique de la voie ferrée (2) et d'informations contextuelles au moins représentatives d'un élément d'infrastructure de la voie ferrée (2) autre que les rails (3), lesquels moyens informatiques de gestion (6) sont en outre configurés pour :

- Analyser chaque donnée enregistrée et déterminer un écart entre ladite donnée et une don-

née de référence déterminée ;

- Classer la donnée analysée en donnée de discontinuité si l'écart déterminé est supérieur à un seuil déterminé ;

- Sélectionner au moins une information contextuelle associée à ladite donnée de discontinuité ;
- Etablir un indice de corrélation entre l'information contextuelle et la donnée de discontinuité, et

- Qualifier la donnée de discontinuité en défaut de voie ferrée (2) si l'indice de corrélation est inférieur à un second seuil déterminé.

2. Système (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** les moyens d'acquisition de données (5) comprennent des moyens d'acquisition d'images (7).

3. Système (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** les moyens d'acquisition d'images (7) comprennent au moins deux caméras linéaires ou matricielles (8) pour chaque rail (3) de la voie ferrée (2) configurées pour être disposées en regard des rails (3) de la voie ferrée (2).

4. Système (1) selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** les moyens d'acquisition d'images (7) comprennent au moins deux caméras sensibles dans le spectre ultraviolet de la lumière (9) respectivement configurées pour être disposée en regard des rails (3) de la voie ferrée (2).

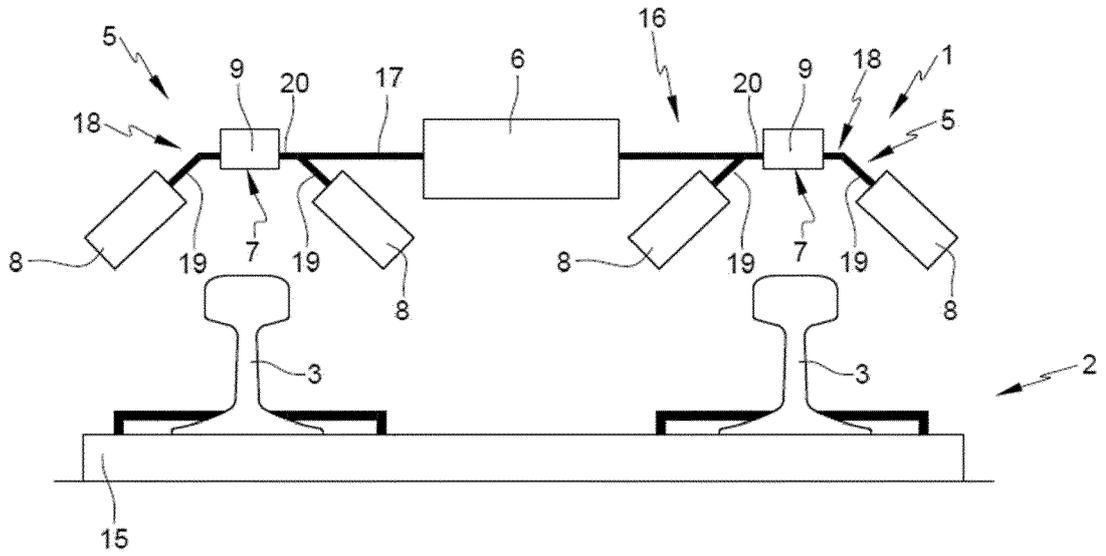
5. Système (1) selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, **caractérisé en ce que** les moyens d'acquisition de données (5) comprennent des moyens de stabilisation (10) des moyens d'acquisition d'images (7).

6. Système (1) selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, **caractérisé en ce que** les moyens d'acquisition (5) comprennent au moins un microphone (11) prévu pour être installé sur une roue (12) du matériel roulant ferroviaire (4), les moyens d'acquisition d'images (5) étant prévus pour acquérir les données d'infrastructure et le microphone (11) étant prévu pour acquérir les informations contextuelles, et **en ce que** les moyens de gestion (6) comprennent des moyens de synchronisation des données avec les informations contextuelles.

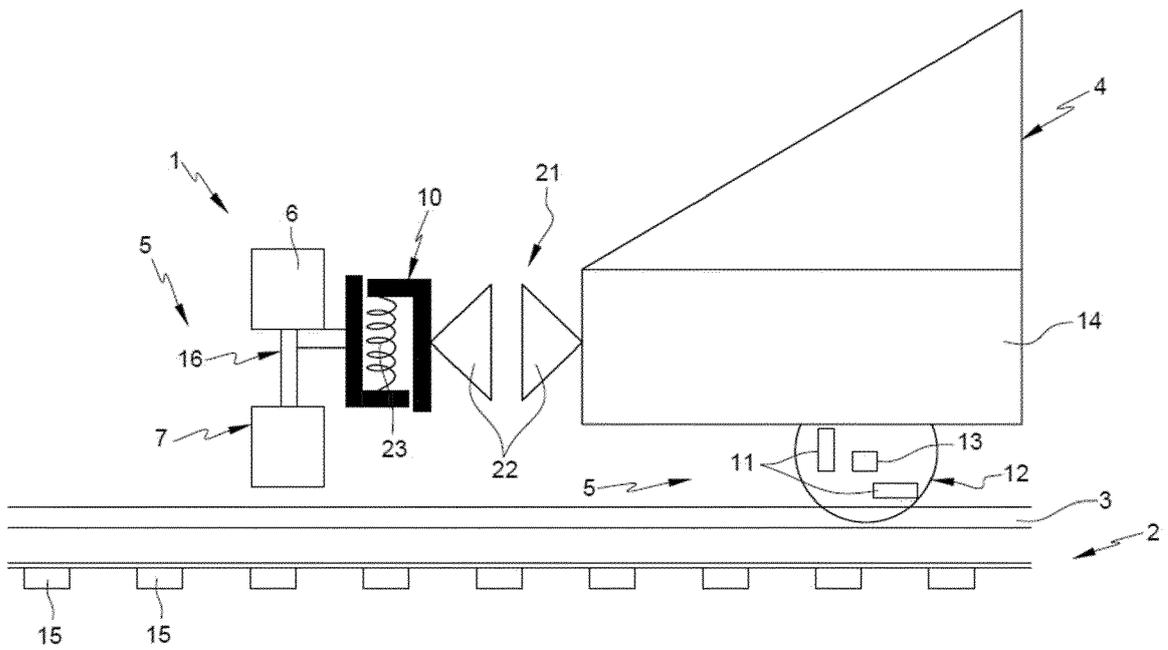
7. Système (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les moyens d'acquisition (5) comprennent une pluralité d'accéléromètres (13) prévus pour être installés sur les roues (12) du matériel roulant ferroviaire (4) et configurés pour détecter les défauts des roues (12) dudit matériel ferroviaire (4).

8. Système (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'il** comprend au moins une sonde de température prévue pour être installée sur au moins un essieu du matériel roulant ferroviaire (4). 5
9. Procédé de détection de défauts 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 au moins des moyens d'acquisition de données et d'informations contextuelles configurés pour être disposés en vis-à-vis des deux rails de la voie ferrée, et des moyens informatiques de gestion desdits moyens d'acquisition de données, **caractérisé en ce qu'il** comprend au moins les étapes successives de :
- Acquisition et enregistrement de données représentatives d'au moins une caractéristique des rails de la voie ferrée et d'informations contextuelles ; 20
 - Analyse de chaque donnée enregistrée, et détermination d'un écart entre ladite donnée et une donnée de référence déterminée ;
 - Si l'écart déterminé est supérieur à un seuil déterminé, classification de la donnée associée en donnée de discontinuité ; 25
 - Sélection d'au moins une information contextuelle associée à ladite donnée analysée ;
 - Etablissement d'un indice de corrélation entre l'information contextuelle et la donnée de discontinuité associée, et 30
 - Qualification de la donnée de discontinuité en défaut de voie ferrée (2) si l'indice de corrélation est inférieur à un second seuil déterminé. 35
10. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** les moyens de gestion (6) du système de qualification (1) comprennent des moyens de synchronisation, et **en ce que** le procédé comprend, préalablement à l'analyse de chaque donnée, une étape de synchronisation entre lesdites données et les informations contextuelles. 40
11. Procédé de détection selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** les moyens de synchronisation comprennent des moyens de géolocalisation, **en ce que** le système de détection (1) comprend des moyens de communication reliés au moyens de gestion (6) et à un réseau étendu, **en ce que** le procédé comprend une étape d'acquisition de coordonnées de position concomitante à l'étape d'acquisition des données et une étape d'association de chaque donnée avec chaque coordonnée de position acquise au même instant, et **en ce que** l'étape de qualification de la donnée de discontinuité comprend les sous-étapes suivantes : 45
- Récupération des indices de corrélation établis par au moins deux autres systèmes de détection installés sur deux autres matériels roulants ferroviaires, lesdits indices de corrélation étant établis à partir de données de discontinuité partageant les mêmes coordonnées de position ;
 - Calcul d'un indice de corrélation final à partir des trois indices de corrélation provenant des trois systèmes de détection (1), et
 - Qualification définitive de la discontinuité en défaut de voie ferrée (2) si l'indice de corrélation final est supérieur à un troisième seuil déterminé. 50
12. Matériel roulant ferroviaire (4) comprenant un système de détection de défauts (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8. 55

[Fig 1]



[Fig 2]





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 24 18 8221

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	JP 7 165745 B2 (MER MEC S P A [IT]) 4 novembre 2022 (2022-11-04)	1-3,5-7, 9,10,12	INV. B61L15/00
Y	* abrégé * * figure 1 * * alinéas [0001] - [0010], [0017] - [0047] * * revendications 1-6 *	8	B61L23/04
X	US 2018/339720 A1 (SINGH SAMEER [GB]) 29 novembre 2018 (2018-11-29)	1-7,9-12	
Y	* le document en entier *	8	
Y	GB 2 562 414 A (INNOVARAIL LTD [GB]) 14 novembre 2018 (2018-11-14)	8	
A	* le document en entier *	6,7	
Y	US 11 468 551 B1 (AMOUIE MAHBOD [US] ET AL) 11 octobre 2022 (2022-10-11)	8	
A	* le document en entier *	6,7	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			B61L
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 27 novembre 2024	Examineur Schmitt, Gilles
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 (F04C02)

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

EP 24 18 8221

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.

27 - 11 - 2024

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 7165745	B2	04 - 11 - 2022	AU 2019338073 A1	01 - 10 - 2020
			EP 3849871 A1	21 - 07 - 2021
			ES 2929353 T3	28 - 11 - 2022
			JP 7165745 B2	04 - 11 - 2022
			JP 2021518826 A	05 - 08 - 2021
			US 2021403060 A1	30 - 12 - 2021
			WO 2020053699 A1	19 - 03 - 2020

US 2018339720	A1	29 - 11 - 2018	AUCUN	

GB 2562414	A	14 - 11 - 2018	GB 2562414 A	14 - 11 - 2018
			WO 2020021282 A1	30 - 01 - 2020

US 11468551	B1	11 - 10 - 2022	US 11468551 B1	11 - 10 - 2022
			US 11663711 B1	30 - 05 - 2023
			US 2024070834 A1	29 - 02 - 2024

EPO FORM P0460

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