



(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

- (43)

Date de publication:
18.12.2024 Bulletin 2024/51
- (51)

Classification Internationale des Brevets (IPC):
B61L 15/00 (2006.01) B61K 9/08 (2006.01)
B61L 23/04 (2006.01) E01B 35/08 (2006.01)
- (21)

Numéro de dépôt: 24182221.2
- (52)

Classification Coopérative des Brevets (CPC):
B61L 23/048; B61K 9/08; B61L 15/0081;
E01B 35/08
- (22)

Date de dépôt: 14.06.2024

- (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
- (30)

Priorité: 14.06.2023 FR 2306079
- (71)

Demandeur: SNCF Réseau
93200 Saint-Denis (FR)
- (72)

Inventeurs:
• Salavati, Bahar
78500 Sartrouville (FR)
- (74)

Mandataire: Bringer IP
1, Place du Président Thomas Wilson
31000 Toulouse (FR)
- (73)

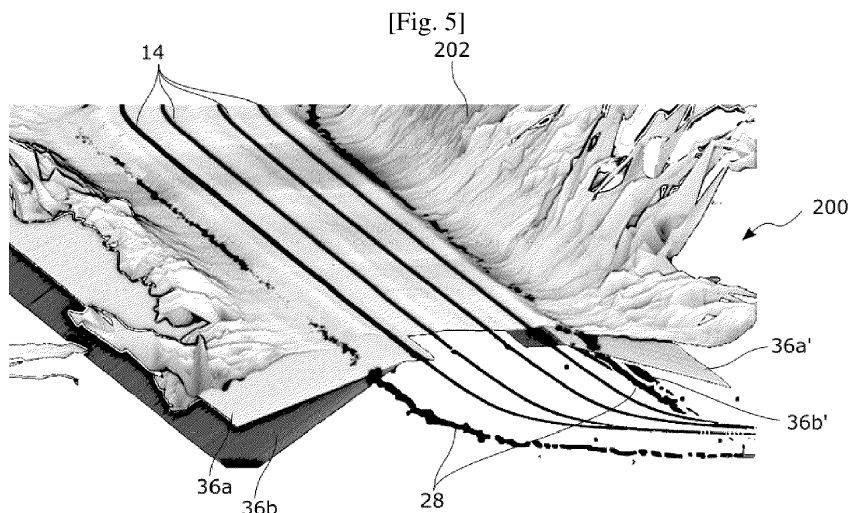
• Jacquin, Audrey
37000 Tours (FR)
• Kahil, Sirine
92270 Bois-Colombes (FR)
• Viguiier, Flavien
94210 Fontenay-sous-Bois (FR)
• Convert, Maxime
94800 Villejuif (FR)
• Ben Hariz, Ismaïl
80500 Assainvillers (FR)

(54)

SYSTÈME ET PROCÉDÉ DE CONTRÔLE AUTOMATIQUE DU VOLUME DE BALLAST D'UNE VOIE FERROVIAIRE

- (57)

L'invention concerne un procédé de contrôle automatique du volume de ballast d'au moins une portion de voie ferroviaire, le ballast étant étendu autour de la voie ferroviaire sous la forme d'une banquette, caractérisé en ce qu'il comprend une étape d'acquisition d'au moins un nuage de points de la portion de voie ferroviaire et du terrain environnant ladite au moins une portion de voie ferroviaire, une étape d'extraction des files (14) de rail de la voie à étudier à partir du nuage de points, une étape de création d'un modèle (200) numérique de terrain de la portion de voie ferroviaire à partir du nuage de points, une étape de création d'au moins un profil (36a, 36b, 36a', 36b') théorique de ballast à partir de données de normes prédéterminées et une étape de calcul de la conformité du volume de ballast par rapport au profil théorique



Description

Domaine technique de l'invention

[0001] L'invention concerne un procédé, un système et un produit programme d'ordinateur de contrôle du volume de ballast de portion de voie ferroviaire. En particulier, l'invention concerne un procédé permettant d'automatiser le calcul de volume de ballast à partir de données provenant de nuages de points 3D de la portion de voie et du terrain alentour, par exemple acquis par LiDAR.

Arrière-plan technologique

[0002] Le ballast ferroviaire est une couche de pierres et/ou de graviers étendue le long du cheminement d'une voie ferroviaire et sur laquelle est disposée les traverses et les rails ferroviaires. Le ballast a notamment pour objectif le maintien en position des traverses et des rails lorsqu'ils sont soumis aux contraintes mécaniques lors du passage des véhicules ferroviaires, permettent le transfert et la répartition de ces contraintes mécaniques vers le sol, facilitent le drainage des eaux de pluies sur la voie, etc.

[0003] Malgré sa grande résistance aux contraintes mécaniques et environnementales au cours du temps, le ballast doit faire l'objet de contrôle réguliers pour s'assurer du maintien de ses fonctions principales pour des raisons de sécurité, et éventuellement planifier son remplacement. Le contrôle du ballast comprend notamment le contrôle de son volume, qui consiste en partie en la vérification la conformité du profil de ballast en fonction de normes ferroviaires variables selon les pays, le type de voie ferroviaire et la nature des véhicules ferroviaires empruntant la voie.

[0004] Actuellement, le contrôle du ballast est généralement visuel et réalisé par des opérateurs de maintenance humains à dire d'expert (sans outil de mesure particulier). Il est donc soumis à des variations de précision selon la perception de l'opérateur, son degré d'expertise, sa condition physique, son degré d'attention et les conditions environnementales (accès à la zone d'analyse) et climatiques (brouillard, pluie, etc.) du contrôle visuel. Ce contrôle exige également un nombre important de ressources humaines une organisation considérable pour la supervision de kilomètres de voies (nécessité de formation, plan de charge, etc.)

[0005] En outre, la maintenance du ballast nécessite une connaissance des volumes devant être récupérés en cas de volume de ballast supérieur aux normes prévues (surplus de ballast), ou ajoutés en cas de volume de ballast inférieur aux normes prévues (manque de ballast).

[0006] Si le contrôle et la maintenance telle que réalisés actuellement fournissent de bons résultats en termes de sécurité, le coût de cette maintenance reste élevé faute de solution efficace d'estimation a priori du volume de ballast sur chaque portion de voie. En particulier, l'absence d'évaluation fine des volumes de ballast existants

pousse le mainteneur à privilégier des opérations de balastage (ajout de ballast) plutôt que les opérations de régalaie (récupération du surplus de ballast). Cette approche, bien qu'a priori mise en place dans le sens de la sécurité (pour limiter les contraintes dans les traverses) amène un surcoût en termes de matière première (approvisionnement et ajout de ballast) mais implique également de nouvelles contraintes sur la plateforme ferroviaire (masse de ballast supplémentaire) entraînant ainsi une dégradation accélérée et la nécessité de nouvelles commandes de ballast pour combler les défauts de la plateforme.

[0007] Une connaissance plus précise du volume ballast sur une portion de voie ferroviaire pourrait en outre faciliter les travaux de renouvellement du ballast en permettant une meilleure connaissance du volume de ballast ancien à évacuer et du volume de ballast neuf à livrer sur le chantier. Actuellement les mesures de volumes de ballast sont réalisées a posteriori en analysant les quantités de ballast extrait par les engins de travaux.

[0008] Les inventeurs ont donc cherché une solution pour pallier les inconvénients des contrôles visuels de l'art antérieur.

Objectifs de l'invention

[0009] L'invention vise à fournir un procédé, un système et un produit programme d'ordinateur de contrôle automatique du volume de ballast d'au moins une portion de voie ferroviaire.

[0010] L'invention vise aussi à fournir, dans au moins un mode de réalisation, un tel procédé, système et produit programme d'ordinateur permettant d'évaluer de façon automatisée le volume du ballast à remplacer lors de travaux de renouvellement de ballast de voie ferroviaire.

[0011] L'invention vise aussi à fournir, dans au moins un mode de réalisation, un tel procédé, système et produit programme d'ordinateur permettant d'évaluer de façon automatisée le volume du ballast afin d'évaluer un éventuel surplus ou manque de ballast sur une portion de voie.

[0012] L'invention vise aussi à fournir, dans au moins un mode de réalisation, un tel procédé, système et produit programme d'ordinateur permettant une réduction des coûts du contrôle et facilitant la gestion de la livraison et du stock du ballast de remplacement.

Exposé de l'invention

[0013] Pour ce faire, l'invention concerne un procédé de contrôle automatique du volume de ballast d'au moins une portion de voie ferroviaire, le ballast étant étendu autour de la voie ferroviaire sous la forme d'une banquette supportée par une piste inférieure, caractérisé en ce qu'il comprend :

- une étape d'acquisition d'au moins un nuage de points 3D de la portion de voie ferroviaire et du terrain environnant ladite au moins une portion de voie ferroviaire,
- une étape d'extraction des files de rail de la voie à étudier à partir du nuage de points,
- une étape de création d'un modèle numérique de terrain de la portion de voie ferroviaire et de son alentour à partir du nuage de points,
- une étape de création d'au moins un profil théorique de ballast à partir de données représentatives de normes prédéterminées de profil de ballast,
- une étape de calcul de la conformité du volume de ballast par rapport au profil théorique.

[0014] Le procédé selon l'invention permet donc une automatisation du contrôle du volume du ballast sur une portion de voie ferroviaire, en utilisant les données provenant de nuages de points 3D de ladite portion et du terrain environnant. La détermination du volume s'effectue en comparaison d'un profil théorique associé aux normes prédéterminées de profil de ballast, ces normes pouvant être des normes réglementaires définies par la région ou le pays dans lequel se situe la portion de voie ferroviaire, et/ou des normes métier par exemple liées à la pratique courante dans la société responsable de l'installation de la portion de voie ferroviaire ou liées à des calculs spécifiques de contraintes mécaniques/environnementales et/ou géologiques sur cette portion de voie ferroviaire.

[0015] La portion de voie ferroviaire correspond à une partie d'une ligne ferroviaire pour laquelle le volume de ballast est contrôlé, par exemple en vue d'une maintenance ou d'un remplacement. La ligne ferroviaire peut être simple (une seule voie et deux files de rail) ou double (deux voies et quatre files de rail), ou bien comprendre davantage de voies. La longueur de la voie ferroviaire contrôlée dépend des contraintes techniques pour la prise du nuage de points, la taille maximale de la taille du nuage de points, la longueur de voie qu'il est prévu de contrôler, etc. La longueur de voie contrôlée lors d'une mise en oeuvre du procédé peut ainsi s'étendre de plusieurs dizaines de mètres pour un contrôle spécifique à plusieurs dizaines voire centaines de kilomètres de voie ferroviaire pour un contrôle général et récurrent d'un réseau ferroviaire étendu.

[0016] Une connaissance à priori du volume permet de simplifier la chaîne de distribution en vue du renouvellement du ballast, en particulier pour simplifier la commande du ballast, sa livraison, l'organisation des stocks de ballast disposés sur le terrain en vue des travaux (réalisés à l'aide de ballastières).

[0017] La connaissance à priori du volume et la comparaison aux normes permet également de d'envisager une maintenance du ballast sans nécessiter de renouvellement complet.

[0018] Les données d'au moins un nuage de points sont de préférence géolocalisées pour permettre une

éventuelle mise en correspondance avec d'autres données géolocalisées relatives à la portion de voie étudiée.

[0019] Les données du nuage de points peuvent également faire l'objet d'un prétraitement pour les convertir en un format aisément exploitable et géométriquement fiable, par exemple un format LAS ou LAZ (format LAS compressé). Le prétraitement peut également consister en la réunion de plusieurs nuages de points obtenus de manières différentes dans un même fichier.

[0020] Avantageusement et selon l'invention, le nuage de points est obtenu par une étape de balayage de chaque portion de voie par un LiDAR, et/ou par une étape de photogrammétrie à partir d'images photographiques de chaque portion de voie.

[0021] Selon cet aspect de l'invention, l'utilisation d'un LiDAR permet notamment d'obtenir des nuages de points avec une précision importante pour la génération d'un modèle numérique de terrain précis, tandis que la photogrammétrie permet notamment de travailler à partir d'images photographiques plus simples à obtenir.

[0022] Avantageusement et selon l'invention, l'étape d'acquisition de nuage de points est réalisée par un dispositif monté sur un véhicule ferroviaire.

[0023] Selon cet aspect de l'invention, l'utilisation d'un véhicule ferroviaire simplifie l'obtention des images en roulant directement sur la portion de voie ferroviaire qui doit faire l'objet du contrôle de volume de ballast. Le dispositif monté sur le véhicule ferroviaire est ainsi de préférence un LiDAR pour l'obtention du nuage de points par balayage, ou une caméra pour l'obtention des images photographiques pour former le nuage de points par photogrammétrie. En particulier, le véhicule ferroviaire peut être un engin de surveillance de la voie de type ESV, ce qui permet d'acquérir en un passage une linéaire de voie ferroviaire importante.

[0024] Selon d'autres variantes de l'invention, l'acquisition du nuage de points peut se faire avec d'autres méthodes, par exemple par un LiDAR porté par un sac à dos, par une prise de vue d'images photographiques aériennes, etc.

[0025] Avantageusement et selon l'invention, l'étape d'extraction des files de rail comprend une sous-étape d'identification des points associés à chaque rail dans le nuage de points, et une sous-étape de détermination de polygones représentant les files de rail à partir des points associés à chaque rail.

[0026] Les polygones, aussi appelées lignes polygonales, sont une combinaison de segments reliant des points considérés comme faisant partie d'une même file de rail de la voie ferroviaire, représentant ainsi chacune une file de rail de la portion de voie ferroviaire.

[0027] Avantageusement et selon l'invention, l'étape de création du modèle numérique de terrain comprend une sous-étape de conversion du nuage de points en vertex formant les sommets de faces, de préférence triangulaires, lesdites faces étant représentatives de la surface du sol et des éléments de la voie ferroviaire posés au sol.

[0028] Avantageusement et selon l'invention, le procédé comprend une étape de détection du pied de banquette le long d'au moins une file de rail dans le modèle numérique de terrain, le pied de banquette correspondant au point d'intersection entre une pente de la banquette de ballast et la piste sur laquelle repose le ballast, comprenant :

- une sous-étape de coupe selon un plan perpendiculaire à une file de rail, de sorte à obtenir une pluralité de coupe répartis sur la longueur de la file de rail, chaque coupe comprenant une pluralité de vertex du modèle numérique de terrain,
- une sous-étape de division de chaque coupe en bande verticales selon un pas prédéterminé, chaque bande verticale comprenant une partie des vertex,
- une sous-étape de détermination, pour chaque bande verticale de la coupe, du point dont la valeur d'altitude est la plus basse,
- une sous-étape de détection, à partir de l'ensemble des points de la coupe dont la valeur d'altitude est la plus basse, d'un groupe desdits points de l'ensemble formant un profil de pente et d'au moins un groupe desdits points formant un profil plat,
- une sous-étape de détermination d'un point formant le pied de banquette pour chaque coupe comme intersection d'au moins un profil plat et du profil de pente,
- une sous-étape de lissage, pour l'ensemble des coupes, du pied de banquette sur l'ensemble de la portion de voie.

[0029] Selon cet aspect de l'invention, la détection du pied de banquette est une étape facultative permettant de mieux caractériser la forme générale de la banquette du ballast, et permettant notamment de simplifier le calcul de la conformité du volume de ballast par rapport au profil théorique en limitant le nombre de données à traiter. Le modèle numérique de terrain étant étendu à toute la surface au sol autour de la portion de voie ferroviaire, la détermination du pied de banquette permet l'élimination de données non pertinentes au contrôle du volume de ballast en réduisant la fenêtre d'étude à la banquette du ballast sans traiter les données inutiles relatives au reste de la surface de terrain du modèle numérique de terrain.

[0030] Le pied de banquette est déterminé indépendamment pour chaque coupe réalisée sur la portion de voie, et l'ensemble des pieds de banquette est pris en compte pour obtenir une ligne de pied de banquette représentative du pied de banquette du ballast tout le long de la portion de voie.

[0031] Pour limiter le nombre de points à traiter, le procédé peut avantageusement comprendre une étape de filtrage des données du modèle numérique de terrain qui sont proches de la file de rail étudiée, qui est la file de rail située du côté de la banquette en cas de voie double, et de filtrage des données du modèle numérique de terrain qui sont éloignées de la file de rail et manifestement

en dehors de la banquette de ballast. Par exemple, les points à moins de 50cm et de la file de rail et à plus de 5m de la file de rail sont retirés des points à étudier.

[0032] Si aucun point n'est présent dans au moins une bande verticale de la coupe, une interpolation linéaire peut permettre d'ajouter des points calculés dans l'ensemble des points de la coupe.

[0033] Avantageusement et selon l'invention, l'étape de création d'au moins un profil théorique est en outre réalisée à partir de données représentatives du type de traverse et du type de profil de la banquette de ballast.

[0034] Selon cet aspect de l'invention, le volume de ballast correspondant aux normes réglementaires peut varier en fonction du type de traverse et du type de profil de la banquette de ballast, et donc est pris en compte dans le contrôle du volume de ballast par la création d'un profil théorique approprié à la portion de voie contrôlée.

[0035] Avantageusement et selon l'invention, le procédé comprend une étape de réception des données représentatives de normes prédéterminées de profil de ballast, des données représentatives du type de traverse et du type de profil de la banquette de ballast à partir d'une base de données centralisée regroupant ces données pour un ensemble de voies ferroviaires dont fait partie la portion de voie ferroviaire.

[0036] Selon cet aspect de l'invention, une base de données centralisée peut permettre la récupération des données nécessaire à la création du profil théorique. Un exemple d'une telle base de données est la base de données ARMEN en France permettant de récupérer ces données sur une majeure partie du réseau ferroviaire français.

[0037] Avantageusement et selon l'invention, l'étape de création d'au moins un profil théorique comprend :

- une sous-étape de détermination d'un ensemble de points de départ de la banquette, au niveau d'au moins une traverse portant le rail, les points étant répartis le long de la portion de voie ferroviaire,
- une sous-étape de détermination d'un ensemble de points hauts de la banquette, la surface définie par les points de départ et les points hauts formant un profil plat de la banquette de ballast,
- une sous-étape de détermination de chaque profil théorique par génération d'une surface théorique représentative d'un profil de pente théorique de la banquette du ballast, à partir de l'ensemble des points hauts et de paramètres prédéterminés d'inclinaison de la surface théorique en fonction des données de normes.

[0038] Selon cet aspect de l'invention, la détermination de chaque profil théorique est réalisée à partir de données relatives aux points du nuage de points qui sont liés au ballast réel de la portion ferroviaire. Chaque profil théorique est ainsi adapté au ballast réel et non pas un profil théorique générique appliqué à l'ensemble de la voie ferroviaire sans prise en compte de la forme du bal-

last dans chaque section de la voie ferroviaire.

[0039] Avantageusement et selon l'invention, l'étape de création d'au moins un profil théorique comprend en outre une sous-étape de suppression, sur la surface théorique, des points associés à une altitude inférieure à l'altitude du pied de banquettes et des points dont la distance à la file de rail est supérieure à la distance entre la file de rail et le pied de banquettes.

[0040] Selon cet aspect de l'invention, le pied de banquettes permet dans ce contexte de filtrer les données non pertinentes pour limiter le nombre de données à traiter.

[0041] Avantageusement et selon l'invention, la sous-étape de détermination de chaque profil théorique comprend la détermination d'au moins deux profils théoriques, par génération de deux surfaces théoriques ayant chacune des paramètres prédéterminés d'inclinaison différents.

[0042] Selon cet aspect de l'invention, ces deux profils théoriques permettent en particulier de délimiter un intervalle correspondant au volume de ballast maximum acceptable et au volume de ballast acceptable.

[0043] Avantageusement et selon l'invention, l'étape de calcul de la conformité du volume de ballast par rapport au profil théorique comprend :

- une sous-étape de discrétisation selon une dimension longitudinale à la file de rail et une dimension latérale à la file de rail, de chaque profil théorique selon des pas prédéfinis, le long de la portion de voie ferroviaire, de sorte à obtenir un ensemble de points formant un quadrillage de chaque profil théorique,
- une sous-étape de détermination, pour chaque point du quadrillage, du point du modèle numérique de terrain le plus proche dudit point du quadrillage, dit point de ballast réel,
- une sous-étape de calcul de la différence entre l'altitude du point du quadrillage et l'altitude du point de ballast réel associé, ladite différence étant représentative d'un surplus ou d'un manque de ballast au niveau de ce point du quadrillage,
- une sous-étape d'addition d'un ensemble de différence calculée correspondant à une pluralité de points du quadrillage, de sorte à obtenir un volume de ballast total sur la portion de voie ferroviaire.

[0044] Selon cet aspect de l'invention, cette étape permet de contrôler précisément le volume de ballast sur l'ensemble de la surface aux alentours de la portion de voie ferroviaire, en chaque point du quadrillage et plus généralement sur une partie de surface ou l'ensemble de surface à contrôler en ajoutant les volumes calculés sur une pluralité de points du quadrillage. Le procédé peut ainsi permettre d'obtenir par exemple une estimation du volume de ballast, son surplus ou son manque par kilomètre de voie ferroviaire pour un contrôle sur des longues distances.

[0045] Avantageusement et selon l'invention, l'étape

de calcul de la conformité du volume de ballast par rapport au profil théorique comprend :

- une sous-étape de détection d'un surplus de ballast si l'altitude du point de ballast réel est supérieure à l'altitude du point de quadrillage associé de l'ensemble des profils théoriques,
- une sous-étape de détection d'un manque de ballast si l'altitude du point de ballast réel est inférieure à l'altitude du point de quadrillage associé de l'ensemble des profils théoriques,
- une sous-étape de détection d'une conformité du volume de ballast si l'altitude du point de ballast réel est comprise entre l'altitude du point de quadrillage associé à un premier profil théorique et l'altitude du point de quadrillage associé à un deuxième profil théorique.

[0046] L'invention concerne également un système de contrôle automatique du volume de ballast d'au moins une portion de voie ferroviaire, le ballast étant étendu autour de la voie ferroviaire sous la forme d'une banquettes supportée par une piste inférieure, caractérisé en ce qu'il comprend :

- un module d'acquisition d'au moins un nuage de points de la portion de voie ferroviaire et du terrain environnant ladite au moins une portion de voie ferroviaire,
- un module d'extraction des files de rail de la voie à étudier à partir du nuage de points,
- un module de création d'un modèle numérique de terrain de la portion de voie ferroviaire et de son alentours à partir du nuage de points,
- un module de création d'au moins un profil théorique de ballast à partir de données représentatives de normes prédéterminées de profil de ballast,
- un module de calcul de la conformité du volume de ballast par rapport au profil théorique.

[0047] Les effets et avantages techniques du procédé selon l'invention s'appliquent *mutatis mutandis* au système selon l'invention.

[0048] L'unité de traitement du système selon l'invention comprend par exemple un dispositif informatique qui doit être entendu au sens large (ordinateur, pluralité d'ordinateurs, serveur virtuel sur internet, serveur virtuel sur Cloud, serveur virtuel sur une plate-forme, serveur virtuel sur une infrastructure locale, réseaux de serveurs, etc.)....

[0049] Dans tout le texte, on désigne par module, un élément logiciel, un sous-ensemble d'un programme logiciel, pouvant être compilé séparément, soit pour une utilisation indépendante, soit pour être assemblé avec d'autres modules d'un programme, ou un élément matériel, ou une combinaison d'un élément matériel et d'un sous-programme logiciel. Un tel élément matériel peut comprendre un circuit intégré propre à une application

(plus connu sous l'acronyme ASIC pour la dénomination anglaise *Application-Specific Integrated Circuit*) ou un circuit logique programmable (plus connu sous l'acronyme FPGA pour la dénomination anglaise *Field-Programmable Gate Array*) ou un circuit de microprocesseurs spécialisés (plus connu sous l'acronyme DSP pour la dénomination anglaise *Digital Signal Processor*) ou tout matériel équivalent ou toute combinaison des matériels précités. D'une manière générale, un module est donc un élément (logiciel et/ou matériel) qui permet d'assurer une fonction.

[0050] Avantageusement, le système de contrôle automatique selon l'invention est configuré pour mettre en oeuvre le procédé de contrôle automatique selon l'invention.

[0051] Avantageusement, le procédé de contrôle automatique selon l'invention est configuré pour être mis en oeuvre par le système de contrôle automatique selon l'invention.

[0052] L'invention concerne également un produit programme d'ordinateur de contrôle automatique du volume de ballast d'au moins une portion de voie ferroviaire, le ballast étant étendu autour de la voie ferroviaire sous la forme d'une banquette supportée par une piste inférieure, ledit produit programme d'ordinateur étant caractérisé en ce qu'il comprend des instructions de code de programme pour l'exécution, lorsque ledit produit programme d'ordinateur est exécuté sur un ordinateur, des étapes d'un procédé comprenant :

- une étape d'acquisition d'au moins un nuage de points de la portion de voie ferroviaire et du terrain environnant ladite au moins une portion de voie ferroviaire,
- une étape d'extraction des files de rail de la voie à étudier à partir du nuage de points,
- une étape de création d'un modèle numérique de terrain de la portion de voie ferroviaire et de son alentour à partir du nuage de points,
- une étape de création d'au moins un profil théorique de ballast à partir de données représentatives de normes prédéterminées de profil de ballast,
- une étape de calcul de la conformité du volume de ballast par rapport au profil théorique.

[0053] Avantageusement, le système de contrôle automatique selon l'invention est configuré pour exécuter le produit programme d'ordinateur de contrôle automatique selon l'invention.

[0054] Avantageusement, le produit programme d'ordinateur de contrôle automatique selon l'invention est configuré pour être exécuté par un module ou une pluralité de modules du système de contrôle automatique selon l'invention.

[0055] Avantageusement, le produit programme d'ordinateur de contrôle automatique est configuré pour exécuter les étapes du procédé de contrôle automatique selon l'invention.

Liste des figures

[0056] D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante donnée à titre uniquement non limitatif et qui se réfère aux figures annexées dans lesquelles :

- la figure 1 est une vue schématique en coupe d'une portion de voie ferroviaire,
- la figure 2 est une vue schématique d'un procédé de contrôle automatique du volume de ballast selon un mode de réalisation de l'invention,
- la figure 3 est une vue schématique en coupe d'une portion de voie ferroviaire telle que représentée dans un modèle numérique de terrain tel que créé lors de l'exécution d'un procédé de contrôle automatique du volume de ballast selon un mode de réalisation de l'invention,
- la figure 4 est une vue schématique en coupe d'une portion de voie ferroviaire dans laquelle sont visibles des paramètres de dimension du ballast,
- la figure 5 est une vue schématique en perspective d'un modèle numérique de terrain tel que créé lors de l'exécution d'un procédé de contrôle automatique du volume de ballast selon un mode de réalisation de l'invention,
- la figure 6 est une vue schématique en coupe d'une portion de voie ferroviaire dans laquelle sont visibles des paramètres de dimension du ballast et de profils théoriques tels que créés lors de l'exécution d'un procédé de contrôle automatique du volume de ballast selon un mode de réalisation de l'invention.

Description détaillée d'un mode de réalisation de l'invention

[0057] Sur les figures, les échelles et les proportions ne sont pas strictement respectées et ce, à des fins d'illustration et de clarté.

[0058] Les éléments identiques, similaires ou analogues sont désignés par les mêmes références dans toutes les figures.

[0059] La figure 1 illustre schématiquement en coupe une portion 10 de voie ferroviaire. La portion 10 de voie ferroviaire comprend deux voies de circulation, une première voie 12a de circulation formée de deux rails 14a et 14b, et une deuxième voie 12b de circulation formée de deux rails 16a et 16b. Les rails 14a et 14b de la première voie 12a de circulation sont portés par une traverse 18a et les rails 16a et 16b de la deuxième voie 12b de circulation sont portés par une traverse 18b.

[0060] La voie ferroviaire comprend également du ballast, agencé sous forme d'une banquette 20 de ballast supportant et entourant les traverses 18a et 18b de la portion de voie ferroviaire ; Le nom de banquette se réfère à la forme particulière formant une coupe trapézoïdale lorsqu'il est déposé sur la voie. Le ballast est, de façon connue, formé de couches de pierres et/ou de gra-

viens et permet notamment le maintien en position des traverses et des rails lorsqu'ils sont soumis aux contraintes mécaniques lors du passage des véhicules ferroviaires. Les matériaux utilisés pour former le ballast dépendent notamment de la surface de support du ballast et de la zone géographique dans laquelle se situe la voie ferroviaire, notamment pour des questions de facilité d'approvisionnement local au vu de la quantité nécessaire. La banquette 20 de ballast est supportée par une piste 22 inférieure formée par exemple dans ce mode de réalisation d'une sous-couche 24 et d'une couche 26 de forme. La portion de voie ferroviaire peut comprendre d'autres éléments, par exemple un dispositif 27 longitudinal de drainage.

[0061] La banquette 20 de ballast est notamment caractérisée par un pied de banquette qui correspond au point d'intersection entre une pente de la banquette de ballast et la piste sur laquelle repose le ballast. Dans ce mode de réalisation, la banquette 20 de ballast comprend un premier pied 28a de banquette et un deuxième pied 28b, aux intersections entre les deux pentes de la banquette avec la sous-couche 24 sur laquelle repose le ballast.

[0062] La figure 2 illustre schématiquement un procédé de contrôle automatique du volume de ballast d'au moins une portion de voie ferroviaire, selon un mode de réalisation de l'invention. En particulier, le procédé peut s'appliquer à une portion de voie ferroviaire telle que décrite en référence avec la figure 1.

[0063] Le procédé 100 comprend en particulier une étape 110 d'acquisition d'au moins un nuage de points de la portion de voie ferroviaire et du terrain environnant ladite au moins une portion de voie ferroviaire. Les nuages de points peuvent être en particulier acquis par des engins de surveillance de la voie (ESV) qui sont équipés de LiDAR et qui parcourent la voie ferroviaire dont fait partie la portion de voie ferroviaire à contrôler. Ces nuages de points sont ainsi représentatifs de l'état de la voie à l'instant donné où la capture a été effectuée. Les nuages de points contiennent les caractéristiques topographiques et géométriques des différents éléments de la voie tels que le ballast, les rails, les quais, les poteaux caténaires, etc. Ces données sont par ailleurs de préférence géolocalisées avec une précision de l'ordre de quelques centimètres, 5 centimètres en moyenne. Le nuage de points peut également être obtenu par une étape de photogrammétrie à partir d'images photographiques de chaque portion de voie.

[0064] Le procédé 100 peut également comprendre ensuite une étape 112 de prétraitement de chaque nuage de points. Cette étape permet de rendre le nuage de points plus exploitable et géométriquement fiable, par exemple par conversion des données du nuage de point dans un format LAS (.las) ou LAZ (.laz), et par exemple par réunion de plusieurs nuages de point en un seul nuage de point.

[0065] Le procédé 100 comprend ensuite une étape 114 d'extraction des files de rail de la voie à étudier à

partir du nuage de points. Cette étape 114 comprend en particulier une sous-étape 114a d'identification des points associés à chaque rail dans le nuage de points, et une sous-étape 114b de détermination de polygones représentant les files de rail à partir des points associés à chaque rail.

[0066] Cette extraction consiste en l'identification de la position précise des files de rails de chacune des voies présentes dans un nuage de points. Ces informations sont enfin présentées sous forme d'un nombre de polygones égal au nombre de voies dans le nuage en distinguant la file droite et la file gauche. Les coordonnées des vertex relatifs aux rails sont alors exploitables comme références pour effectuer des calculs géométriques pour manipuler les points du nuage.

[0067] Le procédé 100 comprend ensuite une étape 116 de création d'un modèle numérique de terrain de la portion de voie ferroviaire et de son alentour à partir du nuage de points, éventuellement après prétraitement. Cette étape 116 comprend une sous-étape 116a de conversion du nuage de points en vertex formant les sommets de faces polygonales, de préférence triangulaires, lesdites faces polygonales étant représentatives de la surface du sol et des éléments de la voie ferroviaire posés au sol.

[0068] Le modèle numérique de terrain, aussi connu sous son abréviation MNT ou en anglais *digital terrain model* (DTM) prennent compte uniquement de la géométrie des éléments au sol, donc incluant le ballast, et représentent ainsi la surface du sol sous forme de maillage en triangles. Ce format de données permet de faciliter l'étude volumétrique du ballast.

[0069] Le procédé 100 comprend ensuite une étape 118 facultative de détection du pied de banquette le long d'au moins une file de rail dans le modèle numérique de terrain, le pied de banquette correspondant au point d'intersection entre une pente de la banquette de ballast et la piste sur laquelle repose le ballast. La détection du pied de banquette permet de travailler sur la même surface d'étude entre les profils théorique décrits plus bas et les données du modèle numérique de terrain.

[0070] L'étape 118 de détection du pied de banquette comprend notamment une sous-étape 118a de coupe selon un plan perpendiculaire à une file de rail, de sorte à obtenir une pluralité de coupe répartis sur la longueur de la file de rail, chaque coupe comprenant une pluralité de vertex du modèle numérique de terrain. Un exemple de ces coupes est représenté schématiquement sur la figure 3. Chaque coupe est par exemple obtenue en récupérant les points situés à cinq mètres de part et d'autre de l'extraction de rail 14a, puis par filtrage des points de la coupe à plus de cinq mètres et à moins de cinquante cm de la file de rail 14a du côté où se trouve le pied 28a de banquette, de sorte à réduire le nombre de points à traiter.

[0071] L'étape 118 de détection du pied de banquette comprend ensuite une sous-étape 118b de division de chaque coupe en bandes 30 verticales selon un pas de

valeur d prédéterminée, par exemple dix centimètres, chaque bande verticale comprenant une partie des vertex, comme visibles sur la figure 3.

[0072] L'étape 118 de détection du pied de banquette comprend ensuite une sous-étape 118c de détermination, pour chaque bande 30 verticale de la coupe, du point dont la valeur d'altitude est la plus basse. Si aucun point n'est détecté dans la bande verticale, une valeur peut lui être attribuée, par exemple (-1 ; -1). Si les premiers points les plus bas sont des coordonnées négatives, la détection du pied de banquette peut ne pas être possible et le procédé 110 continue à l'étape suivante sans connaissance du pied de banquette.

[0073] Les coordonnées de points manquants peuvent être extrapolée linéairement à partir des points dont la valeur d'altitude est la plus basse sur les bandes adjacentes.

[0074] L'étape 118 de détection du pied de banquette comprend ensuite une sous-étape 118d de détection, à partir de l'ensemble des points de la coupe dont la valeur d'altitude est la plus basse, d'un groupe desdits points de l'ensemble formant un profil de pente et d'au moins un groupe desdits points formant un profil plat. En particulier, l'étape permet de détecter généralement deux profils plats, un premier profil 32a plat au niveau du rail et un deuxième profil 32b plat après le pied de banquette, séparés par le profil 34 de pente.

[0075] La sous-étape 118d comprend notamment :

- un parcours de l'ensemble des points les plus bas après interpolation tant que l'on détecte un profil plat. On considère que deux points représentent un profil plat si la différence de leur altitude ne dépasse pas un tiers du pas.
- une fois sortit du premier profil plat, on itère au niveau du profil de pente jusqu'à réidentifier un profil plat.
- si trois points consécutifs ont un profil plat, on considère que le pied de banquette a été trouvé.

[0076] Si la détection du pied de banquette échoue, on déclare le pied de banquette à cinquante centimètres de la file de rail du côté de la banquette avec une altitude à -1 pour reconnaître les points affectés par défaut.

[0077] L'étape 118 de détection du pied de banquette comprend ensuite une sous-étape 118e de détermination d'un point formant le pied de banquette pour chaque coupe comme intersection d'au moins un profil plat et du profil de pente.

[0078] L'étape 118 de détection du pied de banquette comprend ensuite une sous-étape 118f de lissage, pour l'ensemble des coupes, du pied de banquette sur l'ensemble de la portion de voie détectés sur chaque coupe.

[0079] De façon alternative, la détection de banquette peut être réalisée à l'aide d'un modèle d'apprentissage préalablement entraîné à la détection de pied de banquette, soit à partir des coupes ou directement sur le modèle numérique de terrain complet.

[0080] Le procédé 100 comprend ensuite une étape

120 de création d'au moins un profil théorique de ballast à partir de données représentatives de normes prédéterminées de profil de ballast. De préférence, deux profils théoriques sont créés, comme décrit ci-dessous et visible sur la figure 3 représentant un premier profil 36a théorique et un deuxième profil 36b théorique. Chaque profil théorique est un profil de banquette de ballast calculé à partir des normes ferroviaires appliquées sur le territoire en question.

[0081] Cette étape 120 est en outre réalisée à partir de données représentatives du type de traverse et du type de profil de la banquette de ballast. Pour ce faire, le procédé comprend une étape 122 de réception des données représentatives de normes prédéterminées de profil de ballast, des données représentatives du type de traverse et du type de profil de la banquette de ballast à partir d'une base de données centralisée regroupant ces données pour un ensemble de voies ferroviaires dont fait partie la portion de voie ferroviaire. Cette base de données centralisée est par exemple une base de données faisant l'inventaire des différentes caractéristiques actuelles des éléments de la voie sur tout son linéaire, et détaillant les types de profils de ballast, de matériaux des rails et traverses sur chacun des tronçons homogènes découlant de travaux de maintenance et de régénération. Dans ce système, les profils de ballast et les types de traverses sont principalement utilisés.

[0082] Il existe de nombreux types de traverses : Béton Bibloc, Monobloc, Bois, Métallique, etc. Le type de traverse va permettre de définir principalement les différents points définissant le profil théorique, appelés ici points de départ, points hauts et point bas.

[0083] Le profil de ballast peut également être de différents types, par exemple trois types de profils : profil plein, profil renforcé ou profil super renforcé selon les caractéristiques de la voie, du terrain, de la courbure, des véhicules ferroviaires l'empruntant, etc.

[0084] La figure 4 illustre schématiquement en coupe une portion de voie ferroviaire telle que représentée dans un modèle numérique de terrain, faisant apparaître ces différents points. En compte le gisement (l'inclinaison entre la file de rail gauche et la file de rail droit), on calcule ces points avec les normes en vigueur pour chaque profil.

[0085] L'étape 120 de création d'au moins un profil théorique comprend ainsi une sous-étape 120a de détermination d'un ensemble de points de départ A de la banquette, au niveau d'au moins une traverse 18a portant le rail 14a, les points étant répartis le long de la portion de voie ferroviaire.

[0086] L'étape 120 de création d'au moins un profil théorique comprend ensuite une sous-étape 120b de détermination d'un ensemble de points hauts B de la banquette, la surface définie par les points de départ A et les points hauts B formant un profil plat de la banquette de ballast, caractérisé par ses dimensions X et Y. Ces points dépendent du type de traverse et du profil de banquette.

[0087] L'étape 120 de création d'au moins un profil

théorique comprend ensuite une sous-étape 120c de détermination de chaque profil théorique par génération d'une surface théorique représentative d'un profil de pente théorique de la banquette du ballast, à partir de l'ensemble des points hauts et de paramètres prédéterminés d'inclinaison de la surface théorique en fonction des données de normes. En particulier, deux profils théoriques peuvent être créés, en faisant varier les paramètres w et z d'inclinaison correspondant respectivement à la hauteur de la pente et à la largeur de la pente, en particulier :

- un premier profil 36a dit profil 3/1 avec un rapport $z/w=3/1$, par exemple $z = 6\text{m}$ et $w=2\text{m}$.
- un deuxième profil 36b dit profil 3/2 avec un rapport $z/w=3/2$, par exemple $z = 6\text{m}$ et $w=4\text{m}$.

[0088] L'étape 120 de création d'au moins un profil théorique peut également comprendre une sous-étape 120d de suppression, sur la surface théorique, des points associés à une altitude inférieure à l'altitude du pied de banquette et des points dont la distance à la file de rail est supérieure à la distance entre la file de rail et le pied de banquette. Le point bas C correspond ainsi à un point du profil dont l'altitude est égale au pied de banquette et à une distance de la file de rail inférieure au pied de banquette. Le profil est ainsi corrigé avec le pied de banquette. L'altitude du point C des profils théorique ne pourra pas être plus basse que l'altitude du pied de banquette et pas plus éloigné des voies que le pied de banquette afin d'avoir une surface d'étude équivalente sur le réel et le théorique.

[0089] Les profils théoriques générés point par point à partir de l'extraction de rail vont permettre de générer le maillage de la géométrie 3D des profils de banquette théoriques de ballast en utilisant principalement la triangulation de Delaunay. Ce maillage peut ainsi être inclus dans le modèle numérique de terrain pour obtenir un modèle tel que visible sur la figure 5 illustrant en perspective un modèle 200 numérique de terrain tel que créé lors de l'exécution d'un procédé de contrôle automatique du volume de ballast selon un mode de réalisation de l'invention.

[0090] Sur le modèle sont visibles la surface 202 du terrain, les files 14 de rail, les lignes 28 formés par l'ensemble des pieds de banquette de chaque côté du ballast, les premiers profils 36a et 36a' théoriques de chaque côté du ballast et les deuxièmes profils 36b et 36b' de chaque côté du ballast.

[0091] Le procédé 100 comprend ensuite une étape 124 de calcul de la conformité du volume de ballast par rapport au profil théorique.

[0092] Cette étape 124 de calcul de la conformité du volume de ballast comprend une sous-étape 124a de discrétisation selon une dimension longitudinale à la file de rail et une dimension latérale à la file de rail, de chaque profil théorique selon des pas prédéfinis, le long de la portion de voie ferroviaire, de sorte à obtenir un ensemble de points formant un quadrillage de chaque profil théo-

rique.

[0093] Cette étape 124 de calcul de la conformité du volume de ballast comprend ensuite une sous-étape 124b de détermination, pour chaque point du quadrillage, du point du modèle numérique de terrain le plus proche dudit point du quadrillage, dit point de ballast réel. De préférence, cette étape comprend une recherche du point le plus proche dans les données MNT discrétisé se situant à moins de 20cm.

[0094] Cette étape 124 de calcul de la conformité du volume de ballast comprend ensuite une sous-étape 124c de calcul de la différence entre l'altitude du point du quadrillage et l'altitude du point de ballast réel associé, ladite différence étant représentative d'un surplus ou d'un manque de ballast au niveau de ce point du quadrillage, Cette étape 124 de calcul de la conformité du volume de ballast comprend ensuite une sous-étape 124d d'addition d'un ensemble de différence calculée correspondant à une pluralité de points du quadrillage, de sorte à obtenir un volume de ballast total sur la portion de voie ferroviaire. De préférence, cette sous-étape comprend, en itérant sur chaque point de rail, un calcul du volume mètre par mètre en additionnant les volumes des éléments discrets autour du point de rail pour avoir des volumes par point kilométrique.

[0095] En particulier, l'étape 124 de calcul de la conformité du volume de ballast comprend :

- une sous-étape 124e de détection d'un surplus de ballast si l'altitude du point de ballast réel est supérieure à l'altitude du point de quadrillage associé de l'ensemble des profils théoriques,
- une sous-étape 124f de détection d'un manque de ballast si l'altitude du point de ballast réel est inférieure à l'altitude du point de quadrillage associé de l'ensemble des profils théoriques,
- une sous-étape 124g de détection d'une conformité du volume de ballast si l'altitude du point de ballast réel est comprise entre l'altitude du point de quadrillage associé à un premier profil théorique et l'altitude du point de quadrillage associé à un deuxième profil théorique.

[0096] Par exemple, dans le mode de réalisation décrit, pour que la quantité de ballast soit conforme, il faut que le profil de ballast réel se trouve entre les profils théoriques 3/1 et 3/2. Un tel profil conforme est représenté en référence avec la figure 6 illustrant schématiquement en coupe une portion de voie ferroviaire dans laquelle sont visibles des paramètres de dimension du ballast et de profils théoriques tels que créés lors de l'exécution d'un procédé de contrôle automatique du volume de ballast selon un mode de réalisation de l'invention. Le profil 40 de ballast est ici compris entre le premier profil 36a théorique et le deuxième profil 36b théorique.

[0097] Le profil théorique 3/2 va ainsi donner le minimum de ballast possible et le profil théorique 3/1 donnera le maximum. Au-delà du profil 3/1, il y aura surplus de

ballast et en deçà du profil 3/2, il y aura un déficit de ballast.

[0098] En outre, dans ce mode de réalisation :

- si la somme des volumes de ballast calculés entre les données MNT, le profil 3/1 et le profil 3/2 est négative pour les deux profils, il y a un déficit,
- si la somme des volumes de ballast calculés entre les données MNT des volumes pour le profil 3/1 est négative mais positive pour le 3/2, la quantité de ballast est satisfaisante,
- si la somme des volumes de ballast calculés pour les deux profils est positive, il y a surplus de ballast.

[0099] Ainsi, l'estimation de la section transversale du ballast nécessite une connaissance du profil du ballast. Les données LiDAR mettent à disposition des informations topographiques avant les travaux de rénovation, une extraction automatique des profils de ballast à partir de ces données est effectuée. Le profil mesuré est comparé au profil standard pour estimer le surplus de ballast. Idéalement, ce surplus devrait être enlevé avant les travaux de renouvellement et recyclé afin d'optimiser le rendement de la machine de renouvellement du ballast.

[0100] L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation décrits. En particulier, les données générées (Modèles Numériques de Terrain et extraction de rails) peuvent être générées également via différentes manières, le modèle numérique de terrain peut être utilisé pour la détection d'éléments comme le ballast par des méthodes d'apprentissage automatique ou profond préalablement entraînés.

Revendications

1. Procédé de contrôle automatique du volume de ballast d'au moins une portion de voie (12a, 12b) ferroviaire, le ballast étant étendu autour de la voie ferroviaire sous la forme d'une banquette (20) supportée par une piste (22) inférieure, **caractérisé en ce qu'il comprend :**

- une étape (110) d'acquisition d'au moins un nuage de points de la portion de voie ferroviaire et du terrain environnant ladite au moins une portion de voie ferroviaire,
- une étape (114) d'extraction des files (14) de rail de la voie à étudier à partir du nuage de points,
- une étape (116) de création d'un modèle (200) numérique de terrain de la portion de voie ferroviaire et de son alentour à partir du nuage de points,
- une étape (120) de création d'au moins un profil (36a, 36b, 36a', 36b') théorique de ballast à partir de données représentatives de normes prédéterminées de profil de ballast,

- une étape (124) de calcul de la conformité du volume de ballast par rapport au profil théorique.

2. Procédé de contrôle du volume de ballast selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le nuage de points est obtenu par une étape de balayage de chaque portion de voie par un LiDAR, et/ou par une étape de photogrammétrie à partir d'images photographiques de chaque portion de voie.

3. Procédé de contrôle du volume de ballast selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'étape (110) d'acquisition de nuage de points est réalisée par un dispositif monté sur un véhicule ferroviaire.

4. Procédé de contrôle du volume de ballast selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'étape (114) d'extraction des files de rail comprend une sous-étape (114a) d'identification des points associés à chaque rail dans le nuage de points, et une sous-étape (114b) de détermination de polygones représentant les files de rail à partir des points associés à chaque rail.

5. Procédé de contrôle du volume de ballast selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** l'étape (116) de création du modèle numérique de terrain comprend une sous-étape (116a) de conversion du nuage de points en vertex formant les sommets de faces, de préférence triangulaires, lesdites faces étant représentatives de la surface du sol et des éléments de la voie ferroviaire posés au sol.

6. Procédé de contrôle du volume de ballast selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'il** comprend une étape (118) de détection du pied de banquette le long d'au moins une file de rail dans le modèle numérique de terrain, le pied de banquette correspondant au point d'intersection entre une pente de la banquette de ballast et la piste sur laquelle repose le ballast, comprenant :

- une sous-étape (118a) de coupe selon un plan perpendiculaire à une file de rail, de sorte à obtenir une pluralité de coupe répartis sur la longueur de la file de rail, chaque coupe comprenant une pluralité de vertex du modèle numérique de terrain,
- une sous-étape (118b) de division de chaque coupe en bande verticales selon un pas prédéterminé, chaque bande verticale comprenant une partie des vertex,
- une sous-étape (118c) de détermination, pour chaque bande verticale de la coupe, du point dont la valeur d'altitude est la plus basse,
- une sous-étape (118d) de détection, à partir de l'ensemble des points de la coupe dont la

- valeur d'altitude est la plus basse, d'un groupe desdits points de l'ensemble formant un profil de pente et d'au moins un groupe desdits points formant un profil plat,
- une sous-étape (118e) de détermination d'un point formant le pied de banquette pour chaque coupe comme intersection d'au moins un profil plat et du profil de pente,
 - une sous-étape (118f) de lissage, pour l'ensemble des coupes, du pied de banquette sur l'ensemble de la portion de voie.
7. Procédé de contrôle du volume de ballast selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** l'étape (120) de création d'au moins un profil théorique est en outre réalisée à partir de données représentatives du type de traverse et du type de profil de la banquette de ballast.
8. Procédé de contrôle du volume de ballast selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'il** comprend une étape (122) de réception des données représentatives de normes prédéterminées de profil de ballast, des données représentatives du type de traverse et du type de profil de la banquette de ballast à partir d'une base de données centralisée regroupant ces données pour un ensemble de voies ferroviaires dont fait partie la portion de voie ferroviaire.
9. Procédé de contrôle du volume de ballast selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** l'étape (120) de création d'au moins un profil théorique comprend :
- une sous-étape (120a) de détermination d'un ensemble de points de départ de la banquette, au niveau d'au moins une traverse portant le rail, les points étant répartis le long de la portion de voie ferroviaire,
 - une sous-étape (120b) de détermination d'un ensemble de points hauts de la banquette, la surface définie par les points de départ et les points hauts formant un profil plat de la banquette de ballast,
 - une sous-étape (120c) de détermination de chaque profil théorique par génération d'une surface théorique représentative d'un profil de pente théorique de la banquette du ballast, à partir de l'ensemble des points hauts et de paramètres prédéterminés d'inclinaison de la surface théorique en fonction des données de normes.
10. Procédé de contrôle selon une combinaison des revendications 6 et 9, **caractérisé en ce que** l'étape (120) de création d'au moins un profil théorique comprend en outre une sous-étape (120d) de suppression, sur la surface théorique, des points associés à
- une altitude inférieure à l'altitude du pied de banquette et des points dont la distance à la file de rail est supérieure à la distance entre la file de rail et le pied de banquette.
11. Procédé de contrôle du volume de ballast selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** la sous-étape (120c) de détermination de chaque profil théorique comprend la détermination d'au moins deux profils théoriques, par génération de deux surfaces théoriques ayant chacune des paramètres prédéterminés d'inclinaison différents.
12. Procédé de contrôle du volume de ballast selon l'une des revendications 9 à 11, **caractérisé en ce que** l'étape (124) de calcul de la conformité du volume de ballast par rapport au profil théorique comprend :
- une sous-étape (124a) de discrétisation selon une dimension longitudinale à la file de rail et une dimension latérale à la file de rail, de chaque profil théorique selon des pas prédéfinis, le long de la portion de voie ferroviaire, de sorte à obtenir un ensemble de points formant un quadrillage de chaque profil théorique,
 - une sous-étape (124b) de détermination, pour chaque point du quadrillage, du point du modèle numérique de terrain le plus proche dudit point du quadrillage, dit point de ballast réel,
 - une sous-étape (124c) de calcul de la différence entre l'altitude du point du quadrillage et l'altitude du point de ballast réel associé, ladite différence étant représentative d'un surplus ou d'un manque de ballast au niveau de ce point du quadrillage,
 - une sous-étape (124d) d'addition d'un ensemble de différence calculée correspondant à une pluralité de points du quadrillage, de sorte à obtenir un volume de ballast total sur la portion de voie ferroviaire.
13. Procédé de contrôle du volume de ballast selon une combinaison des revendications 11 et 12, **caractérisé en ce que** l'étape (124) de calcul de la conformité du volume de ballast par rapport au profil théorique comprend :
- une sous-étape (124e) de détection d'un surplus de ballast si l'altitude du point de ballast réel est supérieure à l'altitude du point de quadrillage associé de l'ensemble des profils théoriques,
 - une sous-étape (124f) de détection d'un manque de ballast si l'altitude du point de ballast réel est inférieure à l'altitude du point de quadrillage associé de l'ensemble des profils théoriques,
 - une sous-étape (124g) de détection d'une conformité du volume de ballast si l'altitude du point

de ballast réel est comprise entre l'altitude du point de quadrillage associé à un premier profil théorique et l'altitude du point de quadrillage associé à un deuxième profil théorique.

5

14. Système de contrôle automatique du volume de ballast d'au moins une portion de voie ferroviaire, le ballast étant étendu autour de la voie ferroviaire sous la forme d'une banquette (20) supportée par une piste (22) inférieure, **caractérisé en ce qu'il** comprend :

10

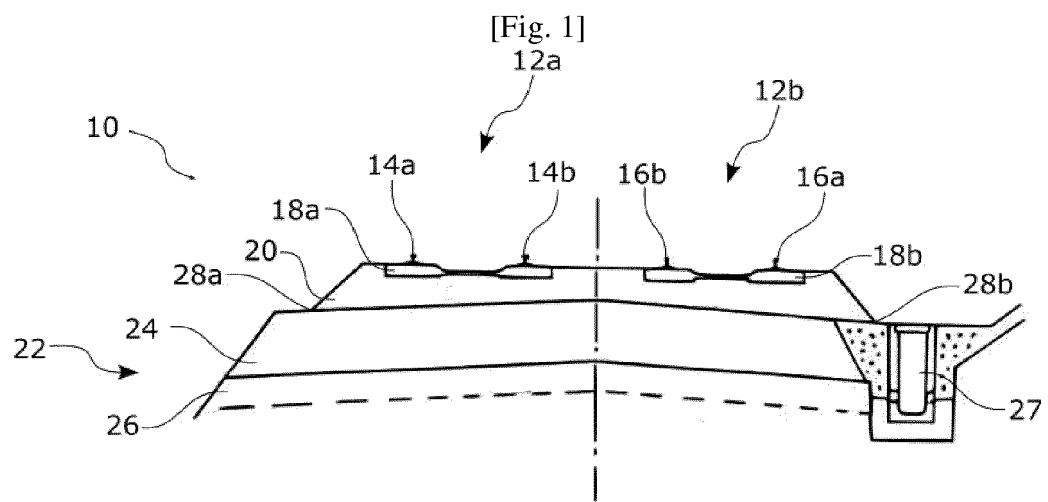
- un module d'acquisition d'au moins un nuage de points de la portion de voie ferroviaire et du terrain environnant ladite au moins une portion de voie ferroviaire, 15
- un module d'extraction des files de rail de la voie à étudier à partir du nuage de points,
- un module de création d'un modèle numérique de terrain de la portion de voie ferroviaire et de son alentour à partir du nuage de points, 20
- un module de création d'au moins un profil théorique de ballast à partir de données représentatives de normes prédéterminées de profil de ballast,
- un module de calcul de la conformité du volume de ballast par rapport au profil théorique. 25

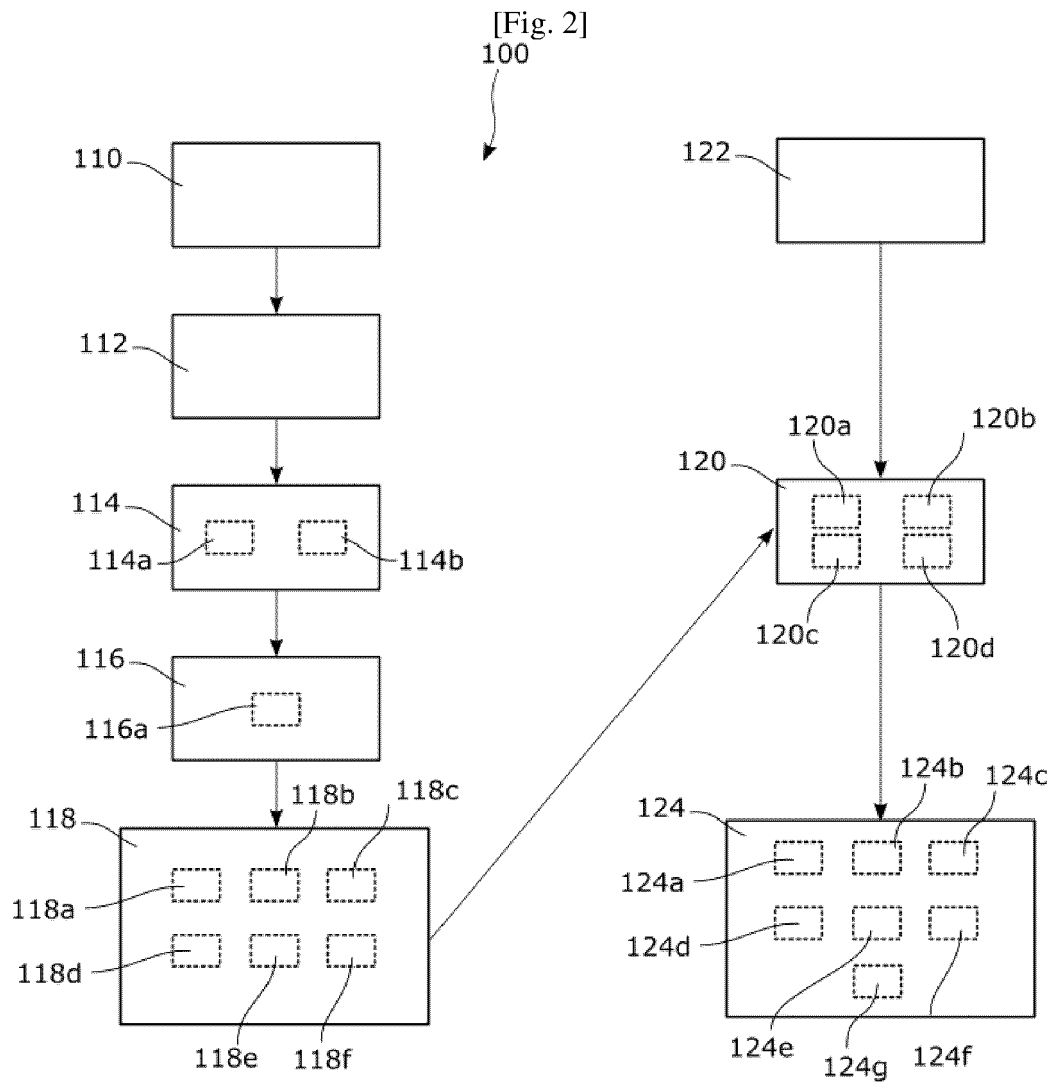
15. Produit programme d'ordinateur de contrôle automatique du volume de ballast d'au moins une portion de voie ferroviaire, le ballast étant étendu autour de la voie ferroviaire sous la forme d'une banquette (20) supportée par une piste (22) inférieure, ledit produit programme d'ordinateur étant **caractérisé en ce qu'il** comprend des instructions de code de programme pour l'exécution, lorsque ledit produit programme d'ordinateur est exécuté sur un ordinateur, des étapes d'un procédé comprenant :

30

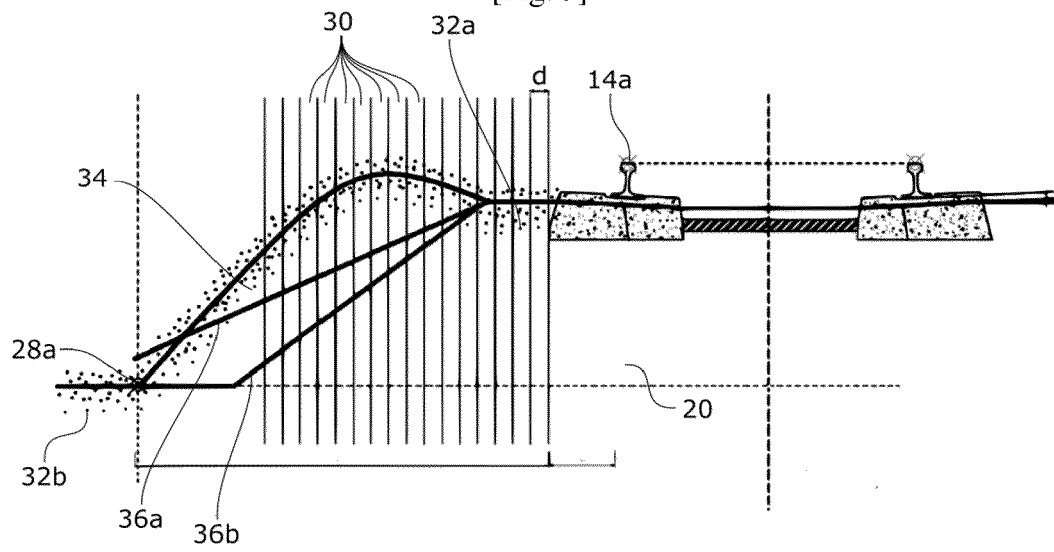
35

- une étape (110) d'acquisition d'au moins un nuage de points de la portion de voie ferroviaire et du terrain environnant ladite au moins une portion de voie ferroviaire, 40
- une étape (114) d'extraction des files de rail de la voie à étudier à partir du nuage de points,
- une étape (116) de création d'un modèle numérique de terrain de la portion de voie ferroviaire et de son alentour à partir du nuage de points, 45
- une étape (120) de création d'au moins un profil théorique de ballast à partir de données représentatives de normes prédéterminées de profil de ballast, 50
- une étape (124) de calcul de la conformité du volume de ballast par rapport au profil théorique. 55

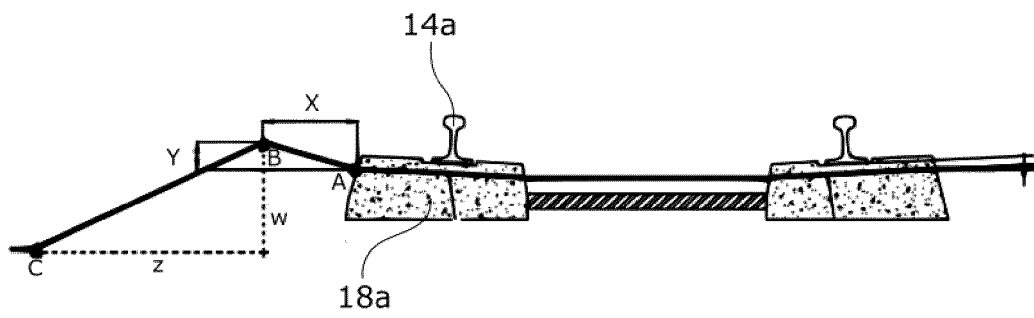




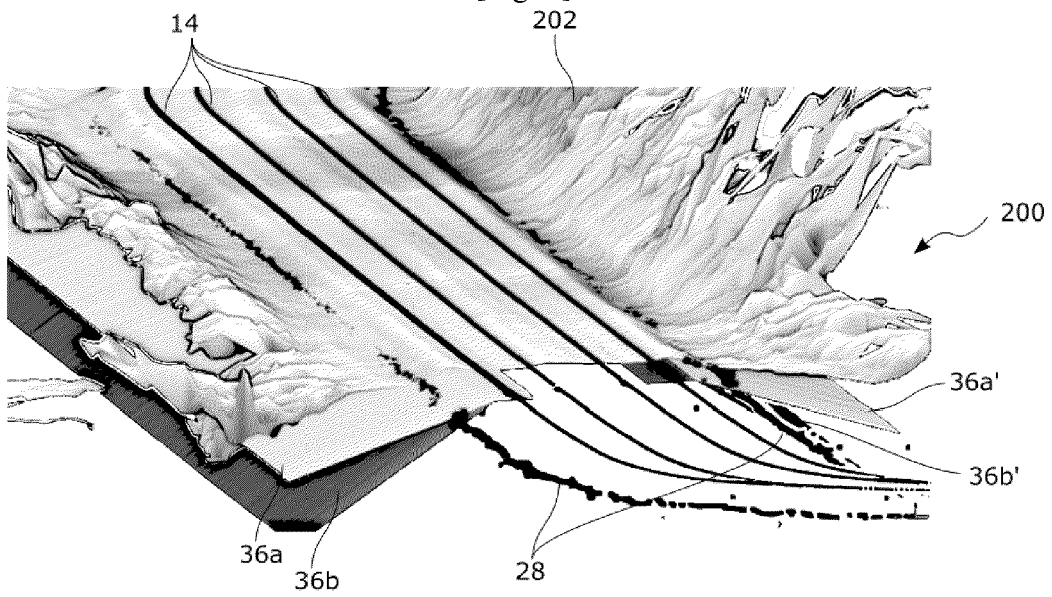
[Fig. 3]



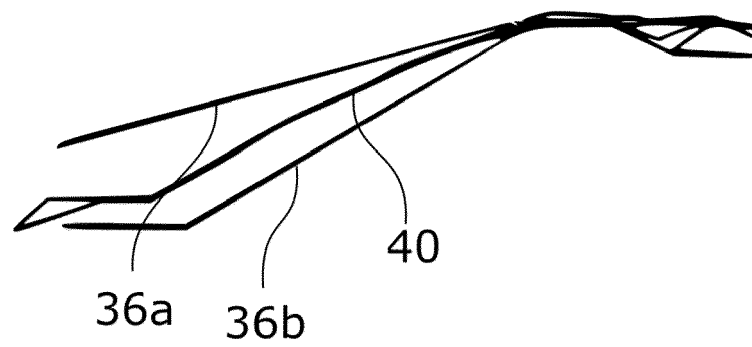
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 24 18 2221

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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	SADEGHI J ET AL: "Development of railway ballast geometry index using automated measurement system", MEASUREMENT, vol. 138, 1 février 2019 (2019-02-01), pages 132-142, XP085662021, ISSN: 0263-2241, DOI: 10.1016/J.MEASUREMENT.2019.01.092	1-10,12,14,15	INV. B61L15/00 B61K9/08 B61L23/04 E01B35/08
Y	* 1. Introduction: Problem definition * * 3. Development of new ballast geometry index; figures 1,2 * * 4.2 Inspection and measuring; page 135 - page 140; figures 5,6,7,8 * -----	11-13	
X	US 2014/297069 A1 (LANDES NATHAN A [US] ET AL) 2 octobre 2014 (2014-10-02)	1-11,14,15	
Y	* alinéa [0008] - alinéa [0009] * * alinéa [0033] - alinéa [0034] * * alinéa [0037] * * alinéa [0042] - alinéa [0043] * -----	11-13	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
X	US 2015/057851 A1 (TURNER H LYNN [US] ET AL) 26 février 2015 (2015-02-26)	1-8,14,15	B61L B61K E01B
A	* revendication 1 * * alinéa [0047] - alinéa [0056]; figures 1,2,4 * * alinéa [0071] - alinéa [0083]; figures 11B,12 * ----- -/-	9-13	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 7 octobre 2024	Examineur Pita Priegue, Miguel
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	



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 24 18 2221

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	YANG BISHENG ET AL: "Automated Extraction of 3-D Railway Tracks from Mobile Laser Scanning Point Clouds", IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING, IEEE, USA, vol. 7, no. 12, 1 décembre 2014 (2014-12-01), pages 4750-4761, XP011570771, ISSN: 1939-1404, DOI: 10.1109/JSTARS.2014.2312378 [extrait le 2015-01-21] * abrégé * * II.A Extracting Railway Bed Areas * * II.C Modeling the Detected Track Points * -----	4-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
Munich		7 octobre 2024	Pita Priegue, Miguel
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 24 18 2221

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.

07 - 10 - 2024

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2014297069 A1	02 - 10 - 2014	AUCUN	
US 2015057851 A1	26 - 02 - 2015	AUCUN	

EPO FORM P0460

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