Office de la Propriété Intellectuelle du Canada
Un organisme d'Industrie Canada

Canadian Intellectual Property Office
An agency of Industry Canada

CA 2701497 C 2014/12/09

(11)(21) 2 701 497

(12) BREVET CANADIEN
CANADIAN PATENT

(13) C

(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2008/10/08
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2009/04/16
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2014/12/09
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2010/04/01
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: CA 2008/001769
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2009/046519
(30) Priorité/Priority: 2007/10/11 (CA2,606,267)

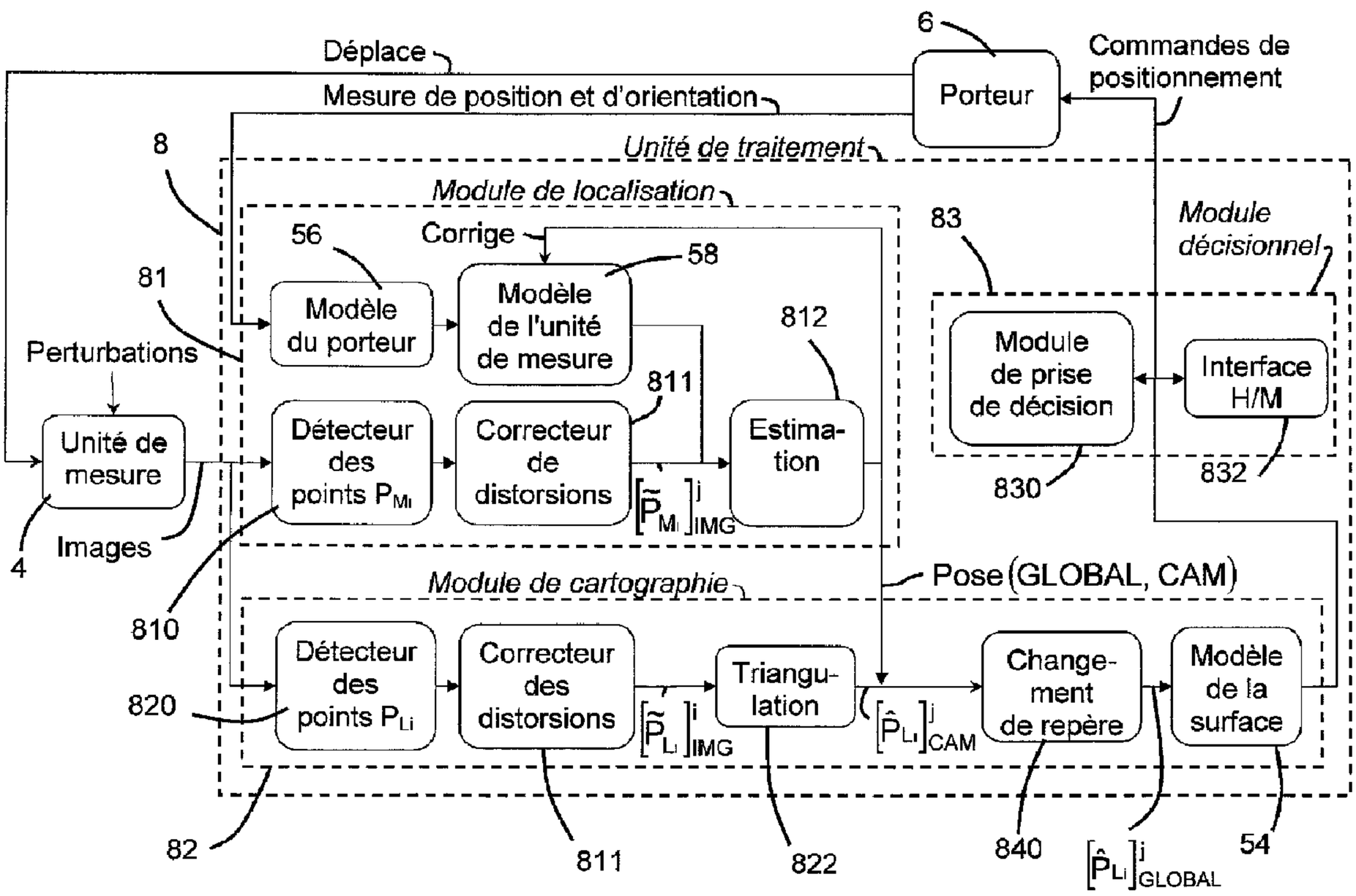
(51) Cl.Int./Int.Cl. *G01B 11/24* (2006.01),
E02D 33/00 (2006.01)

(72) Inventeurs/Inventors:
BEAUDRY, JULIEN, CA;
BLAIN, MICHEL, CA;
COTE, JEAN, CA;
HAZEL, BRUCE, CA;
HOUDE, REGIS, CA;
MIRAILLES, FRANCOIS, CA;
SARRAILLON, SERGE, CA

(73) Propriétaire/Owner:
HYDRO-QUEBEC, CA

(74) Agent: MORIN, LUC

(54) Titre : SYSTEME ET METHODE DE CARTOGRAPHIE TRIDIMENSIONNELLE D'UNE SURFACE STRUCTURELLE
(54) Title: SYSTEM AND METHOD FOR THE THREE-DIMENSIONAL MAPPING OF A STRUCTURAL SURFACE



(57) Abrégé/Abstract:
Système et méthode de cartographie tridimensionnelle d'une surface structurelle. Deux fils sont tendus devant et le long de la surface structurelle de manière à définir une surface de référence. Une unité de mesure comportant un ensemble laser et une caméra est déplacée devant la surface structurelle de manière à balayer progressivement la surface. Deux plans de lumière distincts dirigés vers la surface structurelle sont projetés au moyen de l'ensemble laser. Des images de la surface structurelle contenant des lignes résultant d'une intersection des plans de lumière avec la surface structurelle et quatre points de référence résultant d'une intersection des plans de lumière avec les fils sont captées au moyen de la caméra. Les images sont traitées pour déterminer les coordonnées 3D des lignes définissant la cartographie dans un repère lié à la surface de référence considérant la position et l'orientation de l'unité de mesure d'après les points de référence.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

PCT

(43) Date de la publication internationale
16 avril 2009 (16.04.2009)

(10) Numéro de publication internationale
WO 2009/046519 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G01B 11/24 (2006.01) *E02D 33/00* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/CA2008/001769

(22) Date de dépôt international :
8 octobre 2008 (08.10.2008)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
2,606,267 11 octobre 2007 (11.10.2007) CA

(71) Déposant *(pour tous les États désignés sauf US)* : **HYDRO-QUEBEC** [CA/CA]; 75, boulevard René-Levesque Ouest, Montréal, Québec H2Z 1A4 (CA).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants *(pour US seulement)* : **MIRAILLES, François** [CA/CA]; 381-5, Edouard-Charles, Montréal, Québec H2V 2N1 (CA). **HOUDE, Régis** [CA/CA]; 721, rue Normand-Hudon, Sainte-Julie, Québec J3E 3C1 (CA). **BEAUDRY, Julien** [CA/CA]; 179, Wagner, Châteauguay, Québec J6K 4M9 (CA). **HAZEL, Bruce** [CA/CA]; 3169, de la Forge, Montréal, Québec H1Y 3J1 (CA). **CÔTÉ, Jean** [CA/CA]; 2010, Pricipale, Sainte-Julie-de-Verchères, Québec J3E 2H3 (CA). **BLAIN, Michel** [CA/CA]; 721, rue Mimosas, Saint-Amable, Québec J0L 1N0 (CA). **SARRAILLON, Serge** [CA/CA]; 1591, Côte d'en Haut, Varennes, Québec J3X 1P7 (CA).

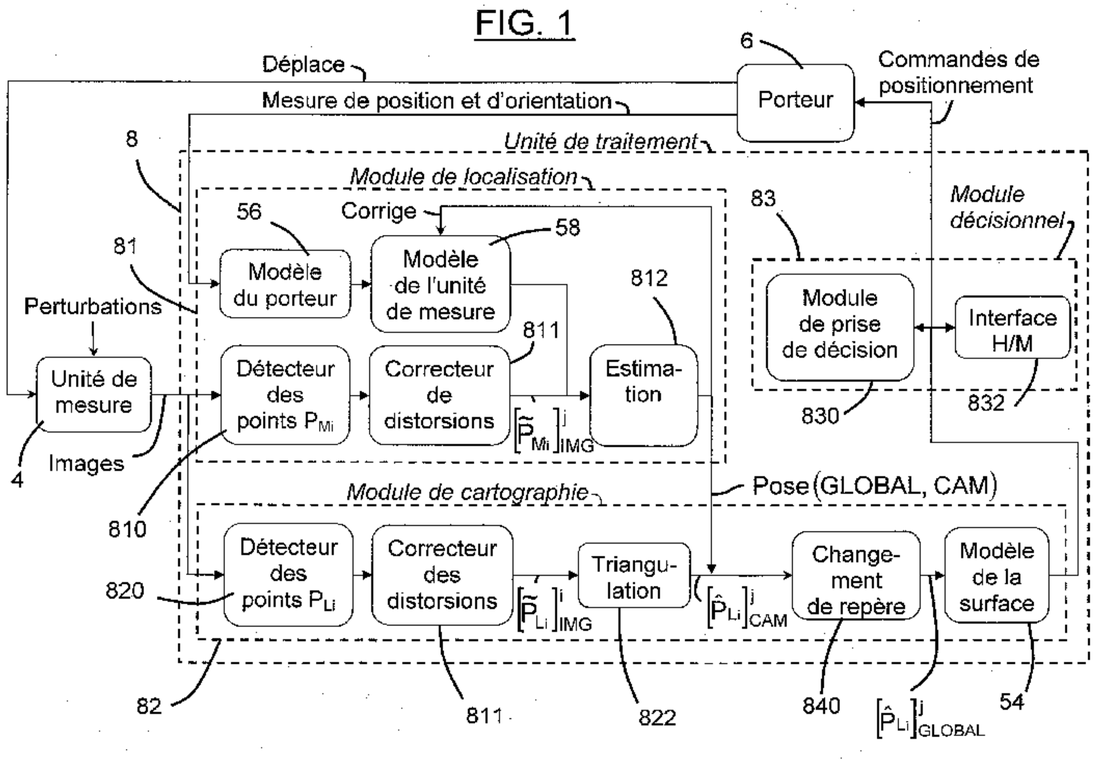
(74) Mandataire : **MORIN, Luc**; 210, boul. de Montarville, Suite 2009, Boucherville, Québec J4B 6T3 (CA).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: SYSTEM AND METHOD FOR THE THREE-DIMENSIONAL MAPPING OF A STRUCTURAL SURFACE

(54) Titre : SYSTÈME ET MÉTHODE DE CARTOGRAPHIE TRIDIMENSIONNELLE D'UNE SURFACE STRUCTURELLE

FIG. 1



(57) **Abstract:** The invention relates to a system and a method for the three-dimensional mapping of a structural surface. Two wires extend at the front of and along the structural surface in order to define a reference surface area. A measuring unit including a laser assembly and a camera is moved in front of the structural surface in order to progressively scan the surface. Two separate light planes directed towards the structural surface are projected using the laser assembly. Images of the structural surface containing lines resulting from an intersection of the light planes with the structural surface and four reference points resulting from an intersection of the light planes with the wires are detected using the camera. The images are processed in order to determine the 3D co-ordinates of the lines defining the mapping in a reference system related to the reference surface area while considering the position and the orientation of the measuring unit based on the reference points.

(57) **Abrégé :** Système et méthode de cartographie tridimensionnelle d'une surface structurelle. Deux fils sont tendus devant et le long de la surface structurelle de manière à définir une surface de référence. Une unité de mesure comportant un ensemble laser et une caméra est déplacée devant la surface structurelle de manière à balayer progressivement la surface. Deux plans de lumière distincts dirigés vers la surface structurelle

[Suite sur la page suivante]

WO 2009/046519 A1

WO 2009/046519 A1

(81) **États désignés** *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale*

sont projetés au moyen de l'ensemble laser. Des images de la surface structurelle contenant des lignes résultant d'une intersection des plans de lumière avec la surface structurelle et quatre points de référence résultant d'une intersection des plans de lumière avec les fils sont captées au moyen de la caméra. Les images sont traitées pour déterminer les coordonnées 3D des lignes définissant la cartographie dans un repère lié à la surface de référence considérant la position et l'orientation de l'unité de mesure d'après les points de référence.

SYSTÈME ET MÉTHODE DE CARTOGRAPHIE TRIDIMENSIONNELLE D'UNE SURFACE STRUCTURELLE

DOMAINE DE L'INVENTION

L'invention porte sur un système et une méthode de cartographie tridimensionnelle d'une surface structurelle susceptible d'être immergée.

ÉTAT DE L'ART

Le maintien en état d'un barrage hydroélectrique nécessite l'inspection et la réparation de structures qui peuvent être immergées. Une simple inspection visuelle à partir de photographies ou de vidéos peut fournir une information qualitative. Ce type d'inspection permet par exemple de vérifier l'état de surface des structures ou bien de détecter la présence de fissures. Cependant pour établir une évaluation plus exploitable de l'état des installations, il est nécessaire de disposer d'informations quantitatives. De telles informations permettent, par exemple, non seulement de détecter des fissures mais aussi de les localiser et les dimensionner précisément, ou encore d'établir le relevé complet d'une structure pour estimer sa déformation.

L'inspection d'une structure sous-marine peut se faire par différents moyens. Une première solution consiste à envoyer des scaphandriers prendre des mesures spatiales de la structure. La réalisation de l'inspection est alors soumise à plusieurs contraintes. Il faut en premier lieu que la zone soit physiquement accessible et que cet accès soit autorisé par les règles de sécurité. L'environnement d'un barrage cumule effectivement les dangers du milieu sous-marin et du milieu industriel. Les scaphandriers ont ensuite besoin d'une visibilité suffisante pour pouvoir prendre les mesures. L'eau peut être troublée par des particules en suspension provenant de la végétation, d'organismes aquatiques ou de la corrosion des pièces métalliques. Ensuite, la qualité des mesures dépend de l'habileté et de l'expérience des scaphandriers. Étant donné que la prise de mesure est manuelle, les résultats ne comportent

aucune notion de confiance ou d'incertitude. Enfin, le temps nécessaire à la prise de mesure peut être long alors que l'arrêt d'une partie d'un barrage pendant l'inspection peut être très coûteux pour l'exploitant. Toutes ces contraintes font que les installations qui le nécessitent ne sont pas toujours inspectées régulièrement. Dans ce cas, l'état du barrage se détériore jusqu'au jour où une de ses parties entre en dysfonction. En somme, une inspection par scaphandriers n'est pas toujours réalisable, a un coût élevé, comporte des dangers pour la vie humaine et limite une exploitation quantitative rigoureuse des résultats.

Une deuxième solution pour l'inspection sous-marine est l'utilisation d'un système robotique. De façon générale, il peut s'agir de tout système téléopéré ou autonome permettant de collecter les données requises pour l'inspection. Dans cette classe se retrouvent les robots mobiles tels que les ROV ("Remotely Operated Vehicle") et les AUV ("Autonomous Underwater Vehicle"). L'utilisation d'un robot offre de nombreux avantages et de nouvelles capacités par rapport à une inspection par scaphandrier. Les contraintes de sécurité ne sont pas les mêmes puisqu'aucun opérateur n'est directement présent dans la zone à inspecter. Les données peuvent être collectées par un plus grand nombre de capteurs différents: caméra, caméra vidéo mais aussi sonar, système de vision passif ou actif. Il est possible de combiner l'utilisation de ces capteurs afin de prendre des mesures dans différentes conditions. Par exemple l'utilisation d'un système de vision offre une bonne précision pour une inspection locale mais un système acoustique permet de collecter des données sur une plus grande plage et dans de mauvaises conditions de visibilité. Le filtrage et la fusion des mesures provenant de plusieurs capteurs peut réduire leur incertitude. Le volume de données recueilli est plus grand. En disposant d'une densité de mesure suffisante, les risques de ne pas détecter une anomalie sont réduits. Une plus grande capacité d'acquisition rend aussi possible l'inspection de structures à grande échelle. C'est pour ces raisons que les robots sous-marins sont activement développés depuis plus de trente ans. La maturité de la technologie rend maintenant leur utilisation possible en industrie.

Les systèmes d'inspection robotisés comportent de nombreux avantages mais leur mise au point pose de nouveaux problèmes et leur fonctionnement peut être mis en défaut dans certaines conditions particulières.

Bien que les données puissent être collectées par différents types de capteurs, chaque capteur est performant pour un usage particulier.

Un des problèmes commun aux robots sous-marins est la localisation précise du système. Or, pour être utilisable, les données collectées doivent être référencées dans un même repère global. Cependant, aux abords d'un barrage, un robot évolue parfois dans un milieu fermé, ce qui peut mettre en défaut son système de localisation. Par exemple, dans le cas des systèmes acoustiques, les ondes émises rebondissent sur les parois et faussent l'interprétation du signal réfléchi. Ou encore, dans le cas des boussoles, le champ magnétique terrestre est déformé par la présence des armatures du béton et empêche une bonne lecture de l'orientation.

L'inspection de certaines structures nécessite une grande précision de mesure. Pour cela, il faut à la fois que le capteur qui réalise effectivement la mesure soit précis mais il faut que le système de localisation du robot le soit également. Actuellement, on arrive en général à une précision de mesure sur les données exprimées dans un repère global de l'ordre du centimètre, ce qui est insuffisant pour certaines applications.

Il est à noter qu'une grande précision de mesure n'est pas suffisante. Un niveau de confiance dans la mesure est également nécessaire. Ce niveau de confiance indique la fiabilité du système et dépend à la fois du système de localisation et du capteur qui réalise la mesure.

Un système d'inspection destiné à fonctionner sur site est soumis aux perturbations rencontrées couramment dans le milieu (particules en suspension, vibrations, chocs). Ainsi, même si le système a une bonne

précision de mesure en conditions idéales, cette précision se dégradera en conditions réelles.

SOMMAIRE

Un objet de la présente invention est de proposer un système et une méthode permettant de cartographier une surface structurelle susceptible d'être immergée qui simplifient la localisation de l'unité de mesure par rapport à la surface.

Un autre objet de la présente invention est de proposer un tel système et une telle méthode qui permettent d'établir une carte de profondeur de la surface structurelle avec un niveau de précision pouvant atteindre une fraction d'un millimètre, par exemple 0,1 mm.

Un autre objet de la présente invention est de proposer un tel système et une telle méthode capables de déterminer si une mesure est valide et aptes à associer une représentation d'incertitude à une mesure si voulu.

Un autre objet de la présente invention est de proposer un tel système ayant une robustesse permettant de l'utiliser en milieu sous-marin dans des conditions possiblement hostiles, et une sensibilité réduite aux perturbations comme des particules en suspension, des vibrations, des chocs.

Un autre objet de la présente invention est de proposer un tel système ayant une certaine autonomie d'opération.

Un autre objet de la présente invention est de proposer un tel système et une telle méthode ayant un degré de flexibilité tel qu'ils soient utilisables ou praticables assez facilement, et puissent s'auto-calibrer.

Un autre objet de la présente invention est de proposer un tel système et une telle méthode qui permettent de prendre des mesures rapidement.

Selon un aspect de la présente invention, il est proposé un système de cartographie tridimensionnelle d'une surface structurelle, comprenant:

deux fils aptes à être tendus le long de la surface structurelle en étant espacés l'un de l'autre de manière à définir une surface de référence devant la surface structurelle;

une unité de mesure comportant un ensemble laser apte à projeter deux plans de lumière distincts dirigés vers la surface structurelle et croisant les fils, et une caméra apte à capter des images de la surface structurelle contenant des lignes résultant d'une intersection des plans de lumière avec la surface structurelle et des points de référence résultant d'une intersection des plans de lumière avec les fils;

un ensemble porteur apte à déplacer l'unité de mesure de manière contrôlée devant la surface structurelle de manière à balayer progressivement la surface structurelle à cartographier; et

une unité de traitement des images captées par la caméra, l'unité de traitement ayant:

un moyen pour déterminer une orientation et une position de l'unité de mesure par rapport à la surface de référence en fonction des points de référence dans les images;

un moyen pour déterminer des coordonnées 3D de points définissant les lignes dans les images par rapport à un repère lié à l'unité de mesure déterminé en fonction de l'orientation et de la position de l'unité de mesure; et

un moyen pour transformer les coordonnées 3D en des données cartographiques représentatives de la surface structurelle dans un repère global lié à la surface de référence définie par les fils.

Selon un autre aspect de la présente invention, il est proposé une méthode de cartographie tridimensionnelle d'une surface structurelle, comprenant les étapes de:

a) tendre deux fils le long de la surface structurelle en les espaçant l'un de l'autre de manière à définir une surface de référence devant la surface structurelle;

b) déplacer une unité de mesure comportant un ensemble laser et une caméra de manière contrôlée devant la surface structurelle de manière à balayer progressivement la surface structurelle;

c) projeter deux plans de lumière distincts dirigés vers la surface structurelle au moyen de l'ensemble laser;

d) capter des images de la surface structurelle contenant des lignes résultant d'une intersection des plans de lumière avec la surface structurelle et quatre points de référence résultant d'une intersection des plans de lumière avec les fils au moyen de la caméra;

e) déterminer une orientation et une position de l'unité de mesure par rapport à la surface de référence en fonction des points de référence dans les images;

f) déterminer des coordonnées 3D de points définissant les lignes dans les images par rapport à un repère lié à l'unité de mesure déterminé en fonction de l'orientation et de la position de l'unité de mesure; et

g) transformer les coordonnées 3D en des données cartographiques représentatives de la surface structurelle dans un repère lié à la surface de référence définie par les fils.

DESCRIPTION BRÈVE DES DESSINS

Une description détaillée des réalisations préférées de l'invention sera donnée ci-après en référence avec les dessins suivants, dans lesquels les mêmes numéros font référence à des éléments identiques ou similaires:

Figure 1 est un diagramme schématique illustrant un système pour produire des données cartographiques d'une surface structurelle selon l'invention.

Figure 2 est un diagramme schématique illustrant un ensemble porteur du système.

Figure 3 est un diagramme schématique illustrant une unité de mesure du système.

Figure 4 est un diagramme schématique illustrant une vue de dessus d'une unité de mesure du système.

Figure 5 est un diagramme schématique illustrant une configuration alternative d'une unité de mesure du système.

Figure 6 est un diagramme schématique illustrant une image captée par l'unité de mesure.

Figure 7 est un diagramme schématique illustrant une chaîne d'acquisition du système.

Figure 8 est un diagramme schématique illustrant un système monté entre des rails d'une vanne de barrage.

Figure 9 est un diagramme schématique illustrant un système de déplacement d'une unité de mesure du système.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES RÉALISATIONS PRÉFÉRÉES

En référence à la Figure 1, il est montré un schéma du système de cartographie tridimensionnelle d'une surface structurelle 2 (montrée à la figure 3) selon l'invention. Le système comporte une unité de mesure 4, un ensemble porteur 6 apte à déplacer l'unité de mesure 4, et une unité de traitement 8 connectée à l'unité de mesure 4 et à l'ensemble porteur 6.

En référence à la Figure 3, le système comporte également deux fils 10, 12 parallèles et aptes à être tendus le long de la surface structurelle 2 en étant espacés l'un de l'autre de manière à définir une surface de référence devant la

surface structurelle 2. L'unité de mesure 4 comporte un ensemble laser formé de deux lasers 14, 16 aptes à projeter deux plans de lumière distincts 18, 20 dirigés vers la surface 2, et une caméra 22 munie d'une lentille 21. Dans le cas où les fils 10, 12 forment une surface de référence qui n'est pas plane ou dans le cas où les fils 10, 12 ne sont pas parallèles, le défaut de parallélisme ou de planéité relatif à l'unité de mesure 4 sera utilisé afin d'apporter les corrections voulues aux mesures réalisées par l'unité de traitement 8 (illustré à la Figure 1).

En référence aux Figures 3 et 6, la caméra 22 est apte à capter des images 28 de la surface 2 contenant des lignes 24, 26 résultant d'une intersection des plans de lumière 18, 20 avec la surface 2 et quatre points de référence P_{M1}, P_{M2}, P_{M3}, P_{M4} résultant d'une intersection des plans de lumière 18, 20 avec les fils 10, 12.

En référence aux Figures 2 et 8, l'ensemble porteur 6 portant l'unité de mesure 4 peut prendre la forme d'un bâti comportant un élément mobile 36 tel un bras auquel l'unité de mesure 4 est fixé, et un ensemble d'éléments de guidage transversal et vertical 30, 32, 34 de l'élément mobile 36. L'ensemble porteur est ainsi apte à déplacer l'unité de mesure 4 de manière contrôlée devant la surface 2 (montrée à la Figure 3) de manière à balayer progressivement la surface 2 (en partie ou en totalité). L'ensemble mobile peut prendre différentes formes, en autant que sa construction permet d'atteindre la surface 2 à inspecter et de déplacer l'unité de mesure 4 devant la surface 2 de manière contrôlée afin de construire la carte de profondeur de la surface 2. Par exemple, l'élément de guidage transversal 30 peut être constitué d'un treillis rigide tel que montré à la Figure 8, monté de manière coulissante sur des guides latéraux 32, 34 formant les éléments de guidage vertical, pour permettre de déplacer le treillis 30 verticalement (ou dans une direction équivalente selon la situation / orientation de la surface à examiner) par rapport à la surface 2 tel qu'illustré par les flèches 38, 40 (montrées à la Figure 2). Le bras 36 est monté de manière coulissante sur le treillis 30 pour permettre de le déplacer horizontalement (ou dans une direction équivalente selon la situation / orientation de la surface à

examiner) par rapport à la surface 2 tel qu'illustré par les flèches 42, 44 (montrées à la Figure 2).

En référence à la Figure 9, le coulissement du bras 36 par rapport au treillis 30 (montré à la Figure 8) pour positionner et déplacer l'unité de mesure 4 (montré à la Figure 8) peut être réalisé au moyen d'engrenages entraînés par un ou des moteurs montés ou non sur le bâti 6 selon le type de moteur – pneumatique, électrique, hydraulique, etc. Par exemple, un moteur électrique rotatif submersible 112 doté d'un pignon 111 en contact avec une crémaillère 110 peut servir à déplacer le bras 36 le long d'un arrangement de rails 60. De préférence, l'élément mobile 36 procurera un positionnement précis à l'unité de mesure 4. Par exemple, un encodeur optique rotatif submersible 114 doté d'un pignon 115 en contact avec la crémaillère 110 peut servir à mesurer le déplacement horizontal de l'élément mobile 36. Une unité de commande proportionnelle peut ensuite asservir la position de l'élément mobile 36. Afin de corriger la position de l'unité de mesure 4 en raison de l'inclinaison du bâti 6, un inclinomètre submersible 118 mesurant l'inclinaison selon deux degrés de liberté par rapport à l'horizontale peut être utilisé.

En référence à la Figure 4, les lasers 14, 16 de l'unité de mesure 4 sont fixés rigidement à la caméra 22. Des miroirs 46, 48 peuvent être utilisés pour rediriger les plans de lumière 18, 20 vers la surface 2 tout dépendamment du montage choisi. En outre, les lasers 14, 16 peuvent être disposés sur un même côté de la caméra 22. Un tel arrangement, illustré à la Figure 5, permet de réduire les dimensions de l'unité de mesure 4. Un seul laser peut également être utilisé plutôt que deux. En pareil cas, un arrangement optique approprié (non illustré) pourra être utilisé pour produire les deux plans de lumière 18, 20. Ou encore, les plans de lumières 18, 20 peuvent être produits l'un après l'autre, de manière à apparaître dans des images subséquentes prises par la caméra 22 puis traitées de manière à tenir compte de ce facteur. Il est également possible d'utiliser plus de deux projecteurs lasers. Dans le cas où l'on utilise n projecteurs lasers, l'intersection des n plans de lumière avec les fils 10, 12 produit 2n points P_{Mi}. De la même façon, un projecteur laser peut projeter

plusieurs plans de lumière sur la surface 2 allumant autant de points P_{Mi}. La Figure 5 montre un arrangement de l'unité de mesure 4 où les projecteurs lasers 14, 16 projettent respectivement les plans de lumière 17, 19 et 18, 20, des lignes 23, 25 et 24, 26 résultant alors de l'intersection des plans de lumière 17, 19 et 18, 20 avec la surface 2.

Les fils 10, 12 peuvent être formés de fils d'acier ou autres types de fils si voulu.

En référence à la Figure 5, il est également possible d'utiliser plus de deux fils, par exemple trois fils 10, 11, 12 disposés devant la surface 2, de manière à ce que les plans de lumière 18, 20 les croisent. Le ou les fils supplémentaires peuvent être dans le même plan que les fils 10, 12 et parallèles aux fils 10, 12, ou ils peuvent être dans un autre plan, de préférence parallèle au plan formé par les fils 10, 12, et toujours parallèles aux fils 10, 12. L'ajout de fils supplémentaires fournit plus d'informations pour la localisation de l'unité de mesure 4 et le calibrage en ligne de ses paramètres.

Afin que l'unité de mesure 4 puisse s'auto-localiser et cartographier la surface 2, au moins quatre points P_{M1}, P_{M2}, P_{M3}, P_{M4} sur les fils 10, 12 sont allumés par l'ensemble laser 14, 16. Un point supplémentaire sur le fil 11 situé à une distance g, qui n'est pas nécessairement connue, de la surface de référence formée par les fils 10, 12 permet de calibrer en ligne l'ensemble des paramètres de chacun des plans de lumière 18, 20.

En référence à nouveau à la Figure 1, l'unité de traitement 8 peut être réalisée de manière à construire une carte de profondeur de la surface 2 au moyen d'un processus itératif et rétroactif. À cet effet, l'unité de traitement 8 comporte un module de localisation 81, un module de cartographie 82 et un module décisionnel 83. Le module de localisation 81 détermine la localisation de l'unité de mesure 4 par rapport à un repère global fixe. Le module de cartographie 82 détermine les coordonnées 3D de points de la surface 2 dans le repère lié à la caméra 22 (montrée à la Figure 3) de l'unité de mesure 4. Le module décisionnel 83 décide des commandes à envoyer au porteur 6 qui déplace l'unité de mesure 4 afin de collecter les données de façon efficace.

Le module de localisation 81 comporte deux sous-modules de modélisation 56, 58, un sous-module d'estimation 812, un sous-module de détection de points P_{Mi} 810 et un sous-module de correction de distorsions 811. Le sous-module de modélisation 56 modélise l'ensemble porteur 6 au moyen d'un ensemble de données paramétriques qui le caractérisent. De manière similaire, le sous-module de modélisation 58 modélise l'unité de mesure 4 au moyen d'un ensemble de données paramétriques qui la caractérisent. Le sous-module de détection de points P_{Mi} 810 détermine les coordonnées image des points P_{M1}, P_{M2}, P_{M3}, P_{M4}. Le sous-module de correction de distorsions 811 corrige les coordonnées image des points détectés de façon à annuler l'effet des distorsions de la lentille 21 de la caméra 22 ou tenir compte d'un défaut de parallélisme des fils 10, 12 (montrés à la Figure 3). Le sous-module d'estimation 812 estime la pose (i.e. la position et l'orientation) de l'unité de mesure 4 relativement au repère global d'après les signaux fournis par le sous-module de modélisation 58 et le sous-module de correction de distorsions 811, et corrige les paramètres internes de l'unité de mesure 4 par le biais d'une boucle de rétroaction. Le sous-module d'estimation 812 peut utiliser un filtre de Kalman pour effectuer l'estimation voulue.

En référence à la Figure 3, les données paramétriques de l'unité de mesure 4 comprennent les paramètres internes et externes de la caméra 22, les paramètres des plans de lumière 18, 20 et l'écartement des fils 10, 12. Dans le cas où un modèle de caméra perspective avec distorsions est utilisé, les paramètres internes typiques de la caméra 22 sont alors les distances focales α_u, α_v, le point principal $c_0 = [u_0, v_0]^T$ et les coefficients de distorsions de la lentille 21. Les paramètres externes typiques de la caméra 22 sont l'orientation et la position par rapport au repère lié aux fils 10, 12. Les plans de lumière 18, 20 sont définis par les paramètres a, b, c, d dans l'équation en coordonnées cartésiennes: $aX + bY + cZ + d = 0$. Le paramètre qui définit l'écartement des fils 10, 12 est noté 2h. Enfin, les données paramétriques de l'ensemble porteur 6 (montré à la Figure 2) comprennent typiquement la position et l'orientation par rapport à un repère global fixe ainsi que la position

de l'unité de mesure 4 sur l'arrangement de rails transversaux 60 (montrés à la Figure 9).

En référence à nouveau à la Figure 1, le module de cartographie 82 comporte un sous-module de détection des points P_{Li} 820 qui détermine les coordonnées image des points contenus dans les lignes 24, 26, un sous-module de correction de distorsions 811 semblable à celui du module de localisation 81, et un sous-module de triangulation 822. Le rôle du sous-module de triangulation 822 est de calculer les coordonnées 3D des points P_{Li} dans le repère lié à la caméra 22 de l'unité de mesure 4. Le module de cartographie 82 comporte aussi un sous-module de changement de repère 840 qui transforme les coordonnées des points P_{Li} depuis le repère lié à la caméra 22 vers le repère global, et un sous-module de modélisation 54 de la surface 2 qui construit la carte de la surface 2 au fur et à mesure. Il existe de nombreuses façons de représenter la surface structurelle 2. Par exemple, le sous-module de modélisation 54 de la surface 2 peut contenir un ensemble de points 3D qui constituent la carte de la surface 2 et définissent sa cartographie tridimensionnelle.

Le module décisionnel 83 comporte un sous-module de prise de décision 830 qui envoie des commandes de positionnement à l'ensemble porteur 6 et une interface de communication 832 permettant d'initialiser l'unité de traitement 8 et récupérer les informations recherchées, à savoir la carte de la surface 2, les données de position et d'orientation de l'ensemble porteur 6, et les données paramétriques de l'unité de mesure 4.

Grâce aux fils 10, 12 (montrés à la Figure 3), l'unité de mesure 4 du système peut être localisée avec une grande précision. Le système cartographie aussi au moins une ligne de points de la surface 2 en même temps par l'utilisation d'une seule image. Pour cela, la caméra 22 transmet les images 28 à l'unité de traitement 8. L'unité de traitement 8 traite les images 28 de manière à localiser l'unité de mesure 4 par rapport au repère lié aux fils 10, 12 et de manière à déterminer les coordonnées de points 3D de la surface 2. Les coordonnées

image des points P_{M1}, P_{M2}, P_{M3}, et P_{M4} servent à localiser l'unité de mesure 4 alors que les lignes 24, 26 servent à cartographier la surface 2. Le système selon l'invention permet ainsi de cartographier des surfaces de grande longueur tout en gardant une grande précision.

En référence aussi aux Figures 2 et 3, le sous-module décisionnel 83 envoie initialement des commandes de positionnement à l'ensemble porteur 6 afin de positionner l'unité de mesure 4 à la hauteur de la surface 2 à inspecter. Lorsque l'unité de mesure 4 est à la hauteur voulue, le sous-module décisionnel 83 bloque le déplacement de l'ensemble porteur 6. Le sous-module d'estimation 812 (e.g. filtre de Kalman) corrige alors les paramètres internes d'opération de l'unité de mesure 4 tels les paramètres des plans lasers 18, 20. Puis, le sous-module décisionnel 83 envoie des commandes de positionnement à l'ensemble porteur 6 pour déplacer l'unité de mesure 4 transversalement (dans les directions des flèches 42, 44 illustrées à la Figure 2) le long de la surface 2 afin de mesurer les coordonnées 3D des points contenus dans les lignes 24, 26 de la surface 2. Le module de cartographie 82 prend des mesures à des intervalles spécifiés via l'interface de communication 832. Pour chaque paire de lignes 24, 26, une image 28 est envoyée par la caméra 22 au module de cartographie 82. Le sous-module de modélisation 54 de la surface 2 construit la carte de la surface 2 ligne par ligne. La carte obtenue couvre une bande de la surface 2 d'une certaine hauteur. Si plusieurs bandes sont nécessaires pour cartographier l'ensemble ou une partie voulue de la surface 2, alors le module décisionnel 83 envoie des commandes de positionnement à l'ensemble porteur 6 afin de déplacer l'unité de mesure 4 en hauteur vers la zone contigüe suivante puis le processus ci-dessus est répété.

Le déplacement de l'unité de mesure 4 peut se faire de manière continue ou pas à pas. Dans le cas d'un déplacement continu, une seule mesure pour un point donné de la surface 2 est prise par le module de localisation 81 et par le module de cartographie 82. Dans le cas d'un déplacement pas à pas, plusieurs mesures peuvent être prises à chaque arrêt et peuvent être combinées de façon à augmenter la confiance dans les mesures.

En opération, le système de cartographie est susceptible d'être soumis à de multiples perturbations. Bien qu'il soit possible de prendre directement des mesures de la surface structurelle 2 puis de référencer ces mesures en utilisant les données de positionnement de l'unité de mesure 4 et de l'ensemble porteur 6, ces mesures sont imprécises, voir même fausses, à cause des perturbations rencontrées. Le système prend avantage des fils 10, 12 au travers d'un processus itératif et rétroactif, implémenté dans le module de localisation 81, qui garantit la validité des données de positionnement de l'unité de mesure 4. Ce processus itératif et rétroactif utilise le modèle de l'unité de mesure 4 définit dans le sous-module 58. Son rôle est de prédire quelle sera la position des points P_{M1}, P_{M2}, P_{M3}, et P_{M4} dans l'image 28 sur la base de la position et de l'orientation de l'unité de mesure 4, des paramètres internes de l'unité de mesure 4 et de l'écartement des fils 10, 12.

L'ensemble minimal de données pour calculer la pose d'une caméra sans ambigüité est de quatre points coplanaires. Le détecteur de points P_{Mi} 810 détermine les coordonnées image des points P_{M1}, P_{M2}, P_{M3}, et P_{M4}. La détermination des coordonnées des points P_{M1}, P_{M2}, P_{M3}, et P_{M4} peut se faire en utilisant des algorithmes d'une librairie de vision par ordinateur. Le correcteur de distorsions 811 corrige ces coordonnées pour annuler l'effet des distorsions éventuelles de la lentille 21 de la caméra 22. Les points P_{M1}, P_{M2}, P_{M3}, et P_{M4} sont ensuite triangulés dans le repère lié à la caméra 22 afin d'obtenir leur coordonnées 3D. L'équation 1 peut être utilisée à cet effet:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{CAM} = \begin{bmatrix} (u-u_0)Z/\alpha_u \\ (v-v_0)Z/\alpha_v \\ -d/(a+b(u-u_0)/\alpha_u + c(v-v_0)/\alpha_v) \end{bmatrix}_{CAM} \quad (1)$$

où (u, v) représentent les coordonnées image d'un point P, et (X, Y, Z) représentent les coordonnées 3D de P dans le repère lié à la caméra 22. L'orientation de la caméra peut être calculée en utilisant l'algorithme proposé par B.K.P. Horn dans l'article "Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions", Journal of the Optical Society of America A, Vol. 4, page 629-642, 1987, avec comme données en entrée les coordonnées 3D des points

P_{M1}, P_{M2}, P_{M3}, et P_{M4}. Mais d'autres méthodes fonctionnant sur un ensemble de 4 points coplanaires peuvent également être utilisées. Une fois que l'orientation de la caméra a été calculée, la translation peut être calculée suivant l'équation 2:

$$Trans(FILS, CAM) = -Rot(FILS, CAM)\left[\overline{P}_{Mi}\right]_{CAM} \quad (2)$$

où Trans(FILS, CAM) dénote la translation de la caméra 22 par rapport aux fils 10, 12, Rot(FILS, CAM) dénote l'orientation de la caméra 22 par rapport aux fils 10, 12 et $\left[\overline{P}_{Mi}\right]_{CAM}$ dénote le barycentre des points P_{M1}, P_{M2}, P_{M3}, et P_{M4} exprimé dans le repère caméra 22. La position / orientation de la caméra 22 ainsi calculée vient comme paramètre initial du filtre de Kalman 812 qui raffine l'estimé de cette position / orientation sur la base des données paramétriques du modèle de l'unité de mesure 4 fourni par le sous-module 58, du modèle de l'ensemble porteur 6 fourni par le sous-module 56, et de la pose calculée. Après plusieurs itérations du filtre de Kalman 812, si la différence entre les coordonnées des points P_{M1}, P_{M2}, P_{M3}, et P_{M4} estimées par le modèle de l'unité de mesure 4 et les coordonnées des points P_{M1}, P_{M2}, P_{M3}, et P_{M4} détectées par le détecteur de points P_{Mi} 810 est supérieure à un certain seuil, alors la pose est rejetée. Sinon, la pose calculée est valide. L'utilisation de cette technique permet d'avoir un système plus robuste et intègre. Elle est rendue possible par la présence des fils 10, 12. Cette technique permet ainsi de détecter si les fils 10, 12 sont en mouvement suite à des perturbations ou encore si les données paramétriques du modèle de l'unité de mesure 6 sont fausses.

Dans le cas où l'on veut également ré-estimer les paramètres a, b, c, d des plans lasers 18, 20, le troisième fils 11 (illustré à la Figure 5) est utilisé. Ces paramètres sont estimés par le filtre de Kalman 812 qui a comme vecteur d'état la position et l'orientation de la caméra 22 ainsi que les paramètres a, b, c, d des plans lasers 18, 20. Le détecteur des points P_{Mi} 810 détermine les coordonnées image des points P_{M1}, P_{M2}, P_{M3}, P_{M4}, P_{M5}, P_{M6} qui sont envoyées au correcteur de distorsions 811 puis au filtre de Kalman 812. La position du troisième fils 11 par rapport aux fils 10, 12 n'est pas nécessairement connue et peut également être estimée par le filtre de Kalman 812.

Le détecteur de points P_{Li} 820 détermine les coordonnées 2D de points des images 28 contenus dans les lignes 24, 26. Cette étape de traitement peut se faire en utilisant des algorithmes de librairies de vision par ordinateur. Le correcteur de distorsions 811 corrige ensuite les coordonnées des points P_{Li} de façon à annuler l'effet des distorsions éventuelles de la lentille 21 de la caméra 22. Dans le cas d'un déplacement continu, les coordonnées 3D des points P_{Li}, exprimées dans le repère lié à l'unité de mesure 4, sont déterminées à partir d'une seule mesure par le sous-module de triangulation 822 qui utilise l'équation 1. Dans le cas d'un déplacement pas à pas, on peut, par exemple, faire une moyenne des points P_{Li} mesurés plusieurs fois par les sous-modules 820, 811 et 822. Un changement de repère 840 est ensuite effectué pour obtenir les coordonnées de P_{Li} dans le repère global. Le changement de repère peut se faire suivant l'équation:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}_{GLOBAL} = T(GLOBAL, CAM) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}_{CAM} \quad (3)$$

où T est une matrice de transformation homogène fonction de l'orientation et de la position de la caméra 22 par rapport au repère global.

Le positionnement de l'unité de mesure 4 sur l'ensemble porteur 6 peut être effectué par le sous-module de prise de décision 830 de manière à pouvoir contrôler le positionnement en fonction des mesures traitées. Par exemple, il peut arriver que le système rencontre des perturbations (par exemple, mouvements des fils 10, 12) et qu'il ne soit plus capable de prendre des mesures. Le sous-module de prise de décision 830 peut dans ce cas arrêter le déplacement de l'unité de mesure 4 jusqu'à ce que les perturbations disparaissent. Le positionnement peut aussi être préprogrammé de manière à s'effectuer sans rétroaction. Ou encore, un opérateur peut prendre le contrôle des déplacements via l'interface de communication 832.

Les lignes 24, 26 peuvent être indexées au moyen d'un encodeur optique 114 (montré à la figure 9) qui donne la position de l'unité de mesure 4 sur l'arrangement de rails transversaux 60 de l'ensemble porteur 6 (montré à la Figure 2). L'index des lignes 24, 26 correspond à la position de l'unité de mesure 4 sur l'arrangement de rails 60 de l'ensemble porteur 6.

La configuration des modules de localisation, de cartographie et décisionnels 81, 82, 83 peut être adaptée par exemple pour raffiner certains traitements en vue de produire les données cartographiques ou selon les paramètres d'opération et le type d'équipement composant l'unité de mesure 4 et l'ensemble porteur 6.

En référence à la Figure 7, l'unité de traitement 8 et l'interface de communication 832 (montrés à la Figure 1) peuvent avantageusement être implémentés dans un organe de traitement 62 tel un PC (ordinateur) ou des circuits dédiés appropriés contrôlant les fonctions du système. L'organe de traitement 62 est relié à l'unité de mesure 4 et récupère les images 28 de la caméra 22 (montrée à la Figure 2) et les traite pour localiser l'unité de mesure 4 et cartographier la surface 2. Le traitement peut se faire en continu au taux de rafraichissement de la caméra 22. L'organe de traitement 62 peut contrôler également les deux axes de déplacement de l'ensemble porteur 6. Lors d'une translation de l'unité de mesure 4 le long de l'axe horizontal (flèches 42, 44 dans la Figure 3) et à intervalles spécifiés, l'organe de traitement 62 récupère la position (X, Y) de l'unité de mesure 4 et met en mémoire une ligne de profil. Cette information sert à exprimer les coordonnées des lignes lasers dans un repère global fixe attaché à la scène.

En référence à nouveau à la Figure 3, afin de pouvoir détecter des défauts de surface de la structure inspectée de tailles réduites (0,1 mm par exemple), la caméra 22 est de préférence munie d'une matrice CCD progressive de forte résolution. Une telle caméra peut communiquer avec l'organe de traitement 62 (montré à la Figure 7) via un canal de transmission numérique tel que IEEE-1394 (aussi connu sous la dénomination FireWire), Camera Link, USB ou

encore Gigabyte Ethernet. Les projecteurs lasers 14, 16 émettent de préférence à une longueur d'onde dans le visible (entre 400nm et 800nm). Afin de faciliter la détection des lignes 24, 26 dans l'image 28, la lentille 21 de la caméra 22 peut utiliser un filtre optique qui ne laisse passer que la longueur d'onde des projecteurs lasers 14, 16.

Bien que le système est conçu pour fonctionner sous l'eau, il peut tout aussi bien être utilisé hors de l'eau si voulu. Dans un tel cas, la calibration de l'unité de mesure 4 est tout simplement faite hors de l'eau, et le système fonctionne ensuite de la même manière que sous l'eau.

Bien que des réalisations de l'invention aient été illustrées dans les dessins ci-joints et décrites ci-dessus, il apparaîtra évident pour les personnes versées dans l'art que des modifications peuvent être apportées à ces réalisations sans s'écarter de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Système de cartographie tridimensionnelle d'une surface structurelle, comprenant:

deux fils aptes à être tendus le long de la surface structurelle en étant espacés l'un de l'autre de manière à définir une surface de référence devant la surface structurelle;

une unité de mesure comportant un ensemble laser apte à projeter deux plans de lumière distincts dirigés vers la surface structurelle et croisant les fils, et une caméra apte à capter des images de la surface structurelle contenant des lignes résultant d'une intersection des plans de lumière avec la surface structurelle et des points de référence résultant d'une intersection des plans de lumière avec les fils;

un ensemble porteur apte à déplacer l'unité de mesure de manière contrôlée devant la surface structurelle de manière à balayer progressivement la surface structurelle à cartographier; et

une unité de traitement des images captées par la caméra, l'unité de traitement ayant:

un moyen pour déterminer une orientation et une position de l'unité de mesure par rapport à la surface de référence en fonction des points de référence dans les images;

un moyen pour déterminer des coordonnées 3D de points définissant les lignes dans les images par rapport à un repère lié à l'unité de mesure déterminé en fonction de l'orientation et de la position de l'unité de mesure; et

un moyen pour transformer les coordonnées 3D en des données cartographiques représentatives de la surface structurelle dans un repère global lié à la surface de référence définie par les fils.

2. Le système selon la revendication 1, dans lequel l'ensemble porteur comprend un bâti ayant un élément mobile auquel l'unité de mesure est fixée, et un ensemble d'éléments de guidage transversal et vertical de l'élément mobile.

3. Le système selon la revendication 2, dans lequel l'ensemble d'éléments de guidage comprend des guides latéraux espacés l'un de l'autre et aptes à s'étendre devant la surface structurelle, un élément transversal monté de manière coulissante sur les guides latéraux et recevant l'élément mobile de manière coulissante, et un arrangement de déplacement de l'élément mobile par rapport à l'élément transversal et de l'élément transversal par rapport aux guides latéraux.

4. Le système selon la revendication 3, dans lequel les fils s'étendent entre les guides latéraux.

5. Le système selon la revendication 1, dans lequel l'ensemble laser comprend deux lasers fixés à la caméra.

6. Le système selon la revendication 1, comprenant de plus un fil supplémentaire apte à être tendu le long de la surface structurelle de manière à ce que les plans de lumière croisent le fil supplémentaire, et dans lequel l'unité de traitement a de plus un moyen pour calibrer des paramètres des plans de lumière en fonction d'un point de référence dans les images captées par la caméra correspondant à une intersection d'un des plans de lumière avec le fil supplémentaire.

7. Le système selon la revendication 1, dans lequel:

le moyen pour déterminer l'orientation et la position comprend un module de localisation ayant:

un sous-module de modélisation de l'ensemble porteur modélisant l'ensemble porteur par un ensemble de données paramétriques caractérisant l'ensemble porteur;

un sous-module de modélisation de l'unité de mesure modélisant l'unité de mesure par un ensemble de données paramétriques caractérisant l'unité de mesure;

un sous-module de détection des points de référence dans les images, déterminant des coordonnées image des points de référence;

un sous-module de correction de distorsions corrigeant les coordonnées image des points de référence selon les données paramétriques caractérisant une distorsion relative à l'unité de mesure; et

un sous-module d'estimation estimant la position et l'orientation de l'unité de mesure dans le repère global d'après les données paramétriques caractérisant l'unité de mesure et les coordonnées image corrigées, et corrigeant les données paramétriques caractérisant l'unité de mesure selon la position et l'orientation estimée de l'unité de mesure; et

le moyen pour déterminer les coordonnées 3D des points et le moyen pour transformer les coordonnées 3D comprennent ensemble en un module de cartographie ayant:

un sous-module de détection des points définissant les lignes dans les images, déterminant des coordonnées image des points définissant les lignes;

un sous-module de correction de distorsions corrigeant les coordonnées image des points définissant les lignes selon les données paramétriques caractérisant la distorsion relative à l'unité de mesure;

un sous-module de triangulation déterminant les coordonnées 3D des points définissant les lignes dans le repère lié à l'unité de mesure;

un sous-module de changement de repère transformant les coordonnées 3D des points définissant les lignes depuis le repère lié à l'unité de mesure vers le repère global pour produire les données cartographiques; et

un module de modélisation de la surface structurelle construisant une carte de la surface d'après les données cartographiques.

8. Le système selon la revendication 7, dans lequel l'unité de traitement comprend de plus un module décisionnel ayant:

un sous-module de prise de décision connecté au sous-module de modélisation et à l'ensemble porteur, le sous-module de prise de décision transmettant des commandes de positionnement à l'ensemble porteur d'après les données cartographiques dans la carte de la surface; et

une interface de communication apte à recevoir des données de fonctionnement destinées à l'unité de traitement et à transmettre la carte de la surface, des données représentatives de la position et l'orientation de l'unité de mesure et les données paramétriques caractérisant l'unité de mesure.

9. Une méthode de cartographie tridimensionnelle d'une surface structurelle, comprenant les étapes de:

a) tendre deux fils le long de la surface structurelle en les espaçant l'un de l'autre de manière à définir une surface de référence devant la surface structurelle;

b) déplacer une unité de mesure comportant un ensemble laser et une caméra de manière contrôlée devant la surface structurelle de manière à balayer progressivement la surface structurelle;

c) projeter deux plans de lumière distincts dirigés vers la surface structurelle au moyen de l'ensemble laser;

d) capter des images de la surface structurelle contenant des lignes résultant d'une intersection des plans de lumière avec la surface structurelle et quatre points de référence résultant d'une intersection des plans de lumière avec les fils au moyen de la caméra;

e) déterminer une orientation et une position de l'unité de mesure par rapport à la surface de référence en fonction des points de référence dans les images;

f) déterminer des coordonnées 3D de points définissant les lignes dans les images par rapport à un repère lié à l'unité de mesure déterminé en fonction de l'orientation et de la position de l'unité de mesure; et

g) transformer les coordonnées 3D en des données cartographiques représentatives de la surface structurelle dans un repère lié à la surface de référence définie par les fils.

10. La méthode selon la revendication 9, dans laquelle l'étape de déplacer comprend une transmission de commandes de positionnement destinée à déplacer l'unité de mesure d'après les données cartographiques accumulées.

11. La méthode selon la revendication 9, dans laquelle l'ensemble laser est fixé rigidement à la caméra.

12. La méthode selon la revendication 9, comprenant de plus les étapes de:

tendre un fil supplémentaire le long de la surface structurelle de manière à ce que les plans de lumière croisent le fil supplémentaire; et

calibrer des paramètres des plans de lumière en fonction d'un point de référence dans les images captées par la caméra correspondant à une intersection d'un des plans de lumière avec le fil supplémentaire.

13. La méthode selon la revendication 9, dans laquelle les fils s'étendent près de la surface structurelle et en parallèle l'un avec l'autre, la surface de référence étant plane.

14. La méthode selon la revendication 9, dans laquelle l'étape de déterminer l'orientation et la position de l'unité de mesure comprend les sous-étapes de:

modéliser un ensemble porteur apte à déplacer l'unité de mesure de manière contrôlée devant la surface structurelle par un ensemble de données paramétriques caractérisant l'ensemble porteur;

modéliser l'unité de mesure par un ensemble de données paramétriques caractérisant l'unité de mesure;

détecter les points de référence dans les images et déterminer des coordonnées image des points de référence;

corriger les coordonnées image des points de référence selon les données paramétriques caractérisant une distorsion relative à l'unité de mesure;

estimer la position et l'orientation de l'unité de mesure dans le repère global d'après les données paramétriques caractérisant l'unité de mesure et les coordonnées image corrigées; et

corriger les données paramétriques caractérisant l'unité de mesure selon la position et l'orientation estimée de l'unité de mesure.

15. La méthode selon la revendication 9, dans laquelle l'étape de déterminer les coordonnées 3D des points définissant les lignes dans les images comprend les sous-étapes de:

détecter les points définissant les lignes dans les images et déterminer des coordonnées image des points définissant les lignes;

corriger les coordonnées image des points définissant les lignes selon les données paramétriques caractérisant une distorsion relative à l'unité de mesure; et

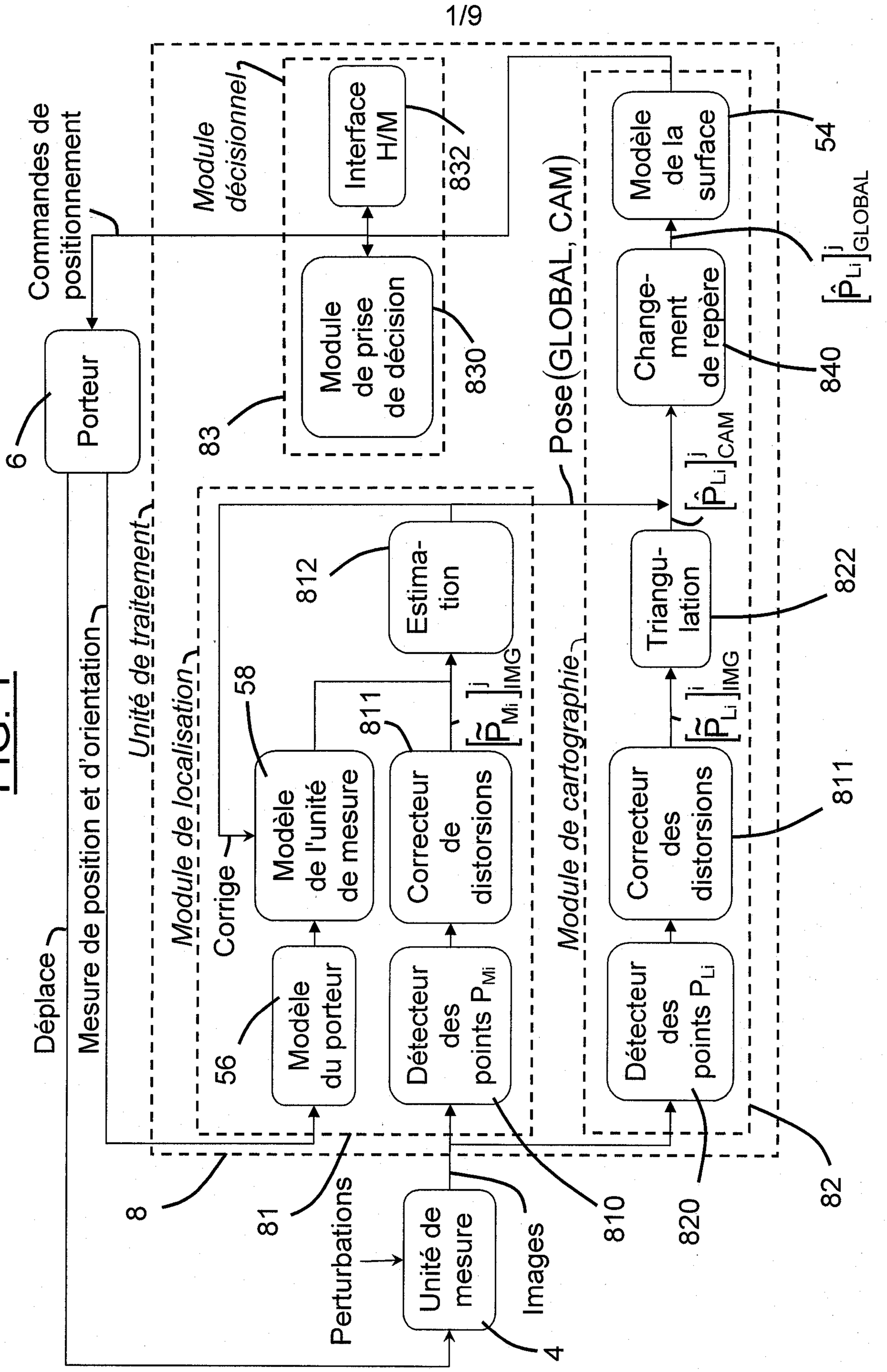
déterminer par triangulation les coordonnées 3D des points définissant les lignes dans le repère lié à l'unité de mesure.

16. La méthode selon la revendication 9, dans laquelle l'étape de transformer comprend les sous-étapes de:

produire les données cartographiques par transformation des coordonnées 3D des points définissant les lignes depuis le repère lié à l'unité de mesure vers le repère global; et

construire un carte de la surface d'après les données cartographiques.

FIG. 1


Déplace
Mesure de position et d'orientation
Commandes de positionnement
Porteur
6
Module décisionnel
Interface H/M
832
Module de prise de décision
830
83
Unité de traitement
Module de localisation
Corrige
Modèle du porteur
56
Modèle de l'unité de mesure
58
Détecteur des points P_{Mi}
Correcteur de distorsions
811
$[\tilde{P}_{Mi}]^j_{IMG}$
Estima-tion
812
Pose(GLOBAL, CAM)
Module de cartographie
Détecteur des points P_{Li}
Correcteur des distorsions
$[\tilde{P}_{Li}]^i_{IMG}$
Triangu-lation
822
$[\hat{P}_{Li}]^j_{CAM}$
Change-ment de repère
840
Modèle de la surface
54
$[\hat{P}_{Li}]^j_{GLOBAL}$
8
81
Perturbations
Unité de mesure
4
Images
810
820
82

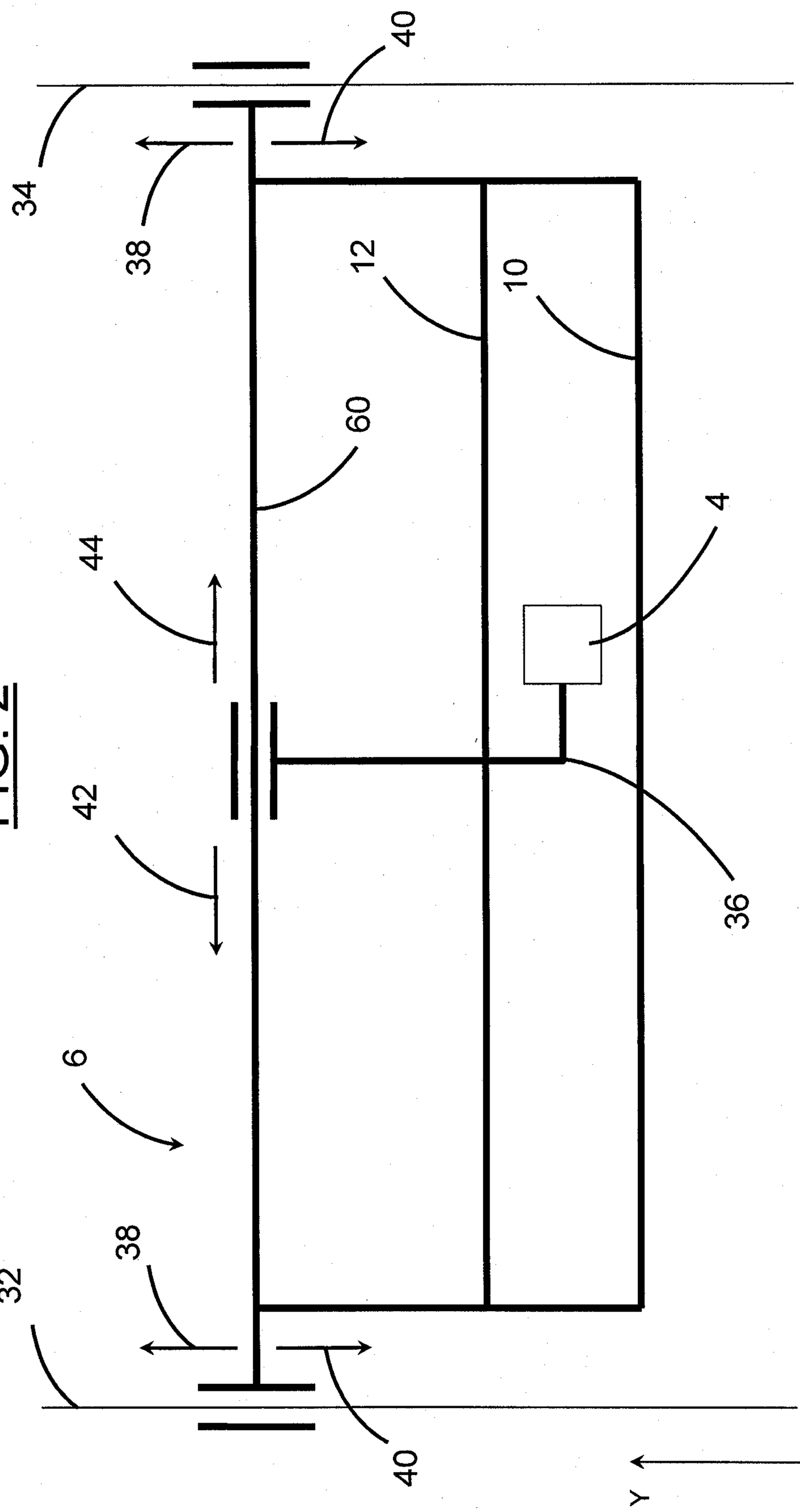
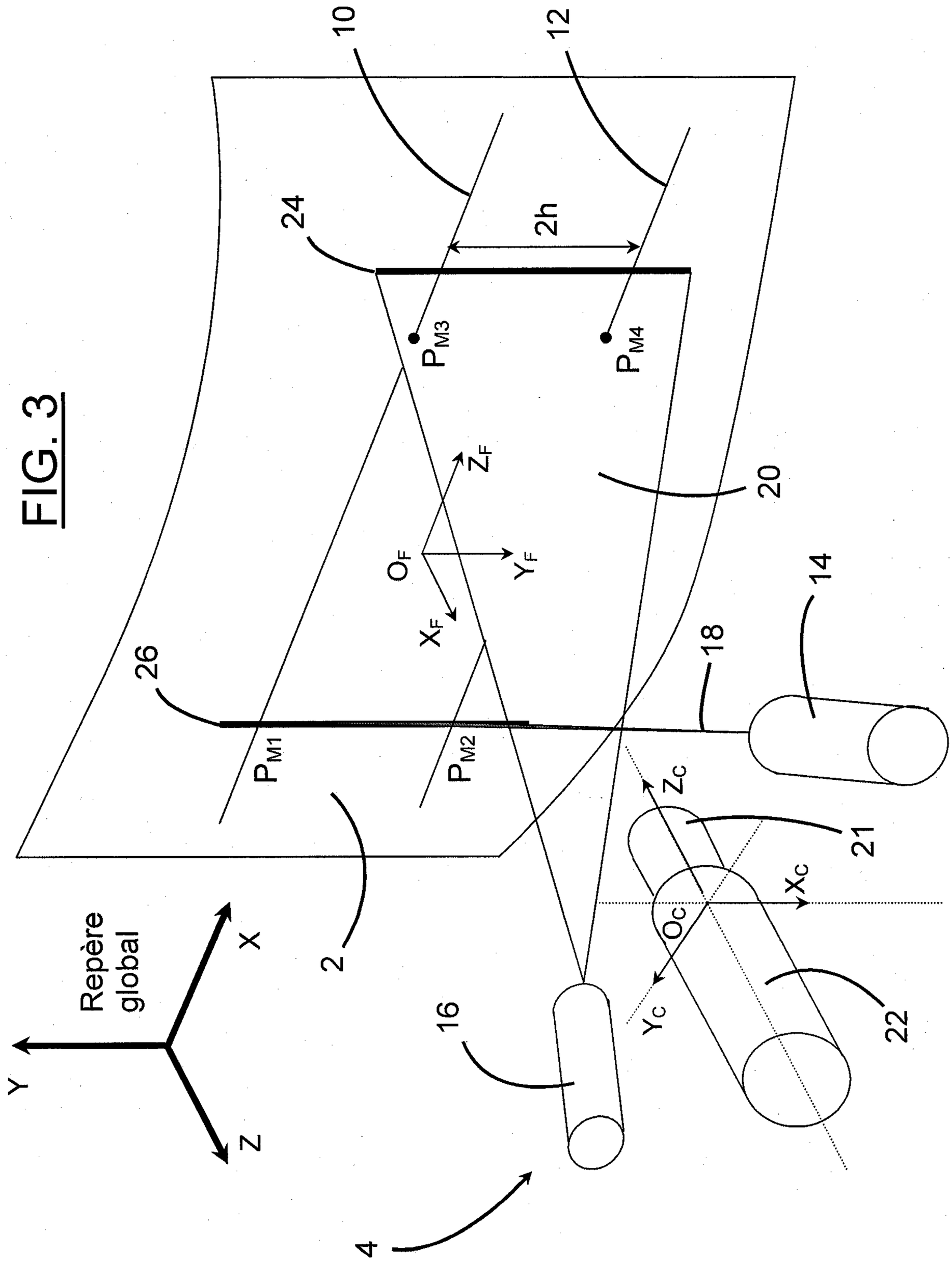


FIG. 2

FIG. 3


10
12
24
2h
P_{M3}
P_{M4}
Z_F
20
O_F
Y_F
X_F
26
P_{M1}
P_{M2}
18
14
Z_C
21
X_C
O_C
Y_C
22
16
2
Repère global
X
Y
Z
4

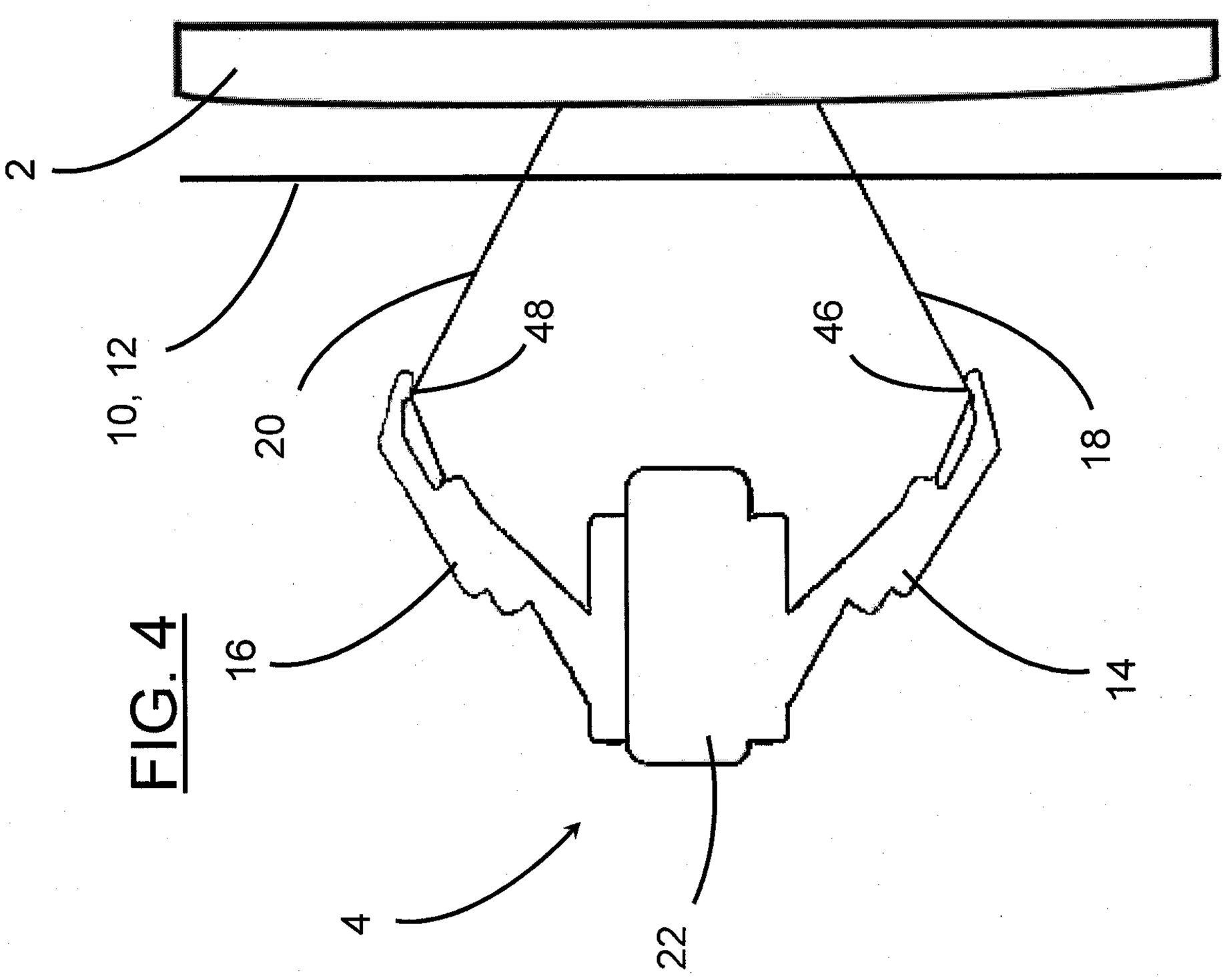
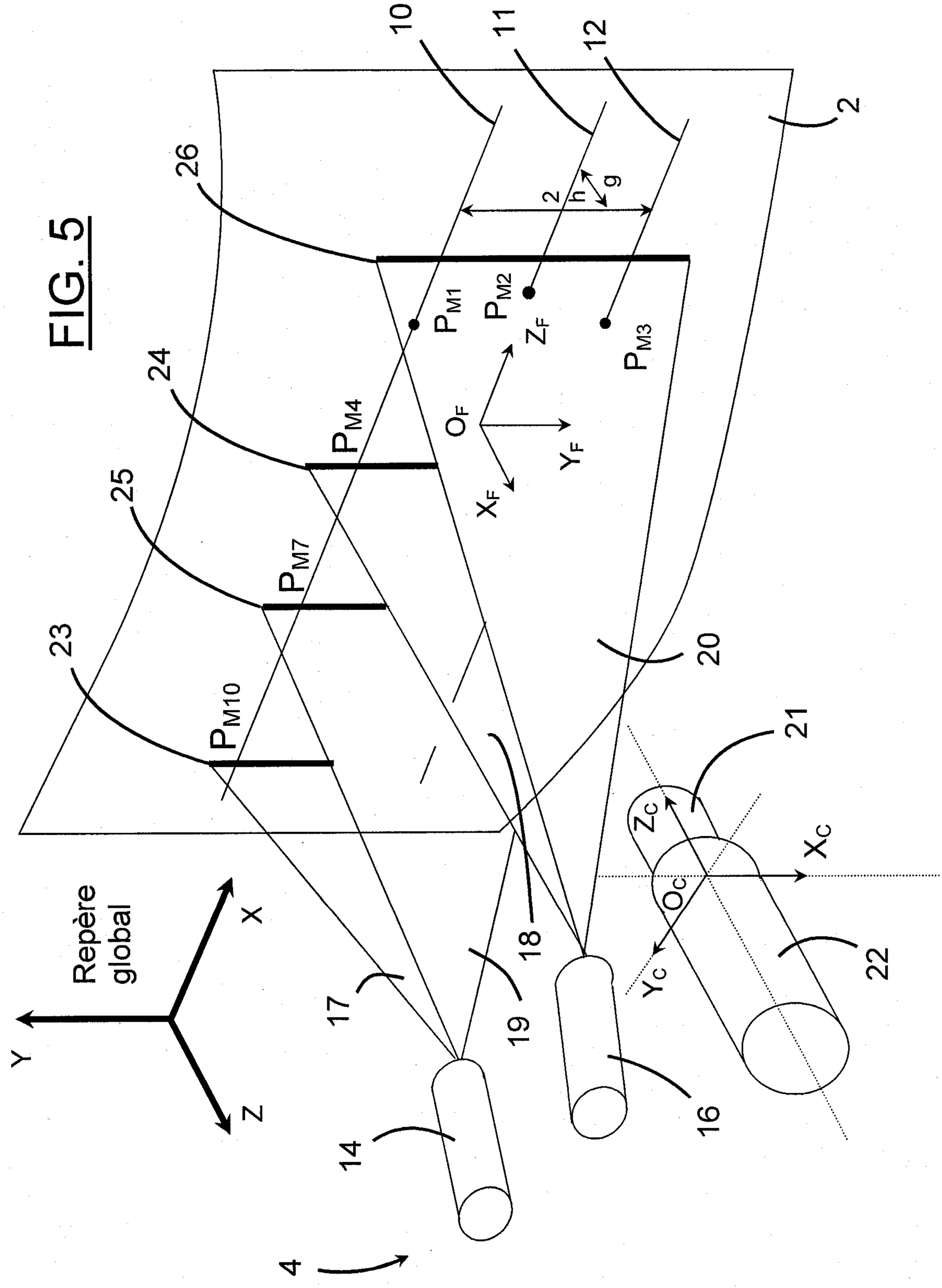


FIG. 4

FIG. 5


10
11
2
1
26
2
h
g
24
25
23
P_{M1}
P_{M2}
P_{M3}
P_{M4}
P_{M7}
P_{M10}
Z_F
O_F
Y_F
X_F
Repère global
Y
X
Z
17
18
19
20
21
22
Z_C
X_C
O_C
Y_C
16
14
4

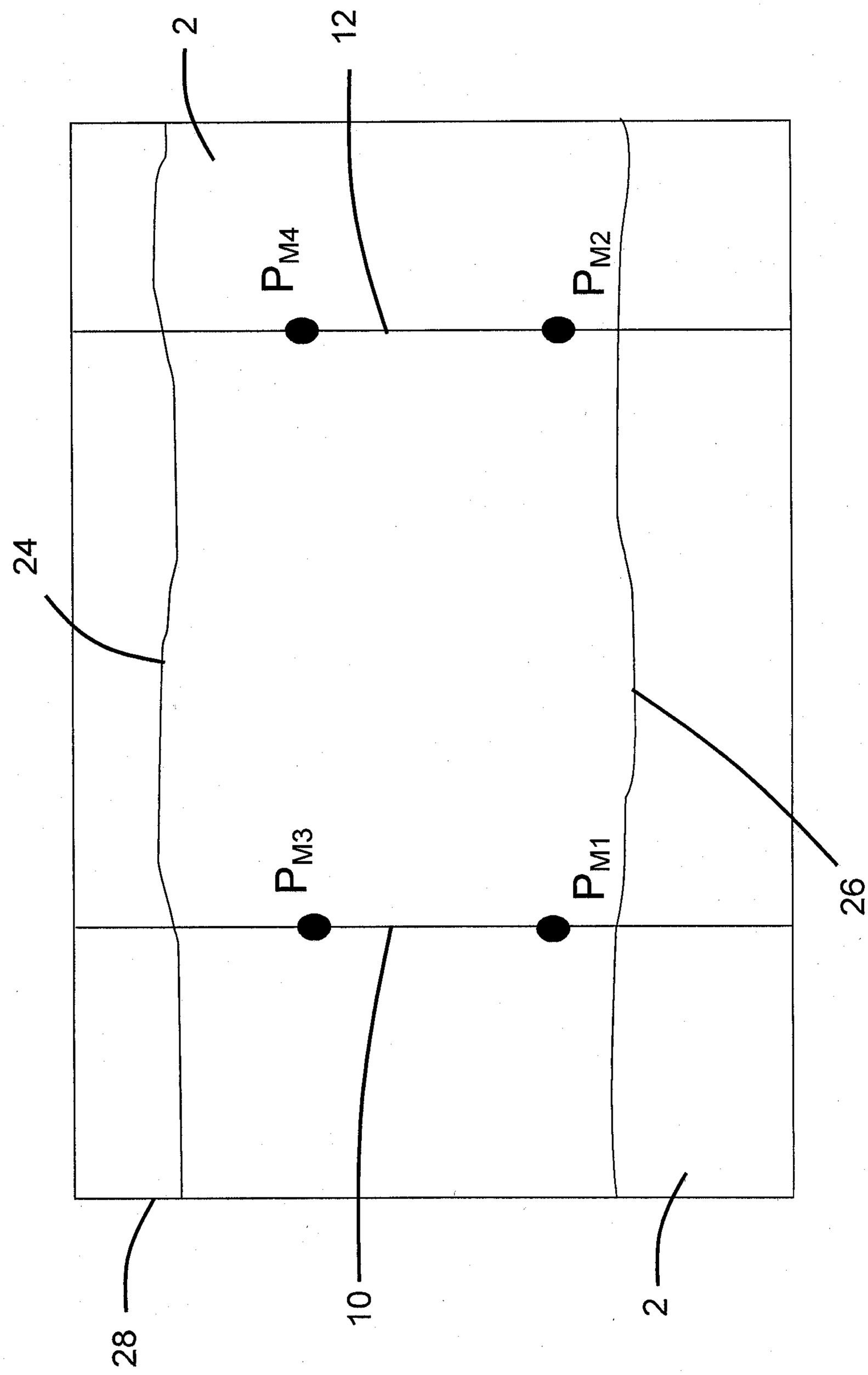
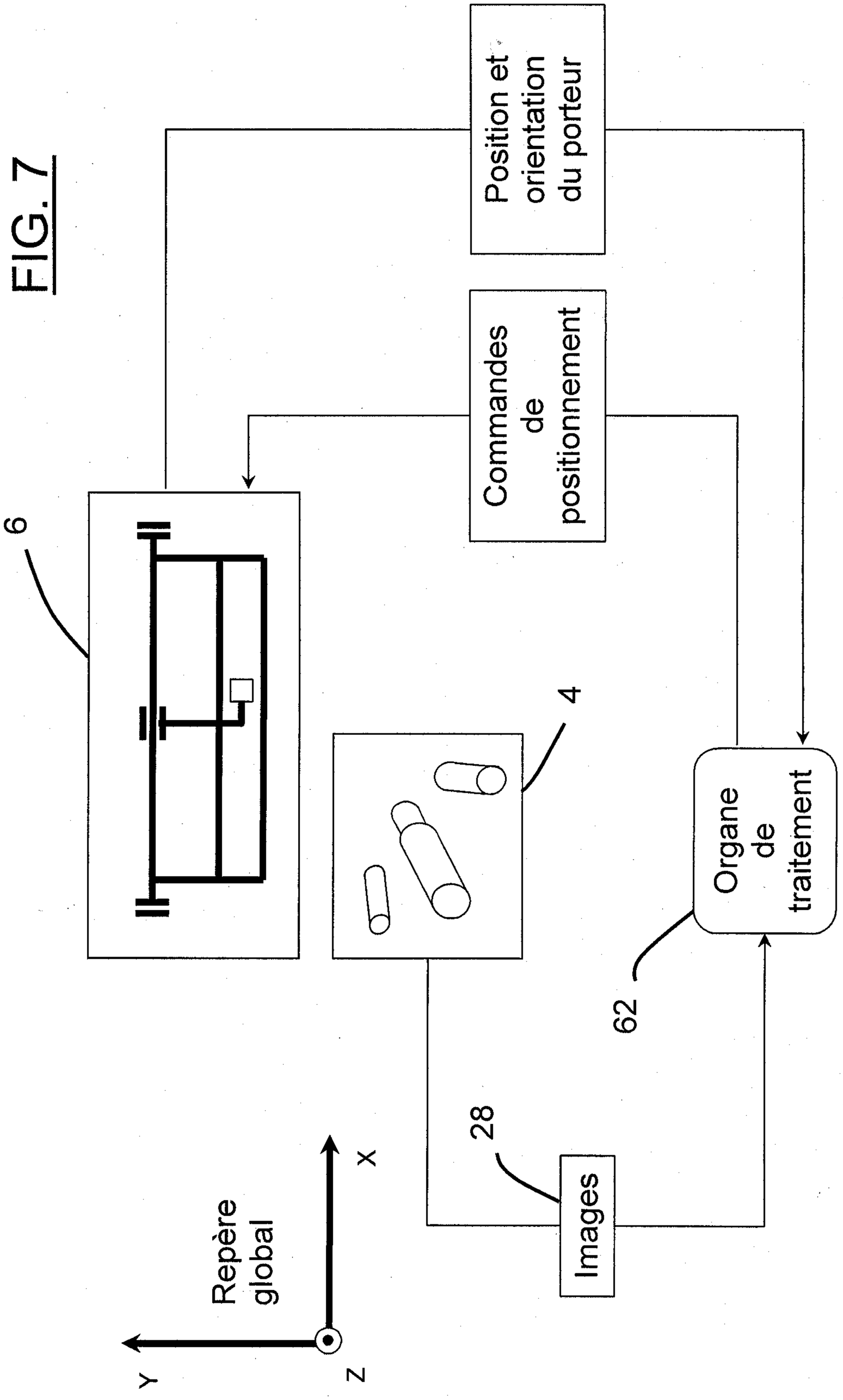


FIG. 6

FIG. 7


Position et orientation du porteur
Commandes de positionnement
6
4
8
Organe de traitement
62
28
Images
Repère global
X
Y
Z

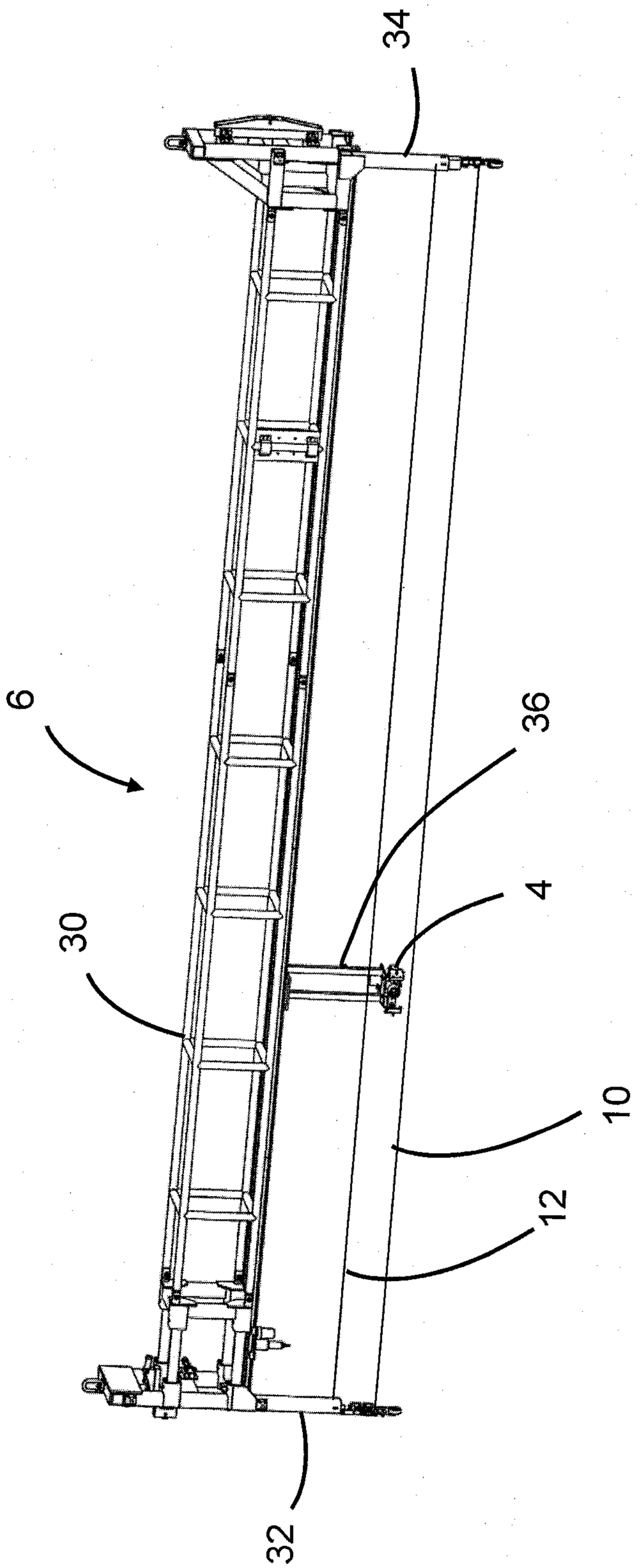


FIG. 8

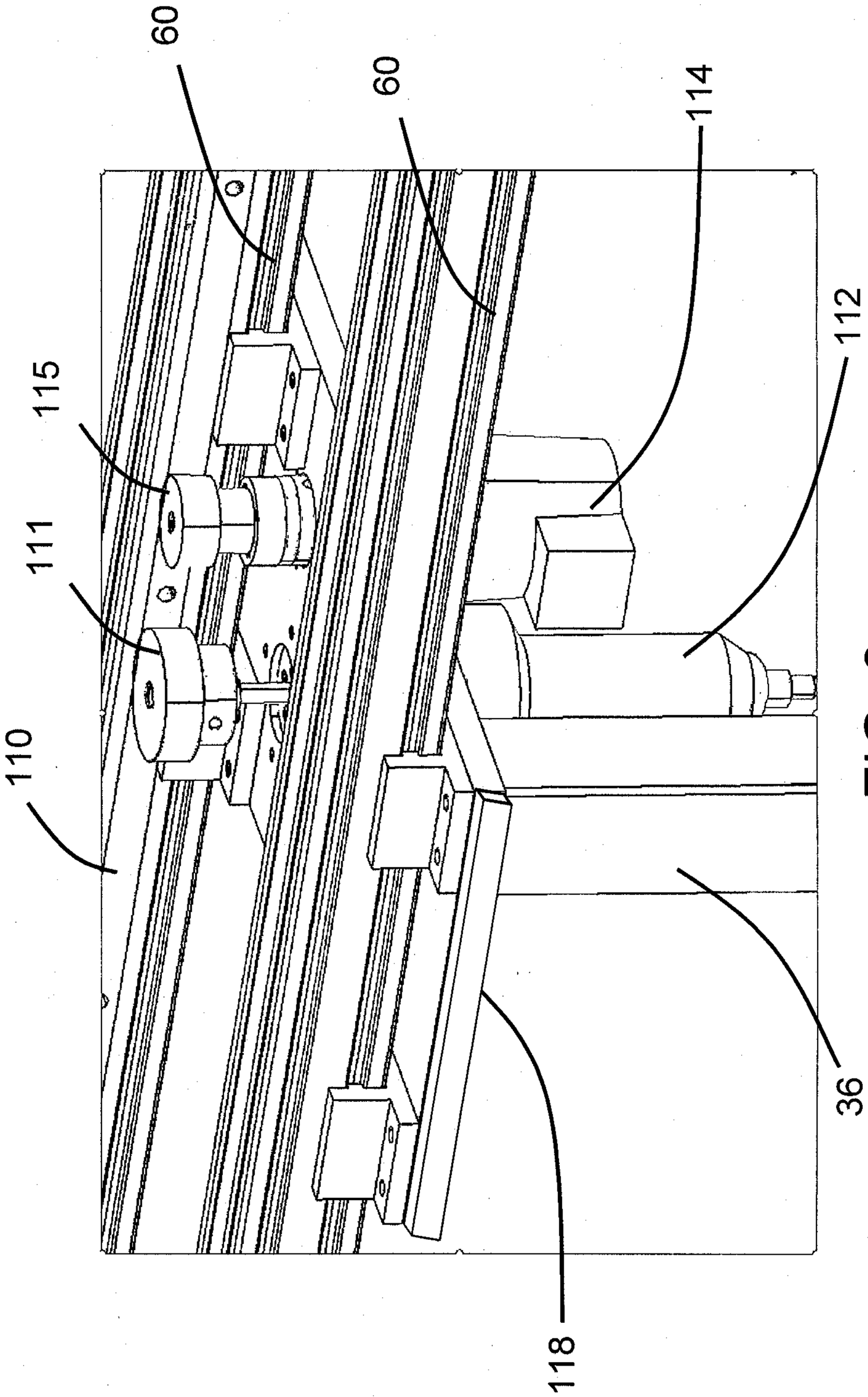
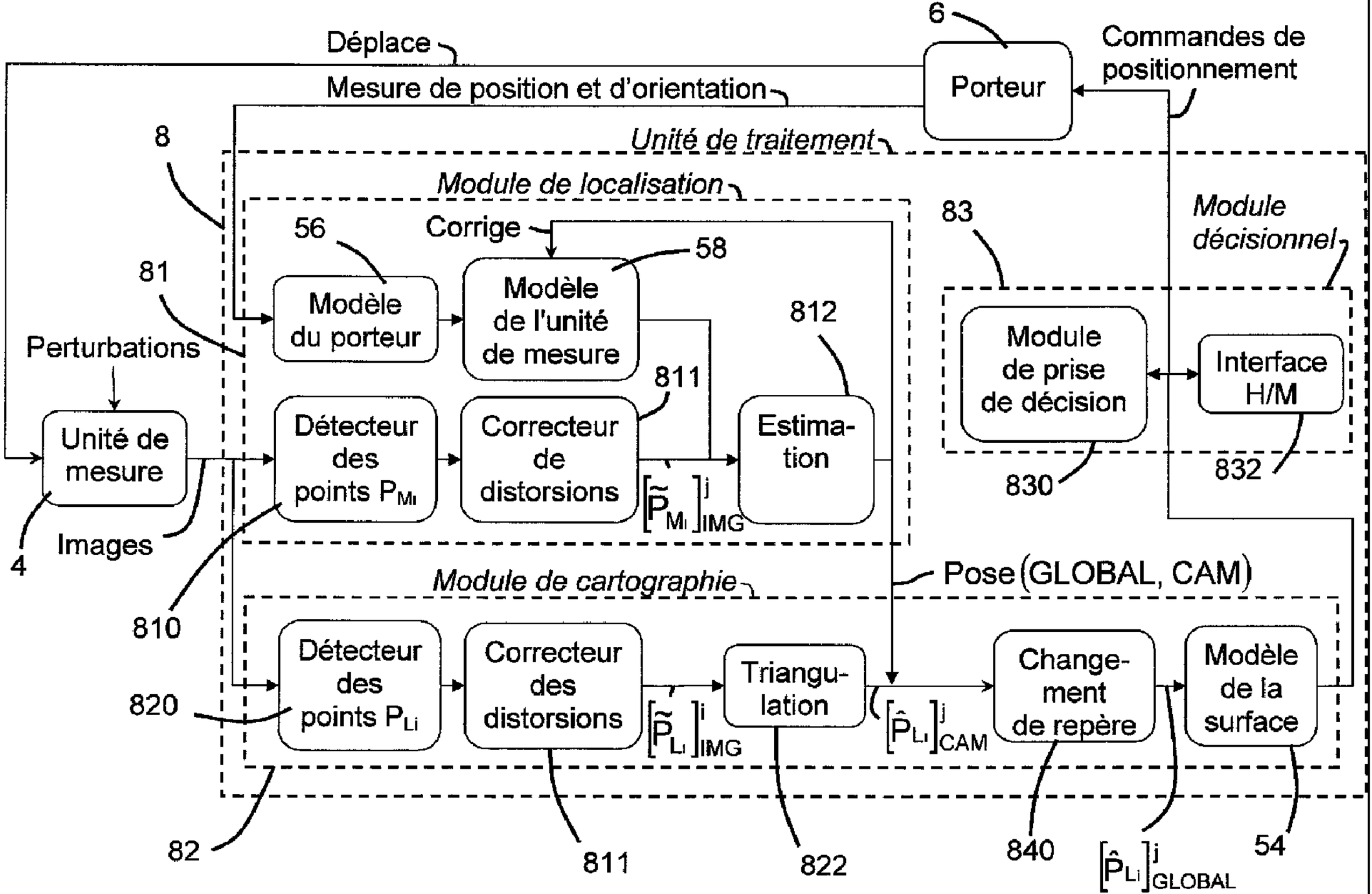


FIG. 9


6
Déplace
Porteur
Commandes de positionnement
Mesure de position et d'orientation
8
Unité de traitement
Module de localisation
83
Module décisionnel
56
Corrige
58
81
Modèle du porteur
Modèle de l'unité de mesure
812
Module de prise de décision
Interface H/M
Perturbations
811
Unité de mesure
Détecteur des points P_{Mi}
Correcteur de distorsions
$[\tilde{P}_{Mi}]^j_{IMG}$
Estima-tion
832
830
Images
4
Pose(GLOBAL, CAM)
Module de cartographie
810
Détecteur des points P_{Li}
Correcteur des distorsions
Triangu-lation
$[\tilde{P}_{Li}]^i_{IMG}$
$[\hat{P}_{Li}]^j_{CAM}$
Change-ment de repère
Modèle de la surface
820
82
811
822
840
54
$[\hat{P}_{Li}]^j_{GLOBAL}$