

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
**INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
—  
COURBEVOIE  
—

①1 N° de publication : **3 077 395**

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **18 50665**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **G 02 B 27/18 (2018.01), B 61 B 1/02**

①2

## BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 **SYSTEME ET PROCEDE DE SURVEILLANCE D'UNE STRUCTURE, NOTAMMENT UN  
OUVRAGE D'ART FERROVIAIRE.**

②2 **Date de dépôt** : 29.01.18.

③0 **Priorité** :

④3 **Date de mise à la disposition du public  
de la demande** : 02.08.19 Bulletin 19/31.

④5 **Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention** : 19.06.20 Bulletin 20/25.

⑤6 **Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche** :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 **Références à d'autres documents nationaux  
apparentés** :

**Demande(s) d'extension** :

⑦1 **Demandeur(s)** : *SNCF RESEAU Etablissement  
public — FR.*

⑦2 **Inventeur(s)** : *MATHOURAPARSAD VINCENT et  
ROY ALEXIS.*

⑦3 **Titulaire(s)** : *SNCF RESEAU Etablissement public.*

⑦4 **Mandataire(s)** : *LEXANDO & CARACTEQ.*

FR 3 077 395 - B1



"SYSTÈME ET PROCÉDÉ DE SURVEILLANCE D'UNE STRUCTURE,  
NOTAMMENT UN OUVRAGE D'ART FERROVIAIRE"

[0001] L'invention s'inscrit dans le domaine de la surveillance de structures,  
5 notamment du type ouvrages d'art ferroviaire.

[0002] L'invention porte plus particulièrement sur un système et un procédé de  
détermination du déplacement dynamique de la structure lorsque cette structure  
est soumise à des efforts mécaniques induisant un tel déplacement. Cette  
invention s'applique particulièrement à la surveillance des ouvrages d'art  
10 ferroviaires lors du passage des rames sur cet ouvrage.

[0003] Le réseau ferré d'un territoire comprend de nombreux ouvrages d'art de  
type ponts ferroviaires, dont certains font d'ailleurs partie du patrimoine culturel  
dudit territoire. La surveillance de ces ouvrages d'art revêt donc une importance  
particulière dans l'exploration du réseau ferré, en termes de sécurité des  
15 passagers et de conservation de ce patrimoine culturel.

[0004] Lors du passage d'une rame sur un tel ouvrage d'art, ce dernier est soumis  
à des vibrations engendrant un mouvement oscillant perpendiculaire au plan dans  
lequel s'étend la voie ferrée. Or, plus l'amplitude et la fréquence de ce mouvement  
sont importants, plus le risque de déformation de la voie ferrée est grand. La  
20 détermination précise de ce mouvement oscillant est donc primordiale pour décider  
d'une future intervention de maintenance sur l'ouvrage d'art.

[0005] Pour évaluer l'amplitude de ce mouvement oscillant, Il est connu d'utiliser  
un flexigraphe mécanique du type « Jules Richard », comprenant un crochet fixé  
sous l'ouvrage d'art et une tige déportée solidarisée par ses deux extrémités  
25 respectivement au crochet et à un appareil de mesure reposant sur le sol. La tige  
étant montée sur ressort, elle transmet le mouvement oscillant de l'ouvrage à  
l'appareil au sol, qui enregistre de fait le déplacement de l'ouvrage notamment lors  
du passage d'une rame.

[0006] Cependant, la mise en œuvre d'un tel flexigraphe est difficile et onéreuse, en particulier parce qu'elle engendre la fermeture de la voie de circulation sous l'ouvrage d'art. D'autre part, la fréquence propre d'oscillation du ressort est souvent inférieure à la fréquence de vibration de l'ouvrage, notamment lors du passage d'un train à grande vitesse. La mesure obtenue n'est donc pas suffisamment fiable, ni en fréquence ni en amplitude. Enfin, un tel flexigraphe ne permet d'obtenir que des mesures de déplacement de l'ouvrage dans une direction verticale.

[0007] L'invention vise ainsi à proposer un système de surveillance d'au moins une structure du type édifice, notamment un ouvrage d'art ferroviaire, permettant de pallier les inconvénients cités ci-dessus, c'est-à-dire simple à mettre en œuvre, sans nécessiter la fermeture d'une quelconque voie de circulation sous la structure, et offrant une meilleure fiabilité de mesure du mouvement oscillant de la structure.

[0008] L'invention vise également à proposer un procédé mis en œuvre par un tel système de surveillance.

[0009] À cet effet, le système de surveillance comprend des moyens d'acquisition de données comportant au moins une cible et des moyens d'enregistrement, des moyens d'émission de lumière adaptés pour projeter au moins un motif lumineux sur la cible, et des moyens de traitement du déplacement relatif en fonction du temps du motif lumineux sur la cible, les moyens d'émission de lumière ou la cible étant solidarisés à la structure et ainsi soumis au déplacement de ladite structure, l'autre des moyens d'émission de lumière ou de la cible étant installés dans le référentiel terrestre.

[0010] Le système de l'invention peut également comporter les caractéristiques optionnelles suivantes considérées isolément ou selon toutes les combinaisons techniques possibles :

- Au moins un repère de dimensions connues est représenté sur la cible, les moyens d'enregistrement sont des moyens d'acquisition d'images dont le champ de vision englobe la cible et son repère, et les moyens de traitement sont adaptés

pour déterminer à partir des images acquises le déplacement relatif en fonction du temps du motif lumineux projeté sur la cible par rapport au repère de ladite cible.

- La cible est solidarisée à la structure, et les moyens d'émission de lumière sont installés dans le référentiel terrestre.

5 - Les moyens d'acquisition d'images sont une caméra adaptée pour être solidarisée à la structure.

- Les moyens d'acquisition d'images sont une caméra haute définition adaptée pour être installée dans le référentiel terrestre.

10 - La cible comprend une surface de couleur uniforme sur laquelle le motif lumineux est destiné à être projeté.

- La cible comprend une pluralité de repères régulièrement répartis au niveau de la bordure de la cible, de manière à faciliter le centrage du motif lumineux projeté sur la cible.

- Les moyens d'émission de lumière sont un laser.

15 [0011] L'invention vise également un ensemble de surveillance comprenant au moins le système de surveillance tel que décrit précédemment et la structure sur laquelle la cible ou les moyens d'émission de lumière sont installés.

[0012] L'invention vise également un procédé de surveillance d'une structure, notamment un ouvrage d'art ferroviaire, caractérisé essentiellement en ce qu'il  
20 comprend les étapes successives de :

i. solidarisation de la cible et des moyens d'acquisition d'images à la structure, le champ de vision desdits moyens d'acquisition d'images englobant la cible et son repère ;

25 ii. installation des moyens d'émission de lumière à proximité de la structure dans le référentiel terrestre et mise sous tension desdits moyens d'émission de lumière, ces derniers étant orientés pour projeter un motif lumineux au voisinage du centre de la cible ;

iii. lancement d'une séquence d'acquisition d'une pluralité d'images par les moyens d'acquisition d'images préalablement au passage d'un véhicule sur

la structure, chaque image acquise étant horodatée par lesdits moyens d'acquisition, l'acquisition se poursuivant durant le passage d'au moins un véhicule sur la structure, notamment une rame ferroviaire ;

- 5 iv. arrêt de la séquence d'acquisition postérieurement au passage au moins du véhicule sur la structure ;
- v. pour chaque image acquise, détermination par les moyens de traitement des coordonnées dans le référentiel des moyens d'acquisition respectivement d'au moins un point particulier du repère de la cible et du motif lumineux projeté sur la cible ;
- 10 vi. pour chaque image acquise, détermination par les moyens de traitement de la distance  $D$  résultant de la différence entre les coordonnées du point particulier du repère et les coordonnées du motif lumineux déterminées à l'étape précédente ;
- 15 vii. détermination par les moyens de traitement de la variation  $\Delta D$  de la distance  $D$  déterminée en fonction du temps, illustrant le déplacement de la structure ;

[0013] Le procédé peut comporter une étape postérieure à l'étape vi au cours de laquelle les moyens de traitement déterminent, pour chaque distance  $D$  calculée, une composante verticale et une composante horizontale dans un plan parallèle à la cible, ledit plan s'étendant verticalement.

20

[0014] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront clairement de la description qui en est donnée ci-dessous, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux figures annexées parmi lesquelles :

- 25 - la figure 1 représente une vue en perspective du système de surveillance, dont la cible et les moyens d'acquisition d'images sont solidaires d'un ouvrage d'art ferroviaire et dont les moyens d'émission de lumière installés à proximité de l'ouvrage d'art dans le référentiel terrestre ;
- la figure 2 représente un détail du système de surveillance de la figure 1, à savoir la cible et les moyens d'acquisition d'images ;

- la figure 3 représente une vue de face de la cible qui comprend une pluralité de repères représentés, et sur laquelle cible un point laser est projeté ;

- la figure 4 représente une courbe du déplacement de l'ouvrage en fonction du temps lors du passage d'une rame.

5 [0015] Il est tout d'abord précisé que sur les figures, les mêmes références désignent les mêmes éléments quelle que soit la figure sur laquelle elles apparaissent et quelle que soit la forme de représentation de ces éléments. De même, si des éléments ne sont pas spécifiquement référencés sur l'une des figures, leurs références peuvent être aisément retrouvées en se reportant à une  
10 autre figure.

[0016] Il est également précisé que les figures représentent essentiellement un mode de réalisation de l'objet de l'invention mais qu'il peut exister d'autres modes de réalisation qui répondent à la définition de l'invention.

[0017] La présente invention concerne un procédé de surveillance d'une structure  
15 2. Ce procédé est mis en œuvre par un système de surveillance 1 simple et peu coûteux, qui est installé en partie sur la structure 2 à surveiller. Cette structure 2 est préférentiellement un ouvrage d'art ferroviaire, ou encore un pont autoroutier, car ces ouvrages sont soumis à la circulation régulière de véhicules générant des efforts mécaniques au sein de l'ouvrage. Bien entendu, le procédé et le système 1  
20 de surveillance peuvent s'appliquer à toute structure 2 connue qui pourrait subir des efforts mécaniques, comme par exemple un mat ou un poteau. Dans la suite de la description et en référence aux figures 1 à 4, le procédé de surveillance est mis en œuvre sur un ouvrage d'art ferroviaire 2, et on utilisera le terme pont 2 pour définir un tel ouvrage d'art.

25 [0018] En référence aux figures 1 à 3, le système de surveillance 1 selon l'invention comprend une cible 3 sur laquelle est représentée au moins un repère 9 – 16 et dont une partie de la surface est de couleur uniforme 6, des moyens d'émission de lumière 4 adaptés pour projeter un motif lumineux 5 sur la surface uniforme 6 de la cible 3, et des moyens d'acquisition d'images 7 pour enregistrer le  
30 mouvement relatif du motif lumineux projeté 5 par rapport à la cible 3. Le système de surveillance 1 comprend de plus des moyens de traitement qui permettent de

déterminer une courbe de l'évolution temporelle de ce mouvement relatif représentée en figure 4. Enfin, le système de surveillance 1 comprend des moyens de commande, par exemple un ordinateur portable, une tablette ou un téléphone intelligent. De manière avantageuse, les moyens de commande sont intégrés dans les moyens de traitement.

5 [0019] De manière préférentielle, les moyens d'émission de lumière sont un laser à lumière visible 4, qui offre l'avantage de générer un rayon unidirectionnel 20 projetant sur la cible 3 un motif lumineux 5, préférentiellement un point ou spot, très brillant et de faible dimension. De la sorte, la détection du motif projeté 5 sur la

10 cible 3 par les moyens d'acquisition d'images 7 en est facilitée. Les moyens d'acquisition d'images sont préférentiellement une caméra vidéo 7, dont les caractéristiques techniques seront discutées ci-après. Dans la suite de la description, on utilisera les termes laser 4 et caméra 7 pour définir les moyens d'émission de lumière 4 et les moyens d'acquisition d'images 7.

15 [0020] Comme introduit ci-dessus, l'objectif du système de surveillance 1 de l'invention est d'identifier le déplacement du pont 2, notamment lors du passage d'un véhicule comme une rame ferroviaire. La caméra 7 est adaptée pour enregistrer le mouvement relatif d'un point laser 5 projeté sur la cible 3, par rapport à au moins un repère 9 – 16 représenté sur cette cible 3. Pour que ce mouvement

20 relatif soit mesurable, il est impératif que la cible 3 et le laser 4 soient installés dans des référentiels différents, l'un de ces deux dispositifs (le laser 4 ou la cible 3) étant solidaire du pont 2 tandis que l'autre est préférentiellement installé dans le référentiel terrestre, par exemple sur une route ou un chemin que le pont 2 enjambe.

25 [0021] De manière préférentielle, et comme représenté sur la figure 1, la cible 3 est solidarisée sous le pont 2, tandis que le laser 4 est monté sur un trépied 18 à proximité du pont, sur le sol 19 enjambé par le pont 2. Tout moyen de fixation amovible connu (non représenté) peut être utilisé pour solidariser la cible 3 au pont 2. Avantageusement, lorsque le pont 2 est métallique, ces moyens de fixation sont

30 formés par un ou plusieurs aimants solidaires de la cible 3.

[0022] En référence aux figures 1 et 2, la caméra 7 est quant à elle installée sous le pont 2 et solidarisée à ce dernier avec des moyens de fixation amovibles comparables à ceux équipant la cible 3. La caméra 7 est positionnée en vis-à-vis de la cible 3, laquelle cible 3 est de fait dans le champ de vision 8 de la caméra 7.

5 L'avantage d'une telle installation de la caméra 7 est sa proximité relativement à la cible 3. La caméra 7 n'a donc pas besoin de présenter une résolution d'image dite haute résolution, c'est-à-dire au moins égale à 1280 pixel par 1024 pixel, pourvu que sa fréquence d'acquisition d'images soit au moins égale à 20 Hertz. Des caméras bon marché, en vente dans les commerces tout public, présentent de  
10 telles caractéristiques techniques.

[0023] De manière alternative, la caméra 7 peut être installée dans le référentiel terrestre, notamment à proximité du laser 4. Dans ce cas précis, compte tenu de l'éloignement de la caméra 7 relativement à la cible 3 (son champ de vision 8 englobant la cible 3), il est préférable d'utiliser une caméra haute définition pour  
15 conserver une bonne précision spatiale des mesures. Avantageusement, la caméra 7 et le laser 4 peuvent alors être combinés au sein d'un même appareil dans cette alternative, et former par exemple un télémètre laser.

[0024] En référence à la figure 3, le support 21 portant la cible 3 est formée de deux plaques planes 22, 23 assemblées entre-elles selon deux plans  
20 perpendiculaires, de manière à former une base de fixation 22 au pont 2 et une paroi 23 portant la cible 3. La base 22 comprend sur l'une de ses faces les moyens de fixation au pont 2, par exemple des aimants collés à ladite face de la base 22. Bien sûr, tout autre type de support connu permettant de fixer la cible 3 sous le pont 2 peut être utilisée.

25 [0025] Le support 21 de cible est en outre installé sous le pont 2 de sorte que la paroi 23 portant la cible 3 s'étende dans un plan vertical. Comme on le verra plus loin dans la description, ce positionnement de la cible 3 sous le pont 2 permet d'obtenir une mesure du déplacement dudit pont 2 selon une composante verticale et selon une composante horizontale. Le système de surveillance 1 permet donc  
30 d'obtenir une mesure du déplacement du pont 2 dans deux dimensions de l'espace.

[0026] En référence à la figure 3, la cible 3 est une feuille plane de couleur uniforme et claire, idéalement blanche, pour optimiser la détection du point laser projeté 5 sur ladite feuille. Cette feuille est par exemple une feuille cartonnée collée à la plaque 23 prévue à cet effet.

5 [0027] Sur la cible 3 est représentée plusieurs repères 9 – 16 positionnés de manière périmétrique et uniformément répartis au niveau de la bordure de la feuille. Cette disposition particulière des repères 9 – 16 présente deux avantages. D'une part, elle permet de conserver une large surface de couleur uniforme 6 au niveau de la partie centrale de la cible 3. Ainsi, les mouvements du point laser 5  
10 sur la cible 3 lors du déplacement du pont 2 sont réalisés à l'intérieur de cette surface uniforme 6. Cela garantit des conditions de détection optimales du point laser 5 par la caméra 7 tout au long de l'acquisition des images, car la couleur et la luminosité du point laser 5 sur la cible 3 demeurent constantes. D'autre part, comme on le remarque bien sur la figure 3, les repères 9 – 16 sont disposés de  
15 manière symétrique par rapport au centre de la cible 3, ce qui facilite le positionnement du point laser 5 sur la cible 3 préalablement à l'acquisition des images dans le cadre du procédé de surveillance qui sera décrit ci-après.

[0028] Chaque repère 9 – 16 comprend des couleurs sombres, préférentiellement noire, pour présenter un fort contraste avec le reste de la surface uniforme 6 de la  
20 cible 3. En outre, chaque repère 9 – 16 présente une alternance de motifs noir et blanc, qui permettent à la caméra 7 de sélectionner précisément certains points particuliers 17 du repère considéré 9 – 16. A titre d'exemple, de tels repères 9 – 16 peuvent être des motifs d'étalonnage de caméra connus.

[0029] La présence d'une pluralité de ces repères 9 – 16 offre donc le double  
25 avantage d'augmenter la précision des mesures de déplacements relatifs du point laser 5 sur la cible 3, comme cela sera expliqué plus précisément ci-après, et de faciliter le centrage du point laser 5 sur la cible 3 pour les raisons évoquées ci-dessus.

[0030] Le procédé de surveillance de l'invention, mis en œuvre par le système de  
30 surveillance 1, va maintenant être décrit.

[0031] Au cours de la première étape, un opérateur installe la cible 3 et la caméra 7 sous le pont 2 grâce aux moyens de fixation amovibles associés. L'opérateur peut se servir d'une nacelle ou de tout autre moyen d'élévation connu. Lorsque les moyens de fixation sont des aimants, l'opérateur peut avantageusement utiliser une perche munie d'un moyen de préhension à une extrémité pour solidariser successivement la caméra 7 et la cible 3 au pont 2. De la sorte, aucun moyen d'élévation supplémentaire n'est nécessaire. Comme précisé plus haut, la caméra 7 est positionnée en vis-à-vis de la cible 3, laquelle cible 3 et ses repères 9 – 16 sont donc dans le champ de vision 8 de la caméra 7.

10 [0032] Au cours de la deuxième étape, ce même opérateur ou un autre installe le laser 4 sur un trépied 18 dans le référentiel terrestre, c'est-à-dire sur le sol 19 et notamment en bordure de la route ou du chemin enjambés par le pont 2. Puis, l'opérateur met le laser 4 sous tension et le pointe vers le centre de la cible 3. De manière optionnelle et avantageuse, l'opérateur peut utiliser des moyens d'affichage reliés à la caméra 7, par exemple un écran des moyens de commande du système de surveillance 1, pour centrer le point laser 5 projeté sur la cible 3 le plus précisément possible.

[0033] Au cours de la troisième étape, les moyens de commande mettent la caméra 7 sous tension et lancent la séquence d'acquisition d'images. Ce lancement est effectué préalablement au passage d'un ou plusieurs véhicules sur le pont considéré 2. En outre, afin de permettre par la suite la reconstruction de la courbe de déplacement du pont 2 en fonction du temps, chaque image est horodatée de son instant d'acquisition. L'acquisition d'images continue tant que les moyens de traitement ne commandent pas l'arrêt de la séquence d'acquisition, de manière à permettre l'acquisition d'images par la caméra 7 pendant le passage d'un véhicule sur le pont 2.

[0034] Au cours de la quatrième étape, les moyens de commande pilotent l'arrêt de la séquence d'acquisition postérieurement au passage d'un ou de plusieurs véhicules sur le pont 2. Pour réduire la durée de la séquence d'acquisition, cette dernière peut être lancée quelques secondes avant le passage du véhicule sur le pont, et arrêtée quelques secondes après le passage dudit véhicule sur le pont 2.

[0035] Les images acquises et horodatées sont alors envoyées aux moyens de traitement, via des moyens de communication appropriés, par exemple un émetteur-récepteur sans fil du type Wi-Fi ou Bluetooth relié à la caméra 7. Il va de soi que dans ce cas, les moyens de traitement comprennent également des  
5 moyens de communication leur permettant de recevoir de telles données.

[0036] Au cours de la cinquième étape, et pour chaque image acquise par la caméra 7, les moyens de traitement déterminent les coordonnées dans le référentiel de la caméra 7 du point laser 5 sur la cible 3. Au cours de cette même étape, toujours pour chaque image acquise, les moyens de traitement déterminent  
10 les coordonnées, dans le référentiel de la caméra 7, d'au moins un point particulier 17 d'au moins un repère 9 – 16 représenté sur la cible. Ces points 17 sont choisis pour leur facilité de détection par la caméra 7, un tel point 16 étant par exemple le centre d'un disque dont la surface comprend une alternance de secteurs blanc et noir (voir repère 9 – 15 de la figure 3). Le repère 16 est différent mais permet  
15 également de repérer facilement un point particulier 17, puisque ce repère 16 représente un disque noir avec deux flèches blanches dessinés dans le disque et pointant toutes les deux vers le centre du disque (qui est le point particulier 17).

[0037] De manière plus générale, tout point matérialisé par l'intersection entre plusieurs zones très contrastées (typiquement blanches et noires) est un bon  
20 candidat pour former un point particulier 17. La caméra 7 du système de surveillance 1 est ainsi en mesure de déterminer avec une grande précision les coordonnées d'un tel point particulier 17.

[0038] Les coordonnées ainsi obtenues sont données en pixels. Néanmoins, les dimensions et la forme des repères 9 – 16 de la cible 3 étant parfaitement connus,  
25 ces repères 9 – 16 permettent de calibrer la caméra 7, pour permettre in fine aux moyens de traitement de transformer les informations données en pixels en informations métriques. Cette étape de calibration préliminaire peut être effectuée avant la mise en place du laser 4, et en tout état de cause avant le lancement de la séquence d'acquisition d'images.

[0039] Au cours de la sixième étape du procédé, les moyens de traitement déterminent, pour chaque image acquise, les distances  $D$  respectives entre le  
30

point laser 5 sur la cible 3 et chaque point particulier 17 et dont les coordonnées sont connues.

[0040] Enfin, au cours de la septième étape, les moyens de traitement déterminent, pour chaque point particulier 17, la variation  $\Delta D$  de la distance D entre le point laser 5 et le point particulier 17 considéré, cette variation  $\Delta D$  de la distance D traduisant un déplacement relatif du point laser 5. Les moyens de traitement déterminent ainsi une courbe de déplacement relatif du point laser 5 sur la cible 3 pour chaque point particulier 17. Ainsi, avec huit repères 9 – 16 et un point particulier 17 par repère, les moyens de traitements déterminent huit courbes de déplacement du point laser 5.

[0041] Les moyens de traitement normalisent ces courbes et réalisent une courbe moyenne 24 à partir de cet ensemble de courbes, ce qui contribue à améliorer la précision de la mesure. Cette courbe moyenne 24 de déplacement relatif (figure 4) du point laser 5 en fonction du temps est une représentation directe du comportement dynamique du pont 2 avant, pendant, et après le passage d'un véhicule sur ce pont 2.

[0042] Un avantage particulier du système de surveillance 1 mettant en œuvre le procédé de l'invention est l'obtention d'une mesure du déplacement du pont 2 dans un plan parallèle à la cible 3. Le plan de la cible 3 étant vertical, le procédé de l'invention permet donc d'obtenir la composante verticale du déplacement du pont 2, et également une composante horizontale dans le plan parallèle à la cible 3.

[0043] Ainsi, au cours d'une étape supplémentaire, les moyens de traitement déterminent les composantes verticales et horizontales respectives des distances D déterminées à la sixième étape. Les moyens de traitement sont ensuite en mesure de déterminer les variations de distances selon la direction verticale d'une part et selon la direction horizontale dans le plan de la cible 3 d'autre part, du point laser 5 par rapport à chaque point particulier 17.

[0044] La mise en œuvre du procédé de l'invention par le système de surveillance 1 permet donc d'obtenir une mesure du déplacement du pont 2 d'une part selon la direction verticale et d'autre part selon la direction horizontale dans le plan de la cible 3, autrement dit dans deux dimensions de l'espace tridimensionnel.

[0045] Comme représenté sur la figure 4, la courbe moyenne 24 comprend trois portions distinctes.

[0046] La première portion située entre les temps  $t_0$  et  $t_1$  peut être considéré comme une droite de pente nulle. En effet, les variations que l'on observe sur cette première portion de courbe sont simplement dues aux imprécisions générées par tout instrument de mesure

[0047] La seconde portion située entre les temps  $t_1$  et  $t_2$  représente le déplacement du pont 2 en fonction du temps lors du passage du véhicule. On constate que le pont 2 adopte un comportement vibratoire, dont la fréquence et l'amplitude peuvent être déterminées directement à partir de la lecture de cette portion de courbe.

[0048] Enfin, la troisième portion de courbe située au-delà du temps  $t_2$  représente le comportement dynamique du pont 2 juste après le passage du véhicule. Cette troisième portion illustre l'atténuation du déplacement vibratoire du pont 2.

[0049] Ainsi, à l'aide du système de surveillance 1 de l'invention comprenant des moyens techniques simples à mettre en œuvre et peu onéreux, le procédé de l'invention permet d'obtenir de façon précise une cartographie du déplacement temporel du pont 2 lorsqu'un véhicule, par exemple un engin ferroviaire, circule sur ce dernier. La fréquence d'acquisition de la caméra 7 est en outre suffisamment élevée pour identifier des déplacements du pont 2 à haute fréquence, provoqués notamment par le passage d'un train à grande vitesse circulant par exemple à plus de 300 km/h. Enfin, les propriétés physiques inhérentes au laser 5 permettent d'obtenir des mesures de déplacement du pont 2 de grande précision.

[0050] Le mode de réalisation décrit ci-dessus n'est nullement limitatif, et des modifications peuvent y être apportées sans sortir du cadre de l'invention. Par exemple, il est tout à fait possible d'installer le laser 4 ou la cible 3 dans un autre référentiel que le référentiel terrestre, pour peu que cet autre référentiel soit parfaitement identifié par rapport à un référentiel géocentrique. De plus, n'importe quel motif lumineux 5 peut être utilisé, par exemple une croix, tant que ce motif 5 permet d'obtenir des mesures suffisamment précises pour l'application recherchée. En outre, la forme et les dimensions des repères 9 – 16 de la cible 3 ne sont pas

limités à ceux représentés sur les figures 2 et 3, car tout autre type de repère permettant de calibrer la caméra 7 et de déterminer le déplacement relatif du motif lumineux 5 peut être utilisé. Il peut également être envisagé d'utiliser un système de surveillance 1 comprenant un laser 4 et des moyens d'acquisition de données de type capteur photoélectrique, un tel capteur, également appelé suiveur de spot, permettant de détecter la position du point laser 5 projeté sur ce capteur et d'en calculer les coordonnées dans un référentiel donné. Il peut aussi être envisagé d'obtenir une mesure du déplacement du pont dans les trois dimensions de l'espace tridimensionnel, en répétant les étapes du procédé de surveillance après avoir tourné le support 21 de la cible 3 installé sous le pont 2 d'un angle de 90° autour de l'axe vertical, et déplacé la source lumineuse 4 pour permettre la projection du point lumineux 5 sur la cible 3. Enfin, le système et le procédé pourrait permettre de définir d'autres paramètres mécaniques du pont 2, par exemple en modélisant la troisième portion de la courbe moyenne 24 avec une fonction d'amortissement. L'analyse de tels paramètres mécaniques permettrait de prédire plus précisément le comportement vibratoire du pont 2, et l'évolution de ces paramètres mécaniques apporterait des renseignements complémentaires sur l'intégrité structurelle du pont 2.

**REVENDEICATIONS MODIFIEES SANS MODIFICATIONS APPARENTES**

1. Système de surveillance (1) d'au moins une structure (2), notamment un ouvrage d'art ferroviaire, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'acquisition de données comportant au moins une cible (3) et des moyens d'enregistrement (7), des moyens d'émission de lumière (4) adaptés pour projeter au moins un motif lumineux (5) sur la cible (3), et des moyens de traitement du déplacement relatif en fonction du temps du motif lumineux (5) sur la cible (3), et en ce que les moyens d'émission de lumière (4) ou la cible (3) sont solidarisés à la structure (2) et ainsi soumis au déplacement de ladite structure (2), l'autre des moyens d'émission de lumière (4) ou de la cible (3) étant installés dans le référentiel terrestre, et en ce que les moyens d'enregistrement sont des moyens d'acquisition d'images (7), lesquels moyens d'acquisition d'images (7) sont une caméra haute définition.

2. Système de surveillance (1) selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'au moins un repère (9 – 16) de dimensions connues est représenté sur la cible (3), en ce que le champ de vision (8) des moyens d'acquisition d'images (7) englobe la cible (3) et son repère (9 – 16), et en ce que les moyens de traitement sont adaptés pour déterminer à partir des images acquises le déplacement relatif en fonction du temps du motif lumineux (5) projeté sur la cible (3) par rapport au repère (9 – 16) de ladite cible (3).

3. Système de surveillance (1) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la cible (3) est solidarisée à la structure (2), et en ce que les moyens d'émission de lumière (4) sont installés dans le référentiel terrestre.

4. Système de surveillance (1) selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que la caméra haute définition (7) est adaptée pour être solidarisée à la structure (2).

5. Système de surveillance (1) selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que la caméra haute définition (7) est adaptée pour être installée dans le référentiel terrestre.

6. Système de surveillance (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la cible (3) comprend une surface de couleur uniforme (6) sur laquelle le motif lumineux (5) est destiné à être projeté.

5 7. Système de surveillance (1) selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, caractérisé en ce que la cible (3) comprend une pluralité de repères (9 – 16) régulièrement répartis au niveau de la bordure de la cible (3), de manière à faciliter le centrage du motif lumineux (5) projeté sur la cible (3).

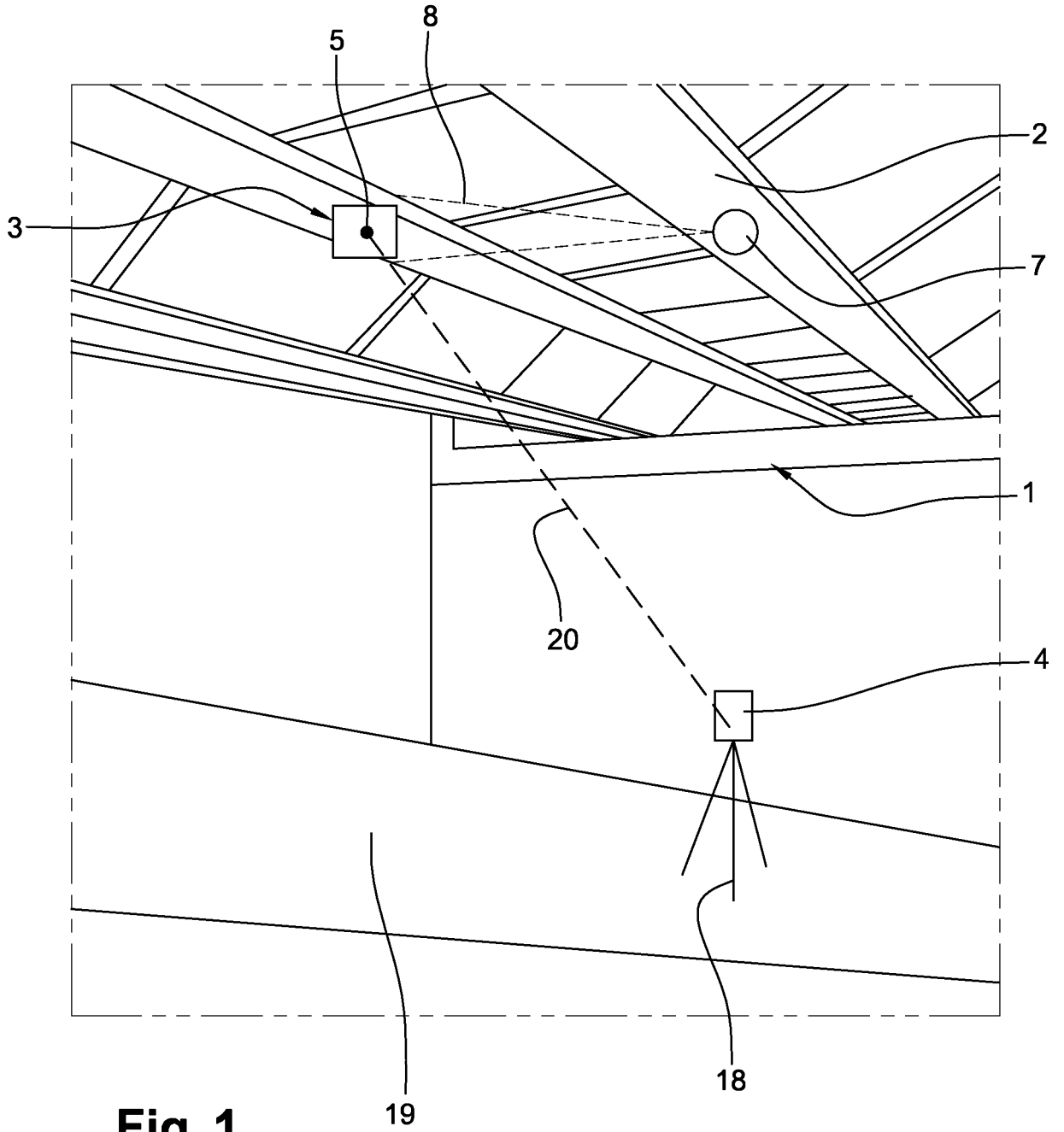
10 8. Système de surveillance (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens d'émission de lumière sont un laser (4).

9. Ensemble de surveillance comprenant au moins le système de surveillance (1) des revendications 1 à 8 et la structure (2) sur laquelle la cible (3) ou les moyens d'émission de lumière (4) sont installés.

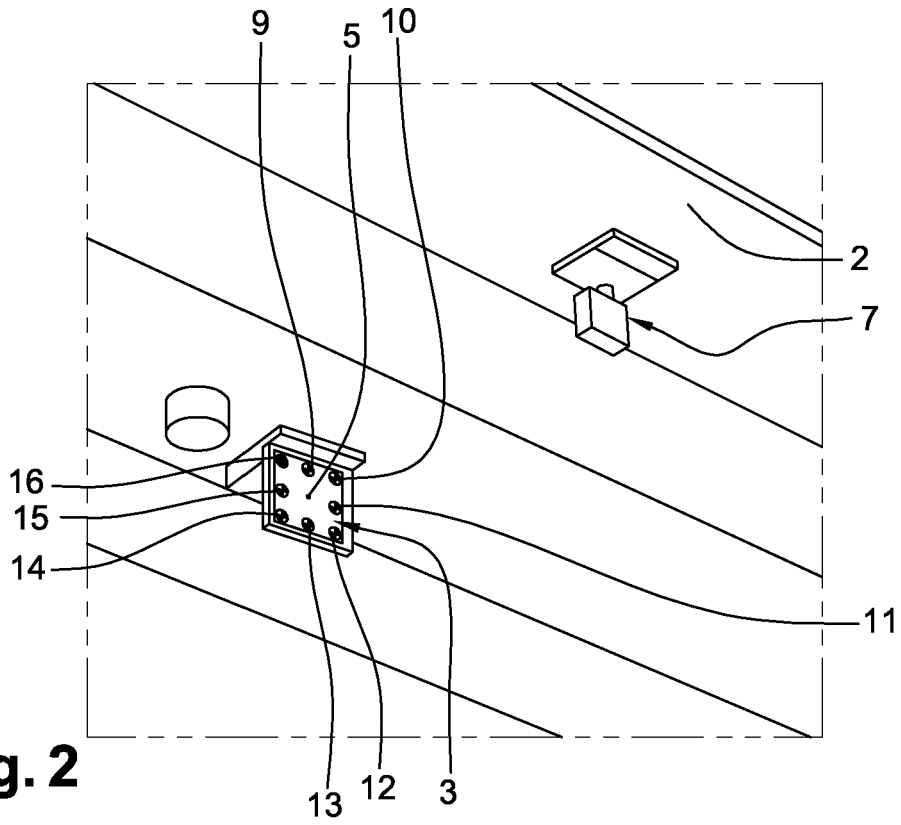
15 10. Procédé de surveillance d'une structure (2), notamment un ouvrage d'art ferroviaire mis en œuvre par un système de surveillance (1) selon l'une quelconque des revendications 2 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes successives de :

- 20 i. solidarisation de la cible (3) et des moyens d'acquisition d'images (7) à la structure (2), le champ de vision (8) desdits moyens d'acquisition d'images (7) englobant la cible (3) et son repère (9 – 16) ;
- ii. installation des moyens d'émission de lumière (4) à proximité de la structure (2) dans le référentiel terrestre et mise sous tension desdits moyens d'émission de lumière (4), ces derniers étant orientés pour projeter un motif lumineux (5) au voisinage du centre de la cible (3) ;
- 25 iii. lancement d'une séquence d'acquisition d'une pluralité d'images par les moyens d'acquisition d'images (7) préalablement au passage d'un véhicule sur la structure (2), chaque image acquise étant horodatée par lesdits moyens d'acquisition (7), l'acquisition se poursuivant durant le passage d'au moins un véhicule sur la structure
- 30 (2), notamment une rame ferroviaire ;

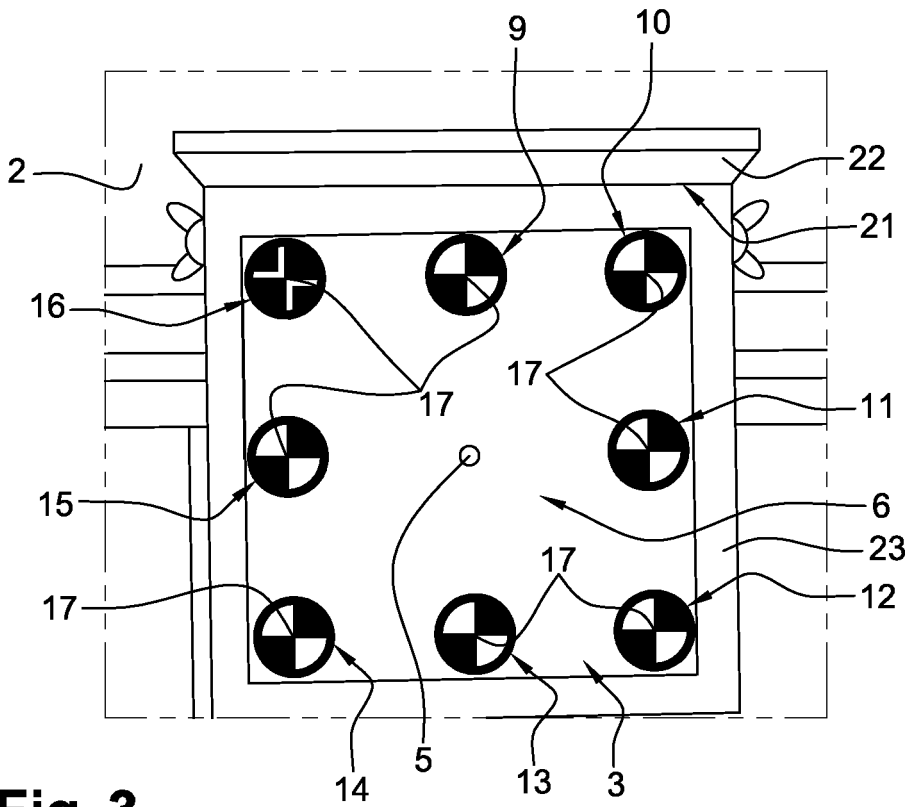
- iv. arrêt de la séquence d'acquisition postérieurement au passage au moins du véhicule sur la structure (2) ;
- v. pour chaque image acquise, détermination par les moyens de traitement des coordonnées dans le référentiel des moyens d'acquisition (7) respectivement d'au moins un point particulier (17) du repère (9 – 16) de la cible (3) et du motif lumineux (5) projeté sur la cible (3) ;
- vi. pour chaque image acquise, détermination par les moyens de traitement de la distance D résultant de la différence entre les coordonnées du point particulier (17) du repère (9 – 16) et les coordonnées du motif lumineux (5) déterminées à l'étape précédente ;
- vii. détermination par les moyens de traitement de la variation  $\Delta D$  de la distance D déterminée en fonction du temps, illustrant le déplacement de la structure (2).



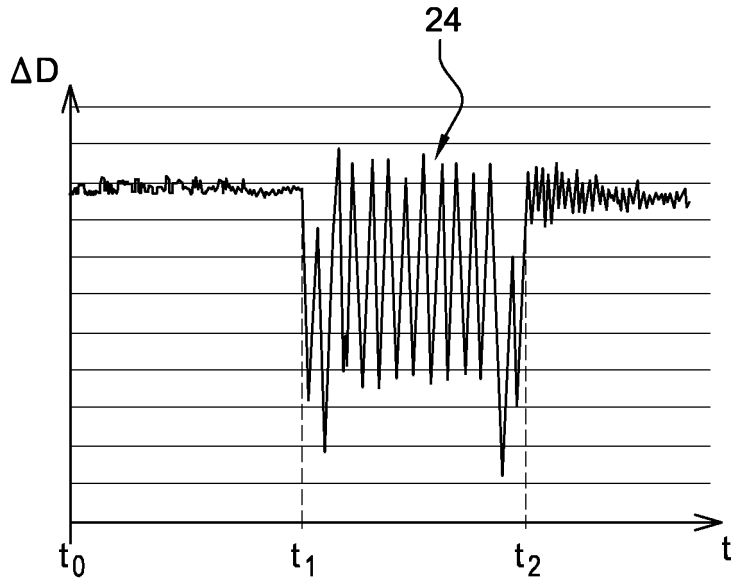
**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 4**

# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN  
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

WO 2017/031064 A1 (INTELLIGENT STRUCTURES INC [US]) 23 février 2017 (2017-02-23)

WO 81/03698 A1 (BRYAN W [GB]) 24 décembre 1981 (1981-12-24)

US 3 778 169 A (ADAMS L) 11 décembre 1973 (1973-12-11)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN  
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

US 4 843 372 A (SAVINO THOMAS [US]) 27 juin 1989 (1989-06-27)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND  
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT