

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
21 septembre 2006 (21.09.2006)

PCT

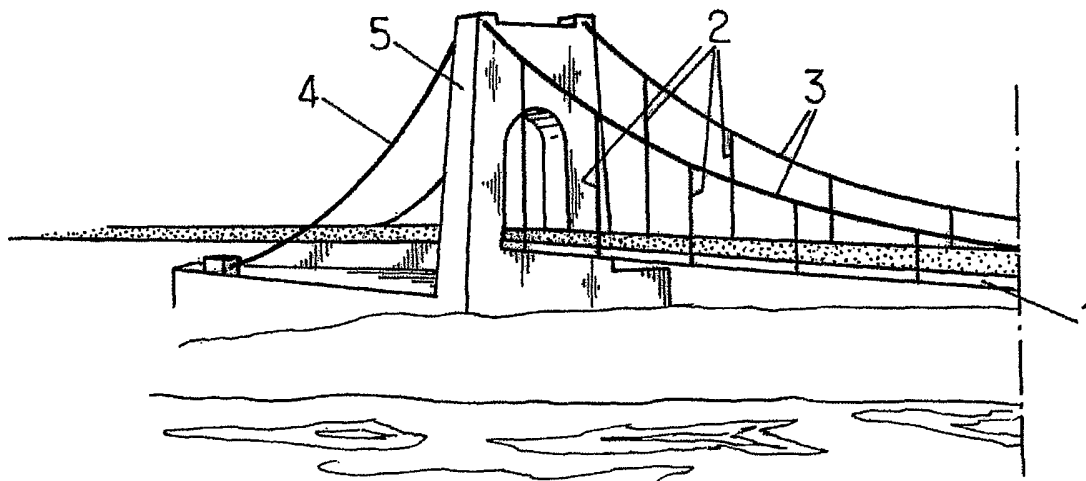
(10) Numéro de publication internationale
WO 2006/097632 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
G01N 3/08 (2006.01) *E04G 21/12* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2006/000579
- (22) Date de dépôt international : 15 mars 2006 (15.03.2006)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
0502666 17 mars 2005 (17.03.2005) FR
- (71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) :
FREYSSINET [FR/FR]; 1Bis, rue du Petit Clamart,
F-78140 Vélizy Villacoublay (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) : **LAU-
RENT, Eric** [FR/FR]; 2 rue Fragonard, F-94220 Char-
enton (FR). **BASILE, Bernard** [FR/FR]; 7, rue Maurice
Ravel, F-78370 Plaisir (FR).
- (74) Mandataires : **LOISEL, Bertrand** etc.; Cabinet Plasser-
aud, 65/67, rue de la Victoire, F-75440 Paris Cedex 9 (FR).
- (81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,
KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY,
MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD FOR DETECTING A RUPTURE INSIDE A STRUCTURE AND SYSTEM FOR IMPLEMENTING SAID METHOD

(54) Titre : PROCÉDE DE DÉTECTION DE RUPTURE AU SEIN D'UNE STRUCTURE ET SYSTÈME POUR LA MISE EN ŒUVRE DU PROCÉDE



(57) Abstract: The invention concerns a system for detecting a rupture inside a portion (6; 12; 13; 15) at least of one structure, delimited by a first (7; 16) and a second (7; 17) reference points of the structure, said portion having a predetermined stiffness in the absence of rupture and being subjected to a tensile or compressive stress (F). The method includes the following steps: detecting at least one length variation inside the portion of the structure, in response to a variation (?F) of the tensile or compressive stress applied to said portion; deducing from the detected variation length, the existence or not of a rupture inside said portion of the structure.

(57) Abrégé : L'invention propose un procédé de détection de rupture au sein d'une portion (6; 12; 13; 15) au moins d'une structure, délimitée par un premier (7; 16) et un second (7; 17) points de référence de la structure, ladite portion ayant une raideur prédéterminée en l'absence de rupture et étant soumise à un effort de traction ou de compression (F). Le procédé comprend les étapes suivantes : - détecter au moins une variation de

[Suite sur la page suivante]

WO 2006/097632 A1



SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

**PROCEDE DE DETECTION DE RUPTURE AU SEIN D'UNE STRUCTURE ET
SYSTEME POUR LA MISE EN ŒUVRE DU PROCEDE**

La présente invention concerne la détection de rupture au sein d'une structure.

5 Elle est applicable notamment, mais pas exclusivement, à la détection de rupture au sein d'un câble, tel qu'un câble porteur de pont suspendu.

Les principaux éléments constituant un pont suspendu sont rappelés de façon schématique sur la figure 1. On y voit un pont suspendu comprenant un tablier 1 assurant la continuité de la voie portée et la répartition des charges. Des suspentes 2 supportent le tablier et transmettent les efforts aux câbles porteurs 3 auxquels ils sont solidement fixés par l'intermédiaire de colliers de suspente. Les câbles 3, d'allure parabolique, assurent la fonction porteuse. Les efforts sont décomposés en une réaction verticale absorbée par des pylônes 5, et un effort de tension transmis par un câble de retenue 4
15 amarré sur un massif d'ancrage.

L'intégrité d'un tel ouvrage repose sur la capacité des câbles 3, des suspentes 2 et des massifs à supporter durablement les contraintes résultant du transfert d'effort.

Ces éléments constituent ainsi les points faibles des ponts suspendus.
20 La sécurité et la durabilité sont donc généralement assurées en prenant en compte de coefficients de sécurité adaptés, d'autant qu'il n'existe pas de redondance de chemin d'effort dans de tels ouvrages.

Les câbles porteurs 3 sont le plus souvent constitués de brins métalliques, généralement en acier, sensiblement parallèles (les brins étant parfois toronnés). Ces brins sont protégés contre la corrosion selon des
25 moyens divers : traitement thermique, chimique, application de peinture, gainage, etc.

Toutefois, on ne peut totalement éviter que certains des brins constitutifs de tels câbles porteurs subissent une rupture provoquée par exemple par oxydation. Ce phénomène est insidieux car il s'exerce surtout sur
30 les brins internes autour desquels de l'eau peut s'infiltrer et stagner sans être

éliminée par évaporation et sans être visible immédiatement.

La configuration sensiblement parallèle des brins métalliques des câbles porteurs implique un certain frottement entre ces brins, qui a pour effet de limiter le recul du ou des brins ayant subi une rupture, au-delà d'une zone
5 entourant le point de rupture.

On parle alors de réancrage, c'est-à-dire qu'au delà de cette zone, les brins rompus continuent de participer à la transmission de l'effort et redeviennent contraints. Seule la zone de rupture a une section amoindrie de la section des brins rompus et par conséquent une contrainte plus élevée
10 s'exerçant sur les brins restants. Ceci peut entraîner une rupture des brins restants dans la zone de rupture par dépassement de contrainte admissible. Ce risque est d'autant plus probable que les causes de la rupture du ou des premiers brins existent toujours dans cette zone.

Pour ces raisons, il est donc important de détecter de façon fiable et
15 précoce les éventuelles ruptures susceptibles de s'être produites au sein d'un tel câble, ou de toute autre structure soumise à d'éventuels efforts de traction ou de compression.

Il est connu de détecter les amorces de rupture au sein d'un câble par auscultation acoustique du câble. L'énergie libérée lors de la rupture d'un brin
20 constitutif du câble est ainsi interceptée et enregistrée à l'aide d'un micro. Toutefois, cette technique ne permet de détecter une rupture qu'au moment où celle-ci se produit. Elle ne donne pas directement l'historique du nombre de ruptures ni aucune indication déterministe sur l'état du câble. Elle ne permet pas non plus directement de caractériser les ruptures qui se sont produites,
25 notamment en termes de localisation et d'amplitude.

Un but de la présente invention est de pallier les inconvénients de la technique connue.

Un but de l'invention est plus particulièrement de détecter des ruptures ayant pu se produire au sein d'une structure telle qu'un câble.

30 Un autre but de l'invention est de caractériser les ruptures, notamment en termes de localisation et d'amplitude.

- 3 -

L'invention propose ainsi un procédé de détection de rupture au sein d'une portion au moins d'une structure, délimitée par un premier et un second points de référence de la structure, ladite portion ayant une raideur prédéterminée en l'absence de rupture et étant soumise à un effort de traction ou de compression. Le procédé comprend les étapes suivantes :

- détecter au moins une variation de longueur au sein de la portion de la structure, en réponse à une variation de l'effort de traction ou de compression appliqué à ladite portion ;
- déduire de la variation de longueur détectée, l'existence ou non d'une rupture au sein de ladite portion de la structure.

Ce procédé permet ainsi de détecter des ruptures éventuelles au sein de la structure.

Les modes de réalisation suivants sont également prévus dans le cadre de la présente invention, seuls ou selon toute combinaison envisageable :

- la variation de l'effort de traction ou de compression appliqué à ladite portion est prédéterminée, et la déduction de l'existence ou non d'une rupture au sein de la portion de la structure est effectuée en tenant compte en outre de la raideur prédéterminée de ladite portion et de ladite variation prédéterminée de l'effort de traction ou de compression appliqué à ladite portion ;

- au moins deux zones sont définies dans la longueur de la portion de la structure ; on détecte une variation de longueur relativement à certaines au moins desdites zones, et on déduit des variations de longueur détectées, l'existence ou non d'une rupture au sein de certaines au moins desdites zones. On peut ainsi localiser avec un certain niveau de précision la ou les ruptures susceptible de s'être produites au sein de la structure ;

- un fil respectif est tendu d'une part entre une extrémité de chacune desdites zones et un élément rotatif respectif relié au premier point de référence de la portion de la structure, et d'autre part entre ledit élément rotatif et le second point de référence de la portion de la structure, et la variation de longueur relativement à certaines au moins desdites zones est détectée à partir

- 4 -

d'une rotation effectuée par ledit élément rotatif respectif en réponse à la variation de l'effort de traction ou de compression appliqué à la portion de la structure ;

5 - l'élément rotatif relié au premier point de référence de la portion de la structure comprend une poulie autour de laquelle le fil respectif passe ;

- la rotation effectuée par la poulie est détectée à l'aide d'un capteur rotatif assujéti à l'axe de rotation de la poulie ;

- la rotation effectuée par la poulie est détectée à l'aide d'un capteur de déplacement linéaire couplé à la poulie ;

10 - la rotation effectuée par la poulie est détectée à l'aide du capteur de déplacement linéaire coopérant avec un bras de levier s'étendant suivant un diamètre de la poulie ;

15 - un dispositif de mesure d'effort est couplé à l'axe de rotation de la poulie et est agencé pour mesurer un déplacement du fil respectif, et la variation de longueur relativement à certaines au moins desdites zones est détectée en outre à partir de ladite mesure de déplacement du fil respectif ;

- l'élément rotatif relié au premier point de référence de ladite portion de la structure comprend un bras rotatif aux extrémités duquel des brins du fil respectif sont respectivement reliés ;

20 - un capteur d'effort est associé à chaque fil pour mesurer un effort exercé sur le fil de part et d'autre de l'élément rotatif respectif, et la variation de longueur relativement à certaines au moins desdites zones est détectée en outre à partir des mesures d'effort exercé sur le fil respectif ;

25 - un fil est tendu entre les premier et second points de référence de la portion de la structure suivant un réseau d'une pluralité d'éléments rotatifs reliés alternativement au premier point de référence de la portion de la structure et à une extrémité de chacune desdites zones ; la variation de longueur relativement à certaines au moins desdites zones est détectée à partir d'une rotation effectuée par au moins un élément rotatif respectif dudit réseau
30 en réponse à la variation de l'effort de traction ou de compression appliqué à la portion de la structure ;

- 5 -

- ledit fil est relié à deux points du premier point de référence de la portion de la structure ;

- la variation de l'effort de traction ou de compression appliqué à ladite portion est prédéterminée, et on déduit en outre, à partir de ladite variation
5 prédéterminée de l'effort de traction ou de compression appliqué à ladite portion et des variations de longueur détectées, une proportion de la section de ladite portion de la structure ayant subi une rupture dans certaines au moins desdites zones ;

- la variation de l'effort de traction ou de compression appliqué à la
10 portion de la structure est progressive et on répète certaines au moins des étapes du procédé à plusieurs instants au cours de cette progression ;

- de nouvelles zones sont ensuite définies dans la longueur de la
portion de la structure, de façon plus concentrée autour des zones au sein
desquelles une rupture a été préalablement détectée, et on répète certaines au
15 moins des étapes du procédé relativement auxdites nouvelles zones ;

- ladite structure est un câble comprenant une pluralité de brins métalliques sensiblement parallèles ;

- ladite structure est un câble porteur de pont suspendu et lesdits
premier et second points de référence délimitant la portion du câble se situent
20 au niveau de colliers de suspente du câble ;

- la variation de l'effort de traction ou de compression appliqué à la portion du câble est obtenue par chargement du pont suspendu à l'aide d'un convoi de référence.

L'invention propose en outre un système adapté à la mise en œuvre du
25 procédé susmentionné. Ce système comprend des moyens pour détecter au moins une variation de longueur au sein d'une portion au moins d'une structure, délimitée par un premier et un second points de référence de la structure et ayant une raideur prédéterminée en l'absence de rupture, en réponse à une variation d'un effort de traction ou de compression appliqué à
30 ladite portion, la variation de longueur détectée par les moyens de détection donnant une indication sur l'existence ou non d'une rupture au sein de ladite

portion de la structure.

D'autres particularités et avantages de la présente invention apparaîtront dans la description ci-après d'exemples de réalisation non limitatifs, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- 5 - la figure 1, déjà commentée, est un schéma simplifié d'un pont suspendu ;
- la figure 2 représente une portion d'un câble "sain" ;
- la figure 3 représente une portion d'un câble ayant subi une rupture ;
- la figure 4 représente une portion d'un câble sur la longueur de laquelle
- 10 une pluralité de zones ont été définies ;
- la figure 5 est un graphique montrant des variations de longueur pour chacune des zones de la portion de câble de la figure 4 ;
- la figure 6 représente un système de détection de rupture selon un mode de réalisation de l'invention ;
- 15 - les figures 7 et 8 montrent un principe de fonctionnement du système de la figure 6 ;
- la figure 9 représente un système de détection de rupture selon l'invention, appliqué à une portion de câble ayant subi une rupture ;
- la figure 10 représente un système de détection de rupture selon un
- 20 mode de réalisation de l'invention et un graphique de variations de longueur données par le système ;
- la figure 11 représente un système de détection de rupture selon un mode de réalisation de l'invention et un graphique de variations d'angle données par le système ;
- 25 - la figure 12 représente un système de détection de rupture selon un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 13 représente le système de détection de la figure 12 en vue de dessus ;
- les figures 14 et 15 représentent un module de mesure d'angle utilisé
- 30 conformément à un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 16 représente un élément rotatif utilisé dans un mode de réalisation de l'invention ;

- 7 -

- la figure 17 représente un système de détection de rupture et une pluralité de graphiques de variations d'angle données par le système conformément à un mode de réalisation de l'invention ;
- 5 - la figure 18 représente un système de détection de rupture et une pluralité de graphiques de variations d'angle données par le système conformément à un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 19 représente un système de détection de rupture selon un mode de réalisation de l'invention ;
- 10 - la figure 20 représente le système de détection de la figure 19 en vue de dessus ;
- la figure 21 représente un système de détection de rupture et une pluralité de graphiques de variations d'angle données par le système conformément à un mode de réalisation de l'invention.

La figure 2 montre une portion ou tronçon 6 d'un câble auquel le système et le procédé selon l'invention peuvent être appliqués, étant entendu
15 que l'invention peut être appliquée à tout type de structure présentant une raideur prédéterminée telle qu'une poutre, une dalle, etc.

Le câble de la figure 1 est par exemple un câble porteur de pont suspendu, constitué de brins métalliques sensiblement parallèles
20 (éventuellement toronnés). Le tronçon 6 s'étend ainsi entre deux colliers de suspente 7 auxquels des suspentes 8 sont solidement fixées. Il présente une longueur L, une section S et un module d'élasticité E. Lorsque les brins constitutifs du câble sont en acier, le module d'élasticité E est celui de l'acier. On peut alors calculer la raideur K du tronçon 6, comme s'il s'agissait d'un
25 ressort, c'est-à-dire :

$$K = ExS/L \quad (1)$$

Le tronçon 6 de câble est normalement soumis à un effort F. Lorsqu'une variation d'effort ΔF apparaît dans le câble, elle provoque alors une variation de longueur ΔL du tronçon 6 proportionnelle à ΔF et inversement
30 proportionnelle à la raideur K, soit

$$\Delta L = \Delta F/K \quad (2)$$

Lorsqu'un ou plusieurs brins du câble sont rompus au sein du tronçon 6, ce dernier voit sa section réduite de la section correspondant à celle des brins rompus, soit ΔS , dans une zone entourant le point de rupture. Comme exposé plus haut, cette zone de rupture est limitée par les frottements internes
5 entre les brins. Le tronçon peut alors être considéré comme une pluralité de ressorts en série ayant chacun une raideur dépendant de sa section.

La figure 3 illustre ce modèle. On y voit un tronçon 12 de câble s'étendant entre deux colliers de suspente 7. La longueur L totale de ce tronçon se divise entre trois zones successives 9 à 11, de longueurs
10 respectives L1, L2 et L3. La zone 10 est une zone de rupture, c'est-à-dire la zone dans laquelle des brins du câble ont été rompus, si bien que la section du tronçon 12 est de $S-\Delta S$ dans cette zone, contre S dans les zones 9 et 11 non impactées par la rupture.

Conformément à la formule (1), la raideur dans les zones 9 à 11 est
15 respectivement :

$$K1 = E \times S/L1$$

$$K2 = E \times (S-\Delta S)/L2$$

$$K3 = E \times S/L3 \quad (3)$$

La raideur totale K' du tronçon 12 s'écrit alors comme une combinaison
20 de ces ressorts en série, de sorte que :

$$1/K' = 1/K1 + 1/K2 + 1/K3 \quad (4)$$

Cette raideur K' est plus faible que celle d'un tronçon "sain", c'est-à-dire n'ayant pas subi de rupture en son sein, tel que le tronçon 6 de la figure 2.

Par conséquent, une augmentation de l'effort dans ce tronçon 12
25 provoque un allongement supérieur à ce qu'il serait sans cette perte localisée de section. Ce surplus d'allongement est proportionnel à l'augmentation de l'effort et à la longueur du tronçon concernée par cette perte.

Ainsi, une détection de l'augmentation de longueur $\Delta L'$ du tronçon 12 lorsqu'il est soumis à un surplus d'effort ΔF peut permettre de conclure à
30 l'existence d'une rupture au sein de ce tronçon. Une connaissance de la valeur

du surplus d'effort ΔF et de la raideur K du tronçon en l'absence de rupture permet de vérifier que l'allongement $\Delta L'$ est supérieur à celui ΔL d'un tronçon sain, et donc d'en déduire l'existence d'une rupture au sein du tronçon 12.

Bien qu'un tel fonctionnement permette la détection de rupture au sein
5 d'un tronçon de câble, cette détection peut être considérée comme insuffisamment précoce dans des cas d'application réels, car le surcroît de variation de la longueur du tronçon ne devient significatif que lorsque la section perdue est relativement importante, de même que la longueur de la zone de rupture. La précision de la mesure de variation de longueur de tronçon peut
10 être limitante dans ce cas.

La figure 4 montre un tronçon 13 de câble le long duquel une série de mesures différentielles est effectuée, de façon à obtenir une détection de rupture plus performante que dans le cas précédent.

Ce tronçon 13 est divisé en sept zones de longueurs respectives L_1 à
15 L_7 . Il est soumis à un effort initial de traction F . Comme dans le cas précédent, on peut augmenter l'effort F d'une valeur ΔF et détecter une variation consécutive de longueur pour les différentes zones du tronçon 13.

La figure 5 montre un exemple de valeurs de variation de longueur
20 obtenue pour chacune des sept zones du tronçon 13. Les variations de longueur sont avantageusement exprimées de façon relative, c'est-à-dire selon l'expression $\Delta L_n/L_n$, avec n allant de 1 à 7. On constate sur la figure 5 que la variation de longueur obtenue pour la zone de longueur 3 du tronçon 13 possède la valeur la plus élevée. Conformément à ce qui a été exposé plus haut, cela signifie que la raideur de cette zone est plus faible que celle des
25 autres zones, ce qui indique une réduction de section consécutive à une rupture dans cette zone.

En variante, plutôt que de comparer directement entre elles les variations de longueur de toutes les zones définies, on pourrait comparer la variation de longueur de chaque zone avec la variation de longueur globale du
30 tronçon considéré. On peut alors déterminer la contribution de chaque zone à la variation de longueur du tronçon, et en déduire l'existence ou non d'une rupture dans chacune des zones considérées.

Ce mode de réalisation de l'invention permet ainsi de conclure à la présence d'éventuelles ruptures au sein d'un tronçon de câble. Il permet en outre de localiser avec un certain degré de précision, qui dépend du nombre de zones définies sur la longueur du tronçon, les ruptures éventuelles. Enfin, la
5 comparaison entre certaines variations de longueur détectées permet de s'affranchir, dans une certaine mesure, du problème de précision de la mesure évoqué dans le cadre du mode de réalisation précédent.

On va décrire ci-après un autre mode de réalisation de l'invention, qui améliore encore la fiabilité de détection des ruptures et de leur caractérisation
10 éventuelle.

La figure 6 montre, de façon redressée pour simplifier sa lecture, un tronçon 15 de câble, délimité par des points de référence qui peuvent par exemple être des colliers de suspente 16 et 17, dans le cas d'un câble porteur de pont suspendu.

15 Une poulie 20 est montée rigidement sur le collier de suspente 16 par l'intermédiaire d'une tige 21. Cette tige est de préférence très rigide de sorte que les mouvements du collier 16 soient intégralement reportés sur la poulie.

Un fil 19 de section constante est ancré à son extrémité 22 sur un collier intermédiaire 18 et à son extrémité 23 sur le collier de suspente 17 par
20 l'intermédiaire d'une tige 24. Cette tige 24 est également de préférence très rigide de sorte qu'un effort de traction sur le fil ne la déforme pas. Le fil 19 passe sur la poulie 20 qui peut tourner autour de son axe porté par la tige 21. Le fil 19 est tendu par exemple à l'aide de dispositifs situés à ses extrémités 22 et 23 ou bien par un moyen de recul de la poulie 20. Il n'y a pas de jeu
25 significatif entre la poulie et son axe.

Ainsi, le fil 19, d'élasticité prédéterminée, est tendu pour partie au-dessus d'une zone du tronçon 15 s'étendant entre le collier intermédiaire 18 et la poulie 20 (brin 19a) et pour partie sur toute la longueur du tronçon 15, c'est-à-dire entre la poulie 20 et le collier de suspente 17 (brin 19b).

30 Comme expliqué plus haut, lorsque le câble de la figure 6 est soumis à un effort supplémentaire ΔF , cela provoque une variation de longueur

proportionnelle entre les colliers 16 et 17. Cet allongement se répercute sur le brin 19b du fil qui réagit en retour en exerçant un effort de traction sur la poulie 20 tendant à la faire tourner. Dans l'exemple illustré sur la figure 6, la poulie tend alors à tourner dans le sens des aiguilles d'une montre, lorsque l'effort supplémentaire ΔF s'exerçant sur le câble est un effort de traction.

Cependant, le collier 18 étant solidaire du câble, il est susceptible de subir un mouvement dû à l'allongement du câble. Ce mouvement dépend de sa position au sein du tronçon 15. Puisque le brin 19a du fil est relié au collier intermédiaire 18, il subit un allongement identique qui provoque, en réaction, un effort de traction s'exerçant sur la poulie 20 tendant à la faire tourner en sens inverse. Dans l'exemple illustré sur la figure 6, la poulie tend alors à tourner dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, lorsque l'effort supplémentaire ΔF s'exerçant sur le câble est un effort de traction.

On note E_f le module d'élasticité du fil 19 et s sa section. l_1 désigne la longueur du brin 19b et l_2 la longueur du brin 19a. Δl_1 désigne l'allongement du brin 19b du fait du mouvement relatif des colliers 16 et 17. Δl_2 désigne l'allongement du brin 19a du fait du mouvement relatif des colliers 16 et 18.

Les allongements subis par les brins du fil étant de préférence intégralement communiqués par les colliers sur lesquels ils sont fixés, ils sont identiques à ceux du câble.

Si f_1 désigne l'effort résultant de l'allongement Δl_1 du brin 19b et f_2 l'effort résultant de l'allongement Δl_2 du brin 19a, on peut alors écrire :

$$\begin{aligned} f_1 &= E_f \times s / l_1 \times \Delta l_1, \text{ soit encore } f_1 = E_f \times s \times \Delta l_1 / l_1, \text{ et} \\ f_2 &= E_f \times s / l_2 \times \Delta l_2, \text{ soit encore } f_2 = E_f \times s \times \Delta l_2 / l_2 \end{aligned} \quad (5)$$

Le différentiel d'effort entre f_1 et f_2 provoque la rotation de la poulie 20 jusqu'à ce que ces efforts s'équilibrent, puisque cette rotation provoque à son tour une modification de longueur des brins 19a et 19b du fil 19.

Ce phénomène est illustré sur les figures 7 et 8. Sur la figure 7, on a représenté les efforts f_1 et f_2 s'exerçant sur les brins du fil 19 de part et d'autre de la poulie 20. Dans l'exemple représenté, la valeur de f_1 est supérieure à

celle de f_2 , créant ainsi un différentiel Δf apte à faire tourner la poulie 20 dans le sens des aiguilles d'une montre.

La figure 8 montre le même dispositif une fois que les efforts se sont équilibrés, c'est-à-dire que les efforts f_1 et f_2 s'exerçant sur les brins du fil 19 de part et d'autre de la poulie 20 sont égaux, si bien que la poulie 20 arrête de tourner, le différentiel d'effort étant désormais nul. On note que le différentiel Δf a provoqué une rotation de la poulie 20 d'un angle α , tel qu'illustré sur la figure 8. Cet angle α est proportionnel au différentiel d'effort Δf qui est lui-même directement proportionnel aux allongement relatifs des brins 19a et 19b, comme le montrent les formules (5).

Comme les allongements relatifs des brins 19a et 19b sont valablement transmis par les colliers du câble sur lesquels ils sont fixés, l'angle α est donc représentatif du différentiel d'allongement relatif du câble. Autrement dit, la rotation de la poulie donne une indication fiable des variations relatives des longueurs de certaines zones du tronçon considéré.

Ainsi, lorsque le tronçon de câble est "sain", c'est-à-dire lorsque aucun brin métallique du tronçon de câble n'a été rompu, son allongement relatif est constant sur toute sa longueur en cas de variation de l'effort de tension. En particulier $\Delta l_1/l_1 = \Delta l_2/l_2$. Dans ce cas, la poulie ne tourne pas puisque, conformément aux formules (5), les efforts f_1 et f_2 sont identiques.

La figure 9 montre le même système de détection de rupture que celui de la figure 6, appliqué à un tronçon de câble ayant subi une perte de section. Ce tronçon se décompose en trois parties 25 à 27. La zone intermédiaire 26 est celle au sein de laquelle la rupture s'est produite.

Dans l'exemple illustré sur la figure 9, on comprend à la lumière de ce qui précède que le brin 19b subit un allongement relatif plus important que celui du brin 19a, lorsque le tronçon est soumis à un effort de traction additionnel. Cela provoque une rotation de la poulie 20 proportionnelle à ce déséquilibre. L'angle final de rotation de la poulie 20 détermine ainsi le différentiel d'allongement relatif du câble.

On note qu'un effort de traction exercé sur le câble se traduit par un

allongement du tronçon considéré. A l'inverse, un effort de compression pourra se traduire, au contraire, par un raccourcissement du tronçon.

La figure 10 montre un système de détection de rupture appliqué à un tronçon de câble, similaire à celui de la figure 9, mais dans lequel plusieurs
5 colliers intermédiaires 18, 28 et 29 ont été positionnés sur la longueur du tronçon de câble, de manière à obtenir différentes mesures simultanément ou successivement.

Chaque collier intermédiaire définit une zone respective du tronçon considéré s'étendant par exemple entre le collier de suspente 16 et le collier
10 intermédiaire en question. Une détection de rupture éventuelle va être effectuée relativement à chacune des zones ainsi définies.

Conformément à ce qui a été décrit plus haut, un fil est tendu entre un collier intermédiaire 18, 28 ou 29 et le collier de suspente 17 par l'intermédiaire
15 de la poulie 20 fixée sur le collier de suspente 16. Puis l'effort F exercé sur le câble est augmenté de la valeur ΔF , provoquant ainsi un allongement relatif du tronçon.

On obtient ainsi une variation de longueur relative $\Delta l_i/l_i$ pour chacune des zones définies, où l_i désigne la longueur de la zone considérée entre le
20 collier 16 et le collier intermédiaire correspondant. Dans l'exemple illustré sur la figure 10, on obtient ainsi trois valeurs de variation de longueur correspondant chacune à une des zones définies en relation avec un des colliers intermédiaires 18, 28 ou 29.

Ces mesures $\Delta l_i/l_i$ peuvent être portées sur un graphique tel que représenté sur la figure 10, en fonction de l_i . Selon le nombre de zones définies
25 sur la longueur du tronçon de câble, c'est-à-dire selon le nombre de colliers intermédiaires utilisés, on peut ainsi obtenir une courbe plus ou moins précise des variations de longueur du tronçon sur la longueur de ce tronçon.

La courbe 32 représentée sur la figure 10 est un exemple de courbe ainsi obtenue. Elle montre, dans une portion 33, un allongement relatif constant
30 qui indique que les caractéristiques géométriques du câble y sont inchangées et donc que la raideur de la partie 25 correspondante du tronçon possède une

raideur non modifiée. En d'autres termes, la section de la partie 25 du tronçon de câble n'a pas été entamée, ce qui indique qu'aucune rupture de brins n'a eu lieu dans cette zone.

Une deuxième portion 34 de la courbe 32 correspond à la partie 26 du tronçon de câble. Cette partie 26 montre un changement de section, consécutive à une rupture du câble, qui se traduit par une croissance par exemple parabolique de la courbe dans sa portion 34. La raideur de la partie 26 du tronçon de câble est en effet plus faible que celle de la partie 25. La croissance de la courbe 32 est représentative de l'effet des deux parties 25 et 26 du tronçon de câble de raideur différente mises en série.

Une troisième portion 35 de la courbe 32 correspond à la partie 27 du tronçon de câble. Dans cette portion 35, la courbe 32 est décroissante selon une forme par exemple parabolique. Cela est représentatif de l'effet des trois parties 25 à 27 du tronçon de câble mises en série et du fait que la section du câble augmente entre les parties 26 et 27 du tronçon, la partie 27 n'ayant pas été affectée par la rupture.

La valeur la plus à droite de la courbe 32 correspondant à la variation de longueur $\Delta l/l_1$ au niveau du collier de suspension 17.

Une simulation permet de vérifier que dans un exemple typique de réalisation, et en reprenant les notations L_1 , L_2 , L_3 , S et ΔS utilisées plus haut en référence à la figure 3, les différentes portions 33-35 de la courbe 32 sont respectivement de la forme suivante : A , $B+(A-B).L_1/l_i$ et $A+(B-A).L_2/l_i$, où $A=\Delta F/(E_x S)$ et $B=\Delta F/(E_x(S-\Delta S))$.

Une analyse de la courbe 32 permet donc de déterminer les zones du tronçon de câble ayant subi une rupture en leur sein. Une analyse plus détaillée de la courbe, basée notamment sur les valeurs de pente ou de courbure de ses différentes parties, permet en outre de déterminer avec précision la position de la rupture ainsi que son amplitude. Avec une connaissance préalable de l'effort additionnel ΔF appliqué au câble, on peut évaluer la section du câble perdue suite à la rupture de brins métalliques.

On note que la courbe 32 peut être obtenue à l'aide du système de

- 15 -

détection de rupture décrit plus haut, mais également à l'aide de tout moyen de mesure permettant de relever les valeurs $\Delta l_i/l_i$.

Lorsque le système de détection de rupture utilisé est celui décrit ci-dessus, il peut être avantageux, en pratique, de construire une courbe
 5 représentant l'angle de rotation α de la poulie en fonction de la longueur l_i . Une telle courbe est représentée sur la figure 11. Elle est le pendant de la courbe 32 représentée sur la figure 10, du fait de la relation existant entre l'angle de rotation α de la poulie 10 et le différentiel d'effort qui s'exerce sur les deux brins du fil 19. On y retrouve notamment trois portions de courbe 37 à 39 ayant des
 10 courbures différentes, traduisant l'effet en série de parties successives du tronçon de câble ayant des raideurs différentes. En particulier, les portions 37 et 39 de cette courbe correspondent à des rotations de la poulie dans des sens opposés.

Une simulation permet de vérifier que dans un exemple typique de
 15 réalisation, et en reprenant les notations L , L_1 , L_2 , L_3 , S et ΔS utilisées plus haut en référence aux figures 2 et 3, les différentes portions 37-39 de la courbe 36 sont respectivement de la forme suivante à un coefficient multiplicateur près : $(L-l_i.f_1(l_i))/(1+f_1(l_i))$, $(L-l_i.f_2(l_i))/(1+f_2(l_i))$ et $(L-l_i.f_3(l_i))/(1+f_3(l_i))$, où

$$f_1(l_i) = \frac{L}{l_i} + \frac{(B-A).L_2}{(A+1).l_i}$$
, $f_2(l_i) = \frac{(A+1).L + (B-A).L_2}{(B+1).l_i + (A-B).L_1}$, $f_3(l_i) = \frac{(A+1).L + (B-A).L_2}{(A+1).l_i + (B-A).L_2}$
 20 et où $A = \Delta F / (ExS)$ et $B = \Delta F / (Ex(S - \Delta S))$. Le coefficient multiplicateur est l'inverse du rayon de la poulie 10. Ainsi, la sensibilité de mesure de l'angle de rotation α de la poulie est d'autant meilleure que le rayon de cette poulie est faible.

L'intérêt d'une courbe du type de la courbe 36 est qu'elle peut être tracée directement à la lecture des valeurs d'angle de rotation de la poulie,
 25 sans calcul supplémentaire. L'analyse d'une telle courbe 36 peut être faite de façon similaire à l'analyse de la courbe 32 décrite plus haut. Elle permet notamment de mettre en évidence une zone de section affaiblie au sein du tronçon de câble considéré et d'en apprécier son étendue. L'analyse des portions de cette courbe permet en outre de déterminer la proportion de section
 30 perdue si l'on connaît le surcroît d'effort appliqué au câble.

Un tel système est également apte à détecter plusieurs modifications

de section le long du tronçon, qui apparaîtraient alors comme autant de changements de pente ou de courbure dans les courbes obtenues.

Afin que les informations obtenues puissent être complètement exploitées, il est souhaitable que le surcroît d'effort appliqué au câble soit
5 prédéterminé. Un moyen simple d'y parvenir est par exemple de charger l'ouvrage auquel le câble participe, tel qu'un pont suspendu, avec un convoi de référence dont les caractéristiques sont connues, en ayant préalablement calculé le surcroît d'effort dans les tronçons de câble résultant de sa présence. Une telle opération n'entraîne généralement pas d'autre contrainte que la
10 fermeture temporaire de l'ouvrage à la circulation.

Les figures 12 et 13 montrent, respectivement en vue de côté et en vue de dessus, un système de détection de rupture selon l'invention tel que décrit plus haut, dans lequel une pluralité de colliers intermédiaires 40-44 sont positionnés le long du tronçon de câble considéré, entre les colliers extrêmes
15 16 et 17. Des fils 45-49 sont respectivement tendus à partir de chacun de ces colliers jusqu'à une poulie correspondante P1-P5 fixée au collier 16, puis jusqu'au collier opposé 17. Ce montage permet d'obtenir simultanément des valeurs de variation de longueur (ou des valeurs d'angle de rotation des poulies) pour chacune des zones du tronçon délimitées par un collier
20 intermédiaire. Dans ce cas, un seul chargement de l'ouvrage à l'aide d'un convoi de référence est nécessaire pour obtenir toute l'information souhaitée.

Les fils tels que les fils 19 et 45-49 des figures commentées plus haut peuvent être avantageusement pré-tendus selon une valeur de tension suffisante pour que le surcroît d'effort exercé sur le câble soit immédiatement
25 transformé en un allongement des brins. On rend ainsi la mesure sensible dès l'apparition du phénomène, par suppression du "mou".

On peut associer à l'axe de chaque poulie un dispositif de mesure d'effort qui permettrait de s'assurer de la pré-tension des fils d'une part et d'effectuer la mesure d'allongement d'autre part, les caractéristiques des fils
30 utilisés étant parfaitement connues.

Il est également possible d'ajouter un capteur d'effort pour chacun des brins sur leur dispositif de tension (aux points 22 et 23 de la Figure 6 par

exemple) ou ailleurs, afin de corroborer la mesure d'angle de rotation de la poulie. On améliore ainsi la fiabilité de la détection de rupture.

La mesure de rotation de la poulie peut avantageusement être réalisée à l'aide d'un capteur rotatif assujéti à l'axe de la poulie. En variante, on peut renvoyer cette mesure sur un capteur de déplacement linéaire dont la sensibilité peut être augmentée par un bras de levier. Ce dernier mode de réalisation est illustré sur les figures 14 et 15.

La figure 14 montre ainsi un capteur de déplacement linéaire 52 monté sur l'axe de rotation 50 de la poulie 20. Ce capteur est muni d'un doigt mobile 53 à course linéaire venant en appui sur un bras de levier 51 fixé à la poulie suivant un diamètre de celle-ci. Avant que le surcroît d'effort soit exercé sur le câble (non représenté) portant le système de détection de rupture, la poulie 20 de l'exemple représenté sur la figure 14 est dans une position initiale telle que le bras de levier 51 est vertical.

Lorsqu'un surcroît d'effort s'exerce sur le câble, le mouvement du fil 19 entraîne la rotation de la poulie 20 par exemple dans le sens des aiguilles d'une montre selon un angle α . Le bras de levier 51 se déplace alors avec la poulie, de façon que le doigt 53 s'étende d'une longueur d correspondante pour rester en appui avec le bras de levier. Cette longueur d peut être exploitée pour déterminer une variation de longueur relative à une zone du tronçon de câble considéré, en remplacement ou en complément de la mesure d'angle α .

La figure 16 montre un élément rotatif pouvant être utilisé en remplacement ou en complément de la poulie 20. Il s'agit d'un bras 54 en rotation autour d'un axe 55. Dans ce mode de réalisation, les brins 19a et 19b du fil utilisé dans le système de détection de rupture sont reliés chacun à une des extrémités du bras 55, de façon à faire tourner le bras autour de son axe en fonction de la force s'exerçant sur chacun de ces bras, sous l'effet de l'allongement de zones correspondantes du câble.

Dans un mode de réalisation avantageux de l'invention, on tire profit de l'augmentation progressive du surcroît d'effort ΔF imposé au câble, par exemple du fait du chargement de l'ouvrage auquel il participe à l'aide d'un convoi de référence. Les variations de longueur de certaines zones du tronçon

- 18 -

de câble considéré (ou bien les mesures d'angle correspondantes) sont alors obtenues à différents stades du chargement.

Ce mode de réalisation est illustré sur la figure 17, où l'on constate que des points de mesure sont obtenus à des instants successifs, de manière à
5 pouvoir construire des courbes 56-59 au cours de la progression du surcroît d'effort ΔF . L'obtention de ces différentes courbes permet de disposer d'une quantité d'informations apte à fiabiliser encore l'analyse du phénomène et donc la détection de ruptures éventuelles au sein du câble. On pourra
10 avantageusement chercher à obtenir des mesures en continu lors de la phase d'augmentation de l'effort. D'autres informations telles que la position du convoi, la température, etc. pourront également être obtenues à l'aide de capteurs pour améliorer encore le suivi et l'analyse des mesures.

La figure 18 montre un autre mode de réalisation avantageux de l'invention dans lequel une première courbe d'angle α ou de tout autre
15 paramètre représentatif de la variation de longueur d'une zone du tronçon de câble considéré est tout d'abord obtenue, par exemple à l'aide du système de détection de rupture de la figure 17. Puis, ayant détecté une rupture dans une zone particulière du tronçon de câble (la zone correspondant à la portion 61 de la première courbe de la figure 18), on démonte le système de détection de
20 rupture et on le remonte de manière à ce qu'il autorise une prise de mesures plus concentrée autour de la zone de rupture détectée.

A cet effet, les colliers intermédiaires sont repositionnés de façon rapprochée autour de la zone de rupture détectée. On obtient ainsi de nouvelles valeurs d'angle α , permettant d'affiner la première courbe obtenue
25 dans la zone pertinente. On constate ainsi, dans l'exemple illustré sur la figure 18, que la courbe affinée possède une portion 62 ayant une décroissance particulièrement importante, ce qui indique que la rupture a eu lieu dans la zone correspondante du câble.

Bien sûr, d'autres variantes peuvent être dérivées des principes
30 généraux exposés ci-dessus et font ainsi partie de la présente invention. En particulier, d'autres paramètres pertinents, en complément ou en remplacement des paramètres $\Delta l_i/l_i$ et α définis plus haut, peuvent être utilisés

- 19 -

pour détecter des variations de longueur au sein du câble en réponse à une variation de l'effort de traction ou de compression qui lui est appliqué. Une adaptation du système de détection de rupture peut alors être éventuellement envisagée pour la mesure de tels paramètres.

5 Les figures 19 et 20 montrent un autre exemple de système selon un autre mode de réalisation avantageux de l'invention. Contrairement à ceux représentés en référence aux figures 12 et 13, ce système ne comprend qu'un fil, lequel suit un réseau d'une pluralité d'éléments rotatifs telles que des poulies P'1 à P'11.

10 La figure 21 montre un système similaire à celui des figures 19 et 20, monté sur un câble ayant subi une rupture en son sein. Lors d'un essai de chargement, les écarts entre $\Delta l_i/l_i$ s'amplifient. Une courbe de variation peut alors être tracée selon les principes exposés plus haut. Lorsque cette courbe représente une variation de l'angle de rotation α de certaines au moins des
15 poulies utilisées (par exemple chacune des poulies P'1, P'3, P'5, P'7, P'9, et P'11, pour obtenir une mesure pour chaque zone du câble), on peut alors y détecter une inversion de pente ou de courbure significative au niveau de la section réduite.

20 Cette inversion de pente ou de courbure est intéressante, car elle permet une détection particulièrement nette de la zone de rupture, par rapport à un simple changement de pente ou de courbure par exemple.

D'autres systèmes sont bien sûr également envisageables dans le cadre de la présente invention.

REVENDICATIONS

1. Procédé de détection de rupture au sein d'une portion (6;12;13;15) au moins d'une structure, délimitée par un premier (7;16) et un second (7;17) points de référence de la structure, ladite portion ayant une raideur prédéterminée en l'absence de rupture et étant soumise à un effort de traction ou de compression (F), le procédé comprenant les étapes suivantes :
- détecter au moins une variation de longueur au sein de la portion de la structure, en réponse à une variation (ΔF) de l'effort de traction ou de compression appliqué à ladite portion ;
 - déduire de la variation de longueur détectée, l'existence ou non d'une rupture au sein de ladite portion de la structure.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la variation (ΔF) de l'effort de traction ou de compression appliqué à ladite portion est prédéterminée, et dans lequel la déduction de l'existence ou non d'une rupture au sein de la portion (6) de la structure est effectuée en tenant compte en outre de la raideur prédéterminée de ladite portion et de ladite variation prédéterminée de l'effort de traction ou de compression appliqué à ladite portion.
3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel au moins deux zones sont définies dans la longueur de la portion (12;13;15) de la structure, dans lequel on détecte une variation de longueur relativement à certaines au moins desdites zones, et dans lequel on déduit des variations de longueur détectées, l'existence ou non d'une rupture au sein de certaines au moins desdites zones.
4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel un fil respectif (19) est tendu d'une part entre une extrémité (18;28;29;40-44) de chacune desdites zones et un élément rotatif respectif (20;54) relié au premier point de référence (16) de la portion de la structure, et d'autre part entre ledit élément rotatif (20;54) et le second point de référence (17) de la portion de la structure, et dans lequel la variation de longueur relativement à certaines au moins desdites

zones est détectée à partir d'une rotation (α) effectuée par ledit élément rotatif respectif en réponse à la variation (ΔF) de l'effort de traction ou de compression appliqué à la portion de la structure.

- 5 5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel l'élément rotatif relié au premier point de référence (16) de la portion de la structure comprend une poulie (20) autour de laquelle le fil respectif (19) passe.
6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel la rotation (α) effectuée par la poulie (20) est détectée à l'aide d'un capteur rotatif assujéti à l'axe de rotation de la poulie.
- 10 7. Procédé selon la revendication 5, dans lequel la rotation (α) effectuée par la poulie (20) est détectée à l'aide d'un capteur de déplacement linéaire (52) couplé à la poulie.
8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel la rotation (α) effectuée par la poulie (20) est détectée à l'aide du capteur de déplacement linéaire (52) coopérant avec un bras de levier (51) s'étendant suivant un diamètre de la poulie.
- 15 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, dans lequel un dispositif de mesure d'effort est couplé à l'axe de rotation de la poulie (20) et est agencé pour mesurer un déplacement du fil respectif (19), et dans lequel la variation de longueur relativement à certaines au moins desdites zones est détectée en outre à partir de ladite mesure de déplacement du fil respectif.
- 20 10. Procédé selon la revendication 4, dans lequel l'élément rotatif relié au premier point de référence (16) de ladite portion de la structure comprend un bras rotatif (54) aux extrémités duquel des brins (19a,19b) du fil respectif (19) sont respectivement reliés.
- 25 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 10, dans lequel un capteur d'effort est associé à chaque fil (19) pour mesurer un effort exercé sur le fil de part et d'autre de l'élément rotatif respectif (20;54), et dans

- 22 -

lequel la variation de longueur relativement à certaines au moins desdites zones est détectée en outre à partir des mesures d'effort exercé sur le fil respectif.

12. Procédé selon la revendication 3, dans lequel un fil est tendu entre
5 les premier (16) et second (17) points de référence de la portion de la structure suivant un réseau d'une pluralité d'éléments rotatifs (P'1-P'11) reliés alternativement au premier point de référence (16) de la portion de la structure et à une extrémité de chacune desdites zones, et dans lequel la variation de
10 longueur relativement à certaines au moins desdites zones est détectée à partir d'une rotation (α) effectuée par au moins un élément rotatif respectif dudit réseau en réponse à la variation (ΔF) de l'effort de traction ou de compression appliqué à la portion de la structure.

13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel ledit fil est relié à deux points du premier point de référence (16) de la portion de la structure.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 13, dans
15 lequel la variation (ΔF) de l'effort de traction ou de compression appliqué à ladite portion est prédéterminée, et dans lequel on déduit en outre, à partir de ladite variation prédéterminée de l'effort de traction ou de compression appliqué à ladite portion et des variations de longueur détectées, une
20 proportion de la section de ladite portion de la structure ayant subi une rupture dans certaines au moins desdites zones.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 14, dans lequel la variation (ΔF) de l'effort de traction ou de compression appliqué à la
25 portion de la structure est progressive et dans lequel on répète certaines au moins des étapes du procédé à plusieurs instants au cours de cette progression.

16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 15, dans lequel de nouvelles zones sont ensuite définies dans la longueur de la portion de la structure, de façon plus concentrée autour des zones au sein desquelles

- 23 -

une rupture a été préalablement détectée, et dans lequel on répète certaines au moins des étapes du procédé relativement auxdites nouvelles zones.

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite structure est un câble comprenant une pluralité de brins
5 métalliques sensiblement parallèles.

18. Procédé selon la revendication 17, dans lequel ladite structure est un câble porteur (3) de pont suspendu et dans lequel lesdits premier (7;16) et second (7;17) points de référence délimitant la portion du câble se situent au niveau de colliers de suspente du câble.

10 19. Procédé selon la revendication 18, dans lequel la variation (ΔF) de l'effort de traction ou de compression appliqué à la portion du câble est obtenue par chargement du pont suspendu à l'aide d'un convoi de référence.

20. Système adapté à la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, le système comprenant des
15 moyens pour détecter au moins une variation de longueur au sein d'une portion (6;12;13;15) au moins d'une structure, délimitée par un premier (7;16) et un second (7;17) points de référence de la structure et ayant une raideur prédéterminée en l'absence de rupture, en réponse à une variation (ΔF) d'un effort de traction ou de compression (F) appliqué à ladite portion, la variation de
20 longueur détectée par les moyens de détection donnant une indication sur l'existence ou non d'une rupture au sein de ladite portion de la structure.

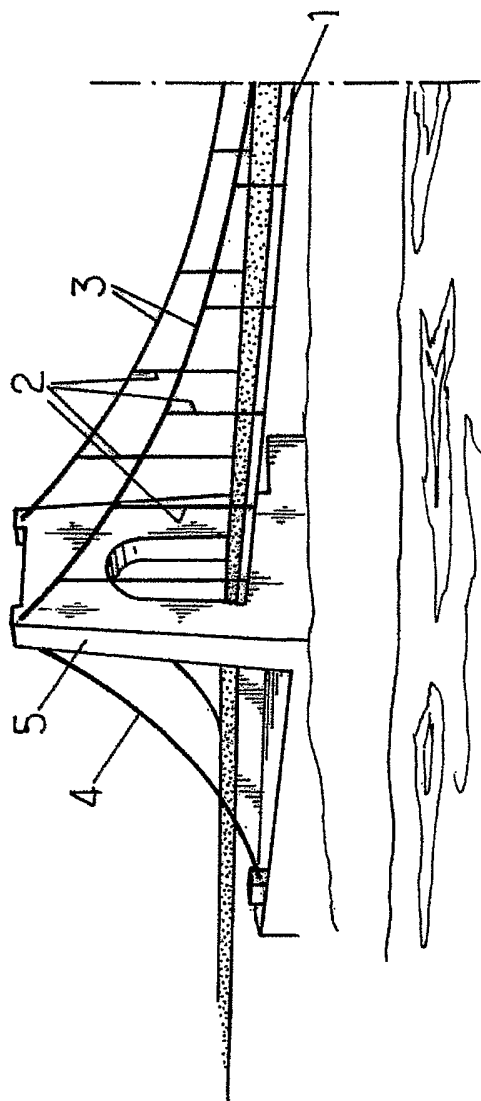


FIG.1.

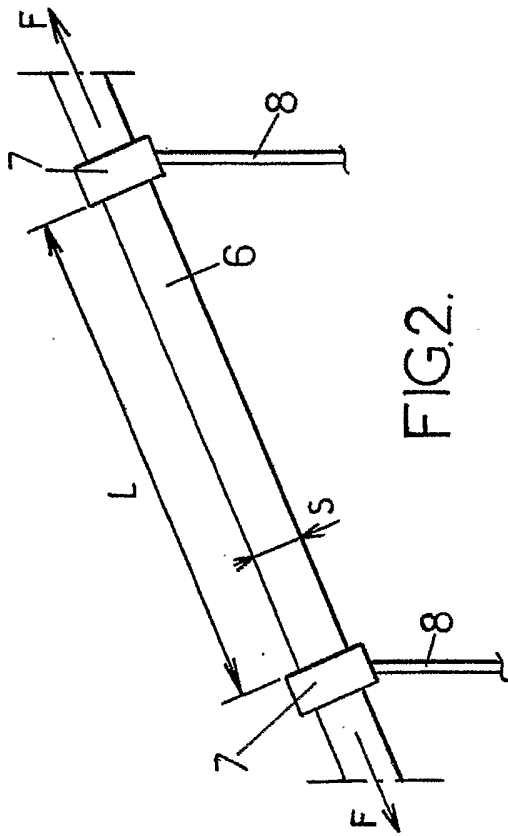


FIG. 2.

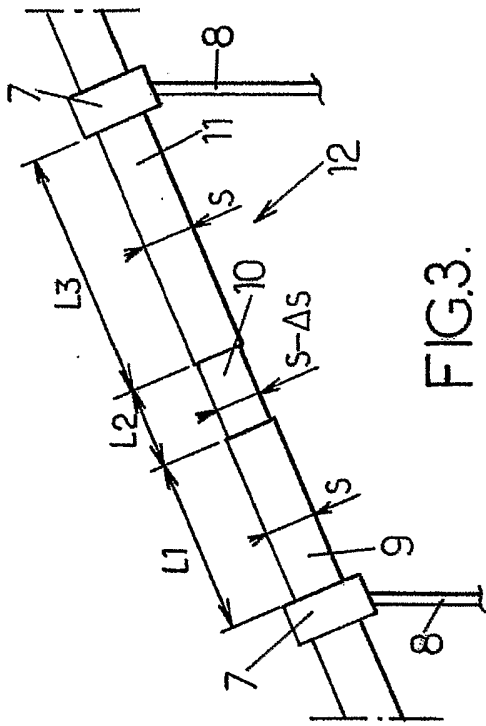


FIG. 3.

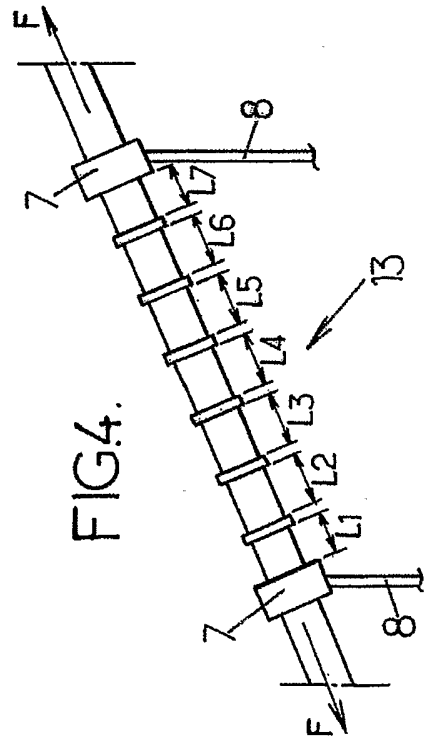


FIG. 4.

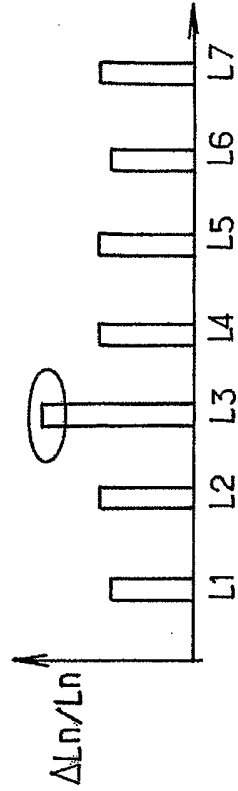


FIG. 5.

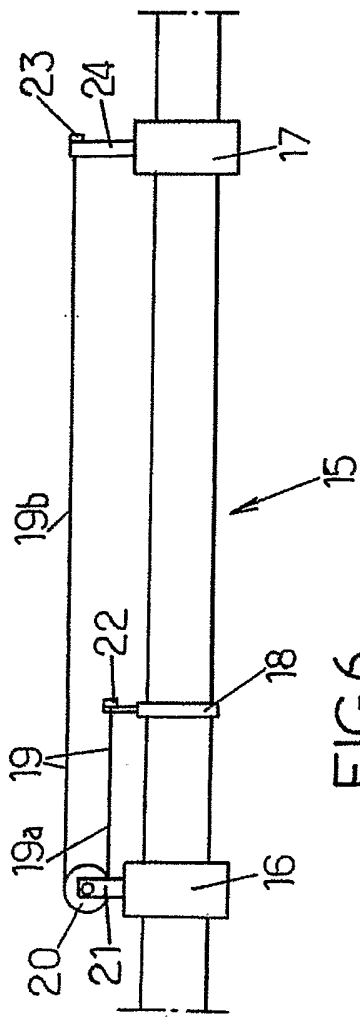


FIG. 6.

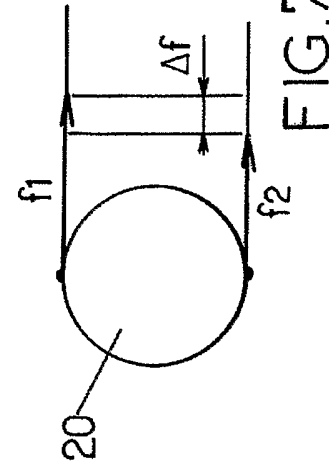


FIG. 7.

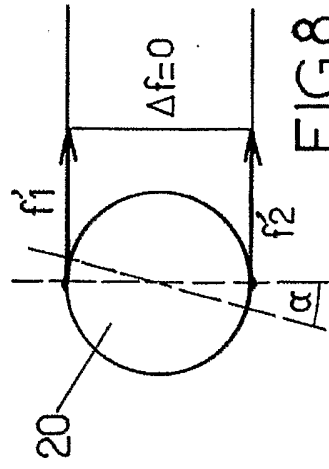


FIG. 8.

FIG. 9.

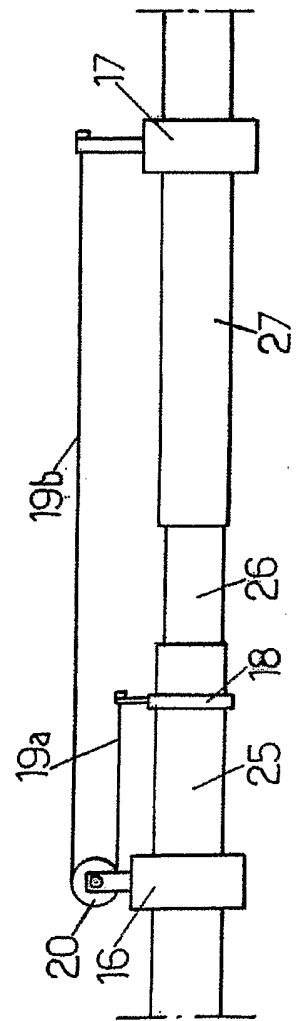


FIG.10.

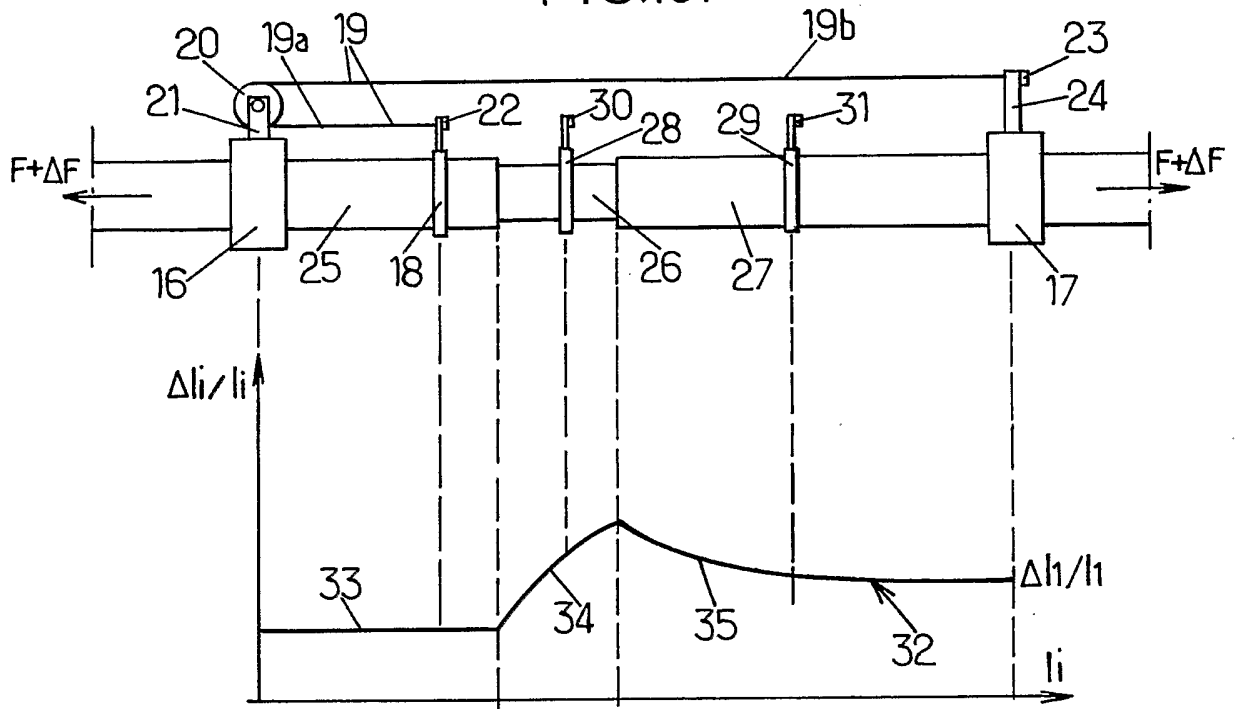
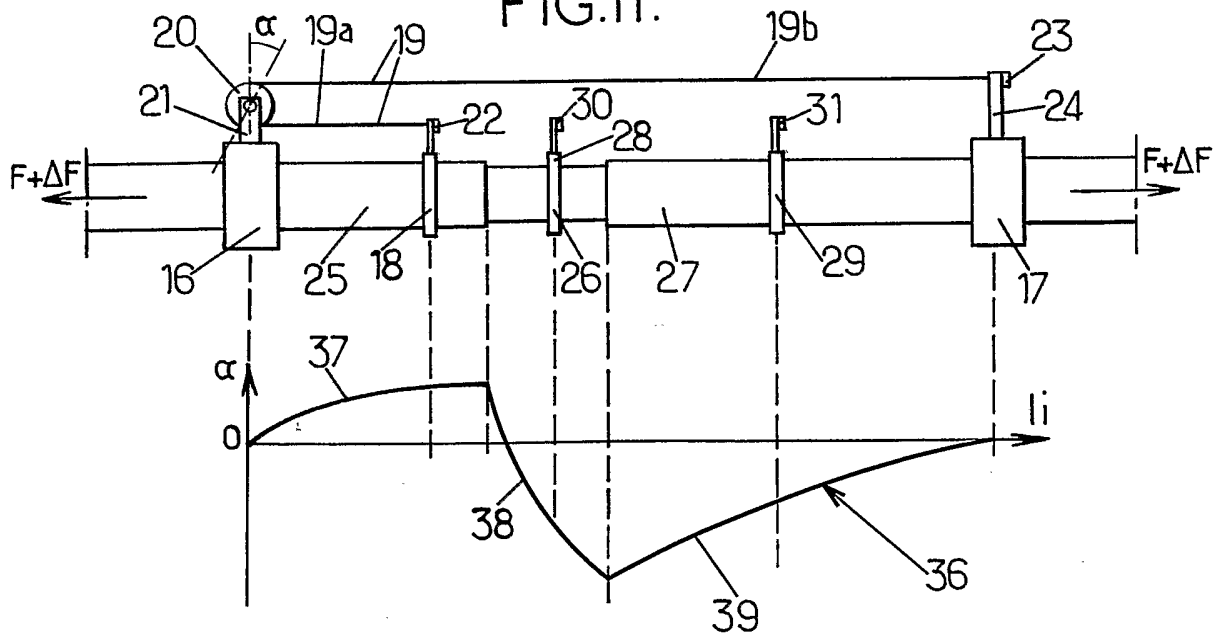


FIG.11.



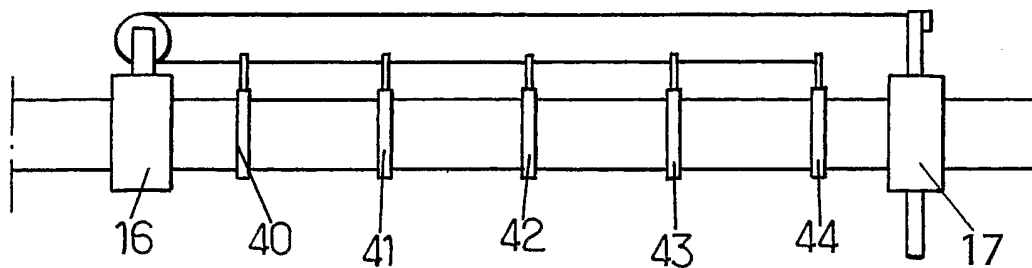


FIG. 12.

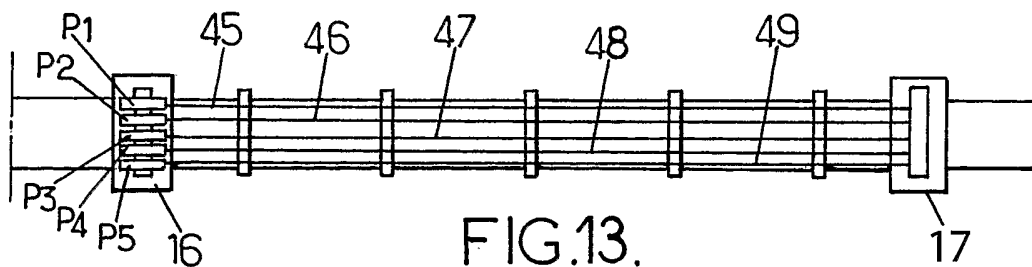


FIG. 13.

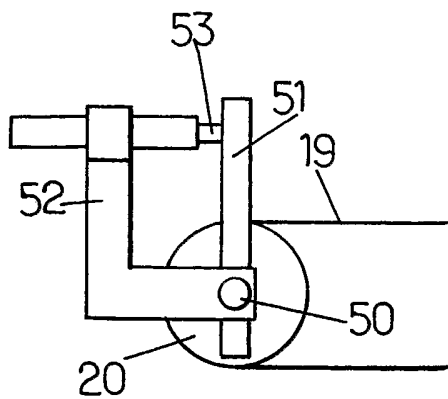


FIG. 14.

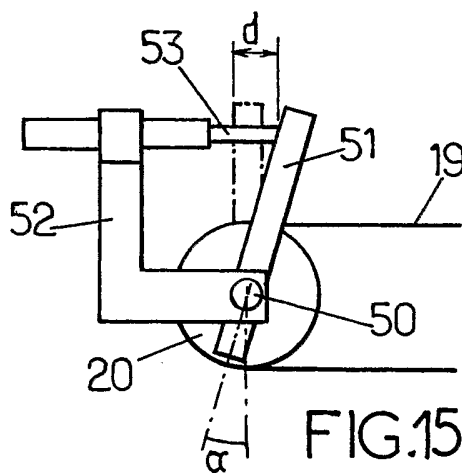


FIG. 15.

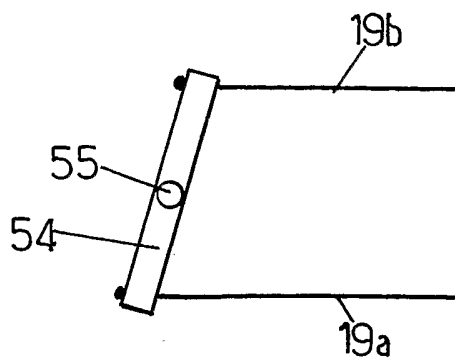


FIG. 16.

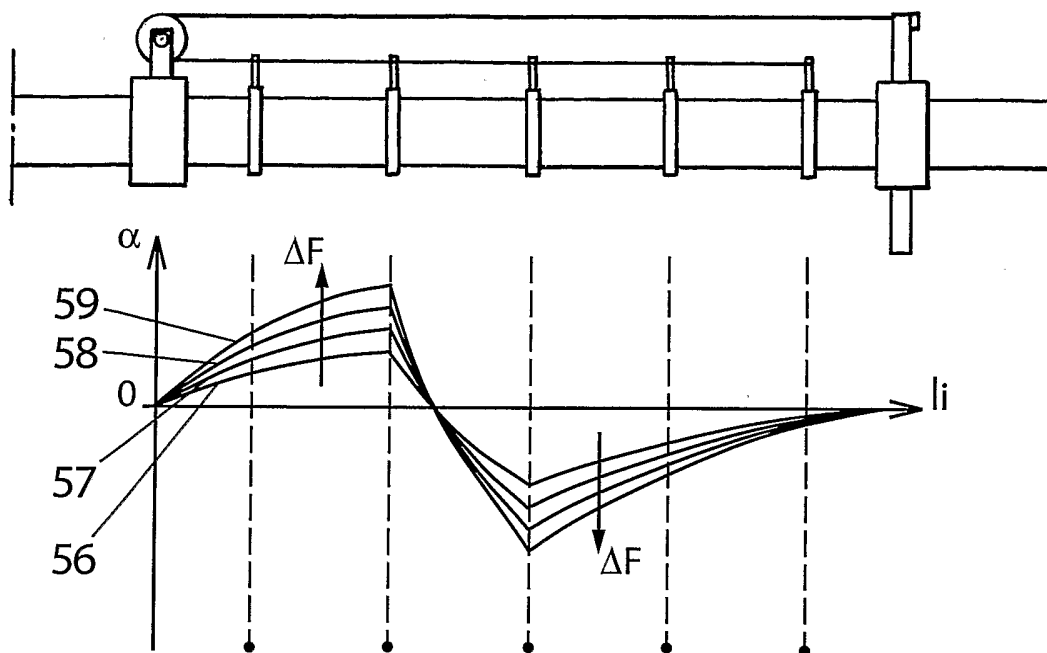
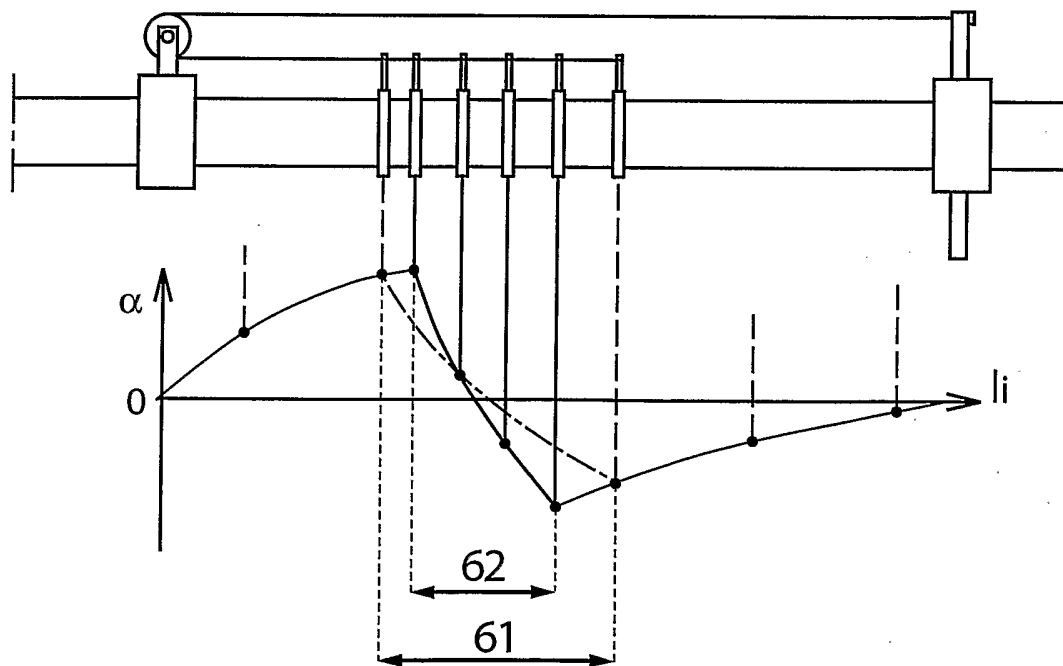


FIG. 17

FIG. 18



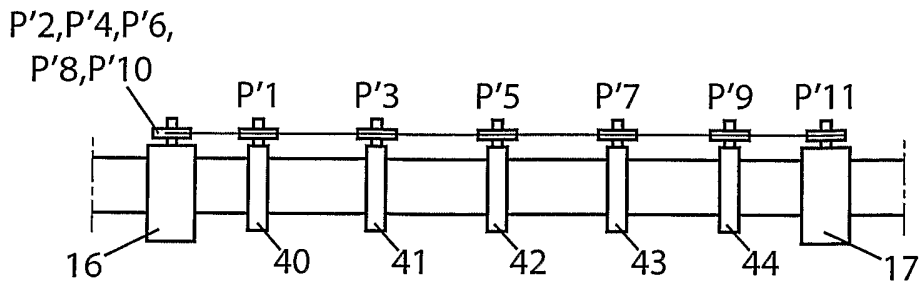


FIG. 19

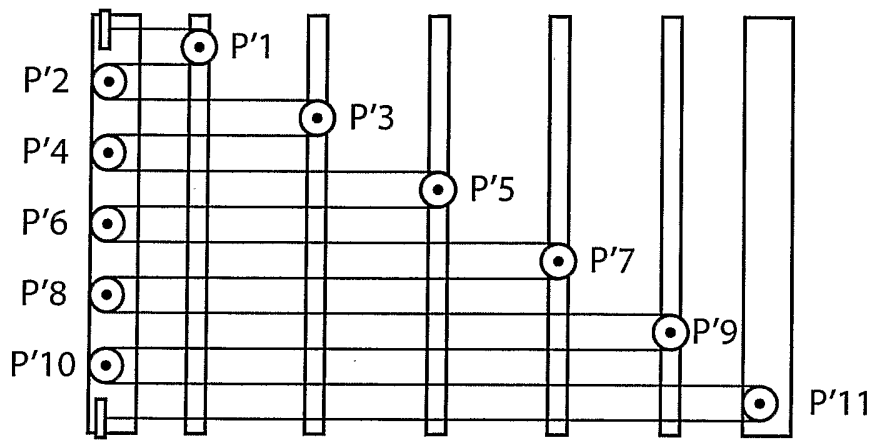


FIG. 20

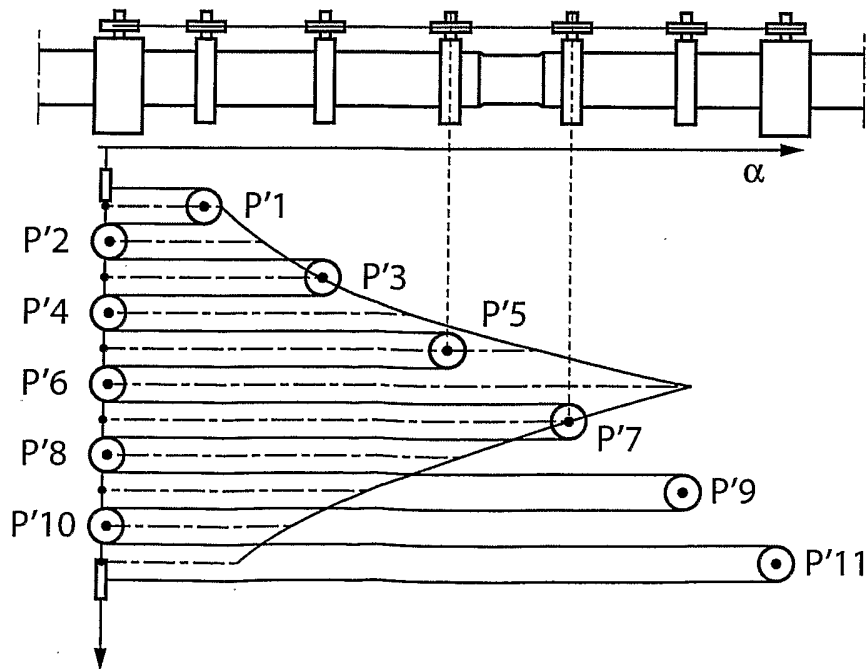


FIG. 21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2006/000579

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. G01N3/08 E04G21/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 G01N E01D E04G F16G G01M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR 2 813 907 A (MARCHETTI MICHEL) 15 March 2002 (2002-03-15) page 1, line 1 - line 8 page 8, line 30 - page 12, line 23 page 20, line 5 - line 23; claims 1,4; figures 1,5	1-20
X	FR 2 858 987 A (FREYSSINET INTERNATIONAL) 25 February 2005 (2005-02-25) page 8, line 33 - page 9, line 12; claim 3; figure 1	1-20
A	US 6 343 515 B1 (DODSON STEVE W) 5 February 2002 (2002-02-05) column 1, line 59 - column 2, line 23; claim 1	1-20
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- **T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 June 2006

Date of mailing of the international search report

21/06/2006

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Weaver, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2006/000579

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1 061 204 A (GTM CONSTRUCTION S.A; DUMEZ-GTM; VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS) 20 December 2000 (2000-12-20) the whole document -----	1-20
A	FR 2 652 866 A (FREYSSINET INTERNATIONAL) 12 April 1991 (1991-04-12) abstract; claim 1 -----	1-20
A	US 6 142 023 A (COLE ET AL) 7 November 2000 (2000-11-07) the whole document -----	1-20
A	US 5 809 710 A (JUNGWIRTH ET AL) 22 September 1998 (1998-09-22) the whole document -----	1-20
A	FR 2 702 782 A (FREYSSINET INTERNATIONAL CIE; FREYSSINET INT & CO) 23 September 1994 (1994-09-23) abstract; claim 1 -----	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2006/000579

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2813907	A	15-03-2002	AU 8782201	A 22-03-2002
			EP 1315867	A1 04-06-2003
			WO 0220904	A1 14-03-2002
			US 2004094651	A1 20-05-2004
FR 2858987	A	25-02-2005	CN 1590650	A 09-03-2005
			JP 2005068989	A 17-03-2005
			US 2005055974	A1 17-03-2005
US 6343515	B1	05-02-2002	NONE	
EP 1061204	A	20-12-2000	AT 299216	T 15-07-2005
			DE 60021147	D1 11-08-2005
			ES 2245296	T3 01-01-2006
			FR 2794783	A1 15-12-2000
			JP 2001032213	A 06-02-2001
			PT 1061204	T 30-11-2005
FR 2652866	A	12-04-1991	AU 635776	B2 01-04-1993
			AU 6376390	A 11-04-1991
			BR 9004976	A 15-10-1991
			DE 69004209	D1 02-12-1993
			DE 69004209	T2 03-03-1994
			DK 421862	T3 13-12-1993
			EP 0421862	A1 10-04-1991
			ES 2046744	T3 01-02-1994
			HK 1695	A 13-01-1995
			KR 9402891	B1 06-04-1994
			NO 904313	A 08-04-1991
			PT 95502	A 30-11-1992
			US 5083469	A 28-01-1992
			US 6142023	A
US 5809710	A	22-09-1998	DE 19536701	A1 03-04-1997
			JP 3703224	B2 05-10-2005
			JP 9170332	A 30-06-1997
FR 2702782	A	23-09-1994	AT 147813	T 15-02-1997
			BR 9305229	A 18-10-1994
			DE 69401448	D1 27-02-1997
			EP 0616079	A1 21-09-1994
			GR 3022373	T3 30-04-1997
			HK 1000352	A1 06-03-1998
			JP 3501170	B2 02-03-2004
			JP 6299517	A 25-10-1994
			NO 940967	A 19-09-1994
			US 5461743	A 31-10-1995

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2006/000579

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
 INV. G01N3/08 E04G21/12

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

 Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
 G01N E01D E04G F16G G01M

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	FR 2 813 907 A (MARCHETTI MICHEL) 15 mars 2002 (2002-03-15) page 1, ligne 1 - ligne 8 page 8, ligne 30 - page 12, ligne 23 page 20, ligne 5 - ligne 23; revendications 1,4; figures 1,5 -----	1-20
X	FR 2 858 987 A (FREYSSINET INTERNATIONAL) 25 février 2005 (2005-02-25) page 8, ligne 33 - page 9, ligne 12; revendication 3; figure 1 -----	1-20
A	US 6 343 515 B1 (DODSON STEVE W) 5 février 2002 (2002-02-05) colonne 1, ligne 59 - colonne 2, ligne 23; revendication 1 -----	1-20
	----- -/--	



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

A document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

E document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

L document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

O document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

P document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

T document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

X document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

Y document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

& document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

12 juin 2006

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

21/06/2006

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

 Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Weaver, M

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2006/000579

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 1 061 204 A (GTM CONSTRUCTION S.A; DUMEZ-GTM; VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS) 20 décembre 2000 (2000-12-20) le document en entier -----	1-20
A	FR 2 652 866 A (FREYSSINET INTERNATIONAL) 12 avril 1991 (1991-04-12) abrégé; revendication 1 -----	1-20
A	US 6 142 023 A (COLE ET AL) 7 novembre 2000 (2000-11-07) le document en entier -----	1-20
A	US 5 809 710 A (JUNGWIRTH ET AL) 22 septembre 1998 (1998-09-22) le document en entier -----	1-20
A	FR 2 702 782 A (FREYSSINET INTERNATIONAL CIE; FREYSSINET INT & CO) 23 septembre 1994 (1994-09-23) abrégé; revendication 1 -----	1-20

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2006/000579

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
FR 2813907	A	15-03-2002	AU	8782201 A	22-03-2002
			EP	1315867 A1	04-06-2003
			WO	0220904 A1	14-03-2002
			US	2004094651 A1	20-05-2004
FR 2858987	A	25-02-2005	CN	1590650 A	09-03-2005
			JP	2005068989 A	17-03-2005
			US	2005055974 A1	17-03-2005
US 6343515	B1	05-02-2002	AUCUN		
EP 1061204	A	20-12-2000	AT	299216 T	15-07-2005
			DE	60021147 D1	11-08-2005
			ES	2245296 T3	01-01-2006
			FR	2794783 A1	15-12-2000
			JP	2001032213 A	06-02-2001
			PT	1061204 T	30-11-2005
FR 2652866	A	12-04-1991	AU	635776 B2	01-04-1993
			AU	6376390 A	11-04-1991
			BR	9004976 A	15-10-1991
			DE	69004209 D1	02-12-1993
			DE	69004209 T2	03-03-1994
			DK	421862 T3	13-12-1993
			EP	0421862 A1	10-04-1991
			ES	2046744 T3	01-02-1994
			HK	1695 A	13-01-1995
			KR	9402891 B1	06-04-1994
			NO	904313 A	08-04-1991
			PT	95502 A	30-11-1992
			US	5083469 A	28-01-1992
			US 6142023	A	07-11-2000
US 5809710	A	22-09-1998	DE	19536701 A1	03-04-1997
			JP	3703224 B2	05-10-2005
			JP	9170332 A	30-06-1997
FR 2702782	A	23-09-1994	AT	147813 T	15-02-1997
			BR	9305229 A	18-10-1994
			DE	69401448 D1	27-02-1997
			EP	0616079 A1	21-09-1994
			GR	3022373 T3	30-04-1997
			HK	1000352 A1	06-03-1998
			JP	3501170 B2	02-03-2004
			JP	6299517 A	25-10-1994
			NO	940967 A	19-09-1994
			US	5461743 A	31-10-1995