

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale

WO 2012/164104 A1

(43) Date de la publication internationale
6 décembre 2012 (06.12.2012)

WIPO | PCT

- (51) Classification internationale des brevets :
G01M 99/00 (2011.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2012/060534
- (22) Date de dépôt international :
4 juin 2012 (04.06.2012)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
11305684.0 3 juin 2011 (03.06.2011) EP
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : SOLE-
TANCHE FREYSSINET [FR/FR]; 133 boulevard Natio-
nal, F-92500 RUEIL MALMAISON (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : HOVHAS-
NESSIAN, Gilles [FR/FR]; 107 rue de Massy, F-92160
Antony (FR). CHAPERON, Alexandre [FR/FR]; 21 rue
Olivier de Serres, F-75015 PARIS (FR). MELLIER, Erik
[FR/FR]; 1 avenue Robert Fleury, F-78220 VIROFLAY
(FR).
- (74) Mandataires : LOISEL, Bertrand et al.; CABINET
PLASSERAUD, 52 rue de la Victoire, F-75440 PARIS
CEDEX 09 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Déclarations en vertu de la règle 4.17 :
— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv))
- Publiée :
— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : METHOD FOR DETERMINING THE FATIGUE CAPITAL OF A CABLE

(54) Titre : PROCÉDE DE DÉTERMINATION DU CAPITAL FATIGUE D'UN CÂBLE

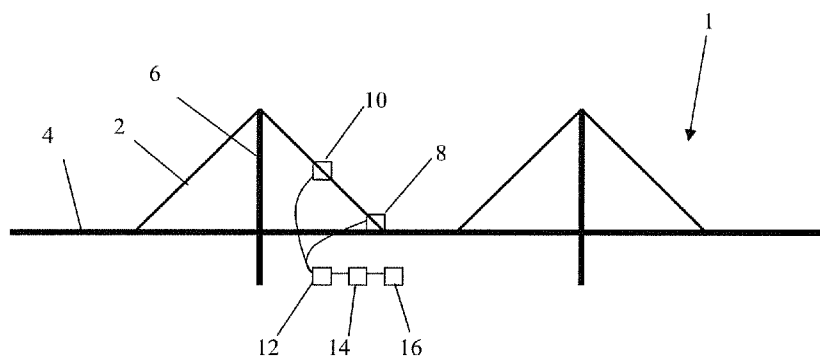


Fig. 2

(57) Abstract : The invention relates to a method for determining the fatigue capital of a cable supporting a civil engineering structure, the method including: a measuring step (S1, S2) during which the normal tensile stress in the cable and the bending stress in the cable are measured in a synchronized manner so as to obtain the compound stress in the cable; a counting step (S3) during which a count of the number of stress cycles, depending on the amplitude of the stress, is carried out from the measured compound stresses; and a step (S4) of assessing the fatigue capital of the cable during which the fatigue capital of the cable is determined by comparing the count, carried out in the counting step, with a pre-set Wohler curve for the cable.

(57) Abrégé : Procédé de détermination du capital fatigue d'un câble supportant une structure de génie civil, le procédé comprenant :
- une étape de mesure

[Suite sur la page suivante]



WO 2012/164104 A1

(S1, S2), au cours de laquelle l'effort normal de traction dans le câble et l'effort de flexion dans le câble sont mesurés de façon synchronisée de sorte à obtenir l'effort composé dans le câble, - une étape de comptage (S3), au cours de laquelle à partir des efforts composés mesurés, un comptage du nombre de cycle d'effort en fonction de l'amplitude de l'effort est réalisé, - une étape d'évaluation du capital fatigue du câble (S4), au cours de laquelle le capital fatigue du câble est déterminé en comparant le comptage effectué lors de l'étape de comptage avec une courbe de type Wöhler préalablement établie pour le câble.

Procédé de détermination du capital fatigue d'un câble

La présente invention se rapporte à un procédé de détermination du capital fatigue d'un câble supportant une structure de génie civil ainsi qu'à un dispositif
5 permettant de déterminer le capital fatigue d'un tel câble.

Un grand nombre de structures de génie civil sont supportées par des câbles, en particulier, mais pas
10 exclusivement, les ponts à câbles ou les ponts suspendus.

Ces câbles sont généralement ancrés à la structure de génie civil par un moyen d'ancrage qui peut être assimilé à un encastrement éventuellement imparfait. Il en résulte que
15 les câbles sont soumis en plus de l'effort de tension longitudinal à des efforts de flexion parasites qui créent localement des contraintes de flexion.

Les câbles sont soumis à divers type de sollicitations, en particulier des sollicitations dites statiques et
20 dynamiques.

Les sollicitations statiques sont généralement dues à des variations lentes, par exemple des variations de températures, ou des variations globales de chargement de
25 la structure de génie civil.

Les sollicitations dynamiques correspondent à des variations plus rapides, par exemple des rafales de vent ou le passage d'un camion sur la structure de génie civil.
30

Les contraintes qui découlent de ces sollicitations, même si elles sont inférieures à la capacité de résistance du

câble, peuvent conduire à la rupture dudit câble si elles sont répétées un trop grand nombre de fois. On parle alors de rupture par fatigue du matériau constituant le câble.

- 5 Il existe des règles de calcul permettant de vérifier que les dimensions des câbles sont compatibles avec les sollicitations auxquelles la structure devrait être soumise pendant sa durée de vie.
- 10 Généralement, ces règles de calcul consistent, dans un premier temps, à déterminer le capital fatigue ou encore le capital initial du câble. Dans un deuxième temps, on évalue les sollicitations auxquelles va être soumise la structure au cours de sa vie ainsi que la fréquence de ces
- 15 sollicitations. Finalement, on vérifie que ces sollicitations évaluées n'entament que partiellement le capital initial du câble.

Les câbles sont sujets à la fatigue, notamment dans leur

20 zone d'ancrage où les fluctuations de tension ou contraintes axiales se cumulent avec des contraintes de flexion. Les contraintes de flexion peuvent être importantes car le câble subit des variations angulaires qui font que ledit câble n'est pas parfaitement aligné avec

25 l'ancrage. La fluctuation de cet angle d'ancrage due aux mouvements de la structure, aux vibrations du câble ou encore à la variation de sa chaînette liée aux variations de tension, rendent les contraintes de flexion variables et importantes.

30

Si des calculs permettent d'évaluer lors de la conception l'endommagement en fatigue des câbles et donc leur durée de vie, ces calculs sont limités par les hypothèses de départ.

Par exemple, dans le cas d'un pont, la fatigue des câbles liée au trafic automobile sur le pont est basée sur des estimations qui peuvent être dépassées dans le temps.

5 Par ailleurs, les effets dynamiques liés aux passages de convois, notamment des convois de poids lourds, ne sont à ce jour pas bien appréciés par le calcul. Enfin, certains effets dynamiques, liés à l'état de la chaussée, ne sont tout simplement pas prédictibles.

10

Les effets dynamiques du vent sont par ailleurs difficilement quantifiables. Les vibrations, leur amplitude et les fréquences d'occurrence sont largement inconnues lors de la conception du système.

15

Il est donc intéressant de pouvoir suivre l'évolution du capital fatigue initial du câble supportant une structure au cours de la vie de ladite structure.

20 De cette manière, des actions de maintenance ou d'amélioration peuvent être planifiées en cas de consommation anormalement rapide du capital fatigue ou lorsque celui-ci est quasiment épuisé.

25 Un objet de la présente invention est de fournir un procédé permettant de déterminer le capital fatigue d'un câble supportant une structure de génie civil.

L'invention propose ainsi un procédé de détermination du
30 capital fatigue d'un câble supportant une structure de génie civil, le procédé comprenant :

- une étape de mesure, au cours de laquelle l'effort normal de traction dans le câble et l'effort de flexion dans le

câble sont mesurés de façon synchronisée de sorte à obtenir l'effort composé dans le câble,

- une étape de comptage, au cours de laquelle à partir des efforts composés mesurés, un comptage du nombre de cycle d'effort en fonction de l'amplitude de l'effort est réalisé,

5
10
15
- une étape d'évaluation du capital fatigue du câble, au cours de laquelle le capital fatigue du câble est déterminé en comparant le comptage effectué lors de l'étape de comptage avec une courbe de type Wöhler préalablement établie pour le câble.

Avantageusement, le procédé selon l'invention permet de connaître le chargement réel subi par le câble, et par
15
extrapolation d'estimer le chargement passé et futur et l'évolution du capital fatigue dudit câble.

Un procédé de détermination du capital fatigue d'un câble selon l'invention peut en outre comporter l'une ou
20
plusieurs des caractéristiques optionnelles ci-dessous, considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons possibles:

- la mesure de l'effort normal de traction dans le câble est réalisée directement, par exemple à l'aide d'une
25
cellule d'effort ; et/ou

- la mesure de l'effort normal de traction dans le câble est réalisée indirectement, par exemple à l'aide d'une jauge de déformation placée sur l'ancrage, ou à l'aide d'une mesure de force sur un brin parmi une pluralité de
30
brins du câble, ou par la méthode de la corde vibrante et à l'aide d'une mesure des fréquences propres de vibration du câble ; et/ou

- la mesure de l'effort de flexion dans le câble est réalisée directement ; et/ou
- la mesure de l'effort de flexion dans le câble est réalisé à partir d'une ou plusieurs jauges de déformation placées sur ou dans l'ancrage ou sur le câble ; et/ou
- 5 - la mesure de l'effort de flexion dans le câble est réalisée indirectement, par exemple à partir d'une mesure des déplacements du câble dans un plan coupant son axe, par exemple perpendiculaire à son axe, et à une distance connue
- 10 de l'ancrage ; et/ou
- la mesure des déplacements du câble est réalisée dans un amortisseur placé sur le câble pour en amortir les vibrations transversales ; et/ou
- la mesure des déplacements est obtenue à l'aide de
- 15 mesures accélérométriques intégrées deux fois ; et/ou
- la mesure des déplacements est obtenue à l'aide des vitesses obtenues par un géophone intégrées une fois ; et/ou
- les mesures en traction et/ou en flexion sont réalisées à
- 20 une fréquence de l'ordre 1Hz à 1kHz ; et/ou
- l'étape de mesure est réalisée pendant une période de mesure la plus courte possible pour rester économique, mais suffisamment longue pour être représentative et permettre une extrapolation réaliste des chargements antérieurs et
- 25 postérieurs à la période de mesure ; cette durée est typiquement de l'ordre de la semaine ou du mois ; et/ou
- l'étape de mesure est réalisée en continue depuis l'installation du câble de sorte à mesurer les efforts en traction et en flexion dans le câble depuis son
- 30 installation ; et/ou
- l'étape de comptage est réalisée au moyen d'un comptage du type de la goutte d'eau ("rainflow" en anglais) ; et/ou

- l'historique ou l'extrapolation des efforts passés est utilisé pour comparer la fatigue réellement subie par le câble avec les hypothèses prévues au moment de la construction ; et/ou
 - 5 - des extrapolations d'efforts futurs sont utilisées pour estimer une capacité ou une durée de vie résiduelle du câble vis-à-vis de la fatigue ; et/ou
 - le capteur de déplacement utilisé pour la mesure de flexion est intégré à un amortisseur utilisé pour limiter
 - 10 les vibrations des câbles ; et/ou
 - le capteur de déplacement intégré à l'amortisseur est également utilisé pour mesurer la course cumulée de l'amortisseur et suivre son vieillissement.
 - 15
- L'invention se rapporte également à un dispositif permettant de déterminer le capital fatigue d'un câble supportant une structure de génie civil, le dispositif comprenant des moyens de mise en œuvre d'un procédé selon
- 20 l'invention, à savoir comprenant :
 - des moyens de mesure de l'effort global en traction subi par le câble,
 - des moyens de mesure de l'effort global en flexion subi par le câble,
 - 25 - des moyens de comptage du nombre de cycles d'effort en fonction de l'amplitude des efforts en traction et en flexion subis par le câble, et
 - des moyens de comparaison du comptage effectué par les moyens de comptage avec une courbe de type Wöhler
 - 30 préalablement établie pour le câble.

Un dispositif selon l'invention peut en outre comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles ci-

dessous, considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons possibles:

- des moyens d'alertes (16) permettant d'être automatiquement informé lorsque la capacité du câble ou sa
5 durée de vie résiduelle est réduite en dessous d'un seuil prédéterminé ; et/ou
- le dispositif d'ancrage du câble à la structure de génie civil comprend un amortisseur intégrant un capteur permettant la mesure de l'effort de flexion dans le câble.

10

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés dans lesquels:

- 15 - la figure 1 illustre les différentes étapes d'un procédé selon un mode de réalisation de l'invention, et
- la figure 2 est une vue schématique d'un pont à haubans comportant un dispositif selon
20 l'invention.

Pour des raisons de clarté, les différents éléments représentés sur les figures ne sont pas nécessairement à l'échelle.

L'invention vise à permettre de déterminer le capital
25 fatigue d'au moins un câble supportant une structure de génie civil. La structure de génie civil peut être de toute nature, en particulier un pont suspendu ou un pont à câble.

Selon un mode de réalisation, un procédé selon l'invention comprend :

- 30 - une étape de mesure en traction S1,
- une étape de mesure en flexion S2,
- une étape de comptage S3, et

- une étape de détermination du capital fatigue du câble S4.

Au cours des étapes de mesure en traction S1 et de mesure en flexion S2, les mesures sont réalisées de façon à
5 estimer les contraintes là où les efforts sont maximum, soit en général, dans la zone d'ancrage du câble de la structure de génie civil. De plus, les étapes de mesure en traction S1 et de mesure en flexion S2 sont réalisées de manière synchronisée de sorte à obtenir l'effort composé
10 dans le câble.

Selon un mode de réalisation de l'invention, au cours de l'étape de mesure en traction S1, la mesure de l'effort normal de traction dans le câble peut être réalisée
15 directement par tout moyen connu de l'homme du métier. Par exemple, la mesure de l'effort normal en traction peut être réalisée au moyen d'une cellule d'effort. Nous appelons ici « cellule d'effort », un capteur spécifiquement conçu pour mesurer la tension dans le câble ou un des torons du câble.
20 Il existe de très nombreux capteurs de ce type. Avantageusement, ce mode de réalisation fournit une information directement utilisable.

Selon un autre mode de réalisation de l'invention, au cours de l'étape de mesure en traction S1, la mesure de
25 l'effort normal de traction dans le câble peut être réalisée indirectement par tout moyen connu de l'homme du métier. Par exemple, la mesure de l'effort normal en traction peut être réalisée au moyen d'une jauge de déformation placée sur l'ancrage. Nous appelons ici « jauge de déformation », un capteur permettant de mesurer la
30 variation de la déformation de l'acier associée à une variation d'effort. Ces capteurs sont parfois, par abus de langage, appelé jauges de contrainte, car la connaissance

du module de l'acier permet de calculer la contrainte locale à partir de la déformation. ($\sigma = E \epsilon$). Il existe de très nombreux capteurs de ce type, fonctionnant sur des principes électriques ou optiques. Une interprétation et éventuellement une étape de calibration peuvent dans ce cas être nécessaires pour estimer la tension du câble à partir des mesures fournies par les capteurs. Ce mode de réalisation est en général utilisé lorsque la mesure directe n'est pas possible, par exemple lorsqu'il n'est pas possible de mettre en place le capteur.

Une autre façon de mesurer indirectement l'effort normal de traction dans un câble multibrins tendu suivant une méthode de type isotension assurant une similitude de tension entre les brins (par exemple comme décrit dans EP0421862) peut se baser sur une mesure de force sur un brin.

Une autre façon encore de mesurer indirectement l'effort normal de traction dans le câble peut mettre en œuvre la méthode de la corde vibrante et utiliser une mesure des fréquences propres de vibration du câble.

Au cours de l'étape de mesure en flexion, l'effort de flexion dans le câble est mesuré à proximité de l'ancrage dudit câble à la structure, par exemple au niveau de l'ancrage.

Selon un mode de réalisation de l'invention, la mesure en flexion peut être réalisée en mesurant l'inclinaison relative du câble par rapport à son ancrage dans la structure de génie civil.

Selon un mode de réalisation de l'invention, la mesure de l'effort de flexion dans le câble peut être réalisée directement par tout moyen connus de l'homme du métier.

Par exemple à partir d'une ou de plusieurs jauges de déformation placées sur ou dans l'ancrage ou sur le câble. On pourra par exemple, avantageusement utiliser le même type de jauges que celles utilisées pour la mesure axiale.

5 Selon un mode de réalisation de l'invention, la mesure de l'effort de flexion dans le câble peut être réalisée indirectement par tout moyen connu de l'homme du métier. Par exemple à partir d'une mesure des déplacements du câble dans un plan coupant son axe, par exemple perpendiculaire à
10 son axe, et à une distance prédéterminée de l'ancrage. Avantageusement, ce mode de réalisation ne requiert pas d'accès à la zone de flexion maximale qui souvent est difficile, ni la mise en place de capteurs permettant une mesure directe qui est souvent impossible à cet endroit.

15 L'effort global de flexion peut être déterminé au moyen d'un capteur permettant de mesurer l'angle que fait le câble avec son ancrage. Cette mesure de l'angle permet par calcul de connaître les contraintes de flexion subies par le câble.

20 Afin de mesurer l'effort de flexion dans le câble, il est possible d'utiliser des inclinomètres. Selon un mode de réalisation de l'invention, on dispose un premier inclinomètre sur le câble à la sortie de l'ancrage permettant de connaître l'inclinaison absolue dudit câble.

25 Un deuxième inclinomètre disposé sur la structure au voisinage de l'ancrage permet de connaître l'inclinaison absolue de ladite structure. La différence des inclinaisons permet de connaître l'inclinaison relative du câble dans son ancrage, l'ancrage étant solidaire de la structure.

30 Selon un autre mode de réalisation, il est possible de déterminer l'effort de flexion au niveau de l'ancrage en mesurant le déplacement du câble par rapport à la structure à une certaine distance de l'ancrage.

De préférence, cette distance est suffisamment grande pour que les déplacements soient significatifs et mesurables, et suffisamment petite pour pouvoir simplifier le calcul en assimilant le câble à une poutre encastrée soumise à un effort à l'extrémité. L'ordre de grandeur typique est de 1 à 10m.

Le calcul de l'effort de flexion à partir du déplacement mesuré doit être adapté à la configuration du câble et de l'ancrage (dimensions, présence de déviateur, ...)

Par exemple, pour les câbles dont l'ancrage bas se situe dans le tablier d'un pont, la distance correspondant à la sortie du tube coffrant est bien adaptée.

Sur certains ponts, la sortie du tube coffrant est équipée d'un amortisseur. Le capteur de déplacement peut alors avantageusement être intégré à l'amortisseur. Il permet alors, en plus d'évaluer l'effort de flexion dans le câble à la sortie de l'ancrage, de suivre la course cumulée de l'amortisseur, paramètre important pour suivre son vieillissement et programmer sa maintenance. Cette mesure peut être réalisée par des capteurs de déplacement, ou encore par une prise de vue vidéo associée à une analyse d'image ou par tout autre moyen connu de l'homme du métier.

Selon un mode de réalisation de l'invention, les étapes de mesure en traction S1 et de mesure en flexion S2 peuvent être réalisées à des fréquences supérieures ou égales à 1Hz, par exemple supérieures ou égales à 10 Hz et inférieures ou égales à 1 kHz, par exemple inférieures ou égales à 500 Hz, ou encore inférieures ou égales à 100 Hz. En pratique, une valeur de quelques Hz (disons 10Hz pour un ouvrage « souple » à 50Hz pour un ouvrage « raide ») est en général suffisante pour mesurer les vibrations associées aux premiers modes propres de vibration.

Toutefois, il peut être avantageux de sur échantillonner pour mesurer les vibrations liées au trafic ou mettre en place des filtrages numériques et éviter les phénomènes de repliement.

5 De préférence, la fréquence de mesure est adaptée de manière à pouvoir rendre compte du plus grand nombre possible de variations d'effort dans le câble, et en particulier des valeurs extrémales atteintes au cours de chaque cycle.

10 Les fréquences propres de vibration du câble et la vitesse des convois au voisinage du câble peuvent être prises en compte. Typiquement, une quarantaine de mesures sont effectuées par cycle d'oscillation et une mesure est prise tous les 10 cm environ lors du passage d'un convoi à
15 vitesse maximale.

Par exemple, pour un convoi roulant à 100km/h, soit 100000/3600 m/s, avec une mesure prise tous les 10 cm, les données sont enregistrées à une fréquence de $100000/0.1/3600 =$ environ 300Hz.

20 Les étapes de mesure en traction S1 et de mesure en flexion S2 sont réalisées pendant une période de mesure la plus courte possible pour rester économique, mais suffisamment longue pour être représentative et permettre une extrapolation réaliste des chargements antérieurs et
25 postérieurs à la période de mesure. Cette durée est typiquement de l'ordre de la semaine ou du mois.

Le procédé selon l'invention comprend en outre une étape de comptage au cours de laquelle, à partir de l'effort composé et mesuré, est réalisé un comptage du
30 nombre de cycle d'effort en fonction de l'amplitude de l'effort.

Selon un mode de réalisation de l'invention, l'étape de comptage est réalisée au moyen d'un comptage du type de la goutte d'eau ("rainflow" en anglais).

Le comptage du type de la goutte d'eau est utilisé
5 pour traduire le chargement en contrainte en fonction du temps en cycles de contraintes simples caractérisés par une contrainte minimum et une contrainte maximum. Il s'agit de décomposer le chargement en associant par paires les minima croissants et les maxima décroissants. Toutefois, cette
10 association nécessiterait d'analyser *a posteriori* le chargement complet en fonction du temps et il faudrait garder l'historique complet du chargement. Pour éviter ce stockage, un algorithme associe des paires de minima et maxima pour obtenir des cycles partiels au cours du
15 chargement.

L'étape de détermination du capital fatigue du câble permet de déterminer le capital fatigue du câble en comparant le comptage effectué lors de l'étape de comptage avec une courbe de type Wöhler préalablement établie pour
20 le câble.

La courbe de Wöhler définit une relation entre la contrainte appliquée σ , *sigma* parfois notée *S*, et le nombre de cycles à la rupture *NR*, autrement dit le nombre de cycles pour lequel on observe P% de ruptures. En pratique,
25 la courbe de Wöhler est généralement donnée pour une probabilité de rupture $P = 0,5$.

Avantageusement, l'historique ou l'extrapolation des efforts passés peut être comparé avec la fatigue réellement subie par le câble afin de vérifier les hypothèses prévues
30 au moment de la construction de l'ouvrage.

En outre, il est possible d'utiliser des extrapolations d'efforts futurs pour estimer une capacité

ou une durée de vie résiduelle du câble vis-à-vis de la fatigue.

L'invention se rapporte également à un dispositif permettant de déterminer le capital fatigue d'un câble supportant une structure de génie civil.

Un exemple de structure de génie civil supportée par des câbles est représenté sur la figure 2.

La figure 2 représente une vue schématique d'un pont à haubans 1. Le pont à haubans 1 comprend des câbles obliques 2 partant d'un pylône 6 et supportant le tablier 4.

Le pont représenté sur la figure 2 est équipé d'un dispositif selon un mode de réalisation de l'invention.

Des moyens de mesure de l'effort global en traction 8 dans le câble sont disposés au niveau de l'ancrage du câble 2 au tablier 4.

Des moyens de mesure de l'effort global en flexion 10 dans le câble 2 sont disposés le long du câble 2.

Les moyens de mesure de l'effort global en traction 8 et en flexion 10 sont reliés à un moyen de comptage 12. Le moyen de comptage 12 permet de compter le nombre de cycles d'effort en fonction de l'amplitude des efforts en traction et en flexion subis par le câble. Le moyen de comptage peut par exemple être un processeur programmé de sorte à réaliser le décompte.

Selon le mode de réalisation de la figure 2, le moyen de comptage 12 transmet à des moyens de comparaison 14 le résultat du comptage effectué. Les moyens de comparaison 14 permettent de comparer le comptage effectué par le moyen de comptage avec une courbe de type Wöhler préalablement établie pour le câble 2.

Selon un mode de réalisation, le dispositif selon l'invention peut comprendre des moyens d'alerte 16 permettant de signaler lorsque la capacité du câble ou sa

durée de vie résiduelle est réduite en dessous d'un seuil prédéterminé.

L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation décrits et doit être interprétée de façon non limitative, et
5 englobant tout mode de réalisation équivalent.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de détermination du capital fatigue d'un câble supportant une structure de génie civil, le procédé comprenant :
- 5
- une étape de mesure (S1, S2), au cours de laquelle l'effort normal de traction dans le câble et l'effort de flexion dans le câble sont mesurés de façon synchronisée de sorte à obtenir l'effort composé dans le câble,

10

 - une étape de comptage (S3), au cours de laquelle à partir des efforts composés mesurés, un comptage du nombre de cycle d'effort en fonction de l'amplitude de l'effort est réalisé,

15

 - une étape d'évaluation du capital fatigue du câble (S4), au cours de laquelle le capital fatigue du câble est déterminé en comparant le comptage effectué lors de l'étape de comptage avec une courbe de type Wöhler préalablement établie pour le câble.

20
2. Procédé selon l'une la revendication précédente, dans lequel la mesure de l'effort normal de traction dans le câble est réalisée directement, par exemple à l'aide d'une cellule d'effort.
- 25
3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la mesure de l'effort normal de traction dans le câble est réalisée indirectement, par exemple à l'aide d'une jauge de déformation placée sur l'ancrage ou sur le câble, à l'aide d'une mesure de force sur un brin parmi une pluralité de brins du câble, ou encore par la méthode de la corde vibrante et à l'aide d'une mesure des fréquences propres de vibration du câble.
- 30

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la mesure de l'effort de flexion dans le câble est réalisée directement.

5 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la mesure de l'effort de flexion dans le câble est réalisée indirectement, par exemple à partir d'une mesure des déplacements du câble dans un plan coupant son axe et à une distance connue de l'ancrage.

10

6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel la mesure des déplacements du câble est réalisée dans un amortisseur placé sur le câble pour en amortir les vibrations transversales.

15

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les mesures en traction et/ou en flexion sont réalisées à une fréquence de l'ordre 1Hz à 1kHz.

20

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape de mesure n'est pas réalisée en continue depuis l'installation du câble, et selon laquelle les données mesurées sont utilisées pour
25 réaliser une extrapolation des chargements antérieurs et postérieurs à la période de mesure.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape de mesure est réalisée en
30 continue depuis l'installation du câble de sorte à mesurer les efforts en traction et en flexion dans le câble depuis son installation.

10. Procédé selon les revendications précédentes, dans lequel l'étape de comptage est réalisée au moyen d'un comptage du type de la goutte d'eau.

5 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'historique ou l'extrapolation des efforts passés est utilisé pour comparer la fatigue réellement subie par le câble avec les hypothèses prévues au moment de la construction.

10

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel des extrapolations d'efforts futurs sont utilisées pour estimer une capacité ou une durée de vie résiduelle du câble vis-à-vis de la fatigue.

15

13. Dispositif permettant de déterminer le capital fatigue d'un câble (2) supportant une structure de génie civil (1), le dispositif comprenant des moyens de mise en œuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications
20 précédentes, à savoir comprenant :

- des moyens de mesure de l'effort global en traction (8) dans le câble (2),

- des moyens de mesure de l'effort global en flexion (10) dans le câble (2),

25 - des moyens de comptage (12) du nombre de cycle d'effort en fonction de l'amplitude des efforts en traction et en flexion subis par le câble, et

- des moyens de comparaison (14) du comptage effectué par les moyens de comptage avec une courbe de type Wöhler
30 préalablement établie pour le câble.

14. Dispositif selon la revendication précédente comprenant en outre des moyens d'alertes (16) permettant d'être

automatiquement informé lorsque la capacité du câble ou sa durée de vie résiduelle est réduite en dessous d'un seuil prédéterminé.

- 5 15. Dispositif selon l'une des revendications 13 ou 14, dans lequel le dispositif d'ancrage du câble à la structure de génie civil comprend un amortisseur intégrant un capteur permettant la mesure de l'effort de flexion dans le câble.

1/1

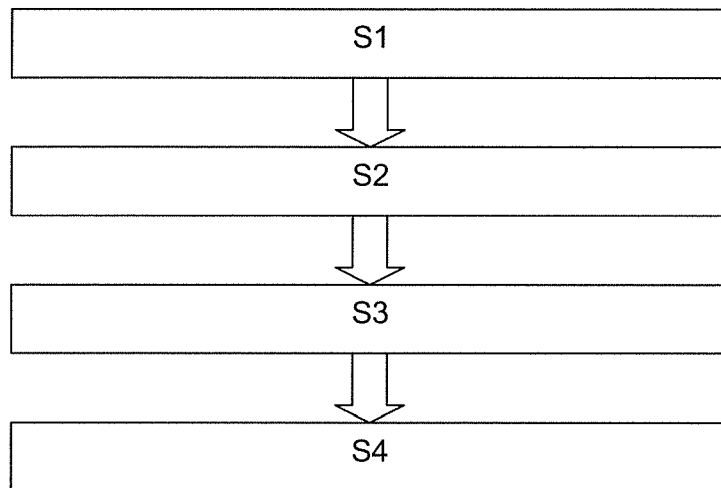


Fig. 1

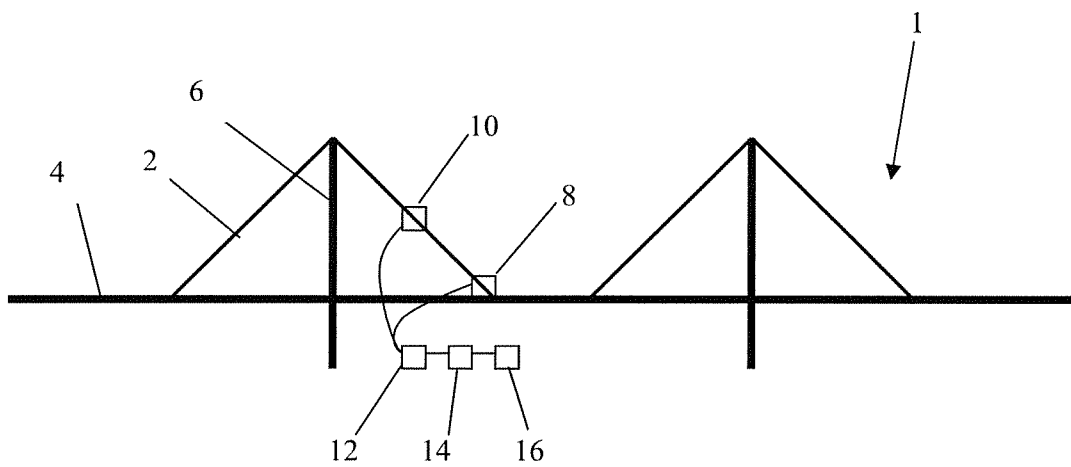


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/060534

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01M99/00
ADD.

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)
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 practicable, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Gilles Hovhannessian: "Health Monitoring of Cable Stayed Structures Experience and Implementation", Conference: 2006 IMAC-XXIV: Conference & Exposition on Structural Dynamics, 12 November 2010 (2010-11-12), XP055010940, Retrieved from the Internet: URL:http://sem-proceedings.com/24i/sem.org-IMAC-XXIV-Conf-s17p02-Health-Monitoring-Cable-Stayed-Structures-Experience-Implementation.pdf [retrieved on 2011-11-01]	1-5,7-14
A	se ction I, II, III, V, VII figures 1-3 ----- -/--	6,15

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search 27 June 2012	Date of mailing of the international search report 04/07/2012
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Giesen, Fabian
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/060534

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>D Siegert ET AL: "Fatigue of stay cables inside end fittings high frequencies of wind induced vibrations", 13 July 2004 (2004-07-13), XP055011112, Retrieved from the Internet: URL:http://media.lcpc.fr/ext/pdf/pres/div_macoa/sources_article_oipeec.pdf [retrieved on 2011-11-03] section 2.1-2.3</p>	1-15
A	<p>M Poser ET AL: "Bending Fatigue Tests on Stays Cables", 13 July 2008 (2008-07-13), XP055011117, Retrieved from the Internet: URL:http://posereng.com/downloads/BendingFatiguePaper2002.PDF [retrieved on 2011-11-03] the whole document</p>	1-15
A	<p>LI H ET AL: "Applications of optical fibre Bragg gratings sensing technology-based smart stay cables", OPTICS AND LASERS IN ENGINEERING, ELSEVIER, vol. 47, no. 10, 1 October 2009 (2009-10-01), pages 1077-1084, XP026470030, ISSN: 0143-8166, DOI: 10.1016/J.OPTLASENG.2009.04.016 [retrieved on 2009-05-20] abstract section 2., 3.</p>	1-15
A	<p>JAN MING KO: "Field vibration tests of bridge stay cables incorporated with magnetorheological (MR) dampers", PROCEEDINGS OF SPIE, vol. 4696, 1 January 2002 (2002-01-01), pages 30-40, XP055011120, ISSN: 0277-786X, DOI: 10.1117/12.472567 abstract figures 4,5</p>	6,15

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2012/060534

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01M99/00 ADD.		
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) 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		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	Gilles Hovhannessian: "Health Monitoring of Cable Stayed Structures Experience and Implementation", Conference: 2006 IMAC-XXIV: Conference & Exposition on Structural Dynamics, 12 novembre 2010 (2010-11-12), XP055010940, Extrait de l'Internet: URL:http://sem-proceedings.com/24i/sem.org-IMAC-XXIV-Conf-s17p02-Health-Monitoring-Cable-Stayed-Structures-Experience-Implementation.pdf [extrait le 2011-11-01]	1-5,7-14
A	se ction I, II, III, V, VII figures 1-3 ----- -/--	6,15
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents		
<input type="checkbox"/> 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 27 juin 2012		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 04/07/2012
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, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Giesen, Fabian

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	<p>D Siegert ET AL: "Fatigue of stay cables inside end fittings high frequencies of wind induced vibrations",</p> <p>13 juillet 2004 (2004-07-13), XP055011112, Extrait de l'Internet: URL:http://media.lcpc.fr/ext/pdf/pres/div_macoa/sources_article_oipeec.pdf [extrait le 2011-11-03] section 2.1-2.3</p>	1-15
A	<p>M Poser ET AL: "Bending Fatigue Tests on Stays Cables",</p> <p>13 juillet 2008 (2008-07-13), XP055011117, Extrait de l'Internet: URL:http://posereng.com/downloads/BendingFatiguePaper2002.PDF [extrait le 2011-11-03] le document en entier</p>	1-15
A	<p>LI H ET AL: "Applications of optical fibre Bragg gratings sensing technology-based smart stay cables", OPTICS AND LASERS IN ENGINEERING, ELSEVIER, vol. 47, no. 10, 1 octobre 2009 (2009-10-01), pages 1077-1084, XP026470030, ISSN: 0143-8166, DOI: 10.1016/J.OPTLASENG.2009.04.016 [extrait le 2009-05-20] abrégé section 2., 3.</p>	1-15
A	<p>JAN MING KO: "Field vibration tests of bridge stay cables incorporated with magnetorheological (MR) dampers", PROCEEDINGS OF SPIE, vol. 4696, 1 janvier 2002 (2002-01-01), pages 30-40, XP055011120, ISSN: 0277-786X, DOI: 10.1117/12.472567 abrégé figures 4,5</p>	6,15