



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**20.12.2000 Bulletin 2000/51**

(51) Int Cl.7: **E04G 21/12, E01D 19/16**

(21) Numéro de dépôt: **00401635.8**

(22) Date de dépôt: **09.06.2000**

(84) Etats contractants désignés:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU**  
**MC NL PT SE**  
 Etats d'extension désignés:  
**AL LT LV MK RO SI**

• **DUMEZ-GTM**  
**92000 Nanterre (FR)**

(72) Inventeur: **Fargier, Cyrille**  
**92400 Courbevoie (FR)**

(30) Priorité: **14.06.1999 FR 9907477**

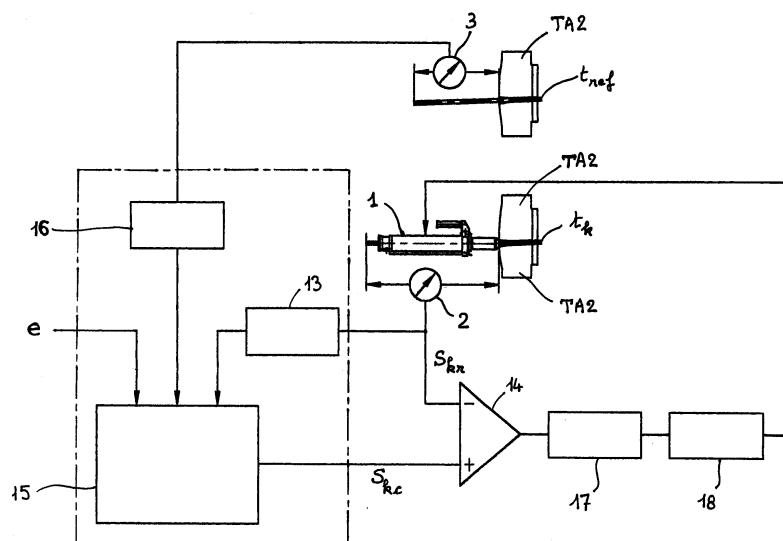
(74) Mandataire: **Lefebure, Gérard**  
**Cabinet Loyer**  
**78, avenue Raymond Poincaré**  
**75116 Paris (FR)**

(71) Demandeurs:  
 • **GTM Construction S.A.**  
**92000 Nanterre (FR)**

(54) **Procédé et dispositif pour tendre un câble multi-torons entre deux ancrages**

(57) Dans ce procédé, dans lequel les torons, en faisceau parallèle, du câble sont tendus séquentiellement, un toron du câble à tendre, utilisé comme toron de référence  $t_{ref}$ , est ancré à une extrémité et équipé à son autre extrémité, d'un capteur (3) qui indique la valeur dont cette autre extrémité se déplace hors de la tête d'ancrage (TA2) chaque fois qu'un toron ( $t_k$ ) du câble est tendu par le vérin (1). Un autre capteur (2) associé au toron ( $t_k$ ) à tendre indique la valeur ( $S_k$ ) dont son extrémité se déplace pendant qu'il est tendu. A la valeur

indiquée par le capteur (3) correspond une variation d'allongement (tension) dans les torons déjà tendus. Quand on tend le toron ( $t_k$ ) on connaît donc la baisse d'allongement des torons déjà tendus et, par suite, leur allongement résiduel. On peut ainsi tendre le toron ( $t_k$ ) de façon à lui donner un allongement égal à l'allongement résiduel des torons déjà tendus. Ceci peut être effectué automatiquement à l'aide d'un automate (13-17) qui reçoit les informations provenant des capteurs (2 et 3) et commande l'arrêt du groupe moto-pompe (18) alimentant le vérin (1) en fluide hydraulique.



**Fig. 4**

## Description

**[0001]** La présente invention concerne un procédé pour tendre un câble formé d'un faisceau de plusieurs torons maintenus parallèles les uns aux autres entre deux ancrages, du type consistant à tendre individuellement et successivement les différents torons du câble à l'aide d'un appareil de traction. L'invention concerne également un dispositif permettant la mise en oeuvre du procédé sus-indiqué.

**[0002]** Le procédé et le dispositif selon l'invention sont utilisables notamment dans le domaine de la construction des ponts à haubans, des ponts suspendus ou d'autres ouvrages de grandes dimensions, comme par exemple des stades omnisports, dans lesquels des haubans ou des suspentes constitués par des câbles multi-torons sont employés pour supporter ou stabiliser des éléments de la structure de l'ouvrage, comme par exemple un tablier de pont, des éléments de couverture ou des pylônes.

**[0003]** Comme cela est bien connu, la technique consistant à tendre individuellement et successivement les différents torons d'un câble multi-torons est avantageuse, par rapport à la technique consistant à tendre simultanément tous les torons du câble multi-torons, dans la mesure où la première technique permet d'utiliser un appareil de traction, en général un vérin ou treuil hydraulique de traction, qui est beaucoup plus petit, beaucoup plus léger et nettement moins puissant que celui qui serait nécessaire pour tendre simultanément tous les torons du câble (voir le brevet FR 2.652.866).

**[0004]** En revanche, comme cela est également bien connu, avec la technique consistant à tendre individuellement et successivement les différents torons du câble la difficulté est d'obtenir que, à la fin du processus de mise en tension du câble, tous les torons présentent la même tension afin qu'ils contribuent tous dans la même proportion à l'effort de traction du câble. Cette difficulté tient essentiellement au fait que chaque fois qu'un toron du câble est mis sous tension, il provoque une modification de la tension du ou des torons qui ont été précédemment tendus. Cette modification de tension a elle-même plusieurs causes. Une première cause tient au fait que les deux ancrages aux extrémités des torons se rapprochent l'un de l'autre au fur et à mesure que les torons sont tendus et/ou que le nombre des torons tendus augmente, ce rapprochement des ancrages étant lui-même dû à la flexibilité des éléments de structure (tablier de pont, pylônes etc...) auxquels les extrémités du câble sont ancrées. Une autre cause de la modification de tension réside dans le fait que chaque fois qu'un toron du câble est mis sous tension, il reprend une partie de la charge appliquée aux torons précédemment tendus, de sorte que ces derniers sont soumis à une charge moindre et que leur tension diminue. Pour toutes ces raisons et d'autres encore, il est difficile de déterminer ou de calculer à l'avance la tension qu'il faut donner à chaque toron du câble lorsque les torons sont mis séquentiellement sous tension.

**[0005]** La présente invention a donc pour but de fournir un procédé et un dispositif pour tendre séquentiellement les torons d'un câble multi-torons de façon à obtenir, à la fin du processus de mise en tension, une même valeur de tension pour tous les torons du câble.

**[0006]** A cet effet, le procédé selon l'invention est caractérisé en ce qu'il consiste :

a). à installer un élément allongé de référence de telle sorte qu'il soit colinéaire au câble et qu'une de ses extrémités soit attachée à un point fixe, tandis que son autre extrémité est libre de se déplacer à travers l'un des deux ancrages et du câble ;

b). à tendre un premier toron en exerçant une traction sur une extrémité de celui-ci jusqu'à ce que sa tension ou son allongement atteigne une valeur prédéfinie, et à ancrer alors ladite extrémité dudit premier toron ;

c). à mesurer une première quantité dont ladite extrémité du premier toron, soumise à ladite traction, s'est déplacée pendant l'étape b) ;

d). à mesurer une seconde quantité dont ladite extrémité libre de l'élément allongé de référence s'est déplacée pendant l'étape b) ;

e). à tendre un second toron en exerçant une traction sur une extrémité de celui-ci jusqu'à ce que ladite extrémité du second toron se soit déplacée d'une quantité prédéfinie correspondant à la différence entre lesdites première et seconde quantités et mesurées aux étapes c) et d), et à ancrer alors ladite extrémité dudit second toron ;

f). à mesurer une quantité supplémentaire dont ladite extrémité libre de l'élément allongé de référence s'est déplacée pendant l'étape e) ;

g). à tendre un troisième toron en exerçant une traction sur une extrémité de celui-ci jusqu'à ce que ladite extrémité du troisième toron se soit déplacée d'une quantité prédéfinie correspondant à la différence entre ladite quantité prédéfinie de déplacement de l'extrémité dudit second toron pendant l'étape e) et ladite quantité supplémentaire

de déplacement de l'extrémité libre de l'élément allongé de référence pendant l'étape e), et à ancrer alors ladite extrémité dudit troisième toron ;

h). à mesurer une quantité supplémentaire dont ladite extrémité libre de l'élément allongé de référence s'est déplacée pendant l'étape g) ;

i). et ainsi de suite jusqu'à la mise en tension et l'ancrage du dernier toron sur lequel on exerce une traction jusqu'à ce que son extrémité soumise à la traction se soit déplacée d'une quantité prédéfinie correspondant à la différence entre la quantité prédéfinie de déplacement de l'extrémité, soumise à la traction, de l'avant dernier toron pendant sa mise en tension et la quantité supplémentaire de déplacement de l'extrémité libre de l'élément allongé de référence pendant la mise en tension de l'avant dernier toron, et à ancrer alors ladite extrémité dudit dernier toron.

**[0007]** Le procédé selon l'invention peut en outre présenter les caractéristiques suivantes :

- Pour la mise en tension et l'ancrage d'un toron d'ordre  $k$  ( $2 \leq k \leq n$ ,  $n$  étant le nombre de torons du câble) on calcule une valeur de consigne  $S_{kc}$  pour le déplacement de l'extrémité du  $k^{\text{ème}}$  toron à tendre, on tire sur ladite extrémité tout en mesurant son déplacement réel, on compare, pendant ledit déplacement, la valeur réelle mesurée du déplacement à ladite valeur de consigne et, lorsque ladite valeur réelle mesurée atteint ladite valeur de consigne, on cesse de tirer sur le  $k^{\text{ème}}$  toron et simultanément on ancre son extrémité.

- La valeur de consigne  $S_{kc}$  est calculée d'après la formule :

$$S_{kc} = S_1 - \sum_{i=1}^{i=k-1} a_i$$

où  $S_1$  est ladite première quantité de déplacement du premier toron et

$$\sum_{i=1}^{i=k-1} a_i$$

est la somme des quantités dont ladite extrémité libre de l'élément allongé de référence s'est déplacée pendant les mises en tension des torons d'ordre 1 à  $k-1$ .

- Selon une variante, ladite valeur de consigne  $S_{kc}$  est calculée d'après la formule :

$$S_{kc} = S_1 - \sum_{i=1}^{i=k-1} a_i + e$$

où  $e$  est une valeur prédéfinie de compensation tenant compte d'une rétraction du  $k^{\text{ème}}$  toron au moment de l'ancrage de son extrémité soumise à la traction.

- On peut utiliser l'un des torons du câble à tendre à titre d'élément allongé de référence. Dans ce cas, ledit toron servant d'élément allongé de référence est tendu et ancré en dernier.

**[0008]** L'invention fournit également un dispositif pour tendre un câble multi-torons entre deux ancrages, comprenant un appareil de traction pouvant être adapté successivement à chacun des torons du câble pour les tendre individuellement et successivement, caractérisé en ce qu'il comprend :

a). un élément allongé de référence qui est associé au câble à tendre de telle façon qu'il soit colinéaire audit câble

et qu'une de ses extrémités soit attachée en un point fixe, tandis que son autre extrémité est libre de se déplacer à travers un trou de l'un des deux ancrages du câble;

b). un premier capteur de déplacement apte à être adapté successivement à chacun des torons du câble pour mesurer à chaque fois le déplacement d'une extrémité du toron auquel le premier capteur est adapté lorsque ladite extrémité du toron est soumise à une traction par ledit appareil de traction;

c). un premier moyen de mémorisation relié au premier capteur de déplacement pour mémoriser au moins la valeur du déplacement de l'extrémité du toron qui est tendu le premier ;

d). un second capteur de déplacement associé à l'élément allongé de référence pour mesurer le déplacement de son extrémité libre chaque fois qu'un toron du câble est mis en tension et ancré;

e). un second moyen de mémorisation relié au second capteur de déplacement pour mémoriser les valeurs de déplacement mesurées par ledit second capteur ;

f). des moyens de calcul et de commande reliés audit premier capteur de déplacement et auxdits premier et second moyens de mémorisation pour commander automatiquement l'arrêt de la traction exercée sur un toron d'ordre  $k$  ( $2 \leq k \leq n$ ) du câble lorsque la valeur du déplacement mesurée par le premier capteur de déplacement atteint, pour ledit toron d'ordre  $k$ , une valeur de déplacement prédéfinie correspondant à la différence entre la valeur prédéfinie de déplacement de l'extrémité du toron d'ordre  $k-1$  pendant la mise en tension de ce toron d'ordre  $k-1$  et la valeur de déplacement de l'extrémité libre de l'élément allongé de référence pendant la mise en tension dudit toron d'ordre  $k-1$ .

**[0009]** Le dispositif selon l'invention peut en outre présenter les caractéristiques suivantes :

- Lesdits moyens de calcul et de commande comprennent :

a). un moyen de calcul qui, préalablement à la mise en tension dudit toron d'ordre  $k$  calcule une valeur de consigne  $S_{kc}$  pour le déplacement de l'extrémité dudit toron d'ordre  $k$  à tendre, ladite valeur de consigne étant calculée d'après la formule :

$$S_{kc} = S_1 - \sum_{i=1}^{i=k-1} a_i$$

où  $S_1$  est la valeur du déplacement mémorisée dans le premier moyen de mémorisation à la fin de la mise en tension du toron d'ordre 1 qui a été tendu le premier, et

$$\sum_{i=1}^{i=k-1} a_i$$

est la somme des valeurs de déplacement de l'extrémité libre de l'élément allongé de référence pendant les mises en tension des torons d'ordre 1 à  $k-1$  ;

b). un comparateur ayant une première entrée reliée à la sortie du moyen de calcul et une seconde entrée reliée audit premier capteur de déplacement, pour comparer une valeur réelle instantanée de déplacement de l'extrémité du toron d'ordre  $k$  en cours de mise en tension à ladite valeur de consigne  $S_{kc}$ , et pour fournir un signal de commande en cas d'égalité de ladite valeur réelle instantanée et de ladite valeur de consigne ; et

c). un moyen de commande qui est relié à la sortie du comparateur et qui réagit au signal de commande de celui-ci pour commander l'arrêt de l'appareil de traction.

- Le dispositif comprend en outre un moyen d'entrée pour introduire dans ledit moyen de calcul une valeur de compensation  $e$  correspondant à la rétraction d'un toron lors de l'ancrage de son extrémité soumise à la traction, et en ce que ledit moyen de calcul calcule ladite valeur de consigne  $S_{kc}$  d'après la formule :

$$S_{kc} = S_l - \sum_{i=1}^{i=k-1} a_i + e$$

5

- L'élément allongé de référence peut être constitué par l'un des torons du câble à tendre.

10 **[0010]** L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description suivante donnée à titre d'exemple en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- les figures 1 et 2 sont des schémas illustrant le principe général du procédé selon l'invention, la figure 1 correspondant à un état initial avant mise en tension d'un toron quelconque du câble, d'ordre  $k \geq 2$  dans la succession des opérations de tension des torons du câble, la figure 2 correspondant à un état final après mise en tension dudit toron d'ordre  $k$  ;

- les figures 3a à 3f sont des schémas illustrant des étapes successives du procédé selon l'invention ;

- 20 - la figure 4 est un schéma fonctionnel montrant un mode de réalisation du dispositif selon l'invention.

**[0011]** En se référant tout d'abord aux figures 1 et 2, on peut voir deux torons  $t_k$  et  $t_{k-1}$  appartenant à un même câble multi-torons, dont les torons doivent être tendus entre deux ancrages A1 et A2. L'ancrage A1 est par exemple un ancrage haut situé dans la partie de tête d'un pylône d'un pont à haubans, tandis que l'ancrage A2 est par exemple un ancrage bas situé sur le tablier du pont à haubans. Dans la représentation des figures 1 et 2 le toron  $t_{k-1}$  a déjà été tendu et ancré à ses deux extrémités respectivement dans les têtes d'ancrage TA1 et TA2, tandis que le toron  $t_k$  est ancré seulement à une extrémité, dans la tête d'ancrage TA1, et un vérin de traction ou treuil hydraulique 1 est installé sur l'autre extrémité du toron  $t_k$  et prend appui contre la tête d'ancrage TA2 en vue de tendre ce toron. Un capteur de déplacement 2 ou autre appareil de mesure similaire est associé au vérin de traction 1 pour mesurer sa course lorsqu'il est actionné, ou, ce qui revient au même, pour mesurer la valeur de déplacement de l'extrémité du toron  $t_k$  qui est tirée par le vérin de traction 1.

**[0012]** Sur les figures 1 et 2, on a également représenté un élément allongé de référence  $t_{ref}$ , qui est associé au câble de telle façon qu'il soit colinéaire avec lui, l'une des extrémité de l'élément allongé de référence étant attachée à un point fixe, tandis que son autre extrémité est libre de se déplacer dans la direction longitudinale du câble. Cet élément allongé de référence  $t_{ref}$  peut être avantageusement constitué par l'un des torons du câble. Dans ce cas, l'une des extrémités du toron de référence  $t_{ref}$  peut être ancrée par exemple dans la tête d'ancrage TA1, tandis que son autre extrémité est libre de se déplacer dans l'un des trous de l'autre tête d'ancrage TA2. Un second capteur de déplacement 3 ou autre appareil de mesure similaire est associé à l'extrémité libre du toron de référence  $t_{ref}$  afin de mesurer le déplacement de cette extrémité, c'est-à-dire la quantité dont cette extrémité « sort » de la tête d'ancrage TA2 chaque fois qu'un toron du câble est mis en tension à l'aide du vérin de traction 1.

**[0013]** Sur les figures 1 et 2, on a encore représenté un élément porteur  $t_p$  qui sert à supporter le câble au moins au début de la série des opérations de mise en tension des torons du câble, de préférence pendant la série entière des opérations de mise en tension. Cet élément porteur  $t_p$  peut être lui aussi avantageusement constitué par l'un des torons du câble. Dans ce cas, le toron porteur  $t_p$  est installé en premier entre les ancrages A1 et A2 et ses extrémités sont ancrées aux deux têtes d'ancrage TA1 et TA2.

**[0014]** Bien que dans les figures 1 et 2 les extrémités de chaque toron soient représentées comme étant ancrées dans des têtes d'ancrage TA1 et TA2 distinctes de celles des autres torons du câble, une telle représentation a simplement été adoptée pour la commodité du dessin, étant bien entendu que les têtes d'ancrage TA1 sont en fait constituées par une unique tête d'ancrage comportant un nombre de trous au moins égal au nombre des torons du câble. De même, les différentes têtes d'ancrage TA2 représentées dans les figures 1 et 2 sont en fait constituées par une unique tête d'ancrage comportant un nombre de trous au moins égal au nombre des torons du câble.

**[0015]** Comme cela sera démontré en détail plus loin, après la mise en tension du toron  $t_{k-1}$ , on peut connaître son allongement  $\Delta L$ , ainsi que la quantité  $d_{k-1}$  (figure 1) dont l'extrémité libre du toron de référence  $t_{ref}$  est sortie de la tête d'ancrage TA2 (cette dernière quantité est donnée par le capteur de déplacement 3).

**[0016]** A la fin de la mise en tension du toron  $t_k$  (figure 2), l'extrémité libre du toron de référence  $t_{ref}$  est sortie de la tête d'ancrage TA2 d'une quantité  $d_k$ . Comme cela sera démontré plus loin, l'allongement du toron  $t_{k-1}$  est maintenant égal à  $[\Delta L - (d_k - d_{k-1})]$ . Pour obtenir un allongement identique des torons  $t_k$  et  $t_{k-1}$ , ainsi que cela sera démontré plus loin, on tire le toron  $t_k$  jusqu'à ce que son extrémité tirée par le vérin de traction 1 se soit déplacée d'une quantité  $S_k$

(mesurée par le capteur de déplacement 2) qui est égale à  $\Delta L_1 - (d_{k-1} - d_1)$ , où  $\Delta L_1$  est l'allongement du câble qui a été tendu en premier, mesuré après cette première mise en tension, et  $d_1$  est la quantité dont l'extrémité libre du toron de référence  $t_{ref}$  est sortie de la tête d'ancrage TA2 après la mise en tension du premier toron.

**[0017]** Pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention, il convient que la longueur curviligne de chaque toron du câble, mesurée entre les deux ancrages A1 et A2, soit la même pour tous les torons du câble. Ceci peut être obtenu lorsque tous les torons du câble sont disposés dans une gaine commune, de préférence dans une gaine dans laquelle se trouve un guide multi-canaux apte à maintenir les torons du câble parallèles les uns aux autres. Une telle gaine est par exemple décrite dans la demande de brevet FR-99.02799 déposée le 5 mars 1999 aux noms des mêmes demandereses. La gaine a été schématiquement représentée en traits mixtes dans la figure 1 et elle est désignée par le numéro de référence 4. Pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention, il est aussi supposé que la température des différents torons est la même dans le câble. Ceci peut là encore être obtenu avec une approximation satisfaisante en utilisant la gaine susmentionnée.

**[0018]** On va maintenant décrire en détail le processus de mise en tension des torons du câble. Dans la description qui va suivre, on utilisera les notations suivantes :

- $t_1, t_2, t_3, \dots, t_{k-1}, t_k, \dots, t_{n-1}, t_n$  désignent les torons du câble dans l'ordre suivant lequel ils sont mis en tension,  $n$  étant le nombre total des torons du câble et  $k$  étant un nombre tel que  $2 \leq k \leq n$  ;
- $L_0$  désigne la longueur curviligne ( mesurée entre les deux ancrages A1 et A2) du toron de référence  $t_{ref}$  et du premier toron  $t_1$  avant mise en tension du toron  $t_1$  ;
- $N_{01}$  désigne la tension initiale donnée au premier toron  $t_1$  au début du processus de mise en tension des torons du câble ;
- $L_1, L_2, L_3, \dots$  désignent les longueurs curvilignes des torons (mesurées entre les ancrages A1 et A2) respectivement après la mise en tension du toron  $t_1, t_2, t_3, \dots$ , étant rappelé que, à tout moment, tous les torons déjà installés à ce moment dans la gaine 4 ont la même longueur curviligne ;
- $L_{01}, L_{02}, L_{03}, \dots$  désignent les longueurs à vide (à tension nulle) des torons  $t_1, t_2, t_3, \dots$ , considérés comme étant limités aux deux sections qui sont ancrées dans les têtes d'ancrage TA1 et TA2, après mise en tension desdits torons ;
- $\Delta L_{ij}$  désigne l'allongement du toron  $t_i$  après mise en tension du toron  $t_j$  ;
- $S_1, S_2, S_3, \dots, S_{k-1}, S_k, \dots, S_n$  désignent les valeurs du déplacement (mesurées par le capteur de déplacement 2) d'un point de référence de l'extrémité du toron  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_{k-1}, t_k, \dots, t_n$  qui, à l'instant considéré, est tiré par le vérin de traction 1 ;
- $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{k-1}, a_k, \dots, a_n$  désignent les valeurs du déplacement (mesurées par le capteur de déplacement 3) d'un point de référence de l'extrémité libre du toron de référence  $t_{ref}$ , respectivement après mise en tension du toron  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_{k-1}, t_k, \dots, t_n$  (Dans les figures 1 et 2, on notera que

$$d_k = \sum_{i=1}^{i=k} a_i ).$$

**[0019]** Pour tendre un câble composé de  $n$  torons  $t_1, \dots, t_n$  entre les deux ancrages A1 et A2, on commence par installer la gaine 4 du câble entre les deux ancrages A1 et A2. A cet effet, on peut avantageusement utiliser l'un des torons du câble comme toron porteur  $t_p$ . Dans ce cas, on commence par enfiler le toron porteur  $t_p$  dans la gaine 4, puis on fait passer l'une des extrémités de ce toron porteur dans l'un des trous de la tête d'ancrage TA2 et on l'ancre dans ce trou de manière classique, par exemple au moyen de clavettes coniques. Ensuite, on fait passer l'autre extrémité du toron porteur  $t_p$  dans un trou correspondant de la tête d'ancrage TA1 et on l'ancre dans ce trou.

**[0020]** Ensuite, dans le cas où on utilise comme élément de référence un autre toron  $t_{ref}$  du câble, on enfle ce toron à travers l'un des trous de la tête d'ancrage TA2 et dans la gaine 4 jusqu'à ce que son extrémité de tête parvienne dans un trou correspondant de la tête d'ancrage TA1 où cette extrémité de tête est ancrée de manière classique, tandis que l'extrémité arrière du toron de référence  $t_{ref}$  est laissée libre de se déplacer dans le trou correspondant de la tête

d'ancrage TA2. Le capteur de déplacement 3 est alors installé à l'extrémité arrière libre du toron de référence  $t_{ref}$  afin d'en mesurer les déplacements par rapport à la tête d'ancrage TA2.

**[0021]** Ensuite, on enfle le toron  $t_1$  dans l'un des trous de la tête d'ancrage TA2, dans la gaine 4 et dans un trou correspondant de la tête d'ancrage TA1, puis on ancre son extrémité de tête dans la tête d'ancrage TA1. On installe ensuite le vérin de traction 1 avec le capteur de déplacement 2 sur l'extrémité arrière du toron  $t_1$ . A ce moment, les deux torons  $t_{ref}$  et  $t_1$  ont la même longueur curviligne  $L_0$  (figure 3a) et les deux capteurs de déplacement 2 et 3 sont remis à zéro.

**[0022]** Ensuite, au moyen du vérin de traction 1 on tend le toron  $t_1$  jusqu'à ce que sa tension atteigne une valeur prédéfinie  $N_{01}$ , qui est la tension à appliquer au toron  $t_1$  pour que, à la fin du processus de mise en tension du câble, on obtienne la tension voulue dans le câble, c'est-à-dire dans tous les torons  $t_1$  à  $t_n$  de celui-ci. Cette valeur initiale prédéfinie  $N_{01}$  de la tension du toron  $t_1$  est calculée suivant une méthode bien connue des hommes de l'art. A titre de variante, pour donner au toron  $t_1$  la tension initiale voulue, on peut par exemple le tendre jusqu'à ce qu'il ait subi un allongement prédéfini, calculé par une méthode connue. Selon une autre variante, après avoir mesuré de manière précise la longueur du toron  $t_1$ , on peut aussi procéder à sa mise en tension en indiquant une longueur de toron à obtenir entre les têtes d'ancrage TA1 et TA2, cette longueur pouvant être par exemple repérée par des marques appropriées faites au préalable sur le toron  $t_1$ .

**[0023]** Après que le toron  $t_1$  a été tendu la tension initiale voulue  $N_{01}$ , il est ancré au point 5 (figure 3b) dans la tête d'ancrage TA2. Pendant la mise en tension du toron  $t_1$ , l'extrémité libre 6 du toron de référence  $t_{ref}$  s'est déplacée de la quantité  $a_1$ , tandis que l'extrémité 7 du toron  $t_1$  s'est déplacée de la quantité  $S_1$  comme montré dans la figure 3b. Les quantités  $S_1$  et  $a_1$  sont mesurées respectivement par les capteurs de déplacement 2 et 3. L'allongement  $\Delta L_{1,1}$  du toron  $t_1$  sous la tension  $N_{01}$  est donné par la formule suivante :

$$\Delta L_{1,1} = S_1 - a_1 \quad (1)$$

**[0024]** Bien que ce résultat soit intuitif, il peut être démontré de la manière suivante. Si l'on considère que le toron de référence  $t_{ref}$  n'est jamais tendu et que sa longueur totale ne varie pas, on peut donc écrire :

$$L_0 = L_1 + a_1 \quad (2)$$

**[0025]** D'autre part, si l'on considère le toron  $t_1$ , sa longueur curviligne  $L_1$  entre les deux têtes d'ancrage TA1 et TA2 est donnée par l'équation (3) suivante :

$$L_1 = L_{01} + \Delta L_{1,1} \quad (3)$$

dans laquelle  $L_{01}$  est la longueur à vide du toron  $t_1$  entre les deux têtes d'ancrage TA1 et TA2, et  $\Delta L_{1,1}$  est son allongement sous la tension  $N_{01}$ . En combinant les deux équations (2) et (3), on obtient l'équation suivante :

$$L_0 = L_{01} + \Delta L_{1,1} + a_1 \quad (4)$$

**[0026]** Etant donné que la longueur totale à vide du toron  $t_1$  ne varie pas, on peut donc aussi écrire :

$$L_0 = S_1 + L_{01} \quad (5)$$

**[0027]** En combinant les équations (4) et (5), on obtient donc l'équation (6) suivante :

$$S_1 = \Delta L_{1,1} + a_1 \quad (6)$$

**[0028]** Cette équation (6) peut encore s'écrire comme l'équation (1) sus-indiquée. En conséquence, comme les quantités  $S_1$  et  $a_1$  peuvent être mesurées respectivement par les capteurs de déplacement 2 et 3, on peut donc facilement en déduire l'allongement  $\Delta L_{1,1}$  du toron  $t_1$  soumis à la tension initiale  $N_{01}$ .

**[0029]** Ensuite, le toron  $t_2$  est enfilé dans un trou de la tête d'ancrage TA2 et dans la gaine 4 et son extrémité de tête

est ancrée de manière connue dans la tête d'ancrage TA1. Le vérin de traction 1 et le capteur de mesure 2, convenablement remis à zéro, sont enlevés du câble  $t_1$  et installés à l'extrémité arrière 8 du toron  $t_2$  comme montré dans la figure 3c. A ce moment, tous les torons  $t_{ref}$ ,  $t_1$  et  $t_2$  ont une longueur curviligne égale  $L_1$ .

**[0030]** Ensuite, au moyen du vérin de traction 1 on tire sur l'extrémité 8 du toron  $t_2$  pour le mettre sous tension, et on ancre ce toron dans la tête d'ancrage TA2 (figure 3d). Après la mise sous tension et l'ancrage du toron  $t_2$ , les torons ont une longueur curviligne  $L_2$ , l'extrémité 8 du toron  $t_2$  s'est déplacé de la quantité  $S_2$  (mesurée par le capteur de déplacement 2), et les deux points 6 et 9 à l'extrémité libre du toron de référence  $t_{ref}$  se sont déplacés ensemble de la quantité  $a_2$  par rapport à la tête d'ancrage TA2 ( $a_2$  étant mesuré par le capteur de déplacement 3).

**[0031]** Lorsqu'on tend le toron  $t_2$ , l'allongement du toron  $t_1$  passe de  $\Delta L_{1,1}$  à  $\Delta L_{1,2}$  qui est donné par la formule :

$$\Delta L_{1,2} = \Delta L_{1,1} - a_2 \quad (7)$$

**[0032]** En effet, si l'on considère le toron de référence  $t_{ref}$ , qui n'est pas tendu, sa longueur totale reste la même dans les deux situations représentées dans les figures 3c et 3d. En conséquence, on peut écrire :

$$L_1 = L_2 + a_2 \quad (8)$$

**[0033]** D'autre part, si l'on considère le toron  $t_1$ , sa longueur  $L_1$  (figures 3b et 3c) est donnée par la formule (3) sus-indiquée, tandis que sa longueur  $L_2$  (figure 3d) après mise en tension du toron  $t_2$  est donnée par la formule :

$$L_2 = L_{02} + \Delta L_{1,2} \quad (9)$$

**[0034]** En combinant les formules (3), (8) et (9) on obtient donc :

$$L_{02} + \Delta L_{1,2} + a_2 = L_{01} + \Delta L_{1,1} \quad (10)$$

**[0035]** Or, comme les deux extrémités du toron  $t_1$  sont ancrées respectivement dans les têtes d'ancrage TA1 et TA2, la longueur à vide du toron  $t_1$  entre les deux têtes d'ancrage ne change pas en passant de la situation de la figure 3c à la situation de la figure 3d. En conséquence,  $L_{02}$  est égal à  $L_{01}$ , de sorte que l'équation (10) peut s'écrire :

$$\Delta L_{1,2} + a_2 = \Delta L_{1,1} \quad (11)$$

ou encore sous une forme identique à celle de l'équation (7) sus-indiquée. Après mise en tension du toron  $t_2$ , le nouvel allongement  $\Delta L_{1,2}$  du toron  $t_1$  est donc égal à la différence entre  $\Delta L_{1,1}$  et  $a_2$ . Si l'on veut que les torons  $t_1$  et  $t_2$  aient le même allongement après la mise sous tension du toron  $t_2$ , il faut donc allonger ce toron  $t_2$  d'une quantité  $\Delta L_{2,2}$  égale à  $\Delta L_{1,2}$ . Or, conformément à la démonstration déjà effectuée plus haut à propos du toron  $t_1$  et de la formule (1), l'allongement  $\Delta L_{2,2}$  du toron  $t_2$  lors de sa mise sous tension est donné par une formule semblable à la formule (1), à savoir :

$$\Delta L_{2,2} = S_2 - a_2 \quad (12)$$

**[0036]** En combinant les équations (7) et (12), en tenant compte de l'équation (1), et en posant la condition désirée  $\Delta L_{2,2} = \Delta L_{1,2}$ , on obtient donc :

$$S_2 = \Delta L_{1,1} = S_1 - a_1 \quad (13)$$

**[0037]** En conclusion, pour allonger le toron  $t_2$  de  $\Delta L_{2,2} = \Delta L_{1,2}$ , c'est-à-dire pour lui donner un allongement égal à celui du toron  $t_1$ , il faut réaliser une course de vérin  $S_2$  égale à la différence  $S_1 - a_1$ . Etant donné que les quantités  $S_1$  et  $a_1$  ont déjà été mesurées respectivement par les capteurs de déplacement 2 et 3 au cours du processus de mise en tension du toron  $t_1$ , la quantité  $S_2$  peut être facilement calculée et utilisée pour commander le fonctionnement du



vérin 1 comme on le verra en détail plus loin.

**[0038]** Une fois que le toron  $t_2$  a été tendu et ancré de la manière indiquée ci-dessus, le toron  $t_3$  est enfilé dans un trou de la tête d'ancrage TA2 et dans la gaine 4 et son extrémité de tête est ancrée de manière classique dans un trou correspondant de la tête d'ancrage TA1. Ensuite, le vérin de traction 1 et le capteur de déplacement 2, convenablement remis à zéro, sont enlevés du câble  $t_2$  et installés à l'extrémité arrière 11 du toron  $t_3$  contre la tête d'ancrage TA2 comme montré dans la figure 3e. A ce moment, tous les torons  $t_{ref}$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  et  $t_3$  ont la même longueur curviligne  $L_2$ .

**[0039]** Ensuite, au moyen du vérin de traction 1, on tire sur l'extrémité 11 du toron  $t_3$  pour le mettre sous tension et on l'ancre dans le trou correspondant de la tête d'ancrage TA2. A la fin de l'opération de mise en tension du toron  $t_3$  et ancrage de celui-ci dans la tête d'ancrage TA2, son extrémité arrière 11 s'est déplacée de la quantité  $S_3$  (mesurée par le capteur de déplacement 2), le point 12 à l'extrémité libre du toron de référence  $t_{ref}$  s'est déplacé d'une quantité  $a_3$  (mesurée par le capteur de déplacement 3) par rapport à la tête d'ancrage TA2, et tous les torons ont la même longueur curviligne  $L_3$ , comme montré dans la figure 3f.

**[0040]** Conformément au même principe que celui décrit précédemment à propos de la mise sous tension du toron  $t_2$ , afin de donner au toron  $t_3$  le même allongement que celui acquis par les torons  $t_1$  et  $t_2$  après la mise en tension du toron  $t_3$ , il convient d'allonger ce dernier toron d'une quantité  $\Delta L_{3,3}$  qui est donnée par une formule semblable à la formule (7) sus-indiquée, à savoir :

$$\Delta L_{3,3} = \Delta L_{1,3} = \Delta L_{1,2} - a_3 \quad (14)$$

**[0041]** En combinant les formules (7) et (14), on obtient :

$$\Delta L_{3,3} = \Delta L_{1,3} = \Delta L_{1,1} - a_2 - a_3 \quad (15)$$

or, comme cela a déjà été démontré à propos des torons  $t_1$  et  $t_2$ , l'allongement du toron  $t_3$  est aussi donné par une formule semblable aux formules (1) et (12), à savoir :

$$\Delta L_{3,3} = S_3 - a_3 \quad (16)$$

**[0042]** En combinant les formules (15) et (16) et en tenant compte des formules (1) et (13), on obtient donc :

$$S_3 = \Delta L_{1,1} - a_2 = S_1 - a_1 - a_2 = S_2 - a_2 \quad (17)$$

**[0043]** Cette formule (17) peut encore s'écrire :

$$S_3 = S_1 - \sum_{i=1}^{i=2} a_i \quad (18)$$

**[0044]** En conclusion, on voit donc que pour donner au toron  $t_3$  un allongement égal à celui des torons  $t_1$  et  $t_2$ , il faut réaliser une course de vérin  $S_3$  qui est égale soit à la différence  $S_2 - a_2$ , soit à  $S_1$  moins la somme des déplacements  $a_i$  de l'extrémité arrière libre du toron de référence  $t_{ref}$  au cours des mises en tension des torons  $t_1$  et  $t_2$ .

**[0045]** D'une manière générale, pour la mise en tension d'un toron quelconque  $t_k$  du câble, on procède de manière semblable à celle décrite plus haut à propos des torons  $t_2$  et  $t_3$ . Plus précisément, lors de la mise en tension du toron  $t_k$ , pour donner à ce dernier un allongement égal à ceux des torons précédemment tendus  $t_1$  à  $t_{k-1}$  après que le toron  $t_k$  a été tendu, il convient de donner à ce toron  $t_k$  un allongement  $\Delta L_{k,k}$  qui est donné par une formule semblable aux formules (7) et (14) à savoir :

$$\Delta L_{k,k} = \Delta L_{1-k} = \Delta L_{1,k-1} - a_k \quad (19)$$

**[0046]** Or, par itération, la quantité  $\Delta L_{1,k-1}$  est donnée par la formule :

$$\Delta L_{1,k-1} = \Delta L_{1,1} - \sum_{i=2}^{i=k-1} a_i \quad (20)$$

[0047] En combinant les formules (19) et (20) on obtient donc :

$$\Delta L_{k,k} = \Delta L_{1,k} = \Delta L_{1,1} - \left( \sum_{i=2}^{i=k-1} a_i \right) - a_k \quad (21)$$

[0048] Par ailleurs, l'allongement  $\Delta L_{k,k}$  du toron  $t_k$  est lui-même donné par une formule semblable aux formules (1) et (12), à savoir :

$$\Delta L_{k,k} = S_k - a_k \quad (22)$$

[0049] En comparant les formules (21) et (22) et en tenant compte de la formule (1), on voit donc que pour donner au toron  $t_k$  un allongement égal à celui des autres câbles précédemment tendus  $t_1$  à  $t_{k-1}$ , il convient de réaliser une course de vérin  $S_k$  qui est donnée par la formule :

$$S_k = \Delta L_{1,1} - \sum_{i=2}^{i=k-1} a_i = S_1 - \sum_{i=1}^{i=k-1} a_i \quad (23)$$

formule qui peut encore s'écrire de manière suivante :

$$S_k = S_{k-1} - a_{k-1} \quad (24)$$

[0050] Comme les quantités  $S_1$  et  $a_i$  ou les quantités  $S_{k-1}$  et  $a_{k-1}$  sont connues ( elles ont déjà été calculées et/ou mesurées à l'aide des capteurs de déplacement 2 et 3), on voit donc que la course  $S_k$  du vérin 1 pour donner au toron  $t_k$  un allongement égal à celui des torons précédemment tendus  $t_1$  à  $t_{k-1}$  peut être facilement calculée et est donc connue, sans qu'il soit nécessaire de mesurer ni la tension des torons, ni l'allongement du toron  $t_k$ . Le fonctionnement du vérin 1 pour la mise en tension du toron  $t_k$  peut donc être facilement automatisée comme on le verra en détail plus loin.

[0051] La mise en tension du câble est poursuivie pour chacun des torons suivants du câble de la même manière que celle décrite plus haut à propos des torons  $t_2$  à  $t_k$ , et cela jusqu'au toron  $t_n$ . Dans le cas où deux des torons du câble ont été utilisés respectivement comme toron porteur  $t_p$  et comme toron de référence  $t_{ref}$ , le toron porteur  $t_p$  est tendu en avant dernier (toron  $t_{n-1}$ ) et le toron de référence  $t_{ref}$  est tendu en dernier (toron  $t_n$ ). Dans ce cas, on pourra allonger le toron de référence ou dernier toron  $t_n$  du même allongement  $\Delta L_{n-1}$  que l'allongement donné au toron précédemment tendu  $t_{n-1}$ , si cette approximation est acceptable, ou il est allongé dudit allongement  $\Delta L_{n-1}$  déduit de la perte d'allongement des torons précédents, mesurée ou calculée qui est provoquée par la mise en tension du toron de référence tendu en dernier. On peut noter que tous les torons tendus ont la même longueur entre ancrages et que leur allongement a été rendu identique. Par conséquent, leurs contraintes axiales sont identiques lorsque leurs modules d'élasticité sont identiques. Cette constatation est indépendante de la section de chacun des torons, laquelle section pourrait donc être non homogène dans le câble, si on le désire.

[0052] Lorsque le câble comporte un grand nombre de torons, il peut s'écouler plusieurs heures entre les instants où le premier toron  $t_1$  et le dernier toron  $t_n$  sont tendus. Entre ces deux instants, il peut arriver que la température des torons ait changé dans une proportion importante et que, par suite, les tensions et les allongements qui ont été donnés aux torons au début du processus de mise en tension du câble n'aient plus les mêmes valeurs à la fin dudit processus

(en fait, le problème n'existe que s'il y a des dispersions des températures des torons au moment des mises en tension). Dans ce cas, il convient donc de réajuster les allongements, donc les tensions des torons avant de mettre en tension le dernier toron  $t_n$  qui a servi de toron de référence. A cet effet, avant de tendre le toron de référence  $t_{ref}$  ou dernier toron  $t_n$ , on recommence un cycle de mise en tension en retendant successivement les torons  $t_1$  à  $t_{n-1}$  afin d'égaliser leurs allongements, donc leur tension finale. Ce second cycle de mise en tension peut être effectué relativement rapidement puisque les torons n'ont plus à être enfilés dans la gaine du câble et que les quantités de déplacement  $S_i$  à effectuer pour retendre les torons seront en général relativement faibles. Après ce second cycle de mise en tension, le dernier toron  $t_n$  qui a été utilisé comme toron de référence peut être tendu et ancré de manière indiquée plus haut.

**[0053]** Il y a également lieu de noter que, chaque fois qu'un toron du câble est ancré dans la tête d'ancrage TA2 après avoir été tendu, les clavettes coniques qui servent à ancrer le toron concerné dans le trou correspondant de la tête d'ancrage TA2 n'immobilisent pas instantanément ce toron. Il en résulte que, avant d'être complètement bloqué, le toron se rétracte légèrement et subit par conséquent une perte d'allongement, donc de tension. Cette rétraction ou perte d'allongement du toron correspond à la rentrée des clavettes coniques dans le trou conique correspondant de la tête d'ancrage TA2. Lorsque la valeur de rentrée des clavettes coniques dans leurs trous n'est pas négligeable, c'est-à-dire qu'elle exerce une influence non négligeable sur la précision de la tension des torons, il peut être nécessaire de compenser la perte d'allongement, donc la perte de tension qu'elle provoque dans le toron au moment où il est ancré. Ceci peut être obtenu en ajoutant une valeur prédéfinie de compensation  $e$  à la valeur calculée  $S_k$  de la course du vérin de traction pour donner au toron  $t_k$  le même allongement que les torons précédemment tendus. Dans ce cas, la course  $S_k$  peut être calculée par l'une ou l'autre des deux formules suivantes :

$$S_k = S_1 - \sum_{i=1}^{i=k-1} a_i + e \quad (25)$$

$$S_k = S_{k-1} - a_{k-1} + e \quad (26)$$

**[0054]** La valeur prédéfinie de compensation  $e$  peut être déterminée par exemple par des calculs et/ou des mesures effectués au préalable au cours d'essais sur un matériel d'ancrage et avec des torons identiques à ceux utilisés pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention. Usuellement, la valeur de  $e$  est de l'ordre de quelques millimètres.

**[0055]** En se référant à la figure 4, on va maintenant décrire un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention. Sur la figure 4, on voit encore le vérin de traction 1 et le capteur de mesure 2 associés au toron  $t_k$  du câble passant dans la tête d'ancrage TA2. On voit également le capteur de déplacement 3 associé au toron de référence  $t_{ref}$ .

**[0056]** La sortie du capteur de déplacement 2 est reliée d'une part à une première mémoire 13 et, d'autre part, à l'entrée négative d'un comparateur 14. Dans le cas où le procédé selon l'invention est mis en oeuvre en utilisant la formule (23) ou (25), la mémoire 13 est agencée pour stocker la valeur  $S_1$ . Dans le cas où le procédé selon l'invention est mis en oeuvre en utilisant la formule (24) ou (26), la mémoire 13 est agencée pour stocker toutes les valeurs successives de  $S_k$  (de  $k=1$  à  $k=n-1$ ) mesurées par le capteur de déplacement 2. Bien que dans le premier cas il suffise que la mémoire 13 stocke la valeur  $S_1$ , elle peut être néanmoins agencée pour stocker même dans le premier cas toutes les valeurs de  $S_k$  mesurées par le capteur de déplacement 2. Ceci peut être intéressant à des fins de contrôles ou de statistiques ultérieurs. La mémoire 13 est reliée à un calculateur 15 et envoie à celui-ci soit la valeur  $S_1$  si le procédé selon l'invention est mis en oeuvre en utilisant la formule (23) ou (25), soit la valeur  $S_{k-1}$  si le procédé selon l'invention est mis en oeuvre en utilisant la formule (24) ou (26).

**[0057]** Le capteur de déplacement 3 est relié à une seconde mémoire 16 et emmagasine au fur et à mesure du déroulement du processus de mise en tension du câble toutes les valeurs de  $a_i$  (de  $i=1$  à  $i=n-1$ ) mesurées par le capteur de déplacement 3. La mémoire 16 est reliée au calculateur 15 et, pour la mise en tension du toron  $t_k$ , elle envoie à ce calculateur 15 soit toutes les valeurs de  $a_i$  de  $i=1$  à  $i=k-1$  si le procédé selon l'invention est mis en oeuvre en utilisant la formule (23) ou (25), soit uniquement la valeur  $a_{k-1}$  si le procédé selon l'invention est mis en oeuvre en utilisant la formule (24) ou (26).

**[0058]** Dans le cas où il est prévu de compenser la perte de tension due à la rentrée des clavettes coniques dans le trou conique correspondant de la tête d'ancrage lors de l'ancrage d'un toron du câble, une valeur prédéfinie de compensation  $e$  est aussi envoyée au calculateur 15. Cette valeur de compensation  $e$  peut être par exemple introduite par un utilisateur à l'aide d'un clavier et enregistrée dans une mémoire du calculateur 15.

**[0059]** Sur la base des valeurs qui sont fournies au calculateur 15 celui-ci calcule une valeur de consigne  $S_{kc}$  en utilisant la formule (23), (24), (25) ou (26) qui a été choisie pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention. On notera que si le capteur de déplacement 3 est un capteur du type fournissant directement à chaque instant le total

cumulé des valeurs  $a_i$ , c'est-à-dire la somme des  $a_i$ , de  $i = 1$  à  $i = k - 1$ , la mémoire 16 peut être alors agencée pour fournir au calculateur 15 directement la somme des  $a_i$  de  $i = 1$  à  $i = k-1$ , ce qui simplifie les calculs à effectuer par le calculateur 15.

**[0060]** La valeur de consigne  $S_{kc}$  calculée par le calculateur 15 est envoyée à l'entrée positive du comparateur 14 qui compare cette valeur de consigne à la valeur réelle  $s_{kr}$  mesurée au même instant par le capteur de déplacement 2. La sortie du comparateur 14 est reliée à l'entrée d'un régulateur 17, dont la sortie commande un groupe moto-pompe 18 relié hydrauliquement au vérin de traction 1 pour l'alimenter en fluide hydraulique sous pression. De préférence, le régulateur 17 est un régulateur du type PID (régulateur Proportionnel Intégral Dérivée) afin d'éviter toute oscillation ou autre instabilité dans la commande du vérin de traction 1. Ainsi, dès que le comparateur 14 détecte que la course du vérin 1 (valeur réelle  $S_{kr}$ ) a atteint la valeur de consigne  $S_{kc}$  calculée par le calculateur 15, il provoque l'arrêt du vérin de traction 1 par l'intermédiaire du régulateur 17 et du groupe moto-pompe 18.

**[0061]** Les deux mémoires 13 et 16 et le calculateur 15 peuvent faire partie d'un automate programmable ou d'un micro-ordinateur. Les deux mémoires 13 et 16 peuvent être alors constituées par des zones de mémoire de la mémoire vive de l'automate programmable ou du micro-ordinateur, et le calculateur 15 peut être constitué par le micro-processeur de l'automate programmable ou du micro-ordinateur. La fonction du comparateur 14 pourrait aussi être remplie par le micro-processeur, convenablement programmé, de l'automate programmable ou du micro-ordinateur.

**[0062]** Il est du reste bien entendu que les modes de réalisation de l'invention qui ont été décrits ci-dessus ont été donnés à titre d'exemple purement indicatifs et nullement limitatifs et que de nombreuses modifications peuvent être facilement apportées par l'homme de l'art sans pour autant sortir du cadre de l'invention. C'est ainsi notamment que, au lieu d'utiliser l'un des torons du câble comme élément de référence, il est possible d'utiliser un câble ou un fil auxiliaire enfilé soit dans la gaine 4 du câble, soit dans sa propre gaine, cette dernière étant alors attachée à la gaine 4 du câble de manière à s'étendre colinéairement à celui-ci.

**[0063]** En outre, bien qu'il soit avantageux d'utiliser l'un des torons du câble comme toron porteur pour mettre la gaine 4 du câble en place entre les ancrages A1 et A2 avant la mise en tension des torons de celui-ci et pour supporter ladite gaine pendant les opérations de mise en tension des torons du câble, ceci n'est pas absolument indispensable. En effet, la gaine 4 du câble pourrait être mise en place et supportée par d'autres techniques connues.

**[0064]** En outre, bien que dans le procédé qui a été décrit ci-dessus chaque toron  $t_k$  du câble soit enfilé dans la gaine 4 après que le toron précédent  $t_{k-1}$  du câble a été mis en tension et ancré, on pourrait également envisager d'enfiler tous les torons du câble dans la gaine 4 avant de les mettre en tension un par un, ou les torons du câble pourraient être enfilés par groupes de torons et les torons de chaque groupe pourraient être mis en tension successivement un par un.

## Revendications

1. Procédé pour tendre un câble formé d'un faisceau de plusieurs torons maintenus parallèles les uns aux autres entre deux ancrages (A1 et A2) consistant à tendre individuellement et successivement les différents torons ( $t_k$ ) du câble à l'aide d'un appareil de traction (1), caractérisé en ce qu'il consiste :

a). à installer un élément allongé de référence ( $t_{ref}$ ) de telle sorte qu'il soit colinéaire au câble et qu'une de ses extrémités soit attachée à un point fixe (TA1), tandis que son autre extrémité est libre de se déplacer à travers l'un (A2) des deux ancrages (A1 et A2) du câble ;

b). à tendre un premier toron ( $t_1$ ) en exerçant une traction sur une extrémité de celui-ci jusqu'à ce que sa tension ou son allongement atteigne une valeur prédéfinie, et à ancrer alors ladite extrémité dudit premier toron ;

c). à mesurer une première quantité ( $S_1$ ) dont ladite extrémité du premier toron ( $t_1$ ), soumise à ladite traction, s'est déplacée pendant l'étape b) ;

d). à mesurer une seconde quantité ( $a_1$ ) dont ladite extrémité libre de l'élément allongé de référence ( $t_{ref}$ ) s'est déplacée pendant l'étape b) ;

e). à tendre un second toron ( $t_2$ ) en exerçant une traction sur une extrémité de celui-ci jusqu'à ce que ladite extrémité du second toron se soit déplacée d'une quantité prédéfinie ( $S_2$ ) correspondant à la différence entre lesdites première et seconde quantités ( $S_1$  et  $a_1$ ) mesurées aux étapes c) et d), et à ancrer alors ladite extrémité dudit second toron ( $t_2$ ) ;

f). à mesurer une quantité supplémentaire ( $a_2$ ) dont ladite extrémité libre de l'élément allongé de référence ( $t_{ref}$ ) s'est déplacée pendant l'étape e) ;

g). à tendre un troisième toron ( $t_3$ ) en exerçant une traction sur une extrémité de celui-ci jusqu'à ce que ladite extrémité du troisième toron se soit déplacée d'une quantité prédéfinie ( $S_3$ ) correspondant à la différence entre ladite quantité prédéfinie ( $S_2$ ) de déplacement de l'extrémité dudit second toron ( $t_2$ ) pendant l'étape e) et ladite quantité supplémentaire ( $a_2$ ) de déplacement de l'extrémité libre de l'élément allongé de référence ( $t_{ref}$ ) pendant l'étape e), et à ancrer alors ladite extrémité dudit troisième toron ( $t_3$ );

h). à mesurer une quantité supplémentaire ( $a_3$ ) dont ladite extrémité libre de l'élément allongé de référence ( $t_{ref}$ ) s'est déplacée pendant l'étape g) ;

i). et ainsi de suite jusqu'à la mise en tension et l'ancrage du dernier toron ( $t_n$ ) sur lequel on exerce une traction jusqu'à ce que son extrémité soumise à la traction se soit déplacée d'une quantité prédéfinie correspondant à la différence entre la quantité prédéfinie de déplacement de l'extrémité, soumise à la traction, de l'avant dernier toron ( $t_{n-1}$ ) pendant sa mise en tension et la quantité supplémentaire de déplacement de l'extrémité libre de l'élément allongé de référence ( $t_{ref}$ ) pendant la mise en tension de l'avant dernier toron ( $t_{n-1}$ ), et à ancrer alors ladite extrémité dudit dernier toron ( $t_n$ ).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que pour la mise en tension et l'ancrage d'un toron ( $t_k$ ) d'ordre  $k$  ( $2 \leq k \leq n$ ,  $n$  étant le nombre de torons du câble) on calcule une valeur de consigne ( $S_{kc}$ ) pour le déplacement de l'extrémité du  $k^{\text{ème}}$  toron à tendre, on tire sur ladite extrémité tout en mesurant son déplacement réel ( $S_{kr}$ ), on compare, pendant ledit déplacement, la valeur réelle mesurée ( $S_{kr}$ ) du déplacement à ladite valeur de consigne ( $S_{kc}$ ) et, lorsque ladite valeur réelle mesurée atteint ladite valeur de consigne, on cesse de tirer sur le  $k^{\text{ème}}$  toron et simultanément on ancre son extrémité.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la valeur de consigne ( $S_{kc}$ ) est calculée d'après la formule :

$$S_{kc} = S_1 - \sum_{i=1}^{i=k-1} a_i$$

où  $S_1$  est ladite première quantité de déplacement du premier toron et

$$\sum_{i=1}^{i=k-1} a_i$$

est la somme des quantités dont ladite extrémité libre de l'élément allongé de référence ( $t_{ref}$ ) s'est déplacée pendant les mises en tension des torons d'ordre 1 à ( $k-1$ ).

4. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite valeur de consigne ( $S_{kc}$ ) est calculée d'après la formule :

$$S_{kc} = S_1 - \sum_{i=1}^{i=k-1} a_i + e$$

où  $e$  est une valeur prédéfinie de compensation tenant compte d'une rétraction du  $k^{\text{ème}}$  toron au moment de l'ancrage de son extrémité soumise à la traction.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'on utilise l'un des torons du câble à tendre à titre d'élément allongé de référence ( $t_{ref}$ ), et en ce que ledit toron ( $t_{ref}$ ) servant d'élément allongé de

référence est tendu et ancré en dernier.

6. Dispositif pour tendre un câble multi-torons entre deux ancrages (A1 et A2), comprenant un appareil de traction (1) pouvant être adapté successivement à chacun des torons ( $t_k$ ) du câble pour les tendre individuellement et successivement, caractérisé en ce qu'il comprend :

a). un élément allongé de référence ( $t_{ref}$ ) qui est associé au câble à tendre de telle façon qu'il soit colinéaire audit câble et qu'une de ses extrémités soit attachée en un point fixe (TA1), tandis que son autre extrémité est libre de se déplacer à travers un trou de l'un (A2) des deux ancrages (A1 et A2) du câble ;

b). un premier capteur de déplacement (2) apte à être adapté successivement à chacun des torons du câble pour mesurer à chaque fois le déplacement d'une extrémité du toron ( $t_k$ ) auquel le premier capteur (2) est adapté lorsque ladite extrémité du toron est soumise à une traction par ledit appareil de traction (1) ;

c). un premier moyen de mémorisation (13) relié au premier capteur de déplacement (2) pour mémoriser au moins la valeur ( $S_1$ ) du déplacement de l'extrémité du toron ( $t_1$ ) qui est tendu le premier ;

d). un second capteur de déplacement (3) associé à l'élément allongé de référence ( $t_{ref}$ ) pour mesurer le déplacement de son extrémité libre chaque fois qu'un toron ( $t_k$ ) du câble est mis en tension et ancré ;

e). un second moyen de mémorisation (16) relié au second capteur de déplacement (3) pour mémoriser les valeurs de déplacement mesurées par ledit second capteur (3) ;

f). des moyens de calcul (15) et de commande (14, 17) reliés audit premier capteur de déplacement (2) et auxdits premier et second moyens de mémorisation (13, 16) pour commander automatiquement l'arrêt de la traction exercée sur un toron ( $t_k$ ) d'ordre  $k$  ( $2 \leq k \leq n$ ) du câble lorsque la valeur du déplacement ( $S_{kr}$ ) mesurée par le premier capteur de déplacement (2) atteint, pour ledit toron donné d'ordre  $k$ , une valeur de déplacement prédéfinie ( $S_{kc}$ ) correspondant à la différence entre la valeur prédéfinie de déplacement de l'extrémité du toron ( $t_{k-1}$ ) d'ordre  $(k-1)$  pendant la mise en tension de ce toron d'ordre  $(k-1)$  et la valeur de déplacement de l'extrémité libre de l'élément allongé de référence ( $t_{ref}$ ) pendant la mise en tension dudit toron d'ordre  $(k-1)$ .

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que lesdits moyens de calcul (15) et de commande (14, 17) comportent :

a). un moyen de calcul (15) qui, préalablement à la mise en tension dudit toron ( $t_k$ ) d'ordre  $k$ , calcule une valeur de consigne ( $S_{kc}$ ) pour le déplacement de l'extrémité dudit toron ( $t_k$ ) d'ordre  $k$  à tendre, ladite valeur de consigne étant calculée d'après la formule :

$$S_{kc} = S_1 - \sum_{i=1}^{i=k-1} a_i + e$$

où  $S_1$  est la valeur du déplacement mémorisée dans le premier moyen de mémorisation (13) à la fin de la mise en tension du toron ( $t_1$ ) d'ordre 1 qui a été tendu le premier, et

$$\sum_{i=1}^{i=k-1} a_i$$

est la somme des valeurs de déplacement de l'extrémité libre de l'élément allongé de référence ( $t_{ref}$ ) pendant les mises en tension des torons d'ordre 1 à  $(k-1)$ .

b). un comparateur (14) ayant une première entrée (+) reliée à la sortie du moyen de calcul (15) et une seconde entrée (-) reliée audit premier capteur de déplacement (2), pour comparer une valeur réelle instantanée ( $S_{kr}$ ) de déplacement de l'extrémité du toron ( $t_k$ ) d'ordre  $k$  en cours de mise en tension à ladite valeur de consigne

( $S_{kc}$ ), et pour fournir un signal de commande en cas d'égalité de ladite valeur réelle instantanée et de ladite valeur de consigne ; et

c). un moyen de commande (17) qui est relié à la sortie du comparateur (14) et qui réagit au signal de commande de celui-ci pour commander l'arrêt de l'appareil de traction (1).

5

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un moyen d'entrée pour introduire dans ledit moyen de calcul (15) une valeur de compensation (e) correspondant à la rétraction d'un toron ( $t_k$ ) lors de l'ancrage de son extrémité soumise à la traction, et en ce que ledit moyen de calcul (15) calcule ladite valeur de consigne ( $S_{kc}$ ) d'après la formule :

10

$$S_{kc} = S_1 - \sum_{i=1}^{i=k-1} a_i + e$$

15

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que l'élément allongé de référence ( $t_{ref}$ ) est l'un des torons du câble à tendre.

20

25

30

35

40

45

50

55

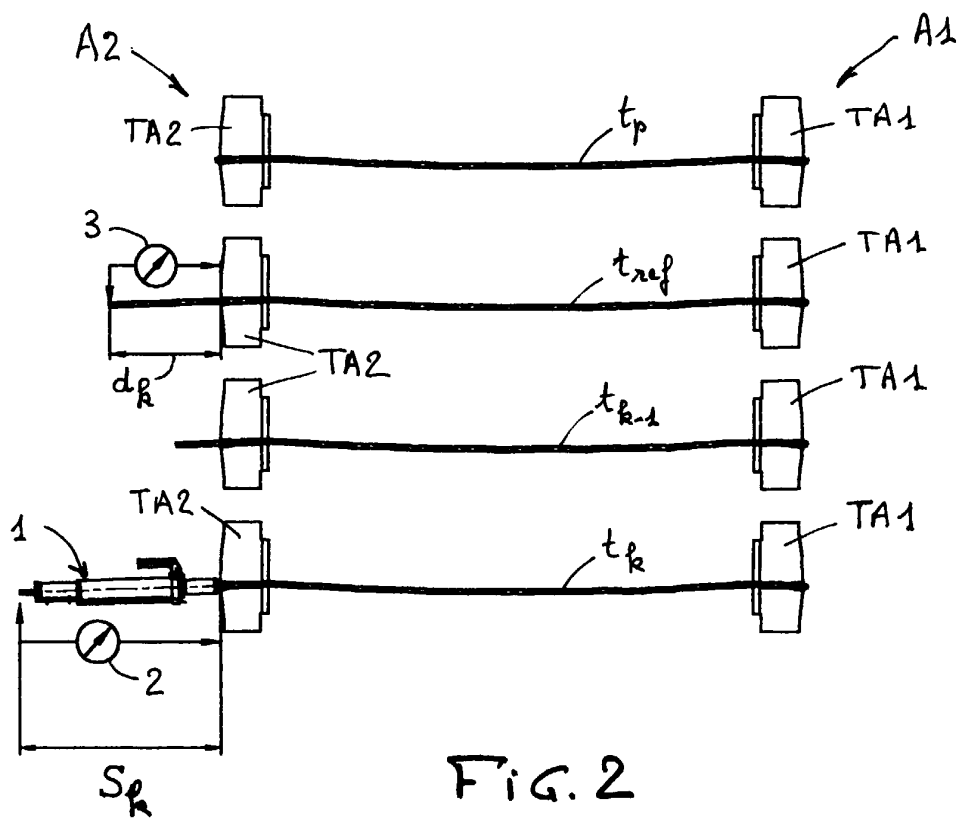
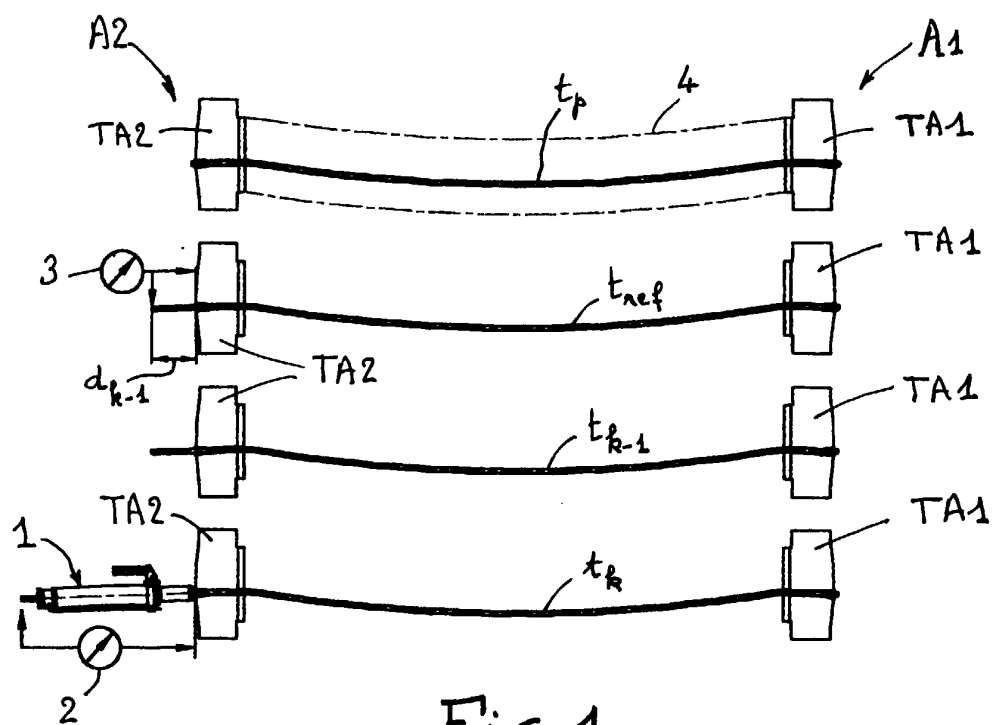




FIG. 3a

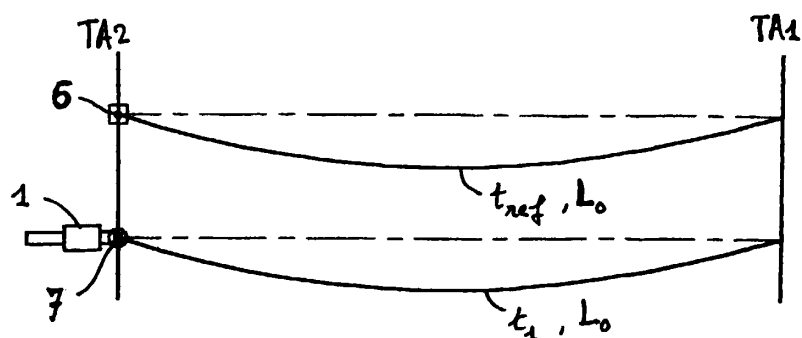


FIG. 3b

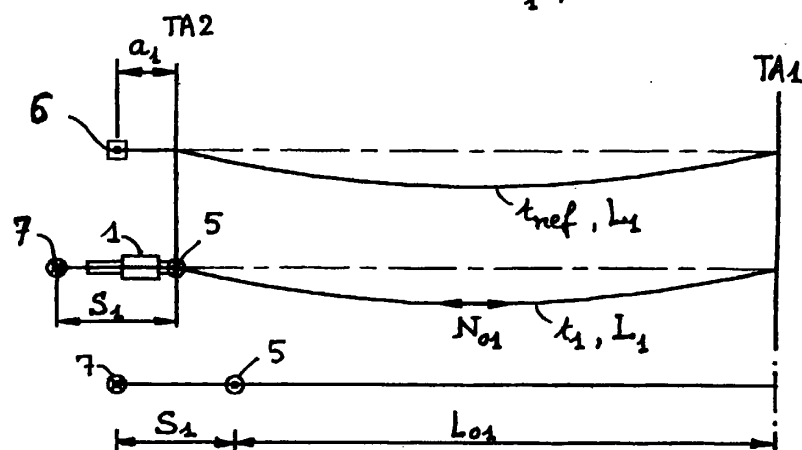


FIG. 3c

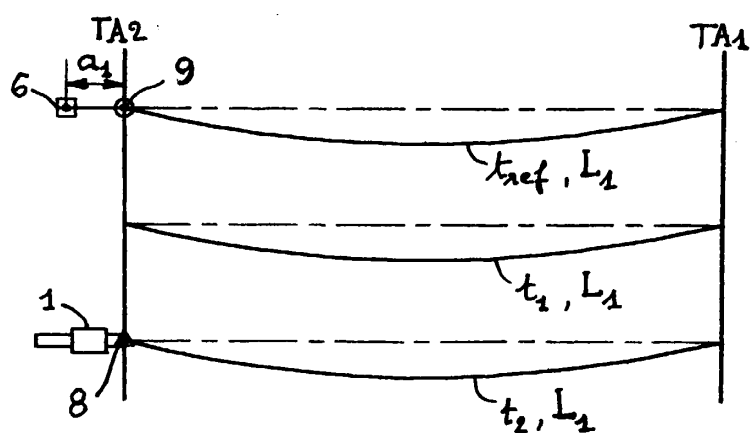


FIG. 3d

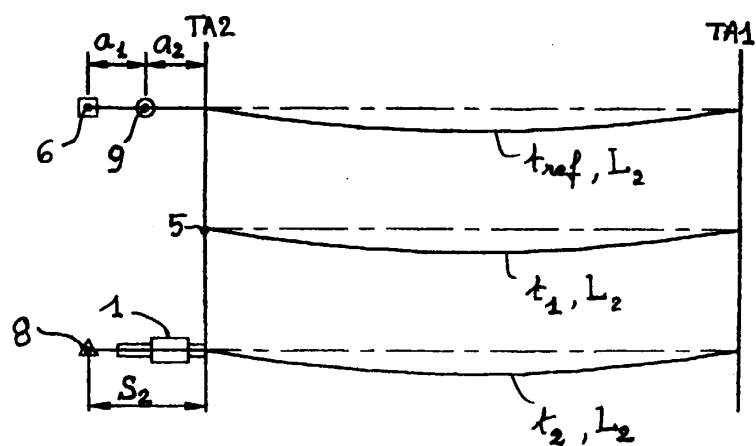


Fig. 3e

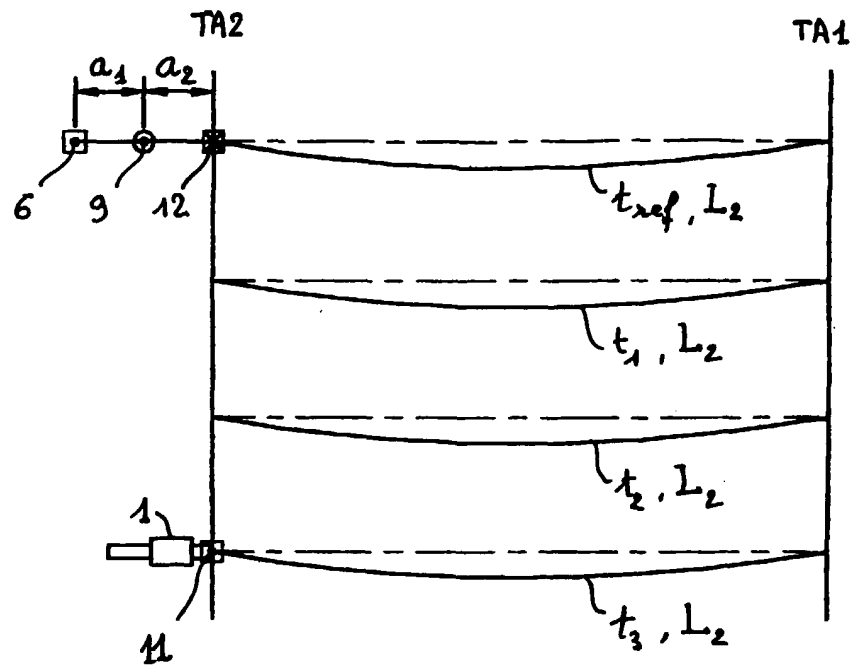
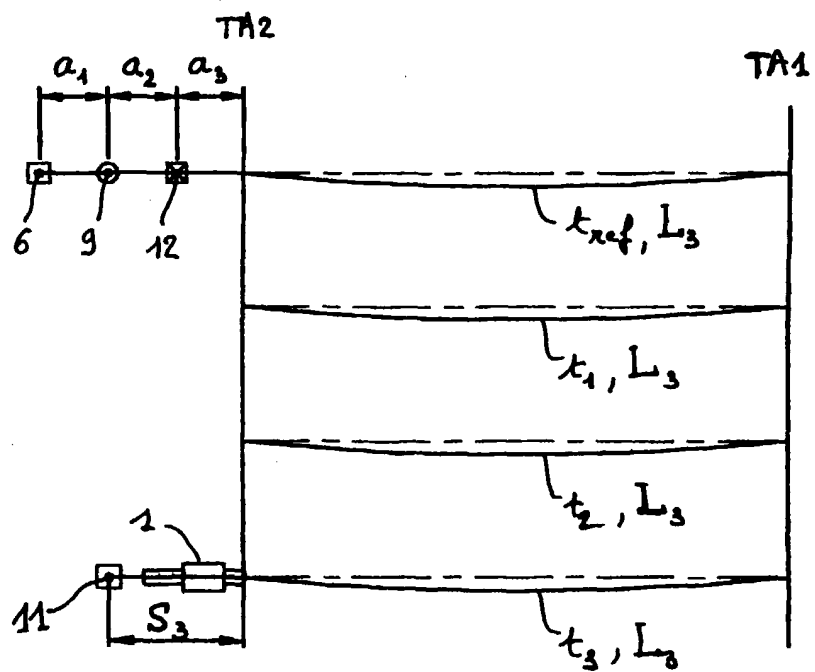


Fig. 3f



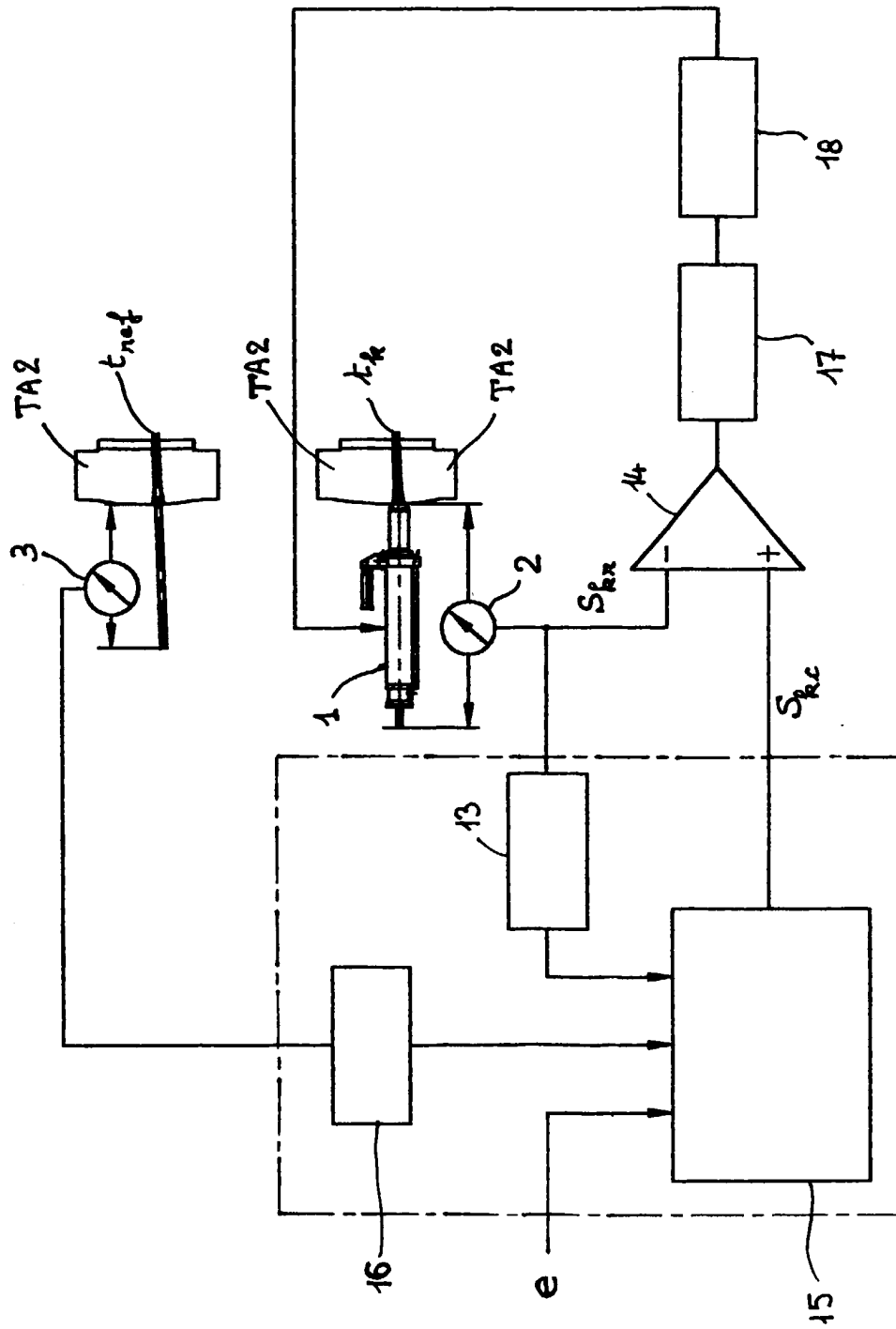


Fig. 4



Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 00 40 1635

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
D,X	FR 2 652 866 A (FREYSSINET INT STUP) 12 avril 1991 (1991-04-12) * le document en entier *	1-9	E04G21/12 E01D19/16
A	---		
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 563 (M-1058), 14 décembre 1990 (1990-12-14) & JP 02 240374 A (JOBAN KOSAN KK), 25 septembre 1990 (1990-09-25) * abrégé *	6	
A	---		
A	US 5 809 710 A (MANNHART ALTO ET AL) 22 septembre 1998 (1998-09-22) * abrégé *		
A	---		
A	FR 703 079 A (FELTEN & GUILLEAUME CARLSWERK AG) 23 avril 1931 (1931-04-23) * le document en entier *		
	-----		
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)
			E04G E01D E04C
Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examineur	
LA HAYE	13 septembre 2000	Andlauer, D	
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503/03.82 (P04C02)

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

EP 00 40 1635

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

13-09-2000

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2652866 A	12-04-1991	AT 96512 T	15-11-1993
		AU 635776 B	01-04-1993
		AU 6376390 A	11-04-1991
		BR 9004976 A	15-10-1991
		DE 69004209 D	02-12-1993
		DE 69004209 T	03-03-1994
		DK 421862 T	13-12-1993
		EP 0421862 A	10-04-1991
		ES 2046744 T	01-02-1994
		HK 1695 A	13-01-1995
		KR 9402891 B	06-04-1994
		NO 178120 B	16-10-1995
		PT 95502 A,B	30-11-1992
		US 5083469 A	28-01-1992
JP 02240374 A	25-09-1990	AUCUN	
US 5809710 A	22-09-1998	DE 19536701 A	03-04-1997
		JP 9170332 A	30-06-1997
FR 703079 A	23-04-1931	AUCUN	

EPO FORM P0460

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