

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 29.07.21.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 03.02.23 Bulletin 23/05.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablis-
sement public — FR.

72 Inventeur(s) : MAURIN Laurent.

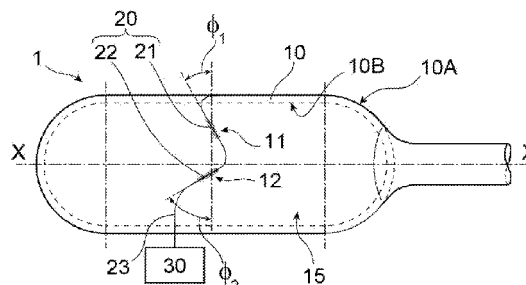
73 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablis-
sement public.

74 Mandataire(s) : BREVALEX.

54 Dispositif de mesure de pression hydrostatique, notamment absolue et/ou de température et procédé de
mesure associé.

57 L'invention concerne un dispositif de mesure (1) d'une
pression hydrostatique et/ou de température, comportant
une paroi (10) s'étendant le long d'un axe central (X-X) en
l'entourant, la paroi (10) étant fermée à ses extrémités pour
délimiter une cavité (15) étanche. Le dispositif de mesure
(1) comporte un organe de mesure (20) de déformation et
un calculateur (30). L'organe de mesure (20) est configuré
pour délivrer un premier et un deuxième signal de mesure
représentatifs d'une variation d'une déformation respective
de la paroi (10) selon des directions distinctes. Le calcula-
teur (30) est configuré pour calculer une grandeur de pres-
sion hydrostatique et/ou de température à partir du premier
signal de mesure, du deuxième signal de mesure, et respec-
tivement d'une pression hydrostatique initiale et/ou d'une
température initiale s'exerçant dans la cavité (15). L'inven-
tion concerne en outre un procédé de mesure et une instal-
lation comprenant un tel dispositif.

Figure pour l'abrégi : figure 1



Description

Titre de l'invention : Dispositif de mesure de pression hydrostatique, notamment absolue et/ou de température et procédé de mesure associé

Domaine technique

- [0001] La présente invention concerne un dispositif de mesure de pression hydrostatique, notamment absolue, et/ou de température et procédé de mesure associé.
- [0002] L'invention s'applique au domaine de l'instrumentation, et plus précisément à la mesure d'une pression hydrostatique absolue d'un fluide.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEUR

- [0003] Il existe, notamment dans des environnements subissant des contraintes importantes, tels que certains espaces (notamment les zones de combustion et de compression) des turbomachines et autres types de motorisation, un besoin de réaliser une mesure de pression hydrostatique ou de température qui soit décorrélée de respectivement la température ou de la pression hydrostatique.
- [0004] Pour répondre à ce besoin, il est notamment connu du document US 5841131 d'utiliser une fibre optique fonctionnalisée avec un réseau de Bragg inscrit dans un cœur optique de la fibre optique. En conformité avec l'enseignement de ce document, la fibre optique est adaptée pour présenter des phénomènes de biréfringence, ceci au moyen du ménagement d'une gaine optique elliptique ou d'une paire d'inserts induisant de la biréfringence, et pour présenter une réponse en déformations mécaniques anisotrope à une pression hydrostatique, ceci au moyen de deux trous longitudinaux aménagés de part et d'autre du cœur optique.
- [0005] Ainsi, lorsque la fibre optique est soumise à une pression hydrostatique, comme celle d'un espace à surveiller, les efforts, et donc les déformations mécaniques s'exerçant sur le réseau de Bragg, sont, en raison de ces deux trous longitudinaux, anisotropes, et il en résulte un décalage en longueur d'onde de résonance, résultant de ces déformations mécaniques, distinct selon les deux directions de biréfringence. Or, si les déformations mécaniques liées à la pression hydrostatique s'exerçant sur le cœur optique de la fibre optique sont anisotropes, celles liées à la température sont quant à elles isotropes. De ce fait, à partir des deux mesures permises par la biréfringence et d'un étalonnage adapté, la fibre optique, telle que décrite par le document US 5841131, autorise une mesure de pression hydrostatique et/ou de température qui sont décorrélées de respectivement la température et la pression.
- [0006] Néanmoins, un tel dispositif de mesure ne donne pas entière satisfaction.
- [0007] En effet, l'utilisation de la fibre optique, telle que décrite par le document

US 5841131, est que les deux trous longitudinaux aménagés dans la fibre optique sont à l'origine de concentrations de contraintes qui ont pour conséquence une limitation de la gamme de pression hydrostatique accessible avec une telle fibre optique, notamment en ce qui concerne les hautes pressions hydrostatiques, et une sensibilité de la mesure qui n'est pas parfaitement contrôlée.

[0008] D'autre part, cette solution est sensible à des variations d'efforts longitudinaux externes additionnels, *i.e.* : autres que ceux exercés par la seule pression hydrostatique.

[0009] Un but de l'invention est donc de proposer un dispositif de mesure de la variation de pression et/ou de température et qui soit adapté pour une gamme de pression et de température plus importante que celle des dispositifs de l'art antérieur, et dont la sensibilité de mesure est parfaitement prédictible.

Exposé de l'invention

[0010] À cet effet, l'invention a pour objet un dispositif de mesure d'une pression et/ou de température, comportant une paroi s'étendant le long d'un axe central en l'entourant, la paroi étant fermée à ses extrémités pour délimiter une cavité étanche,

le dispositif de mesure comportant, en outre, au moins un organe de mesure de déformation et un calculateur,

chaque organe de mesure de déformation étant configuré pour délivrer un premier signal de mesure représentatif d'une variation d'une première déformation en une première zone de mesure de la paroi, et un deuxième signal de mesure représentatif d'une variation d'une deuxième déformation, selon une direction distincte de celle de la première déformation, en une deuxième zone de mesure de la paroi,

le calculateur étant configuré pour calculer une grandeur de pression s'appliquant sur la paroi et/ou une grandeur de température au niveau de la paroi uniquement à partir du premier signal de mesure, du deuxième signal de mesure, et éventuellement d'un ou plusieurs paramètres sélectionnés dans le groupe constitué par une pression hydrostatique initiale, une température initiale s'exerçant dans la cavité, une variation d'une pression interne de la cavité et une éventuelle variation d'un effort longitudinal additionnel distinct d'une variation d'un effort longitudinal généré par une variation de pression.

[0011] En effet, avec un tel dispositif de mesure, les efforts de pression s'exercent sur toute la paroi qui présente une forme longitudinale autour de l'axe central, offrant de ce fait, deux variations de déformations mécaniques de valeurs différentes, celle selon la longueur (variation de déformation longitudinale), celle selon la circonférence (variation de déformation orthoradiale).

[0012] L'organe de mesure permet de plus d'obtenir des signaux de mesure selon deux directions distinctes l'une de l'autre, en raison de ces différents types de déformations

auxquels est soumise la paroi, toutes deux soumises à une influence en température identique. L'utilisation des deux signaux permet de supprimer l'influence de la température, et tout autre phénomène additionnel se caractérisant par une influence identique sur chacun des signaux de mesure (*e.g.* : rayonnements ionisants), à partir d'une simple soustraction. Ainsi, la valeur obtenue à partir d'une telle soustraction est proportionnelle à la déformation mécanique de la paroi tout en supprimant l'influence de la température. De ce fait, partant des paramètres géométriques de la paroi et des conditions de pression initiales de la cavité, il est possible de déterminer une grandeur de la pression s'exerçant sur la paroi et la température à laquelle elle est soumise.

- [0013] De plus, en raison de l'utilisation d'une cavité centrale dans le cadre de l'invention, les contraintes s'exerçant sur la paroi sont mieux contrôlées vis-à-vis de l'art antérieur, celles-ci ne présentant pas de concentrations de contraintes, et autorisent, de ce fait, une plage de pression et de température accessible à l'invention beaucoup plus importante que celle accessible par les dispositifs de l'art antérieur.
- [0014] De même, avec une telle cavité centrale et à partir de la caractéristique des organes de mesure de déformation, la sensibilité de mesure avec le procédé selon l'invention est parfaitement prédictible.
- [0015] De plus, des modes de réalisation particuliers de l'invention permettent dans certains cas, une mesure de pression indépendante de la variation d'efforts longitudinaux externes additionnels, *i.e.* : autres que ceux exercés par la seule pression hydrostatique.
- [0016] On notera que par grandeur de pression et/ou de température, il est entendu, ci-dessus et dans le reste de ce document, une grandeur de pression et/ou température correspondant à l'une parmi une valeur absolue, une valeur relative, une valeur de variation ou encore une valeur arbitraire basée sur l'une quelconque desdites valeurs absolue, relative ou de variation.
- [0017] Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, le procédé de mesure comporte une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles qui sont listées ci-après en association avec certains des avantages qui leur sont associés.
- [0018] La cavité peut présenter un vide au moins primaire.
- [0019] De cette manière, la cavité, en raison de son étanchéité, présente une pression interne sensiblement constante, *i.e.* : qui évolue peu avec la température au regard de la gamme de pressions adressable par le dispositif, ce qui facilite les calculs à mettre en œuvre par le calculateur pour la détermination de la pression externe et/ou la température.
- [0020] Par « vide au moins primaire », il est entendu que la pression dans la cavité est inférieure ou égale à 100 Pascal (ou 1 mbar), voire inférieure ou égale à 10 Pascal (0,1 mbar).

- [0021] Chaque organe de mesure peut comprendre un premier capteur et un deuxième capteur, distinct du premier capteur, chacun fixé à la paroi,
- le premier capteur étant associé à une première direction de mesure définissant un premier angle de mesure avec un plan normal à l'axe central,
 - le premier capteur étant, en outre, configuré pour délivrer le premier signal de mesure indicatif d'une première grandeur de suivi, la première grandeur de suivi étant telle qu'une variation relative de ladite première grandeur de suivi est représentative de la variation de la première déformation, cette même première déformation étant une déformation locale de la première zone de mesure suivant la première direction de mesure,
 - le deuxième capteur étant associé à une deuxième direction de mesure définissant un deuxième angle de mesure avec un plan normal à l'axe central,
 - le deuxième capteur étant, en outre, configuré pour délivrer le deuxième signal de mesure indicatif d'une deuxième grandeur de suivi, la deuxième grandeur de suivi étant telle qu'une variation relative de ladite deuxième grandeur de suivi est représentative de la variation de la deuxième déformation, cette même deuxième déformation étant une déformation locale de la deuxième zone de mesure suivant la deuxième direction de mesure,
 - la première zone de mesure et la deuxième zone de mesure étant distinctes.
- [0022] Des tels premier et deuxième capteurs permettent de fournir les premier et deuxième signaux de mesure en deux zones de mesure distinctes l'une de l'autre, en offrant la possibilité d'optimiser le placement de ces derniers pour obtenir une sensibilité optimale.
- [0023] De plus, lorsque les premier et deuxième capteurs sont des capteurs fibrés, il est possible, avec une telle configuration, d'aménager les premier et deuxième capteurs fibrés dans deux sections distinctes d'une même fibre optique facilitant, de ce fait, l'interrogation desdits capteurs.
- [0024] On notera que par fixation des premier et du deuxième capteurs à la paroi, il doit être entendu que les premier et le deuxième capteurs sont solidaires de cette dernière, soit par une fixation à la surface interne ou à la surface externe de la paroi, soit en étant inclus dans cette dernière.
- [0025] Le premier capteur et le deuxième capteur peuvent être situés à une même distance d'une surface externe de la paroi, le premier angle de mesure et le deuxième angle de mesure étant, en valeurs absolues, distincts modulo π .
- [0026] Dans une telle configuration, la détermination de la grandeur de pression et/ou de température est simplifiée.
- [0027] Au moins le premier capteur peut être un capteur fibré comprenant un guide optique dans lequel est gravé un réseau de Bragg, le capteur fibré étant fixé dans une épaisseur

de la paroi, la première direction de mesure étant définie par une direction de propagation du guide optique,

le guide optique étant préférentiellement radialement entouré par une gaine présentant un module d'élasticité inférieur à une fraction prédéterminée d'un module d'élasticité de la paroi, le guide d'onde étant alors fixé dans l'épaisseur de la paroi par ladite gaine.

[0028] Ladite fraction prédéterminée peut être, par exemple, égale ou être inférieure au cinquième, voire au dixième ou encore au vingtième.

[0029] Avec une telle configuration, on s'assure que le capteur fibré n'est soumis à aucun phénomène significatif de biréfringence, la sensibilité en pression du signal fourni par ledit capteur étant principalement liée à son orientation.

[0030] La première zone de mesure et la deuxième zone de mesure peuvent être confondues, chaque organe de mesure comprenant un capteur fibré comportant un segment de fibre optique dans lequel est inscrit un réseau de Bragg, le capteur fibré étant fixé dans la paroi,

le capteur fibré étant configuré pour délivrer le premier signal de mesure, indicatif d'une première longueur d'onde d'une lumière réfléchi par le réseau de Bragg, dite première longueur d'onde de Bragg, et se propageant suivant un axe ordinaire du segment de fibre optique, et le deuxième signal de mesure, indicatif d'une deuxième longueur d'onde d'une lumière réfléchi par le réseau de Bragg, dite deuxième longueur d'onde de Bragg, et se propageant suivant un axe extraordinaire du segment de fibre optique.

[0031] Avec une telle configuration dans lequel le capteur fibré est soumis à des phénomènes de biréfringence, le capteur fibré permet de fournir à la fois le premier et le deuxième signal de mesure selon respectivement l'axe ordinaire et l'axe extraordinaire de la fibre optique.

[0032] Au moins le premier capteur peut être un capteur fibré comprenant un guide optique dans lequel est gravé un réseau de Bragg, le premier capteur fibré étant fixé dans une épaisseur de la paroi, la première direction de mesure étant définie par une direction de propagation du guide optique,

le guide optique étant en contact direct avec la paroi ou étant radialement entouré par une gaine présentant un module d'élasticité supérieur ou égal à une fraction prédéterminée d'un module d'élasticité de la paroi, voire supérieur à ce même module prédéterminé, le guide d'onde étant alors fixé dans l'épaisseur de la paroi par ladite gaine.

[0033] Le coefficient de Poisson de la gaine peut être égal au coefficient de la paroi.

[0034] Une telle gaine pouvant venir en complément à une gaine optique du guide d'onde, elle peut être dénommée gaine mécanique.

[0035] Avec une telle configuration, on s'assure que le capteur fibré est soumis aux phénomènes de biréfringence.

[0036] La paroi peut présenter une forme de cylindre de révolution à bases circulaires fermées, et la grandeur de pression et/ou de température peut être une variation de pression et/ou de température, le calculateur étant configuré pour calculer la variation de la pression externe selon :

[0037] [Math.9]

$$\Delta P_{\text{ext}} = \Delta P_{\text{int}} + \frac{r^2 E (\Delta \Psi_2 - \Delta \Psi_1) (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)}{r_{0,\text{int}}^2 r_{0,\text{ext}}^2 (2(1+\nu) - 3\kappa_e - \kappa_p E) (2 - \cos^2(\varphi))} + \frac{r^2 \cos^2(\varphi)}{\pi r_{0,\text{int}}^2 r_{0,\text{ext}}^2 (2 - \cos^2(\varphi))} \delta F$$

[0038] et/ou la variation de la température selon :

[0039] [Math.10]

$$\Delta T = \frac{1}{2\kappa_T} \left(\Delta \Psi_1 + \Delta \Psi_2 - 2\kappa_p E \left(\frac{\Delta P_{\text{int}}}{E} + \frac{r^2 (\Delta \Psi_2 - \Delta \Psi_1)}{2r_{0,\text{int}}^2 (2(1+\nu) - 3\kappa_e - \kappa_p E)} \left(1 + \frac{\kappa_p E (r^2 - r_{0,\text{int}}^2) - 3\kappa_e r_{0,\text{int}}^2}{\kappa_p E r^2 (2 - \cos^2(\phi))} \cos^2(\phi) \right) \right) \right. \\ \left. + \frac{4\kappa_e r_{0,\text{int}}^2 \cos(2\phi) - 2\kappa_p E (r^2 - r_{0,\text{int}}^2) \cos^2(\phi)}{\pi r_{0,\text{int}}^2 E (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2) (2 - \cos^2(\phi))} \delta F \right)$$

[0040] où ΔP_{ext} est la variation de la pression externe ;

ΔT est la variation de la température de la paroi ;

$\Delta \Psi_1$ et $\Delta \Psi_2$ sont respectivement la variation relative de la première longueur d'onde de Bragg du réseau de Bragg et la variation relative de la deuxième longueur d'onde de Bragg du réseau de Bragg, le réseau de Bragg présentant une double résonance fondamentale en raison de la biréfringence ;

$r_{0,\text{ext}}$ est un rayon externe de la paroi ;

$r_{0,\text{int}}$ est un rayon interne de la paroi ;

r est une distance du segment de fibre optique par rapport à l'axe central ;

E et ν sont respectivement le module d'Young et le coefficient de Poisson du matériau dans lequel est réalisée la paroi ;

ϕ est un angle de mesure défini entre une direction de mesure du capteur fibré et un plan normal à l'axe central ;

κ_e est une sensibilité mécanique des capteurs, égale à un coefficient de proportionnalité entre une variation relative de la grandeur de suivi correspondante et une variation de déformation mécanique ;

κ_p est une sensibilité en pression du capteur fibré, égale à un coefficient de proportionnalité entre une variation relative de l'une de la première longueur d'onde de Bragg et la deuxième longueur d'onde de Bragg et une variation de pression appliquée au capteur fibré ;

κ_T est une sensibilité en température du capteur fibré, égale à un coefficient de proportionnalité entre une variation relative de l'une de la première longueur d'onde de Bragg et la deuxième longueur d'onde de Bragg et une variation de température

appliquée au capteur fibré ; et

δF est la variation d'un effort longitudinal additionnel exercé selon l'axe central sur la paroi, distincte d'une variation d'un effort longitudinal exercé par la variation de pression interne ou la variation de pression externe.

- [0041] Avec une telle configuration du calculateur, il est possible d'obtenir une mesure précise de la grandeur de pression et/ou de température, puisqu'elle est basée sur une résolution formelle du problème thermomécanique correspondant.
- [0042] Le premier capteur peut être placé, relativement à l'axe central, à une coordonnée angulaire pour laquelle une distance entre une surface externe de la paroi et l'axe central est maximale.
- [0043] Avec une telle disposition du premier capteur, la sensibilité en pression et en température est optimisée.
- [0044] La paroi peut être un guide optique cylindrique creux fermé à ses extrémités, chaque organe de mesure comprenant un réseau de Bragg inscrit dans un segment du guide optique creux, chaque organe de mesure étant configuré pour délivrer le premier signal de mesure, indicatif d'une première longueur d'onde d'une lumière réfléchie par le réseau de Bragg, et se propageant suivant l'un parmi un axe ordinaire et un axe extraordinaire du segment de guide optique creux.
- [0045] De cette manière, le réseau de Bragg de l'organe de mesure étant directement inscrit dans la paroi, il en résulte une meilleure réponse, sans discontinuité, aux déformations mécaniques de la paroi, liées à la pression et la température qui s'appliquent sur cette dernière.
- [0046] Chaque organe de mesure peut comprendre, en outre, un deuxième guide optique secondaire agencé dans la cavité du guide optique creux en étant fixé à ce dernier et s'étendant le long de l'axe central, chaque organe de mesure étant également configuré pour délivrer le deuxième signal de mesure, indicatif d'une deuxième longueur d'onde d'une lumière réfléchie par le réseau de Bragg du guide optique secondaire.
- [0047] Avec une telle configuration, le deuxième guide optique fournit un signal exempt de biréfringence. Ainsi, il est possible d'exploiter deux signaux distincts : le premier signal indicatif d'une première longueur d'onde d'une lumière réfléchie par le réseau de Bragg du segment de guide optique creux et se propageant suivant l'un parmi un axe ordinaire et un axe extraordinaire du segment de guide optique creux, et le deuxième signal fourni lors de l'interrogation du réseau de Bragg du guide optique secondaire.
- [0048] Chaque organe peut être en outre configuré pour délivrer le deuxième signal de mesure, indicatif d'une deuxième longueur d'onde d'une lumière réfléchie par le

réseau de Bragg, et se propageant suivant l'autre parmi un axe ordinaire et un axe extraordinaire du segment de guide optique creux.

- [0049] De cette manière, un seul capteur est nécessaire.
- [0050] En outre, l'invention a pour objet une installation comprenant :
 - un élément présentant un espace dont la pression et/ou la température sont à surveiller,
 - un dispositif de mesure selon l'invention, la paroi aux extrémités fermées étant logée dans l'espace de manière à permettre une mesure d'une grandeur de pression et/ou de température s'exerçant dans l'espace.
- [0051] Une telle installation bénéficie des avantages liés au dispositif de mesure selon l'invention.
- [0052] L'élément peut être sélectionné parmi un moteur, tel qu'une turbomachine, et une chaudière sous pression, telle que la cuve d'un réacteur nucléaire.
- [0053] De tels éléments présentant des conditions extrêmes en température et en pression, ils bénéficient particulièrement de l'invention.
- [0054] L'invention a également pour objet un procédé de mesure d'une variation de pression hydrostatique et/ou de température au moyen d'une paroi s'étendant le long d'un axe central en l'entourant, la paroi étant fermée à ses extrémités pour délimiter une cavité étanche, et d'un organe de mesure configuré pour délivrer un premier signal de mesure représentatif d'une variation d'une première déformation en une première zone de mesure de la paroi, et un deuxième signal de mesure représentatif d'une variation d'une deuxième déformation, selon une direction distincte de celle de la première déformation, en une deuxième zone de mesure de la paroi,
- [0055] le procédé comprenant les étapes suivantes :
 - mesure du premier et du deuxième signal de mesure à partir de l'organe de mesure et éventuellement un ou plusieurs paramètres sélectionnés dans le groupe constitué d'une pression hydrostatique initiale, d'une température initiale s'exerçant dans la cavité, d'une variation d'une pression interne de la cavité et d'une éventuelle variation d'un effort longitudinal additionnel distinct d'une variation d'un effort longitudinal généré par une variation de pression,
 - calcul de la variation de la pression s'appliquant sur la paroi et/ou la variation de la température au niveau de la paroi uniquement à partir du premier signal de mesure, du deuxième signal de mesure et éventuellement de l'un ou plusieurs paramètres mesurés qui ont été sélectionnés dans le groupe constitué par une pression hydrostatique initiale, une température initiale s'exerçant dans la cavité, une variation d'une pression interne de la cavité et une éventuelle variation d'un effort longitudinal additionnel distinct d'une variation d'un effort longitudinal généré par une variation de pression.
- [0056] Les valeurs absolues de température ou de pression hydrostatique peuvent être

obtenues à partir des variations de celles-ci, et de leurs valeurs initiales.

[0057] D'autre part, si un vide, même primaire, règne au sein de la cavité étanche, la mesure de la variation de la pression hydrostatique, compte tenu de la gamme de pressions adressable par ce capteur, typiquement de plusieurs ordres de grandeur supérieure à un vide primaire, est équivalente à la mesure absolue de cette pression, indépendamment des effets de la température, et plus généralement de tout effet perturbateur se traduisant par une influence identique sur chacun des signaux de mesure.

[0058] Un tel procédé permet de mettre en œuvre le dispositif de mesure de l'invention et de bénéficier des avantages qui y sont attachés.

Brève description des dessins

[0059] L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

[0060] [Fig.1] illustre un dispositif de mesure d'une variation de pression hydrostatique et/ou de température selon un premier mode de réalisation de l'invention.

[0061] [Fig.2A] illustre, selon une coupe transversale, une première possibilité selon un deuxième mode de réalisation dans lequel l'organe de mesure est intégré dans la paroi.

[0062] [Fig.2B] illustre, selon une coupe transversale, une deuxième possibilité selon un deuxième mode de réalisation dans lequel l'organe de mesure est intégré dans la paroi.

[0063] [Fig.2C] illustre, selon une coupe transversale, une troisième possibilité selon un deuxième mode de réalisation dans lequel l'organe de mesure est intégré dans la paroi.

[0064] [Fig.2D] illustre schématiquement l'application sur la paroi illustrée sur la [Fig.2A] d'une pression hydrostatique externe s'exerçant dans un espace à surveiller dans lequel est installé le dispositif de mesure.

[0065] [Fig.3] illustre un dispositif de mesure d'une variation de pression hydrostatique et/ou de température selon un troisième mode de réalisation de l'invention dans lequel la paroi est un guide optique creux, la [Fig.3] montrant sur sa partie gauche une section radiale dudit dispositif, sur la partie en haut à droite une coupe longitudinale partielle, et en bas à droite une vue de dessous figurant un réseau de Bragg.

[0066] [Fig.4A] illustre une section radiale d'un dispositif de mesure d'une variation de pression hydrostatique et/ou de température selon une première possibilité selon un quatrième mode de réalisation de l'invention dans lequel la paroi est un guide optique creux dans l'espace intérieur duquel est logé un guide optique secondaire central.

[0067] [Fig.4B] illustre une section radiale d'un dispositif de mesure d'une variation de pression hydrostatique et/ou de température selon une deuxième possibilité selon un quatrième mode de réalisation de l'invention dans lequel la paroi est un guide optique creux dans l'espace intérieur duquel est logé un guide optique secondaire central.

- [0068] [Fig.4C] illustre une vue en coupe longitudinale partielle selon un axe IVc-IVc d'un dispositif tel qu'illustré sur la [Fig.4A].
- [0069] [Fig.5A] illustre une section radiale d'un dispositif de mesure d'une variation de pression hydrostatique et/ou de température selon un cinquième mode de réalisation de l'invention dans lequel la paroi est un guide optique creux en surface interne duquel est logé un guide optique secondaire fixé à la paroi.
- [0070] [Fig.5B] illustre une section radiale d'un dispositif de mesure d'une variation de pression hydrostatique et/ou de température selon une variante du cinquième mode de réalisation de l'invention dans lequel la paroi est un guide optique creux en surface interne duquel est logé un guide optique secondaire fixé à la paroi.
- [0071] [Fig.5C] illustre une vue en coupe longitudinale partielle selon un axe de coupe Vc-Vc d'un dispositif tel qu'illustré sur la [Fig.5B].
- [0072] [Fig.6] illustre un exemple d'application d'un dispositif de mesure selon l'invention dans lequel le dispositif de mesure équipe une turbomachine avec laquelle il forme une installation.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE

- [0073] La [Fig.1] illustre un dispositif de mesure 1 d'une grandeur de pression hydrostatique et/ou de température selon un premier mode de réalisation de l'invention.
- [0074] Un tel dispositif de mesure 1 est particulièrement adapté pour mesurer une variation de pression et de température dans des environnements extrêmes tels que par exemple dans certains espaces (notamment les zones de combustion et de compression) des turbomachines et autre type de motorisation. D'autres applications de l'invention que l'aéronautique et l'automobile sont bien entendu parfaitement envisageables sans que l'on sorte du cadre de l'invention. L'invention est ainsi également particulièrement adaptée pour la mesure de pression hydrostatique et de température dans les centrales électriques telles que les centrales thermiques à flamme (combustible fossile ou à déchet), centrales nucléaires (*e.g.* : au sein même de la cuve du réacteur nucléaire) ou encore les centrales géothermiques.
- [0075] Le dispositif de mesure 1 autorise des mesures d'une grandeur de pression, telle qu'une pression absolue, et d'une grandeur de température, telle qu'une variation de température, qui sont décorrélées l'une de l'autre, ceci même dans des environnements extrêmes, tels que ceux mentionnés ci-dessus, qui présentent des variations importantes de pression hydrostatique et de température.
- [0076] Un tel dispositif de mesure 1 comprend :
- [0077] - une paroi 10 s'étendant le long d'un axe central X-X en l'entourant, la paroi 10 étant fermée à ses extrémités pour délimiter une cavité 15 étanche,
- [0078] - au moins un organe de mesure 20 de déformation, et

[0079] - et un calculateur 30.

[0080] Conformément à l'invention, l'organe de mesure 1 est configuré pour délivrer un premier signal de mesure représentatif d'une variation d'une première déformation en une première zone de mesure 11 de la paroi 10, et un deuxième signal de mesure représentatif d'une variation d'une deuxième déformation, selon une direction distincte de celle de la première déformation, en une deuxième zone de mesure 12 de la paroi 10.

[0081] On notera que si dans ce premier mode de réalisation, les première et deuxième zones de mesure 11, 12 sont différenciées l'une de l'autre, elles peuvent, comme cela est démontré ci-après dans le cadre du deuxième mode de réalisation, être confondues.

[0082] Dans le présent mode de réalisation, comme illustré sur la [Fig.1], la paroi 10 présente une forme cylindrique de révolution autour de l'axe central X-X. Bien entendu, si une telle forme est à préférer, puisqu'elle facilite la détermination analytique des grandeurs de pression hydrostatique et de température, d'autres formes de paroi 10 sont envisageables sans que l'on sorte du cadre de l'invention. On peut ainsi par exemple citer les formes cylindriques selon trois variantes d'un deuxième mode de réalisation dont les sections radiales sont illustrées par les figures 2A à 2C.

[0083] La paroi 10 présente une surface interne 10B, délimitant la cavité 15 et une surface externe 10A sur laquelle s'applique une pression extérieure.

[0084] Dans ce premier mode de réalisation, l'organe de mesure 20 comprend un premier capteur fibré 21 et un deuxième capteur fibré 22, distinct du premier capteur 21, chacun fixé à la paroi 10. Dans le présent mode de réalisation, le premier et le deuxième capteur fibrés 21, 22 sont fixés à la surface externe de la paroi 10. Bien entendu, d'autres configurations sont également envisageables sans que l'on sorte du cadre de l'invention. Ainsi, selon diverses variantes de l'invention, il est parfaitement envisageable que :

- les premier et deuxième capteurs fibrés 21, 22 soient fixés sur la surface interne 10B de la paroi,

- les premier et deuxième capteurs fibrés 21, 22 soient fixés sur la surface externe 10A de la paroi,

- l'un du premier et du deuxième capteur fibré 21, 22 soit fixé sur la surface externe 10A, l'autre étant fixé sur la surface interne 10B,

- les premier et deuxième capteurs fibrés 21, 22 soient intégrés dans la paroi 10 à une profondeur de cette dernière identique ou distincte,

- l'un du premier et du deuxième capteur fibré 21, 22 soit fixé à l'une de la surface interne 10B et de la surface externe 10A de la paroi, l'autre étant intégré dans la paroi 10.

[0085] Le premier capteur 21 et le deuxième capteur 22 sont respectivement associés à une première et à une deuxième direction de mesure définissant respectivement un premier

angle de mesure φ_1 et un deuxième angle de mesure φ_2 avec un plan normal à l'axe central X-X. Conformément à la possibilité illustrée sur la [Fig.1], le premier et le deuxième capteur fibrés 21, 22 sont fournis le long de la même fibre optique 23. Selon cette possibilité, et afin de permettre une interrogation de chacun des premier et deuxième capteurs fibrés sans risque d'interférence, le premier et le deuxième capteur fibrés 21, 22 peuvent présenter une longueur d'onde d'interrogation, plage de longueurs d'onde d'interrogation, distinctes l'une de l'autre.

[0086] Bien entendu, selon une variante non illustrée, les premier et deuxième capteurs fibrés 21, 22 peuvent être intégrés chacun dans une fibre optique respective. Selon cette possibilité, les premier et deuxième capteurs fibrés peuvent bien entendu présenter une longueur d'onde d'interrogation, plage de longueurs d'onde d'interrogation, identique sans qu'il y ait un risque d'interférence.

[0087] Le premier angle de mesure φ_1 et le deuxième angle de mesure φ_2 sont préférentiellement choisis afin que leur différence soit égale à $\pi/2$ modulo π . De manière encore plus préférentielle, l'un du premier angle de mesure φ_1 et du deuxième angle de mesure φ_2 présente un angle nul, modulo π , avec un plan normal avec l'axe central X-X l'autre du premier angle de mesure φ_1 et du deuxième angle de mesure φ_2 présentant un angle droit ($\pi/2$), modulo π , vis-à-vis de ce même plan (autrement dit, il permet de mesurer un signal de déformation longitudinale, c'est à dire selon la direction de l'axe central X-X).

[0088] Le premier capteur fibré 21 est, en outre, configuré pour délivrer le premier signal de mesure indicatif d'une première grandeur de suivi, la première grandeur de suivi étant telle qu'une variation relative de ladite première grandeur de suivi est représentative de la variation de la première déformation, cette même première déformation étant une déformation locale de la première zone de mesure 11 suivant la première direction de mesure. De même, le deuxième capteur 22 est, en outre, configuré pour délivrer le deuxième signal de mesure indicatif d'une deuxième grandeur de suivi, la deuxième grandeur de suivi étant telle qu'une variation relative de ladite deuxième grandeur de suivi est représentative de la variation de la deuxième déformation, cette même deuxième déformation étant une déformation locale de la deuxième zone de mesure 12 suivant la deuxième direction de mesure.

[0089] Selon une possibilité de l'invention illustrée sur la [Fig.1], le premier capteur fibré 21 comporte un réseau de Bragg (ou miroir de Bragg), la première grandeur de suivi étant la longueur d'onde de résonance caractéristique du réseau de Bragg. En effet, conformément aux connaissances de l'homme du métier, un tel réseau de Bragg présente une longueur d'onde de résonance λ_{Bragg} (dite longueur d'onde de Bragg) qui est directement liée à l'indice effectif n_{eff} de son guide optique et au pas Λ de modulation longitudinale périodique de cet indice effectif, lorsque la fibre optique est

monomode, selon la relation de Bragg : $\lambda_{\text{Bragg}} = 2 n_{\text{eff}} \Lambda$ (résonnance d'ordre 1), et donc aux déformations (d'origines mécanique et thermique) auxquelles il est soumis. De ce fait, il est connu de pouvoir réaliser un suivi de déformation à partir de la variation relative de la longueur d'onde de Bragg (résonnance d'ordre 1 ou d'ordres supérieurs). Ces déformations, peuvent aussi bien être d'origine mécanique (ici déformation de la paroi 10 sous les efforts liés à la pression hydrostatique s'appliquant sur celle-ci, ou efforts longitudinaux externes additionnels, tels que ceux liés à une dilatation différentielle entre la paroi 10 et la structure externe à laquelle aura été éventuellement attaché le dispositif, différents de ceux exercés par la seule pression hydrostatique) que d'origine thermique (dilatation thermique de la paroi 10 avec la température).

- [0090] Le réseau de Bragg peut être réalisé par procédé de photo-inscription traditionnelle (*e.g.* : masque de phase, miroir de Lloyd) de façon à induire une modulation longitudinale périodique de son indice effectif (celui-ci pouvant ensuite subir un processus de régénération afin de le stabiliser en température), ou point à point par procédé laser femto-seconde. La paroi peut par exemple être réalisée en silice dopée (matrice SiO_2), ou en saphir dopé (matrice en cristal d'alumine Al_2O_3).
- [0091] Bien entendu, un tel exemple de réalisation de réseaux de Bragg n'est fourni qu'à titre d'exemple et n'est nullement limitatif. Ainsi, l'invention peut être mise en œuvre à partir d'autres types de réseaux de Bragg, ou de capteur, réalisés à partir d'autres types de matériaux pour la paroi sans que l'on sorte du cadre de l'invention.
- [0092] Selon ce premier mode de réalisation dans lequel l'organe de mesure 20 comprend les premier et le deuxième capteurs fibrés 21, 22 agencés respectivement en la première et la deuxième zone de mesure 11, 12 qui sont distinctes l'une de l'autre, les phénomènes de biréfringence ne sont pas recherchés. Ainsi, dans ce premier mode de réalisation, le cœur optique de la fibre optique 23 est de manière avantageuse radialement entouré par une gaine, dite « gaine mécanique », présentant un module d'élasticité inférieur à une fraction prédéterminée d'un module d'élasticité de la paroi 10, cette gaine étant elle-même en contact avec la paroi. Ladite fraction peut être inférieure ou égale au cinquième, au dixième voire au vingtième. De cette manière, on limite l'anisotropie des déformations mécaniques s'exerçant sur le cœur optique qui pourrait être à l'origine de phénomènes de biréfringence, en particulier lorsque le capteur fibré est situé dans l'épaisseur de la paroi.
- [0093] On notera que bien entendu, si dans le présent mode de réalisation, le premier capteur fibré 21 comporte un réseau de Bragg, d'autres types de transducteurs sont parfaitement envisageables sans que l'on sorte du cadre de l'invention. Ainsi le premier capteur fibré 21 peut également être une portion de fibre optique, la grandeur de suivi étant alors un signal de rétrodiffusion, tel qu'un signal de rétrodiffusion de type Brillouin, Raman ou Rayleigh. De même, l'organe de mesure 20 peut également

comporter un ou plusieurs capteurs qui ne sont pas fibrés, tels qu'un capteur à corde vibrante ou une jauge de déformation électrique, un émetteur acoustique couplé à un récepteur acoustique, sans que l'on sorte du cadre de l'invention.

- [0094] L'organe de mesure 20 selon ce premier mode de réalisation permet de fournir le premier signal de mesure représentatif d'une variation de première déformation en la première zone de mesure 11 de la paroi 10, et le deuxième signal de mesure représentatif d'une variation d'une deuxième déformation. Ces premier et deuxième signaux peuvent être obtenus à partir d'un système d'interrogation, non illustré, compris dans le calculateur 30.
- [0095] Selon cette possibilité et en conformité avec un organe de mesure comprenant un premier et deuxième capteur fibrés 21, 22 comprenant chacun un réseau de Bragg, le système d'interrogation comprend :
- une source de lumière large bande incluant les plages de longueur d'onde d'interrogation pour les réseaux de Bragg des premier et deuxième capteurs fibrés 21, 22,
 - un spectromètre optique permettant de détecter et caractériser (en puissance et longueur d'onde) le signal réfléchi par les réseaux de Bragg des premier et deuxième capteurs fibrés 21, 22.
- [0096] Le calculateur 30 comporte en outre une unité de traitement, non illustrée, configurée pour commander le système de traitement, récupérer les signaux issus de l'interrogation de l'organe de mesure 20 par le système d'interrogation et déterminer les grandeurs de variations de pression et/ou de température s'exerçant sur la paroi 10 à partir desdits signaux, ainsi que leur valeur absolue dès lors qu'une pression hydrostatique initiale s'exerçant dans la cavité 15 et/ou une température initiale sont connues.
- [0097] De manière avantageuse, le calculateur 30 peut mettre en œuvre une détermination de la grandeur de pression et/ou de température, ou de leurs variations respectives s'exerçant sur la paroi 10 de façon formelle et ainsi permettre une détermination aisée de ces grandeurs.
- [0098] Afin d'exemplifier une telle détermination, il est possible de prendre l'exemple d'un dispositif selon ce premier mode de réalisation tel qu'illustré sur la [Fig.1]. Conformément à la [Fig.1], la paroi 10 est cylindrique de révolution avec $r_{0,int}$ et $r_{0,ext}$ les rayons intérieur et extérieur de la paroi 10. La paroi 10 présente une dimension longitudinale qui est préférentiellement supérieure ou égale à 10 fois le rayon extérieur $r_{0,ext}$. L'organe de mesure 20 comprend des premier et deuxième capteurs fibrés 21, 22 comprenant respectivement un premier et un deuxième réseau de Bragg.
- [0099] Conformément à ce premier mode de réalisation, différentes configurations sont envisageables.

[0100] Dans un premier exemple, les premier et deuxième capteurs fibrés 21, 22, conformément à ce qui est illustré sur la [Fig.1], peuvent être agencés sur la surface extérieure 10A de la paroi 10.

[0101] Selon un tel premier exemple, l'inventeur a identifié que les variations de pression externe ΔP_{ext} et de température ΔT de la paroi 10, ici une température de contact, peuvent être déterminées à partir des équations suivantes :

[0102] [Math.1]

$$\Delta P_{\text{ext}} = \frac{E (\Delta \Psi_1 - \Delta \Psi_2) (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)}{\kappa_{\epsilon} (1 + \nu) r_{0,\text{int}}^2 (\cos^2(\varphi_2) - \cos^2(\varphi_1))} - \frac{\delta F}{\pi r_{0,\text{int}}^2} + \Delta P_{\text{int}}$$

[0103] [Math.2]

$$\Delta T = \frac{1}{\kappa_T} \left(\frac{(\Delta \Psi_2 - \Delta \Psi_1) (\kappa_P E (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2) - \kappa_{\epsilon} (1 - 2\nu) r_{0,\text{ext}}^2)}{\kappa_{\epsilon} (1 + \nu) r_{0,\text{int}}^2 (\cos^2(\phi_2) - \cos^2(\phi_1))} + \frac{\Delta \Psi_1 \cos^2(\phi_2) - \Delta \Psi_2 \cos^2(\phi_1)}{\cos^2(\phi_2) - \cos^2(\phi_1)} \right. \\ \left. + \left(\frac{1 - 2\nu}{E} \kappa_{\epsilon} - \kappa_P \right) \Delta P_{\text{int}} + \frac{1}{\pi E} \left(\frac{\kappa_P E - \kappa_{\epsilon} (1 - 2\nu)}{r_{0,\text{int}}^2} - \frac{2\kappa_{\epsilon} (1 - \nu)}{r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2} \right) \delta F \right)$$

[0104] où ΔP_{ext} est la variation de la pression externe ;

[0105] ΔT est la variation de la température de la paroi 10 ;

[0106] $\Delta \Psi_1$ et $\Delta \Psi_2$ sont respectivement la variation relative d'une première longueur d'onde de Bragg du premier réseau de Bragg et la variation relative d'une deuxième longueur d'onde de Bragg du deuxième réseau de Bragg ;

[0107] $r_{0,\text{ext}}$ est le rayon externe de la paroi ;

[0108] $r_{0,\text{int}}$ est le rayon interne de la paroi ;

[0109] E et ν sont respectivement le module d'Young et le coefficient de Poisson du matériau dans lequel est réalisée la paroi 10 ;

[0110] ϕ_1 et ϕ_2 sont respectivement le premier et deuxième angle de mesure ;

[0111] κ_{ϵ} est une sensibilité mécanique du premier et deuxième capteurs fibrés 21, 22, égale à un coefficient de proportionnalité entre une variation relative des première et deuxième longueurs d'onde de Bragg et une variation de déformation mécanique ;

[0112] κ_P est une sensibilité en pression des premier et deuxième capteurs fibrés 21, 22, égale à un coefficient de proportionnalité entre une variation relative des première et deuxième longueur d'onde de Bragg et une variation de pression hydrostatique appliquée aux premier et deuxième capteurs fibrés 21, 22 ;

[0113] κ_T est une sensibilité en température des premier et deuxième capteurs fibrés 21, 22, égale à un coefficient de proportionnalité entre une variation relative des première et deuxième longueur d'onde de Bragg et une variation de température appliquée aux premier et deuxième capteurs fibrés ; et

[0114] δF est la variation d'un effort longitudinal exercé selon l'axe X-X sur la paroi 10, distinct d'une variation d'un effort longitudinal exercé par la variation de pression interne ou la variation de pression externe.

[0115] La température de contact se définit à l'équilibre thermique, dans le cas de deux milieux plans semi-infinis en contact plan l'un de l'autre, comme la moyenne arithmétique de la température de surface de chaque milieu au contact l'un de l'autre, pondérée par l'effusivité a de chaque milieu, l'effusivité étant définie, pour chaque milieu considéré, comme la racine carrée du produit de sa masse volumique ρ , de sa conductivité thermique k , et de sa capacité calorifique massique c :

[0116] [Math.30]

$$a = \sqrt{k\rho c}$$

[0117] Entre deux milieux plans semi-infinis notés i et ii , la température de contact $T_{\text{contact}_{i, ii}}$, égale pour chacune des deux surfaces en contact, est telle que :

[0118] [Math.31]

$$T_{\text{contact}_{i, ii}} = \frac{a_i T_i + a_{ii} T_{ii}}{a_i + a_{ii}}$$

[0119] Par extension, les capteurs fibrés, lorsque ceux-ci sont positionnés en surface interne ou externe de la paroi, compte tenu de leur faible inertie thermique, réalisent une mesure de la température de contact entre cette paroi (interne ou externe) et le milieu avec lequel cette paroi est en contact direct.

[0120] La température de contact est toujours une température intermédiaire entre la température de chaque milieu ; selon la pondération pilotée par l'effusivité de chaque milieu, cette température de contact peut alors être plus proche de celle de l'un ou de l'autre milieu.

[0121] Ainsi, pour une paroi en silice au contact de l'air, la température de contact pourra être assimilée à celle de la surface de la paroi, compte tenu de la pondération majoritaire de l'effusivité de la silice par rapport à celle de l'air.

[0122] Lorsque les capteurs fibrés sont noyés dans l'épaisseur même de la paroi, ceux-ci réalisent une mesure locale de sa température, au sens traditionnel du terme, et on ne parle plus dans ce cas de température de contact, mais seulement de température.

[0123] On notera que dans le cadre de la possibilité dans laquelle la cavité 15 présente un vide au moins primaire, la variation de ΔP_{int} peut être considérée négligeable au regard de la gamme de pressions adressable par le dispositif de mesure, les calculs étant ainsi simplifiés.

[0124] De même, si la valeur de ΔP_{int} ci-dessus n'est pas fournie, celle-ci peut également être obtenue à partir d'une pression hydrostatique initiale $P_{0, \text{int}}$ de la cavité 15, puisque celle-ci dépend uniquement de la pression externe appliquée sur la surface externe 10A

de la paroi 10 et de la température interne régnant au sein de la cavité 15.

[0125] De même, si, pour des raisons de simplification, seules les équations des variations de pression et de température ci-dessus sont fournies, celles-ci peuvent être, d'une manière identique, déduites formellement des équations ci-dessus, ceci à partir d'uniquement des premier et deuxième signaux de mesure, et de la pression hydrostatique initiale et de la température initiale s'exerçant dans la cavité 15.

[0126] Dans un deuxième exemple, les premier et deuxième capteurs fibrés 21, 22, selon une variante du premier mode de réalisation, peuvent être agencés sur la surface interne 10B de la paroi 10.

[0127] Selon un tel deuxième exemple, l'inventeur a identifié que les variations de pression externe ΔP_{ext} et de température ΔT de la paroi 10, ici une température de contact, peuvent être déterminées à partir des équations suivantes :

[0128] [Math.3]

$$\Delta P_{\text{ext}} = \frac{E (\Delta \Psi_1 - \Delta \Psi_2) (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)}{\kappa_e (1+\nu) r_{0,\text{ext}}^2 (\cos^2(\phi_2) - \cos^2(\phi_1))} - \frac{\delta F}{\pi r_{0,\text{ext}}^2} + \Delta P_{\text{int}}$$

[0129] [Math.4]

$$\Delta T = \frac{1}{\kappa_T} \left(\frac{1-2\nu}{1+\nu} \frac{\Delta \Psi_1 - \Delta \Psi_2}{\cos^2(\phi_2) - \cos^2(\phi_1)} + \frac{\Delta \Psi_1 \cos^2(\phi_2) - \Delta \Psi_2 \cos^2(\phi_1)}{\cos^2(\phi_2) - \cos^2(\phi_1)} + \left(\frac{1-2\nu}{E} \kappa_e - \kappa_p \right) \Delta P_{\text{int}} - \frac{2\kappa_e(1-\nu)}{\pi E (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)} \delta F \right)$$

[0130] Les variables étant ici identiques à celles des équations 1 et 2 explicitées dans le cadre du premier exemple.

[0131] Dans un troisième exemple, les premier et deuxième capteurs fibrés 21, 22, selon une variante du premier mode de réalisation, peuvent être, pour le premier, fixé à la surface interne 10B de la paroi 10, pour le deuxième, fixé à la surface externe 10A de la paroi 10.

[0132] Selon ce troisième exemple, l'inventeur a identifié que les variations de pression externe ΔP_{ext} et de température ΔT de la paroi, ici une température de contact, peuvent être déterminées à partir des équations suivantes :

[0133] [Math.5]

$$\Delta P_{\text{ext}} = \frac{E (\Delta \Psi_2 - \Delta \Psi_1) (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)}{\kappa_e (1+\nu) (r_{0,\text{ext}}^2 \cos^2(\phi_1) - r_{0,\text{int}}^2 \cos^2(\phi_2)) + \kappa_p E (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)} - \frac{1}{\pi} \frac{\kappa_e (1+\nu) (\cos^2(\phi_1) - \cos^2(\phi_2))}{\kappa_e (1+\nu) (r_{0,\text{ext}}^2 \cos^2(\phi_1) - r_{0,\text{int}}^2 \cos^2(\phi_2)) + \kappa_p E (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)} \delta F + \Delta P_{\text{int}}$$

[0134] [Math.6]

$$\begin{aligned}
\Delta T = & \frac{1}{\kappa_T} \left(\frac{\kappa_\epsilon r_{0,\text{ext}}^2 (1-2\nu) (\Delta\Psi_2 - \Delta\Psi_1)}{\kappa_\epsilon (1+\nu) (r_{0,\text{ext}}^2 \cos^2(\phi_1) - r_{0,\text{int}}^2 \cos^2(\phi_2)) + \kappa_p E (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)} \right. \\
& + \frac{\kappa_\epsilon (1+\nu) (\Delta\Psi_2 r_{0,\text{ext}}^2 \cos^2(\phi_1) - \Delta\Psi_1 r_{0,\text{int}}^2 \cos^2(\phi_2))}{\kappa_\epsilon (1+\nu) (r_{0,\text{ext}}^2 \cos^2(\phi_1) - r_{0,\text{int}}^2 \cos^2(\phi_2)) + \kappa_p E (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)} \\
& + \frac{\Delta\Psi_1 \kappa_p E (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)}{\kappa_\epsilon (1+\nu) (r_{0,\text{ext}}^2 \cos^2(\phi_1) - r_{0,\text{int}}^2 \cos^2(\phi_2)) + \kappa_p E (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)} \\
& + \kappa_\epsilon \frac{C_{ie}}{\pi E (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2) (\kappa_\epsilon (1+\nu) (r_{0,\text{ext}}^2 \cos^2(\phi_1) - r_{0,\text{int}}^2 \cos^2(\phi_2)) + \kappa_p E (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2))} \delta F \\
& \left. + \left(\frac{1-2\nu}{E} \kappa_\epsilon - \kappa_p \right) \Delta P_{\text{int}} \right)
\end{aligned}$$

[0135] avec

[0136] [Math.6a]

$$\begin{aligned}
C_{ie} = & (1+\nu) \left((r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2) (\kappa_p E + \kappa_\epsilon (1+\nu) \cos^2(\phi_2)) \right. \\
& \left. - 2\kappa_\epsilon r_{0,\text{ext}}^2 (1-\nu) \cos^2(\phi_1) + \kappa_\epsilon (1+\nu) (r_{0,\text{int}}^2 + r_{0,\text{ext}}^2 (1-2\nu)) \cos^2(\phi_2) - \kappa_p E (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2) \right)
\end{aligned}$$

[0137] Les variables étant ici identiques à celles des équations 1 et 2 explicitées dans le cadre du premier exemple.

[0138] Selon un quatrième exemple, les premier et deuxième capteurs fibrés peuvent être inclus dans la paroi à, respectivement, une distance r_1 et r_2 de l'axe central X-X.

[0139] [Math.7]

$$\begin{aligned}
\Delta P_{\text{ext}} = & \frac{r_1^2 r_2^2 E (\Delta\Psi_1 - \Delta\Psi_2) (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)}{\kappa_\epsilon (1+\nu) r_{0,\text{int}}^2 r_{0,\text{ext}}^2 (r_1^2 \cos^2(\phi_2) - r_2^2 \cos^2(\phi_1))} \\
& - \frac{r_1^2 r_2^2 (\cos^2(\phi_2) - \cos^2(\phi_1))}{\pi r_{0,\text{int}}^2 r_{0,\text{ext}}^2 (r_1^2 \cos^2(\phi_2) - r_2^2 \cos^2(\phi_1))} \delta F + \Delta P_{\text{int}}
\end{aligned}$$

[0140] [Math.8]

$$\begin{aligned} \Delta T = & \frac{1}{\kappa_T} \left(\frac{r_1^2 r_2^2 (\Delta \Psi_1 - \Delta \Psi_2) (\kappa_\epsilon (1-2\nu) - \kappa_p E)}{\kappa_\epsilon (1+\nu) r_{0,int}^2 (r_1^2 \cos^2(\phi_2) - r_2^2 \cos^2(\phi_1))} + \frac{\Delta \Psi_1 r_1^2 \cos^2(\phi_2) - \Delta \Psi_2 r_2^2 \cos^2(\phi_1)}{r_1^2 \cos^2(\phi_2) - r_2^2 \cos^2(\phi_1)} \right. \\ & + \left(\frac{1-2\nu}{E} \kappa_\epsilon - \kappa_p \right) \Delta P_{int} \\ & + \left(\kappa_\epsilon \frac{(r_2^2 - r_1^2) (\cos^2(\phi_1) + \cos^2(\phi_2) - 2(1+\nu) \cos^2(\phi_1) \cos^2(\phi_2)) + (r_1^2 + r_2^2) (\cos^2(\phi_1) - \cos^2(\phi_2))}{2\pi E (r_{0,ext}^2 - r_{0,int}^2) (r_1^2 \cos^2(\phi_2) - r_2^2 \cos^2(\phi_1))} \right. \\ & \left. \left. - \left(\frac{1-2\nu}{E} \kappa_\epsilon - \kappa_p \right) \frac{r_1^2 r_2^2 (\cos^2(\phi_2) - \cos^2(\phi_1))}{\pi r_{0,int}^2 (r_{0,ext}^2 - r_{0,int}^2) (r_1^2 \cos^2(\phi_2) - r_2^2 \cos^2(\phi_1))} \right) \delta F \right) \end{aligned}$$

[0141] On notera, bien entendu, que dans le cas où les premier et deuxième capteurs fibrés peuvent être inclus dans la paroi à une même distance r de l'axe central X-X, l'équation ci-dessus reste bien entendu valable en prenant $r_1 = r_2 = r$.

[0142] Avec une telle configuration du calculateur 30, le dispositif de mesure 1 selon ce premier mode de réalisation permet la mise en œuvre d'un procédé de mesure d'une variation de pression et/ou de température comprenant les étapes suivantes :

- mesure du premier et du deuxième signal de mesure à partir de l'organe de mesure 20, et éventuellement de l'un ou plusieurs paramètres mesurés qui ont été sélectionnés dans le groupe constitué par une pression hydrostatique initiale, une température initiale s'exerçant dans la cavité 15, une variation d'une pression interne de la cavité 15 et une éventuelle variation d'un effort longitudinal additionnel distinct d'une variation d'un effort longitudinal généré par une variation de pression,

- calcul de la variation de la pression s'appliquant sur la paroi et/ou la variation de la température au niveau de la paroi 10 uniquement à partir du premier signal de mesure, du deuxième signal de mesure et, de manière optionnelle, de l'un ou plusieurs paramètres mesurés qui ont été sélectionnés dans le groupe constitué par une pression hydrostatique initiale, une température initiale s'exerçant dans la cavité 15, une variation d'une pression interne de la cavité 15 et une variation d'un effort longitudinal additionnel distinct d'une variation d'un effort longitudinal généré par une variation de pression.

[0143] Ainsi, si une pression hydrostatique interne initiale de la cavité étanche est connue, sa pression absolue est obtenue en faisant la somme de la variation de la pression hydrostatique s'appliquant à cette paroi, telle que précédemment décrite, avec la valeur de la pression initiale.

[0144] De la même façon, si une température de contact interne initiale de la cavité étanche est connue, sa température absolue est obtenue en faisant la somme de la variation de

la température de contact s'appliquant à cette paroi, telle que précédemment décrite, avec la valeur de la température de contact initiale.

- [0145] Les figures 2A à 2C illustrent, en section radiale, des exemples de formes de paroi 10 particulièrement avantageuses dans le cadre d'un deuxième mode de réalisation dans lequel les phénomènes de biréfringence peuvent être exploités afin d'obtenir les premier et le deuxième signaux de mesure représentatifs d'une variation de la première déformation et de la deuxième déformation au moyen d'un seul capteur fibré 21.
- [0146] Un dispositif de mesure 1 selon ce deuxième mode de réalisation se différencie d'un dispositif de mesure 1 selon le premier mode de réalisation en ce que l'organe de mesure comporte uniquement le premier capteur fibré 21, et en ce que la fibre optique 23, dans laquelle est aménagé le premier capteur fibré 21, est adaptée pour favoriser les phénomènes de biréfringence.
- [0147] Ainsi selon ce deuxième mode de réalisation, l'organe de mesure 20 ne comporte que le premier capteur fibré 21 agencé en une première zone de mesure 11, le deuxième capteur fibré n'étant donc pas nécessaire. Afin de favoriser les phénomènes de biréfringence, la fibre optique 23 dans laquelle est aménagée le réseau de Bragg du premier capteur fibré 21 peut être radialement entourée par une gaine présentant un module d'élasticité supérieur ou égal à une fraction prédéterminée d'un module d'élasticité de la paroi 10, voire être supérieure ou égale audit module d'élasticité de la paroi 10, la fibre optique 23 étant alors fixée dans l'épaisseur de la paroi 1 par ladite gaine. Ladite fraction prédéterminée peut être supérieure ou égale à quatre cinquièmes, voire supérieure ou égale à neuf dixièmes, ou encore supérieure ou égale à dix-neuf vingtièmes. Le coefficient de Poisson de la gaine mécanique peut préférentiellement être égal au coefficient de Poisson de la paroi 10. Bien entendu, cette gaine, qui peut être dite « mécanique », puisque son objet est de permettre une transmission optimale des déformations au cœur optique et n'a pas d'objet de fonction de confinement optique, peut être confondue ou distincte de la gaine optique de la fibre optique 23.
- [0148] On notera qu'une telle « gaine mécanique » n'est qu'une possibilité de l'invention et que le capteur fibré peut, sans que l'on sorte du cadre de l'invention, ne pas comporter une telle « gaine mécanique ».
- [0149] Selon ce deuxième mode de réalisation et comme illustré sur la [Fig.2D], afin de favoriser les phénomènes de biréfringence et avoir une sensibilité accrue, il peut être avantageux de positionner le premier capteur fibré 21 dans une zone de mesure 11 présentant une coordonnée angulaire pour laquelle une distance entre la surface externe 10A de la paroi 10 et l'axe central X-X est maximale. En effet, à une telle position, les contraintes générées dans l'épaisseur de la paroi, et par conséquent les effets de la biréfringence, sont amplifiés par rapport à une paroi dont la section présente une symétrie circulaire parfaite, dans un ratio égal, au premier ordre, au quotient entre la plus grande

distance entre la surface externe 10A de la paroi 10 et l'axe central X-X, et la plus faible distance entre la surface externe 10A de la paroi 10 et l'axe central X-X. Ainsi, pour une paroi de section elliptique, le facteur d'amplification des effets de biréfringence, et donc de la sensibilité du capteur à la pression hydrostatique, est au premier ordre égal au ratio entre la longueur de son grand axe et la longueur de son petit axe.

- [0150] Afin de bénéficier d'une telle possibilité, la paroi 10 peut ainsi présenter une forme parmi :
- un section radiale elliptique, telle qu'illustrée sur la [Fig.2A],
 - une section radiale longiligne définie par deux côtés longitudinaux parallèles l'un à l'autre et reliés l'un à l'autre, à leurs extrémités, par des formes courbes dont la concavité reste préférentiellement orientée vers la cavité 15, par exemple des demi-cercles, telle qu'illustrée sur la [Fig.2B],
 - une section radiale sensiblement rectangulaire avec les angles arrondis afin de limiter la concentration des contraintes au niveau de ces derniers, comme illustré sur la [Fig.2C].
- [0151] De la même façon que pour le premier mode de réalisation, dans ce deuxième mode de réalisation, le calculateur 30 peut avantageusement mettre en œuvre une détermination de la grandeur de pression et/ou de température s'exerçant sur la paroi 10 de façon formelle et ainsi permettre une détermination précise de ces grandeurs.
- [0152] Afin d'exemplifier une telle détermination, il est possible de prendre l'exemple d'un dispositif selon ce deuxième mode de réalisation avec une configuration de la paroi 10 similaire à celle illustrée sur la [Fig.1]. Ainsi, conformément à la [Fig.1], la paroi 10 est cylindrique de révolution avec $r_{0,int}$ et $r_{0,ext}$ les rayons intérieur et extérieur de la paroi 10. La paroi 10 présente une dimension longitudinale qui est préférentiellement supérieure ou égale à 10 fois le rayon extérieur $r_{0,ext}$. L'organe de mesure 20 comprend un unique premier capteur fibré 21 inclus dans la paroi à une distance r de l'axe central X-X. Ce premier capteur fibré 21 permet, en raison des phénomènes de biréfringence, de délivrer le premier signal de mesure, indicatif d'une première longueur d'onde d'une lumière réfléchiée par le réseau de Bragg et se propageant suivant un axe ordinaire de la fibre optique 23, et le deuxième signal de mesure, indicatif d'une deuxième longueur d'onde d'une lumière réfléchiée par le même réseau de Bragg et se propageant suivant un axe extraordinaire du segment de fibre optique.
- [0153] Selon un tel premier exemple, l'inventeur a identifié que les variations de pression externe ΔP_{ext} et de température ΔT peuvent être déterminées à partir des équations suivantes :

[0154] [Math.9]

$$\Delta P_{\text{ext}} = \Delta P_{\text{int}} + \frac{r^2 E (\Delta \Psi_2 - \Delta \Psi_1) (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)}{r_{0,\text{int}}^2 r_{0,\text{ext}}^2 (2(1+\nu) - 3\kappa_\epsilon - \kappa_p E) (2 - \cos^2(\phi))} + \frac{r^2 \cos^2(\phi)}{\pi r_{0,\text{int}}^2 r_{0,\text{ext}}^2 (2 - \cos^2(\phi))} \delta F$$

[0155] [Math.10]

$$\Delta T = \frac{1}{2\kappa_T} \left(\Delta \Psi_1 + \Delta \Psi_2 - 2\kappa_p E \left(\frac{\Delta P_{\text{int}}}{E} + \frac{r^2 (\Delta \Psi_2 - \Delta \Psi_1)}{2r_{0,\text{int}}^2 (2(1+\nu) - 3\kappa_\epsilon - \kappa_p E)} \left(1 + \frac{\kappa_p E (r^2 - r_{0,\text{int}}^2) - 3\kappa_\epsilon r_{0,\text{int}}^2}{\kappa_p E r^2 (2 - \cos^2(\phi))} \cos^2(\phi) \right) \right) \right. \\ \left. + \frac{4\kappa_\epsilon r_{0,\text{int}}^2 \cos(2\phi) - 2\kappa_p E (r^2 - r_{0,\text{int}}^2) \cos^2(\phi)}{\pi r_{0,\text{int}}^2 E (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2) (2 - \cos^2(\phi))} \delta F \right)$$

[0156] On notera que dans ce premier exemple de ce deuxième mode de réalisation, $\Delta \Psi_1$ et $\Delta \Psi_2$ sont respectivement la variation relative d'une première longueur d'onde de Bragg du réseau de Bragg correspondant au trajet ordinaire et la variation relative d'une deuxième longueur d'onde de Bragg du réseau de Bragg correspondant au trajet extraordinaire.

[0157] Selon une première et une deuxième variante de ce deuxième mode de réalisation, l'organe de mesure 20 peut comprendre, en plus du premier capteur fibré 21 inclus dans la paroi, un deuxième capteur fibré 22. Ce deuxième capteur fibré 22 peut être fixé à la surface extérieure 10A de la paroi 10 conformément à la première variante ou fixé à la surface intérieure 10B de la paroi 10 conformément à la deuxième variante.

[0158] Dans le cadre de la première et de la deuxième variante de ce deuxième mode de réalisation, le premier signal est fourni par le premier capteur fibré, correspondant au trajet ordinaire ou au trajet extraordinaire de la fibre optique 23, et le deuxième signal est fourni par le deuxième capteur fibré.

[0159] En ce qui concerne ces première et deuxième variantes de ce deuxième mode de réalisation, le calculateur 30 peut avantageusement mettre en œuvre une détermination de la grandeur de pression et/ou de température s'exerçant sur la paroi 10 de façon formelle et ainsi permettre une détermination précise de ces grandeurs.

[0160] Dans le cadre de la première variante, et selon la configuration déjà explicitée pour le deuxième mode réalisation, l'inventeur a identifié que les variations de pression externe ΔP_{ext} et de température ΔT de la paroi 10, ici une température de contact, peuvent être déterminées à partir des équations suivantes :

[0161] [Math.11]

$$\Delta P_{\text{ext}} = \Delta P_{\text{int}} + \frac{2r^2}{A_e} \left((r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2) ((\Delta \Psi_2 - \Delta \Psi_1) E + \kappa_e (1-2\nu) \Delta P_{\text{int}}) - \frac{1}{\pi} (1+\nu) (\cos^2(\phi_1) - \kappa_e \cos^2(\phi_2)) \delta F \right)$$

[0162] avec

[0163] [Math.12]

$$A_e = r_{0,\text{int}}^2 \left(2\kappa_p E (r_{0,\text{ext}}^2 - r^2) - (1+\nu) (r_{0,\text{ext}}^2 (3 - \cos(2\phi_1)) + \kappa_e r^2 \cos(2\phi_2)) \right) + \kappa_e \left(6r_{0,\text{int}}^2 r_{0,\text{ext}}^2 - r^2 (2r_{0,\text{ext}}^2 (1-2\nu) + r_{0,\text{int}}^2 (1+\nu)) \right)$$

[0164] Dans un tel cas, la mesure de la variation de pression externe ΔP_{ext} est intrinsèquement indépendante des variations des efforts longitudinaux externes additionnels δF dès lors que : $\cos^2(\phi_1) - \kappa_e \cos^2(\phi_2) = 0$, équation qui admet un ensemble non vide de solutions dès lors que κ_e est positif (par exemple, pour une fibre optique en silice, $\kappa_e \approx 0,78$).

[0165] [Math.13]

$$\Delta P_{\text{ext}} = \Delta P_{\text{int}} + \frac{r^2}{B_e} \left(2(r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2) ((\Delta \Psi_1 - \Delta \Psi_2) E - \kappa_e (1-2\nu) \Delta P_{\text{int}}) - \frac{1}{\pi} (1+\nu - \kappa_e (2-\nu) - \kappa_p E + (1+\nu - 3\kappa_e - \kappa_p E) \cos(2\phi_1) + \kappa_e (1+\nu) \cos(2\phi_2)) \delta F \right)$$

[0166] avec

[0167] [Math.14]

$$B_e = r_{0,\text{int}}^2 (2\kappa_p E r^2 + r_{0,\text{ext}}^2 (\kappa_p E - 3(1+\nu)) + r_{0,\text{ext}}^2 (1+\nu - 3\kappa_e - \kappa_p E) \cos(2\phi_1) + \kappa_e r^2 (1+\nu) \cos(2\phi_2)) + \kappa_e (3r_{0,\text{int}}^2 r_{0,\text{ext}}^2 + r^2 (2r_{0,\text{ext}}^2 (1-2\nu) + r_{0,\text{int}}^2 (1+\nu)))$$

[0168] Dans un tel cas, la mesure de la variation de pression externe ΔP_{ext} est intrinsèquement indépendante des variations des efforts longitudinaux externes δF dès lors que :

$$1+\nu - \kappa_e (2-\nu) - \kappa_p E + (1+\nu - 3\kappa_e - \kappa_p E) \cos(2\phi_1) + \kappa_e (1+\nu) \cos(2\phi_2) = 0,$$

équation qui admet un ensemble non vide de solutions.

[0169] L'équation 11 correspond au cas où le premier signal est fourni par le premier capteur fibré 21, correspondant au trajet ordinaire, et l'équation 13 correspond au cas où le premier signal est fourni par le premier capteur fibré 21, correspondant au trajet extraordinaire.

[0170] [Math.15]

$$\begin{aligned}
\Delta T = & \frac{1}{C_e} \left(\left(\Delta P_{\text{int}} r_{0,\text{int}}^2 \left(r_{0,\text{ext}}^2 \left(3 \left(\kappa_e ((1-v)-2\kappa_e(1-2v)) - \kappa_p E(1+v) \right) + 4\kappa_e \kappa_p E(1+v) \right) - \right. \right. \right. \\
& \kappa_e \left(\kappa_p E r^2 (1+v) \right. \\
& \left. \left. + 6r_{0,\text{ext}}^2 v^2 \right) + 2\kappa_p^2 E^2 (r_{0,\text{ext}}^2 - r^2) \right) + \Delta \psi_1 r^2 E \left(\kappa_e \left(2r_{0,\text{ext}}^2 (1-2v) + r_{0,\text{int}}^2 (1+v) \right) - 2\kappa_p E (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2) \right) \\
& + \Delta \psi_2 r_{0,\text{ext}}^2 E \left(3r_{0,\text{int}}^2 (1+v-2\kappa_e) + 2\kappa_p E (r^2 - r_{0,\text{int}}^2) \right) + r_{0,\text{int}}^2 r_{0,\text{ext}}^2 (1+v) \left(\Delta P_{\text{int}} (\kappa_p E - \right. \\
& \left. \kappa_e (1-2v)) - \Delta \psi_2 E \right) \cos(2\phi_1) + \kappa_e (\Delta \psi_1 - \Delta P_{\text{int}} \kappa_p) r^2 r_{0,\text{int}}^2 E (1+v) \cos(2\phi_2) \left. \right) \\
& + \frac{\delta F}{2\pi(r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)} \left(\kappa_e \left(r^2 \left(2r_{0,\text{ext}}^2 (1-2v) (1+v-2\kappa_e) - r_{0,\text{int}}^2 (4\kappa_p E \right. \right. \right. \\
& + 2\kappa_e (1+v) - (1+v)^2) - 3r_{0,\text{int}}^2 r_{0,\text{ext}}^2 (1-v^2 - 2\kappa_e (1-v)) \left. \right) + 2\kappa_p E \left(r_{0,\text{ext}}^2 \left(\kappa_e \left(r^2 (1+v) \right. \right. \right. \\
& + r_{0,\text{int}}^2 (1-v) \left. \right) - r^2 (1+v) \left. \right) + r^2 r_{0,\text{int}}^2 (1+v) \left. \right) + \kappa_e \left(r^2 \left(2\kappa_p E r_{0,\text{ext}}^2 + r_{0,\text{int}}^2 (1+v-2\kappa_e) \right. \right. \\
& + r_{0,\text{int}}^2 r_{0,\text{ext}}^2 (3(1+v) - 2(3\kappa_e + \kappa_p E)) \left. \right) (1+v) \cos(2\phi_2) - (1+v) \cos(2\phi_1) \left(2\kappa_p E r^2 (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2) - \right. \\
& \left. \left. \left. \kappa_e \left(r^2 \left(r_{0,\text{int}}^2 (1+v) + 2r_{0,\text{ext}}^2 (1-2v) \right) + r_{0,\text{int}}^2 \left((1-v)r_{0,\text{ext}}^2 + (r^2 - r_{0,\text{ext}}^2) (1+v) \cos(2\phi_2) \right) \right) \right) \right) \right)
\end{aligned}$$

[0171] avec

[0172] [Math.16]

$$\begin{aligned}
C_e = & \kappa_T E \left(2\kappa_e r_{0,\text{ext}}^2 (r^2 (1-2v) - 3r_{0,\text{int}}^2) - 2\kappa_p E r_{0,\text{int}}^2 (r_{0,\text{ext}}^2 - r^2) \right. \\
& \left. + r_{0,\text{int}}^2 (1+v) \left(r_{0,\text{ext}}^2 (3 - \cos(2\phi_1)) + \kappa_e r^2 (1 + \cos(2\phi_2)) \right) \right)
\end{aligned}$$

[0173] [Math.17]

$$\begin{aligned}
\Delta T = & \frac{1}{D_e} \left(\left(\Delta P_{int} r_{0,int}^2 \left(3r_{0,ext}^2 \left(\kappa_p E(1+v) - \kappa_e (1-v-2v^2 - \kappa_e (1-2v)) \right) - \kappa_p E \left((1+v) \kappa_e (r^2 + 2r_{0,ext}^2) \right. \right. \right. \right. \\
& + \left. \left. \left. \kappa_p E(2r^2 + r_{0,ext}^2) \right) \right) + \Delta \Psi_1 r^2 E \left(\kappa_e \left(2r_{0,ext}^2 (1-2v) + r_{0,int}^2 (1+v) \right) - 2\kappa_p E(r_{0,ext}^2 - r_{0,int}^2) \right) \right. \\
& + \left. \Delta \Psi_2 r_{0,ext}^2 E \left(\kappa_p E(2r^2 + r_{0,int}^2) - 3r_{0,int}^2 (1+v - \kappa_e) \right) \right. \\
& + \left. r_{0,int}^2 r_{0,ext}^2 (1+v - 3\kappa_e - \kappa_p E) \left(\Delta P_{int} \kappa_e (1-2v) + E(\Delta \Psi_2 - \Delta P_{int} \kappa_p) \right) \cos(2\phi_1) \right. \\
& + \left. \kappa_e (\Delta \Psi_1 - \Delta P_{int} \kappa_p) r^2 r_{0,int}^2 E(1+v) \cos(2\phi_2) \right) \\
& - \frac{\delta F}{2\pi(r_{0,ext}^2 - r_{0,int}^2)} \left(\kappa_e^2 \left(3r_{0,int}^2 r_{0,ext}^2 (1-v) - r^2 \left(r_{0,int}^2 (1+v) + 2r_{0,ext}^2 (1-2v) \right) \right) \right. \\
& - \left. 2\kappa_p E r^2 (r_{0,ext}^2 - r_{0,int}^2) (1+v - \kappa_p E) + \kappa_e \left(r^2 \left(2r_{0,ext}^2 (1-2v + \kappa_p E) (1+v) \right. \right. \right. \\
& + \left. \left. \left. r_{0,int}^2 ((1+v)^2 - \kappa_p E(3+v)) \right) - r_{0,int}^2 r_{0,ext}^2 (1-v) (3(1+v) - \kappa_p E) \right. \right. \\
& - \left. \left(r^2 \left(2\kappa_p E r_{0,ext}^2 - r_{0,int}^2 (1+v - \kappa_e - \kappa_p E) \right) - r_{0,int}^2 r_{0,ext}^2 (3(1+v) - 3\kappa_e - \kappa_p E) \right) (1+v) \cos(2\phi_2) \right) \\
& - \left((1+v - 3\kappa_e - \kappa_p E) \cos(2\phi_1) \left(2\kappa_p E r^2 (r_{0,ext}^2 - r_{0,int}^2) - \kappa_e \left(r_{0,int}^2 (r_{0,ext}^2 (1-v) \right. \right. \right. \\
& + \left. \left. \left. (r^2 - r_{0,ext}^2) (1+v) \cos(2\phi_2) \right) + r^2 \left(r_{0,int}^2 (1+v) + 2r_{0,ext}^2 (1-2v) \right) \right) \right) \right)
\end{aligned}$$

[0174] avec

[0175] [Math.18]

$$\begin{aligned}
D_e = & \kappa_T E \left(\kappa_e r^2 \left(2r_{0,ext}^2 (1-2v) + r_{0,int}^2 (1+v) \right) + r_{0,int}^2 \left(\kappa_p E(2r^2 + r_{0,ext}^2) \right. \right. \\
& + \left. \left. r_{0,ext}^2 \left((1+v - 3\kappa_e - \kappa_p E) \cos(2\phi_1) - 3(1+v - \kappa_e) \right) + \kappa_e r^2 (1+v) \cos(2\phi_2) \right) \right)
\end{aligned}$$

[0176] L'équation 15 concerne le cas où le premier signal fourni par le premier capteur fibré 21 correspond au trajet ordinaire, et l'équation 17 concerne le cas où le premier signal fourni par le premier capteur fibré 21 correspond au trajet extraordinaire.

[0177] Dans le cadre de la deuxième variante, et selon la configuration déjà explicitée pour le deuxième mode réalisation, l'inventeur a identifié que les variations de pression ΔP_{ext} et de température de contact ΔT peuvent être déterminées à partir des équations suivantes :

[0178] [Math.19]

$$\Delta P_{\text{ext}} = \Delta P_{\text{int}} + \frac{2r^2}{A_i} \left((r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2) ((\Delta \Psi_2 - \Delta \Psi_1) E + \kappa_e (1 - 2\nu) \Delta P_{\text{int}}) - \frac{1}{\pi} (1 + \nu) (\cos^2(\phi_1) - \kappa_e \cos^2(\phi_2)) \delta F \right)$$

[0179] avec

[0180] [Math.20]

$$A_i = r_{0,\text{ext}}^2 \left(3\kappa_e (2r_{0,\text{int}}^2 - r^2 (1 - \nu)) - 2\kappa_p E (r^2 - r_{0,\text{int}}^2) - (1 + \nu) (r_{0,\text{int}}^2 (3 - \cos(2\phi_1)) + \kappa_e r^2 \cos(2\phi_2)) \right)$$

[0181] [Math.21]

$$\Delta P_{\text{ext}} = \Delta P_{\text{int}} + \frac{r^2}{B_i} \left(2(r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2) ((\Delta \Psi_1 - \Delta \Psi_2) E - \kappa_e (1 - 2\nu) \Delta P_{\text{int}}) - \frac{1}{\pi} (1 + \nu - \kappa_e (2 - \nu) - \kappa_p E + (1 + \nu - 3\kappa_e - \kappa_p E) \cos(2\phi_1) + \kappa_e (1 + \nu) \cos(2\phi_2)) \delta F \right)$$

[0182] avec

[0183] [Math.22]

$$B_i = r_{0,\text{ext}}^2 \left(3\kappa_e (r^2 (1 - \nu) + r_{0,\text{int}}^2) + \kappa_p E (2r^2 + r_{0,\text{int}}^2) + r_{0,\text{int}}^2 ((1 + \nu - 3\kappa_e - \kappa_p E) \cos(2\phi_1) - 3(1 + \nu)) + \kappa_e r^2 (1 + \nu) \cos(2\phi_2) \right)$$

[0184] Dans un tel cas, la mesure de la variation de pression externe ΔP_{ext} est intrinsèquement indépendante des variations des efforts longitudinaux externes δF dès lors que :

$$1 + \nu - \kappa_e (2 - \nu) - \kappa_p E + (1 + \nu - 3\kappa_e - \kappa_p E) \cos(2\phi_1) + \kappa_e (1 + \nu) \cos(2\phi_2) = 0,$$

équation qui admet un ensemble non vide de solutions.

[0185] L'équation 19 concerne le cas où le premier signal fourni par le premier capteur fibré 21 correspond au trajet ordinaire, et l'équation 21 concerne le cas où le premier signal fourni par le premier capteur fibré 21 correspond au trajet extraordinaire.

[0186] [Math.23]

$$\begin{aligned}
\Delta T = & \frac{1}{C_i} \left(\Delta P_{\text{int}} \left(\kappa_e \left(r_{0,\text{int}}^2 \left(3(1-2\kappa_e(1-2v)) - v(1+2v) \right) + 4\kappa_p E(1+v) \right) - \kappa_p E r^2(1+v) \right) \right. \\
& - \kappa_p E \left(3r_{0,\text{int}}^2(1+v) + 2\kappa_p E(r^2 - r_{0,\text{int}}^2) \right) \left. \right) + 3\Delta\psi_1 \kappa_e r^2 E(1-v) \\
& + \Delta\psi_2 E \left(3r_{0,\text{int}}^2(1+v-2\kappa_e) + 2\kappa_p E(r^2 - r_{0,\text{int}}^2) \right) \\
& + (1+v) \left(r_{0,\text{int}}^2 (\Delta P_{\text{int}} (\kappa_p E - \kappa_e(1-2v)) - \Delta\psi_2 E) \cos(2\phi_1) \right. \\
& + \kappa_e (\Delta\psi_1 - \Delta P_{\text{int}} \kappa_p) r^2 E \cos(2\phi_2) \left. \right) \\
& - \frac{\delta F}{2\pi(r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)} \kappa_e \left((r^2 - r_{0,\text{int}}^2)(1-v) (2(3\kappa_e + \kappa_p E) - 3(1+v)) - (1+v) \left(r^2(1+v) \right. \right. \\
& + 2(\kappa_p E - \kappa_e) + r_{0,\text{int}}^2 (3(1+v) - 2(3\kappa_e + \kappa_p E)) \left. \right) \cos(2\phi_2) \\
& \left. \left. - (1+v) \cos(2\phi_1) \left((3r^2 + r_{0,\text{int}}^2)(1-v) + (r^2 - r_{0,\text{int}}^2)(1+v) \cos(2\phi_2) \right) \right) \right)
\end{aligned}$$

[0187] avec

[0188] [Math.24]

$$C_i = \kappa_T E \left(3\kappa_e (r^2(1-v) - 2r_{0,\text{int}}^2) + 2\kappa_p E(r^2 - r_{0,\text{int}}^2) + (1+v) (r_{0,\text{int}}^2 (3 - \cos(2\phi_1)) + \kappa_e r^2 \cos(2\phi_2)) \right)$$

[Math 25]

[Math.25]

$$\begin{aligned}
\Delta T = & \frac{1}{D_i} \left(\Delta P_{\text{int}} \left(3r_{0,\text{int}}^2 (\kappa_p E(1+v) - \kappa_e(1-2v)(1+v-\kappa_e)) - \kappa_p E \left(\kappa_p E(2r^2 + r_{0,\text{int}}^2) + \kappa_e(r^2 \right. \right. \right. \\
& + 2r_{0,\text{int}}^2)(1+v) \left. \left. \right) \right) + \Delta\psi_2 E \left(r_{0,\text{int}}^2 (\kappa_p E - 3(1+v-\kappa_e)) + 2\kappa_p E r^2 \right) + 3\Delta\psi_1 \kappa_e r^2 E(1-v) \\
& - r_{0,\text{int}}^2 (1+v-3\kappa_e - \kappa_p E) (\Delta P_{\text{int}} (\kappa_p E - \kappa_e(1-2v)) - \Delta\psi_2 E) \cos(2\phi_1) \\
& + \kappa_e (\Delta\psi_1 - \Delta P_{\text{int}} \kappa_p) r^2 E(1+v) \cos(2\phi_2) \\
& + \frac{\delta F}{2\pi(r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)} \kappa_e \left((r^2 - r_{0,\text{int}}^2)(1-v) (3\kappa_e + \kappa_p E - 3(1+v)) \right. \\
& - \left(r_{0,\text{int}}^2 (3(1+v-\kappa_e) - \kappa_p E) + r^2 (1+v-\kappa_e - 3\kappa_p E) \right) (1+v) \cos(2\phi_2) \\
& \left. \left. - (1+v-3\kappa_e - \kappa_p E) \cos(2\phi_1) \left((3r^2 + r_{0,\text{int}}^2)(1-v) + (r^2 - r_{0,\text{int}}^2)(1+v) \cos(2\phi_2) \right) \right) \right)
\end{aligned}$$

[0189] avec

[0190] [Math.26]

$$D_i = \kappa_T E \left(3\kappa_\varepsilon (r^2(1-\nu) + r_{0,int}^2) + \kappa_p E (2r^2 + r_{0,int}^2) \right. \\ \left. + r_{0,int}^2 \left((1+\nu-3\kappa_\varepsilon-\kappa_p E) \cos(2\phi_1) - 3(1+\nu) \right) + \kappa_\varepsilon r^2(1+\nu) \cos(2\phi_2) \right)$$

L'équation 23 concerne le cas où le premier signal fourni par le premier capteur fibré 21 correspond au trajet ordinaire, et l'équation 25 concerne le cas où le premier signal fourni par le premier capteur fibré 21, correspond au trajet extraordinaire.

[0191] La [Fig.3] illustre un dispositif de mesure 1 selon un troisième mode de réalisation dans lequel la paroi 10 forme un guide optique, l'organe de mesure 20 comprenant un premier capteur comportant un réseau de Bragg directement inscrit dans la paroi 10 et dans lequel le guide optique est conformé pour présenter des phénomènes de biréfringence.

[0192] La biréfringence est systématique dès lors que l'organe de mesure *i*) est logé dans l'épaisseur même de la paroi 10, *ii*) est réalisé dans le même matériau que celle-ci (par exemple en silice, ou en alumine sous forme cristalline), et *iii*) ne présente aucune transition de ses propriétés thermomécaniques (module d'Young E, coefficient de Poisson ν et coefficient d'expansion thermique) avec la paroi.

[0193] Aussi, la présence d'une gaine mécanique autour du capteur, plus souple (*i.e.* : dont le module d'Young est significativement plus faible) que la paroi et au contact de celle-ci, permet d'atténuer les effets de biréfringence et les rendre ainsi négligeables.

[0194] Un dispositif de mesure 1 selon ce troisième mode de réalisation se différencie d'un dispositif de mesure selon le deuxième mode réalisation en ce que la paroi 10 forme un guide optique creux et en ce que le premier capteur 21 est un capteur directement inscrit dans la paroi 10.

[0195] Bien entendu, si dans la [Fig.3], la paroi 10 présente une forme cylindrique de révolution, une telle forme n'est donnée qu'à titre d'exemple et peut être autre sans que l'on sorte du cadre de l'invention.

[0196] Selon un exemple d'application de ce troisième mode de réalisation, la paroi 10 peut former une fibre optique creuse (c'est-à-dire : une fibre optique micro-structurée). Bien entendu, cet exemple n'est pas limitatif et ne présente qu'un exemple de dimensionnement de la paroi 10, la paroi 10 pouvant présenter, pour certaines applications, des dimensions relativement importantes avec une épaisseur relativement faible vis-à-vis desdites dimensions afin de fournir une sensibilité accrue.

[0197] On notera que la paroi 10 et le premier capteur 21 selon ce troisième mode réalisation sont, outre la forme du premier capteur, soumis au même type de déformation que la paroi 10 et le premier capteur 21 selon le deuxième mode de réalisation. Ainsi, dans ce

troisième mode de réalisation, le calculateur 30 peut avantageusement mettre en œuvre une détermination de la grandeur de pression et/ou de température s'exerçant sur la paroi 10 de façon formelle et ainsi permettre une détermination précise de ces grandeurs.

- [0198] De ce fait, pour ce troisième mode de réalisation, il est possible de se reporter à l'exemple fourni pour le deuxième mode de réalisation, et aux équations 9 et 10 qui y sont associées.
- [0199] Les figures 4A à 4C illustrent un dispositif de mesure 10 selon, pour la [Fig.4A], un quatrième mode de réalisation de l'invention, et, pour la [Fig.4B], selon une variante de ce quatrième mode de réalisation de l'invention, dans lesquels le dispositif comprend en outre un guide optique secondaire 17 central qui s'étend selon l'axe central X-X, et qui est fixé à la paroi au moyen de bras de support 18, le guide optique secondaire comprenant un deuxième capteur 22 de l'organe de mesure 20 qui y est inscrit.
- [0200] On notera que la vue en coupe sur la [Fig.4C] concerne le quatrième mode de réalisation illustré sur la [Fig.4B]. Bien entendu, en prenant en compte la différence de configuration des bras de support 18 entre le quatrième mode de réalisation et sa variante, il est aisé d'appliquer l'enseignement fourni par la [Fig.4C] au cas de la variante du quatrième mode de réalisation illustré sur la [Fig.4B].
- [0201] Les bras de support 18 ont pour rôle de permettre au guide central 17 d'avoir, par continuité, la même variation de déformation longitudinale (c'est-à-dire : selon l'axe X-X) que la paroi 10, sans pour autant créer de biréfringence.
- [0202] Un dispositif de mesure 10 selon ce quatrième mode de réalisation se différencie d'un dispositif de mesure 10 selon le troisième mode de réalisation en ce que le dispositif comprend le guide optique secondaire 17 central fixé à la paroi 10 au moyen des bras de support 18, et en ce que l'organe de mesure 20 comprend un deuxième capteur comprenant un réseau de Bragg inscrit dans le guide optique secondaire 17.
- [0203] Selon ce quatrième mode de réalisation, le dispositif de mesure comprend deux bras de support 18 qui s'étendent de part et d'autre du guide optique secondaire 17.
- [0204] Selon le quatrième mode de réalisation et comme montré sur la [Fig.4C], d'une manière identique au troisième mode de réalisation, le premier capteur 21 comprend un réseau de Bragg inscrit dans la paroi 10. De même, selon la fixation et la transmission des déformations de la paroi au guide optique secondaire 17, celui-ci est soumis aux mêmes variations de déformations longitudinales que la paroi et permet donc une mesure de cette variation de déformation. Ainsi, le réseau de Bragg inscrit dans la paroi 10 forme un premier capteur 21 fournissant le premier signal de mesure tandis que le réseau de Bragg inscrit dans le guide optique secondaire 17 forme le deuxième capteur 22 fournissant le deuxième signal de mesure.

- [0205] De la même façon que dans les premier aux troisième modes de réalisation, dans ce quatrième mode de réalisation, le calculateur 30 peut être configuré pour mettre en œuvre une détermination de la grandeur de pression et/ou de température s'exerçant sur la paroi 10 de façon formelle et ainsi permettre une détermination précise de ces grandeurs, tel que mentionné par les équations 19 (dans le cas où, pour le premier capteur 21, c'est le trajet ordinaire qui est exploité) et 21 (dans le cas où pour le premier capteur 21, c'est le trajet extraordinaire qui est exploité) concernant la variation de pression externe ΔP_{ext} , et les équations 23 (dans le cas où, pour le premier capteur 21, c'est le trajet ordinaire qui est exploité) et 25 (dans le cas où, pour du premier capteur 21, c'est le trajet extraordinaire qui est exploité) concernant la variation de température ΔT .
- [0206] Selon la variante à ce quatrième mode de réalisation qui est illustré sur la [Fig.4B], le dispositif de mesure 10 peut comprendre un nombre de bras de support 18 différent de deux, le dispositif de mesure 10 en présentant trois sur la [Fig.4B]. Selon cette variante du quatrième mode de réalisation, les bras de support 18 sont répartis angulairement régulièrement autour du guide d'onde secondaire 17 central, en formant un angle de $2\pi/3$ entre deux bras de support 18 successifs. Bien entendu, il est également envisageable de prévoir un nombre de bras de support 18 supérieur à 3, assurant ainsi une meilleure transduction des déformations longitudinales de la paroi 10 au guide d'onde secondaire 17, sans que l'on sorte du cadre de l'invention.
- [0207] Les figures 5A à 5C illustrent un dispositif de mesure 10 selon, pour la [Fig.5A], un cinquième mode de réalisation de l'invention, et pour la [Fig.5B], selon une variante de ce cinquième mode de réalisation de l'invention, dans lesquels le dispositif comprend en outre un guide optique secondaire 17 adjacent à la surface interne 10B de la paroi 10 et étant fixé à cette dernière, qui s'étend le long de l'axe central X-X et qui comprend un deuxième capteur 22 de l'organe de mesure 20 qui y est inscrit.
- [0208] On notera que la vue en coupe Vc-Vc sur la [Fig.5C] concerne la variante 5B, bien entendu, en prenant en compte la différence de fixation du guide optique secondaire 17, il est aisé d'appliquer l'enseignement fourni par la [Fig.5C] au cas du cinquième mode de réalisation illustré sur la [Fig.5A].
- [0209] Un dispositif de mesure 10 selon ce cinquième mode de réalisation se différencie d'un dispositif de mesure selon le quatrième mode de réalisation en ce que le guide optique secondaire 17 est directement fixé à la surface interne 10B de la paroi 10, et en ce qu'il n'est pas prévu de bras de support 18.
- [0210] Selon ce cinquième mode de réalisation, comme illustré sur la [Fig.5A], le guide optique secondaire 17 est fixé à la surface interne 10B de la paroi 10 selon un segment longitudinal, le guide optique présentant de ce fait, selon une section latérale, un seul segment de fixation. De ce fait la déformation longitudinale (selon l'axe X-X) de la

paroi 10 est transmise uniquement par ledit segment longitudinal.

- [0211] Selon ce cinquième mode de réalisation, la calculateur 30 peut également être configuré pour mettre en œuvre une détermination de la grandeur de pression et/ou de température s'exerçant sur la paroi 10 de façon formelle et ainsi permettre une détermination précise de ces grandeurs, tel que mentionné par les équations 19 (dans le cas où, pour le premier capteur 21, c'est le trajet ordinaire qui est exploité) et 21 (dans le cas où, pour le premier capteur 21, c'est le trajet extraordinaire qui est exploité) concernant la variation de pression externe ΔP_{ext} , et les équations 23 (dans le cas où, pour le premier capteur 21, c'est le trajet ordinaire qui est exploité) et 25 (dans le cas où, pour le premier capteur 21, c'est le trajet extraordinaire qui est exploité) concernant la variation de température ΔT .
- [0212] Selon la variante à au cinquième mode de réalisation qui est illustré sur la [Fig.5B], le guide optique secondaire 17 peut être fixé à la surface interne 10B de la paroi selon deux segments longitudinaux, le guide optique secondaire 17 présentant de ce fait, selon une section latérale, deux points de fixation. Il en résulte dans cette variante une meilleure transduction des déformations longitudinales (selon X-X) de la paroi 10 au guide optique secondaire 17.
- [0213] On notera que dans le cadre du cinquième mode de réalisation, et de sa variante de réalisation, il peut être prévu plusieurs guides optiques secondaires 17 agencés dans la paroi 10 sans que l'on sorte du cadre de l'invention. Dans un tel cas, ces guides optiques secondaires 21 sont alors préférentiellement répartis angulairement autour de l'axe X-X de manière régulière.
- [0214] Quel que soit le mode de réalisation de l'invention, un dispositif de mesure 1 selon l'invention est particulièrement adapté pour permettre la mesure de pression et/ou de température dans des espaces soumis à des températures et des pressions extrêmes telles que celles existant dans une turbomachine 41 comme illustrée sur la [Fig.6], ou tout autre moteur. Ainsi, lorsqu'un dispositif de mesure 1 équipe une telle turbomachine 41 pour permettre la surveillance d'un espace 42 de ladite turbomachine, tel que la chambre de combustion et les dispositifs voisins soumis, par continuité, à des conditions elles aussi extrêmes, l'ensemble turbomachine 41 et dispositif de mesure 1 forment une installation 40 selon l'invention. De même un tel dispositif de mesure 1 selon l'invention est également parfaitement adapté pour permettre la mesure de pression et/ou de température dans une chaudière sous pression, telle que la cuve d'un réacteur nucléaire.

Revendications

- [Revendication 1] Dispositif de mesure (1) d'une pression et/ou de température, comportant une paroi (10) s'étendant le long d'un axe central (X-X) en l'entourant, la paroi (10) étant fermée à ses extrémités pour délimiter une cavité (15) étanche, le dispositif de mesure (1) comportant, en outre, au moins un organe de mesure (20) de déformation et un calculateur (30), chaque organe de mesure (20) étant configuré pour délivrer un premier signal de mesure représentatif d'une variation d'une première déformation en une première zone de mesure (11) de la paroi (10), et un deuxième signal de mesure représentatif d'une variation d'une deuxième déformation, selon une direction distincte de celle de la première déformation, en une deuxième zone (12) de mesure de la paroi (10), le calculateur (30) étant configuré pour calculer une grandeur de la pression s'appliquant sur la paroi (10) et/ou une grandeur de la température de la paroi (10) uniquement à partir du premier signal de mesure, du deuxième signal de mesure et, de manière optionnelle, d'un ou plusieurs paramètres sélectionnés dans le groupe constitué par une pression hydrostatique initiale, une température initiale s'exerçant dans la cavité (15), une variation d'une pression interne de la cavité (15) et une éventuelle variation d'un effort longitudinal additionnel distinct d'une variation d'un effort longitudinal généré par une variation de pression.
- [Revendication 2] Dispositif de mesure (1) selon la revendication 1, dans lequel la cavité (15) présente un vide au moins primaire.
- [Revendication 3] Dispositif de mesure (1) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel chaque organe de mesure (20) comprend un premier capteur (21) et un deuxième capteur (22), distinct du premier capteur (21), chacun étant fixé à la paroi (10), le premier capteur (21) étant associé à une première direction de mesure définissant un premier angle de mesure (φ_1) avec un plan normal à l'axe central (X-X), le premier capteur (21) étant, en outre, configuré pour délivrer le premier signal de mesure indicatif d'une première grandeur de suivi, la première grandeur de suivi étant telle qu'une variation relative de ladite première grandeur de suivi est représentative de la variation de la première déformation, cette même première déformation étant une dé-

formation locale de la première zone de mesure (11) suivant la première direction de mesure,

le deuxième capteur (22) étant associé à une deuxième direction de mesure définissant un deuxième angle de mesure (φ_2) avec un plan normal à l'axe central (X-X),

le deuxième capteur (22) étant, en outre, configuré pour délivrer le deuxième signal de mesure indicatif d'une deuxième grandeur de suivi, la deuxième grandeur de suivi étant telle qu'une variation relative de ladite deuxième grandeur de suivi est représentative de la variation de la deuxième déformation, cette même deuxième déformation étant une déformation locale de la deuxième zone de mesure (12) suivant la deuxième direction de mesure,

la première zone de mesure (11) et la deuxième zone de mesure (12) étant distinctes.

[Revendication 4] Dispositif de mesure (1) selon la revendication 3, dans lequel le premier capteur (21) et le deuxième capteur (22) sont situés à une même distance d'une surface externe (10A) de la paroi (10), le premier angle de mesure (φ_1) et le deuxième angle de mesure (φ_2) étant, en valeurs absolues, distincts modulo π .

[Revendication 5] Dispositif de mesure (1) selon la revendication 3 ou 4, dans lequel au moins le premier capteur (21) est un capteur fibré comprenant un guide optique dans lequel est gravé un réseau de Bragg, le capteur fibré étant fixé dans une épaisseur de la paroi (10), la première direction de mesure étant définie par une direction de propagation du guide optique, le guide optique étant préférentiellement radialement entouré par une gaine présentant un module d'élasticité inférieur à une fraction prédéterminée d'un module d'élasticité de la paroi (10), le guide d'onde étant alors fixé dans l'épaisseur de la paroi par ladite gaine.

[Revendication 6] Dispositif de mesure (1) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la première zone de mesure (11) et la deuxième zone de mesure (12) sont confondues, chaque organe de mesure (20) comprenant un capteur fibré (21) comportant un segment de fibre optique dans lequel est inscrit un réseau de Bragg, le capteur fibré étant fixé dans la paroi, le capteur fibré étant configuré pour délivrer le premier signal de mesure, indicatif d'une première longueur d'onde d'une lumière réfléchi par le réseau de Bragg, dite première longueur d'onde de Bragg et se propageant suivant un axe ordinaire du segment de fibre

optique, et le deuxième signal de mesure, indicatif d'une deuxième longueur d'onde d'une lumière réfléchiée par le réseau de Bragg, dite deuxième longueur d'onde de Bragg, et se propageant suivant un axe extraordinaire du segment de fibre optique.

[Revendication 7]

Dispositif de mesure (1) selon la revendication 6 dans lequel au moins le premier capteur (21) est un capteur fibré comprenant un guide optique dans lequel est gravé un réseau de Bragg, le premier capteur fibré étant fixé dans une épaisseur de la paroi (10), la première direction de mesure étant définie par une direction de propagation du guide optique, le guide optique étant en contact avec la paroi (10), ou étant radialement entouré par une gaine présentant un module d'élasticité supérieur ou égal à une fraction prédéterminée d'un module d'élasticité de la paroi (10), voire supérieur à ce même module d'élasticité de la paroi (10), le guide d'onde étant alors fixé dans l'épaisseur de la paroi (10) par ladite gaine.

[Revendication 8]

Dispositif de mesure (1) selon la revendication 6 ou 7, dans lequel la paroi (10) présente une forme de cylindre de révolution à bases circulaires fermées, et la grandeur de pression et/ou de température est une variation de pression et/ou de température, le calculateur étant configuré pour calculer la variation de la pression externe selon :

[Math.9]

$$\Delta P_{\text{ext}} = \Delta P_{\text{int}} + \frac{r^2 E (\Delta \Psi_2 - \Delta \Psi_1) (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2)}{r_{0,\text{int}}^2 r_{0,\text{ext}}^2 (2(1+\nu) - 3\kappa_e - \kappa_p E) (2 - \cos^2(\phi))} + \frac{r^2 \cos^2(\phi)}{\pi r_{0,\text{int}}^2 r_{0,\text{ext}}^2 (2 - \cos^2(\phi))} \delta F$$

et/ou la variation de la température selon :

[Math.10]

$$\Delta T = \frac{1}{2\kappa_f} \left(\Delta \Psi_1 + \Delta \Psi_2 - 2\kappa_p E \left(\frac{\Delta P_{\text{int}}}{E} + \frac{r^2 (\Delta \Psi_2 - \Delta \Psi_1)}{2r_{0,\text{int}}^2 (2(1+\nu) - 3\kappa_e - \kappa_p E)} \left(1 + \frac{\kappa_p E (r^2 - r_{0,\text{int}}^2) - 3\kappa_e r_{0,\text{int}}^2}{\kappa_p E r^2 (2 - \cos^2(\phi))} \cos^2(\phi) \right) \right) \right. \\ \left. + \frac{4\kappa_e r_{0,\text{int}}^2 \cos(2\phi) - 2\kappa_p E (r^2 - r_{0,\text{int}}^2) \cos^2(\phi)}{\pi r_{0,\text{int}}^2 E (r_{0,\text{ext}}^2 - r_{0,\text{int}}^2) (2 - \cos^2(\phi))} \delta F \right)$$

où ΔP_{ext} est la variation de la pression externe ;

ΔT est la variation de la température de la paroi (10) ;

$\Delta \Psi_1$ et $\Delta \Psi_2$ sont respectivement la variation relative de la première longueur d'onde de Bragg du réseau de Bragg et la variation relative de la deuxième longueur d'onde de Bragg du réseau de Bragg, le réseau de Bragg présentant une double résonance fondamentale en raison de la biréfringence ;

$r_{0,ext}$ est un rayon externe de la paroi ;

$r_{0,int}$ est un rayon interne de la paroi ;

r est une distance du segment de fibre optique par rapport à l'axe central ;

E et ν sont respectivement le module d'Young et le coefficient de Poisson du matériau dans lequel est réalisée la paroi ;

ϕ est un angle de mesure défini entre une direction de mesure du capteur fibré et un plan normal à l'axe central (X-X) ;

κ_e est une sensibilité mécanique des capteurs, égale à un coefficient de proportionnalité entre une variation relative de la grandeur de suivi correspondante et une variation de déformation mécanique ;

κ_p est une sensibilité en pression du capteur fibré, égale à un coefficient de proportionnalité entre une variation relative de l'une de la première longueur d'onde de Bragg et la deuxième longueur d'onde de Bragg, et une variation de pression appliquée au capteur fibré, le réseau de Bragg présentant une double résonance fondamentale en raison de la biréfringence ;

κ_T est une sensibilité en température du capteur fibré, égale à un coefficient de proportionnalité entre une variation relative de l'une de la première longueur d'onde de Bragg et la deuxième longueur d'onde de Bragg, et une variation de température appliquée au capteur fibré ; et δF est la variation d'un effort longitudinal exercé selon l'axe central (X-X) sur la paroi (10), distinct d'une variation d'un effort longitudinal exercé par la variation de pression interne ou la variation de pression externe.

[Revendication 9] Dispositif de mesure (1) selon l'une quelconque des revendications 3 à 7, dans lequel le premier capteur (21) est placé, relativement à l'axe central (X-X), à une coordonnée angulaire pour laquelle une distance entre une surface externe (10A) de la paroi et l'axe central (X-X) est maximale.

[Revendication 10] Dispositif de mesure (1) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la paroi (10) est un guide optique cylindrique creux fermé à ses extrémités, chaque organe de mesure (20) comprenant un réseau de Bragg inscrit dans un segment du guide optique creux, chaque organe de mesure (20) étant configuré pour délivrer le premier signal de mesure, indicatif d'une première longueur d'onde d'une lumière réfléchiée par le réseau de Bragg, et se propageant suivant l'un parmi un axe ordinaire et un axe extraordinaire du segment de guide

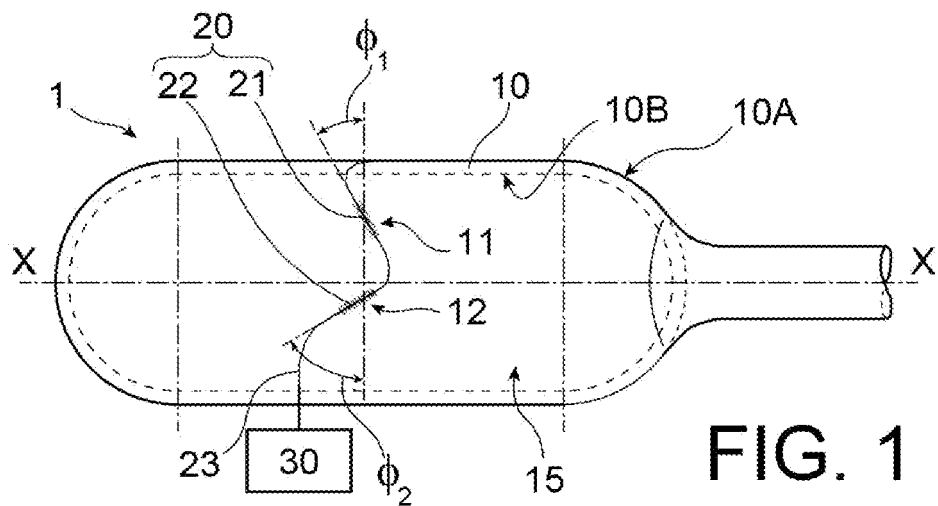
optique creux.

- [Revendication 11] Dispositif de mesure (21) selon la revendication 10, dans lequel chaque organe de mesure (20) comprend, en outre, un guide optique secondaire agencé dans la cavité (15) du guide optique creux en étant fixé à ce dernier, et s'étendant parallèlement à l'axe central (X-X), chaque organe de mesure (20) étant également configuré pour délivrer le deuxième signal de mesure, indicatif d'une deuxième longueur d'onde d'une lumière réfléchi par le réseau de Bragg du guide optique secondaire.
- [Revendication 12] Dispositif de mesure (1) selon la revendication 10, dans lequel chaque organe est en outre configuré pour délivrer le deuxième signal de mesure, indicatif d'une deuxième longueur d'onde d'une lumière réfléchi par le réseau de Bragg, et se propageant suivant l'autre parmi un axe ordinaire et un axe extraordinaire du segment de guide optique creux.
- [Revendication 13] Installation (40) comprenant :
- un élément (41) présentant un espace (42) dont la pression et/ou la température sont à surveiller,
 - un dispositif de mesure (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, la paroi (10) aux extrémités fermées étant logée dans l'espace de manière à permettre une mesure d'une grandeur de pression et/ou de température s'exerçant dans l'espace.
- [Revendication 14] Installation (40) selon la revendication 13, dans laquelle l'élément (41) est sélectionné parmi un moteur, tel qu'une turbomachine, et une chaudière sous pression, telle que la cuve d'un réacteur nucléaire.
- [Revendication 15] Procédé de mesure d'une variation de pression et/ou de température au moyen d'une paroi (10) s'étendant le long d'un axe central en l'entourant, la paroi (10) étant fermée à ses extrémités pour délimiter une cavité (15) étanche, et d'un organe de mesure (20) configuré pour délivrer un premier signal de mesure représentatif d'une variation d'une première déformation en une première zone de mesure (11) de la paroi (10), et un deuxième signal de mesure représentatif d'une variation d'une deuxième déformation, selon une direction distincte de celle de la première déformation, en une deuxième zone de mesure (12) de la paroi (10),
- le procédé comprenant les étapes suivantes :
- mesure du premier et du deuxième signal de mesure à partir de l'organe de mesure (20), et éventuellement un ou plusieurs paramètres

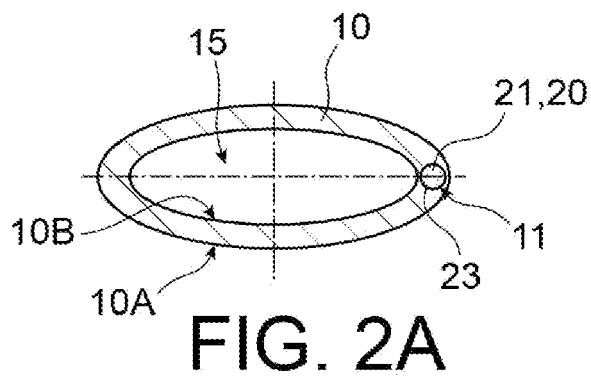
sélectionnés dans le groupe constitué d'une pression hydrostatique initiale, d'une température initiale s'exerçant dans la cavité (15), d'une variation d'une pression interne de la cavité (15) et d'une éventuelle variation d'un effort longitudinal additionnel distinct d'une variation d'un effort longitudinal généré par une variation de pression,

- calcul de la variation de la pression s'appliquant sur la paroi et/ou la variation de la température au niveau de la paroi (10) uniquement à partir du premier signal de mesure, du deuxième signal de mesure et éventuellement de l'un ou plusieurs paramètres mesurés qui ont été sélectionnés dans le groupe constitué d'une pression hydrostatique initiale, d'une température initiale s'exerçant dans la cavité (15), une variation d'une pression interne de la cavité (15) et une éventuelle variation d'un effort longitudinal additionnel distinct d'une variation d'un effort longitudinal généré par une variation de pression.

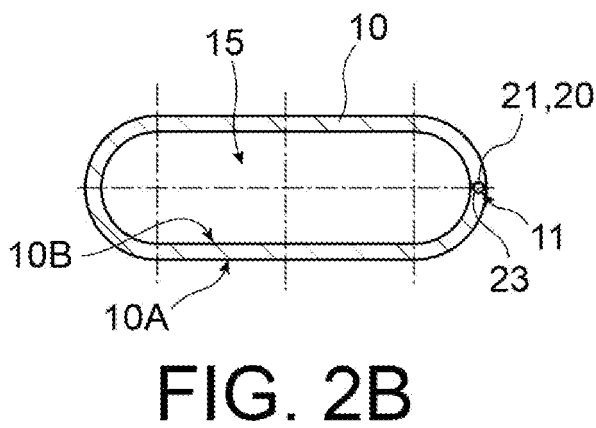
[Fig. 1]



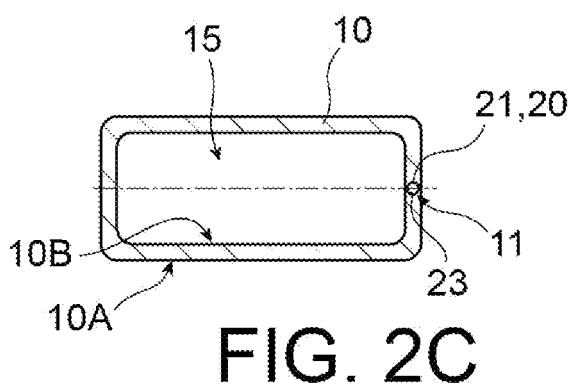
[Fig. 2A]



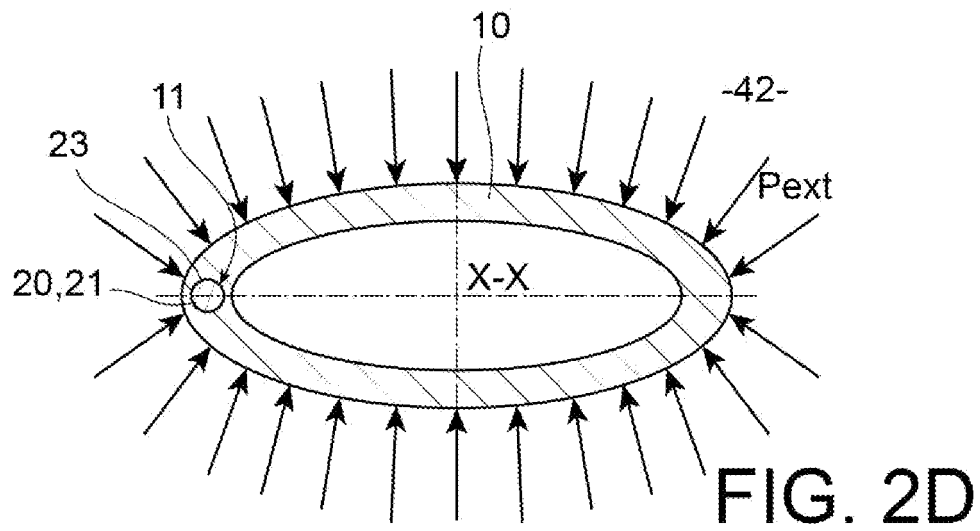
[Fig. 2B]



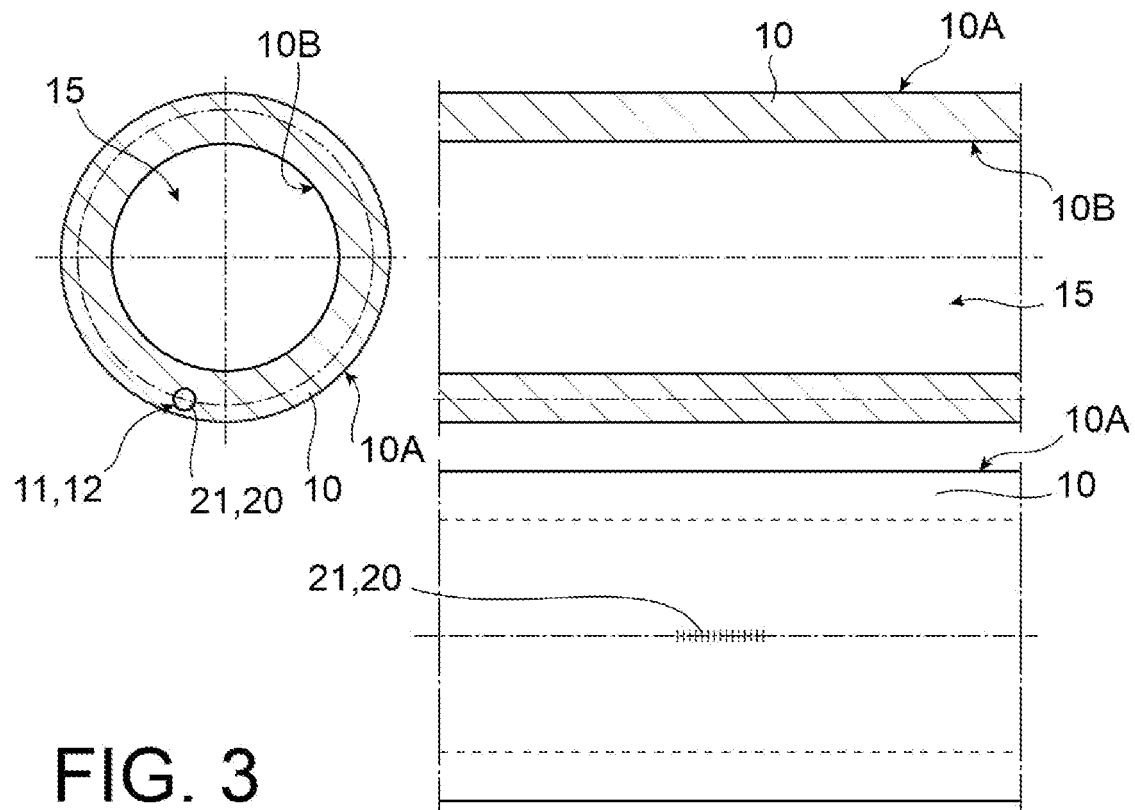
[Fig. 2C]



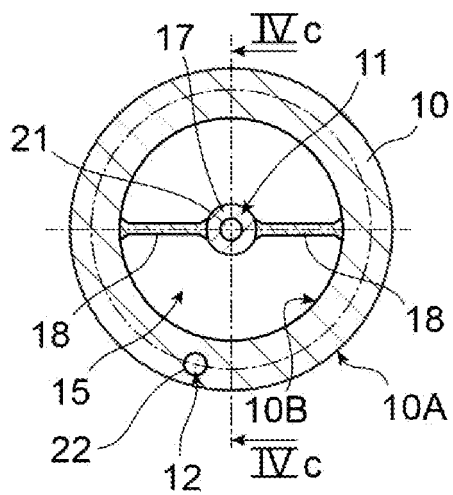
[Fig. 2D]



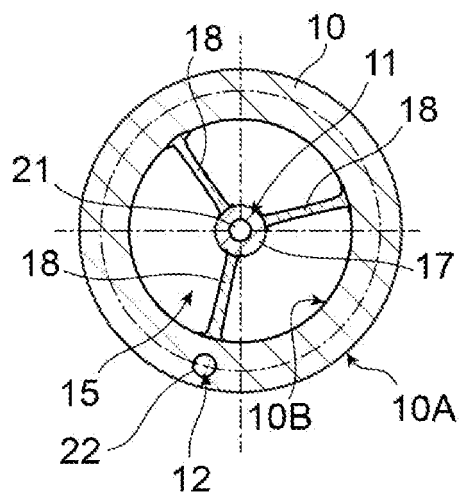
[Fig. 3]



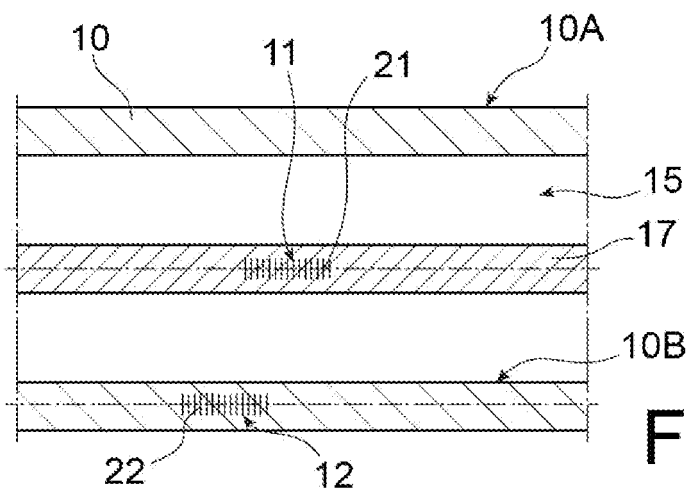
[Fig. 4A]

**FIG. 4A**

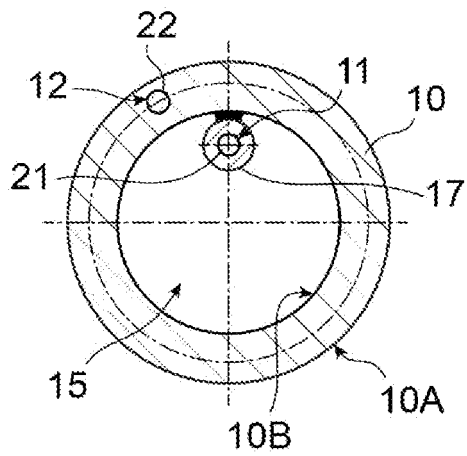
[Fig. 4B]

**FIG. 4B**

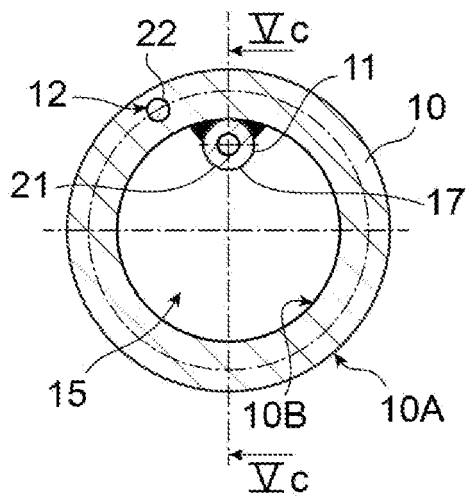
[Fig. 4C]

**FIG. 4C**

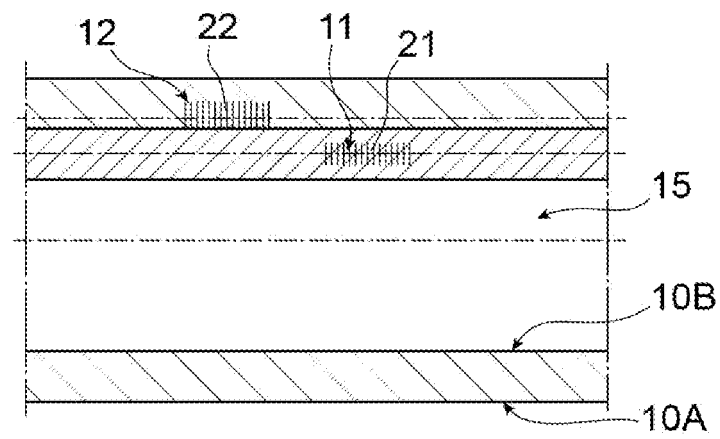
[Fig. 5A]

**FIG. 5A**

[Fig. 5B]

**FIG. 5B**

[Fig. 5C]

**FIG. 5C**

[Fig. 6]

40

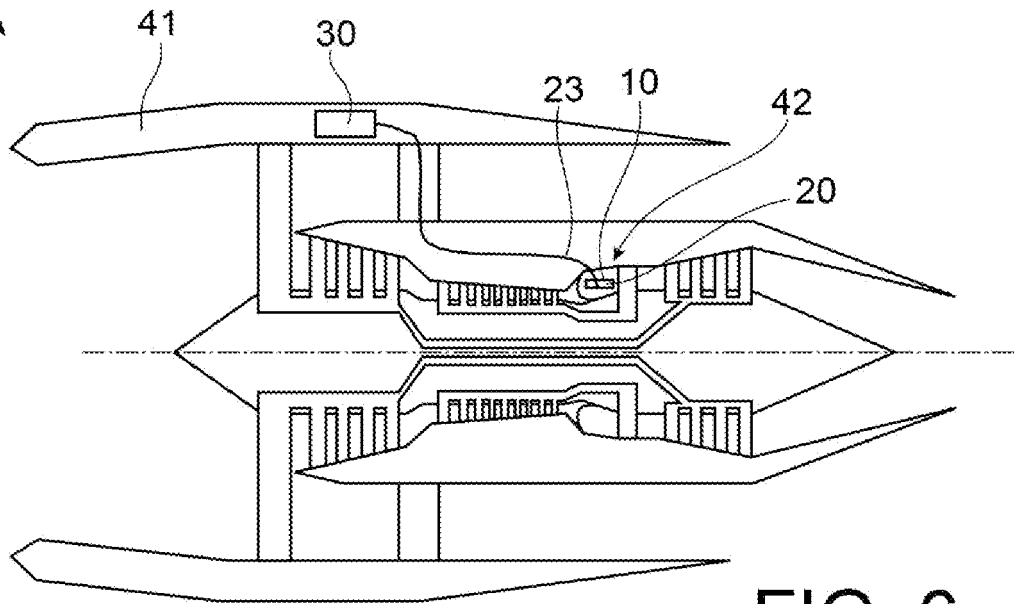


FIG. 6

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 898591
FR 2108268

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 6 233 746 B1 (SKINNER NEAL G [US])	1,15	G01L11/02
Y	22 mai 2001 (2001-05-22)	11,12	
X	* colonne 4, ligne 26 - colonne 6, ligne 27; figure 3 *	11,12	
Y	-----	11,12	
X	US 2018/172536 A1 (ADAMS CHRISTIAN [US] ET AL) 21 juin 2018 (2018-06-21)	1-10, 13-15	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01L G01D E21B G01W G01K
Y	* alinéas [0063] - [0080]; figure 3 *	11,12	
X	-----	11,12	
Y	-----	11,12	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
16 mars 2022		Debesset, Sébastien	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
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		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2108268 FA 898591**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **16-03-2022**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6233746	B1	22-05-2001	AUCUN
US 2018172536	A1	21-06-2018	EP 3311130 A1 25-04-2018
		JP 2018517908 A	05-07-2018
		US 2018172536 A1	21-06-2018
		WO 2016205269 A1	22-12-2016