

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication : **2 632 404**  
(à utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **88 07389**

⑤1 Int Cl<sup>4</sup> : G 01 J 9/02, 3/453.

①2

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 3 juin 1988.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPi « Brevets » n° 49 du 8 décembre 1989.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *SOCIETE NATIONALE ELF AQUITAINE  
PRODUCTION, Société anonyme. — FR.*

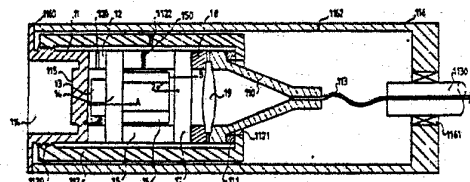
⑦2 Inventeur(s) : Philippe Jouve ; François-Marie Robert ;  
Jacques Pouleau ; Xavier Desforges.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Yves Debay.

⑤4 Capteur interférométrique et son utilisation dans un dispositif interférométrique.

⑤7 La présente invention concerne un capteur interférométrique double, série ou parallèle, et son utilisation dans un dispositif interférométrique. Le capteur est caractérisé en ce qu'il comporte deux interféromètres en parallèle utilisant des faisceaux de lumière concentriques issus d'une fibre optique placée au foyer d'une lentille collimatrice, le premier interféromètre utilisant un faisceau central A comporte une membrane déformable 115 dont la déformation est sensible à la pression et à la température qui font varier sa position par rapport à l'une des faces d'une première lame 13 de verre à faces parallèles en fonction de ces deux paramètres, le deuxième interféromètre utilisant le faisceau extérieur B dans lequel la distance entre deux faces de deux lames de verre à faces parallèles 16, 17 maintenue entre une entretoise cylindrique 15 varie en fonction des coefficients de dilatation différents de chacune de deux lames 16, 15, une lentille collimatrice des deux faisceaux de lumière en direction d'une fibre optique 113, ces deux faisceaux optiques ayant deux différences de marche différentes créant chacun un spectre cannelé de la source, chaque spectre se recombinant en s'additionnant vers la fibre optique 113.



FR 2 632 404 - A1

D

CAPTEUR INTERFEROMETRIQUE ET SON UTILISATION  
DANS UN DISPOSITIF INTERFEROMETRIQUE

La présente invention concerne un capteur interférométrique double, série ou parallèle, et son utilisation dans un dispositif optique interférométrique pour déterminer en un ou plusieurs points une ou plusieurs  
5 grandeurs physiques, telles que la pression et la température, pouvant se traduire sur des capteurs interférométriques à deux ondes en terme de différence de trajets optiques.

Les besoins industriels en matière de capteurs  
10 tout optique sont énormes et l'arrivée sur le marché de fibres optiques industriellement fiables pour conduire des faisceaux lumineux sur de longues distances a permis d'envisager la réalisation de capteurs optiques industriels permettant de répondre à un certain nombres d'impératifs  
15 particulièrement sensibles en milieu pétrolier : mesures à longues distances, sécurité intrinsèque, faible volume, insensibilité aux perturbations électromagnétiques et possibilité de multiplexage.

Un tel capteur présente l'avantage de pouvoir  
20 effectuer des mesures précises de température et de pression à distance notamment dans un puits de production d'hydrocarbures ou géothermiques.

Un premier but est de proposer un capteur interférométrique dans lequel les spectres cannelés liés  
25 aux variations de température et de pression s'additionnent.

Ce premier but est atteint par le fait que le capteur interférométrique comporte deux interféromètres en parallèle utilisant des faisceaux de lumière concentriques  
30 issus d'une fibre optique placée au foyer d'une lentille collimatrice. Un premier interféromètre utilisant le

faisceau central comporte une membrane déformable dont la déformation est sensible à la pression et à la température qui font varier sa position par rapport à l'une des faces d'une lame de verre à faces parallèles. Un deuxième  
5 interféromètre utilisant le faisceau extérieur dans lequel la distance entre deux faces de lames de verre à faces parallèles varie en fonction de la dilatation différente de chacune des deux lames. Une lentille collimatrice collecte les deux faisceaux de lumière en direction d'une fibre  
10 optique.

Un deuxième but de l'invention est de proposer un capteur interférométrique dans lequel les spectres cannelés liés aux variations de pression et de température se multiplient.

15 Ce but est atteint par le fait que le capteur interférométrique comporte un premier et deuxième interféromètres en série, le premier interféromètre étant constitué d'une membrane déformable dont la déformation est sensible à la pression et à la température qui font varier  
20 sa position par rapport à l'une des faces d'une lame de verre à faces parallèles, de façon à obtenir un spectre cannelé. Le second interféromètre placé sur le trajet lumineux est constitué par un polariseur, une lame bi-réfringente et la réflexion sur le premier interféromètre.  
25 La bi-réfringence varie en fonction de la température et modifie le spectre cannelé obtenu par le premier interféromètre.

Un troisième but est de proposer une utilisation d'un tel capteur dans un dispositif optique  
30 interférométrique.

Dans un dispositif particulier connu, le faisceau lumineux émis par une source lumineuse est conduit par fibre optique jusqu'à un premier interféromètre à 2 ondes fonctionnant par exemple selon le principe de  
35 Michelson ; ce faisceau lumineux incident y est divisé, par un système séparateur constitué par une lame semi-réfléchissante, en deux sous-faisceaux dont l'un est

réfléchi par un miroir fixe, tandis que l'autre est réfléchi par un miroir mobile dont la position varie ; ces deux sous-faisceaux, après réflexion, sont recombinaés au niveau du système séparateur et interfèrent pour donner un flux global, lequel flux global présente un spectre comportant un certain nombre de cannelures dans une bande spectrale donnée. La position de ces cannelures est caractéristique de la différence  $D_c$  des trajets optiques suivis par les sous-faisceaux correspondant aux deux miroirs, laquelle différence est liée à la position du miroir mobile : ce flux est amené par fibre optique jusqu'à un deuxième interféromètre, qui joue le rôle d'interféromètre de mesure. L'interféromètre de mesure comporte lui aussi deux miroirs, dont l'un est mobile par rapport à l'autre, et un système séparateur constitué par une lame semi-réfléchissante qui divise la lumière en deux sous-faisceaux ; ceux-ci sont dirigés vers les deux miroirs sur lesquels ils se réfléchissent, puis recombinaés au niveau du système séparateur.

L'intensité lumineuse du flux de sortie issu de l'interféromètre de mesure après recombinaison des deux sous-faisceaux, traduit le degré de corrélation entre les réponses optiques de chacun des interféromètres de détection et de mesure. Dans l'interféromètre de mesure, le miroir mobile est déplacé mécaniquement jusqu'à déceler le maximum d'intensité du flux de sortie, lequel maximum témoigne de l'égalité des deux différences de trajets optiques dans les deux interféromètres. La position du miroir mobile de l'interféromètre de mesure correspondant à ce maximum permet ainsi de déterminer la différence de trajet optique de l'interféromètre de détection.

Le brevet américain US 4 596 466 décrit largement une telle réalisation. On peut y relever une possibilité de remplacer les interféromètres de Michelson par des interféromètres de Fabry-Pérot, constitués de deux miroirs parallèles partiellement transparents placés entre deux lentilles aux extrémités de deux fibres optiques.

Dans les dispositifs connus utilisant un tel interféromètre de mesure, les systèmes utilisés pour déplacer et connaître le déplacement du miroir mobile sont de deux types. Dans un premier type de systèmes le déplacement est connu car on déplace mécaniquement le miroir mobile de l'interféromètre de mesure sur une glissière à billes ou à rouleaux croisés. Outre les problèmes d'encombrement, il existe des problèmes de frottement, de jeu mécanique qui font qu'une précision meilleure que 0,1 micron est difficilement accessible. Or, pour des déplacements faibles du miroir, par exemple 10 microns d'amplitude totale, si l'on veut une grande dynamique de mesure, par exemple de  $10^3$  points, il est nécessaire que la sensibilité de mesure de la position du miroir de l'interféromètre soit meilleure que  $10^{-2}$  microns.

Dans un deuxième type de systèmes le déplacement est inconnu mais on mesure celui-ci par interférométrie laser sur un interféromètre de mesure, identique à l'interféromètre de détection. La sensibilité sur la mesure de déplacement est fonction des caractéristiques spectrales du laser et peut être nettement meilleure que 0,1 micron, mais la position des franges n'est connue que de manière relative : la mesure nécessite une surveillance continue et sans interruption possible depuis la position du miroir correspondant à une différence de trajet optique nulle jusqu'au déplacement recherché.

Dans d'autres dispositifs connus encore, les déterminations de la variation de la différence des trajets optiques  $D_c$  de l'interféromètre de détection ne se fait pas à l'aide d'un interféromètre de mesure mais en effectuant l'analyse spectrale du flux issu de l'interféromètre de détection et en prenant la Transformée de Fourier. Cette analyse spectrale permet d'obtenir la fréquence des franges ainsi que leur phase et de remonter à la valeur absolue de  $D_c$ . Cette méthode nécessite un matériel de spectrophotométrie pour l'analyse du spectre cannelé, par exemple un monochromateur à réseau, une barrette de diodes

et un logiciel dont les algorithmes sont connus mais lourds pour la Transformée de Fourier. D'autre part sa sensibilité n'est pas suffisante compte tenu de l'atténuation que nous allons avoir dans la grande longueur de fibre utilisée, par exemple 6 km aller et retour, pour un puits de production. La précision de ces dispositifs, qui peut atteindre  $10^{-3}$  microns, est fonction de l'échantillonnage réalisé sur le spectre, donc de la résolution du spectro-photomètre.

L'invention, en retenant le principe d'analyse à l'aide d'un interféromètre de mesure permet tout en conservant les avantages des dispositifs de l'art antérieur, d'en éliminer les inconvénients, notamment les problèmes liés à l'encombrement et à la précision.

Le dispositif proposé selon l'invention évite notamment l'emploi de pièces mobiles difficiles à régler et n'implique aucune pièce lourde mécanique en mouvement qui augmente le temps nécessaire aux mesures, supprime les risques de mauvais fonctionnement, supprime les problèmes de dérive de grandeurs de référence rencontrés sur les appareils antérieurs avec analyse interférométrique, ainsi que les frottements mécaniques qui limitent la sensibilité.

Le dispositif proposé est simple, robuste, d'encombrement réduit, ne pose pas de problème de reproductibilité de mesure. En plus il permet d'envisager une analyse rapide et fiable, avec une précision égale, de spectres cannelés mélangés correspondant à des différences de chemins optiques différentes  $D_{c1}$  et  $D_{c2}$  ou encore l'analyse de plusieurs spectres issus d'interféromètres de détection différents ayant des différences de chemins optiques voisines mais analysées séquentiellement. Ce dispositif permet donc l'analyse d'informations provenant d'ensembles de capteurs interférométriques caractérisés par des différences de trajet optiques  $D_c$  différentes, chacune traduisant des grandeurs physiques différentes ou non. Le dispositif proposé permet de réaliser une mesure absolue des différences de trajets optiques  $D_c$  sur l'interféromètre de mesure.

Ce troisième but est atteint par le fait que le dispositif optique interférométrique pour la mesure de grandeurs physiques multiples susceptibles de créer des variations de différence de chemins optiques, comportant :

- 5           1 - un dispositif émetteur (a) émettant un flux lumineux à bande spectrale large;
- 2 - un ensemble détecteur (c) comprenant au moins un capteur double constitué de deux interféromètres en série ou en parallèle créant un spectre cannelé  
10 composite des différences de marches  $D_{c1}$  et  $D_{c2}$ ;
- 3 - un ensemble (b) de fibres optiques et coupleurs (3) comportant une branche (x,y) pour véhiculer le flux lumineux du dispositif émetteur (a) à l'ensemble  
15 détecteur (c) et une branche (y,z) pour véhiculer par retour inverse de la lumière le flux lumineux réfléchi par l'ensemble détecteur ;
- 4 - un dispositif d'analyse (d) pour analyser les informations portées par le flux lumineux issu de l'ensemble détecteur et élaborer une valeur représentative  
20 de la grandeur physique mesurée, lequel dispositif d'analyse comprend :
  - 4a - un interféromètre de mesure à deux ondes comprenant un collimateur d'entrée (10) éclairé par l'extrémité (z) de la fibre optique, un miroir de référence  
25 M1 (16) sur lequel se réfléchit une partie du flux lumineux collimaté fourni par le capteur double et un second miroir M2 (12) sur lequel se réfléchit l'autre partie dudit flux lumineux collimaté, et des moyens pour faire interférer les deux flux réfléchis sur les miroirs M1 et M2 et donner à la  
30 sortie un flux lumineux résultant;
  - 4b - un détecteur photoélectrique (14) apte à mesurer l'intensité du flux lumineux issu de l'interféromètre de mesure et à fournir un signal représentatif de ladite intensité; et
- 35           5 - un ensemble de traitement (e) du signal issu du détecteur photoélectrique fournissant une valeur représentative de la grandeur physique ,

est caractérisé en ce que le miroir M2 de l'interféromètre de mesure est fixé sur un micropositionneur-mesureur piézoélectrique (15) pour déplacer finement le miroir M2 et mesurer précisément le déplacement correspondant, et en ce que l'ensemble de traitement est relié non seulement au détecteur photoélectrique mais également au micropositionneur-mesureur pour piloter et déterminer la position absolue du miroir M2 correspondant au maximum d'intensité lumineuse reçue sur le détecteur photoélectrique et en déduire les valeurs  $D_{C1}$  et  $D_{C2}$  nécessaires à l'élaboration de la ou des grandeurs physiques recherchées.

Selon une caractéristique secondaire le miroir M1 de référence de l'interféromètre de mesure est équipé de moyens permettant de faire varier le trajet optique d'une valeur connue. Ceci peut être nécessaire pour ramener les différences de chemin optique  $D_{C1}$  et  $D_{C2}$  dans la plage de déplacement du micropositionneur-mesureur.

Ce décalage peut être obtenu par l'interposition de lames transparentes à différence de chemin optique connue, devant les miroirs fixe et mobile de l'interféromètre de mesure. Une lame de verre d'épaisseur  $E$ , transparente dans le domaine spectral de la source lumineuse, crée une différence de chemin optique  $D = (n-1)E$ ,  $n$  étant l'indice de réfraction de la lame. Deux lames, ou deux jeux de lames d'épaisseurs respectives  $E_i$  et  $E_j$  placées respectivement devant les miroirs fixe et mobile créeront une différence de chemin optique  $D$  fonction de la différence d'épaisseur  $E$  entre ces deux lames ou jeux de lames. Un empilement de deux ou plusieurs micropositionneurs-mesureurs peut également réaliser ce décalage sans pour autant modifier la résolution de mesure.

Dans le dispositif optique interférométrique selon l'invention les fibres optiques utilisées permettront de travailler en lumière blanche, c'est-à-dire avec des spectres à bande large.

Des cannelures apparaissent dans le spectre d'une source à bande large lorsque certaines longueurs d'onde sont éteintes dans ce spectre. Ces longueurs d'onde correspondent à des interférences destructives dans un interféromètre constituant le capteur qui pourra être réalisé par variation d'indice en lumière blanche ou polarisée, ou par variation de distance entre deux surfaces partiellement réfléchissantes l'une de référence, l'autre dont la position est sensible à la grandeur physique à mesurer. Les grandeurs physiques à mesurer, pression, température, force ou déplacement se traduiront alors en variation de différence de chemin optique : mesure de déplacement d'une surface mobile ou variation de chemin optique par biréfringence. Dans ces cas la différence de chemin optique caractérisant la grandeur physique à mesurer au niveau de l'interféromètre capteur est  $D_c = 2e$  où  $e$  est la différence de position entre la surface réfléchissante fixe de référence et la position de la surface réfléchissante mobile soumise à la grandeur physique à mesurer ou  $D_c = 2(n_o - n_e)e$  dans le cas où l'élément sensible est une lame biréfringente d'épaisseur  $e$  traversée deux fois.

L'interféromètre de mesure du dispositif d'analyse du flux issu du capteur est constitué par un interféromètre à deux ondes de type Michelson par exemple comportant deux miroirs dont l'un est déplacé par une céramique piézoélectrique constituant le micropositionneur-mesureur utilisant l'effet piézoélectrique inverse et qui permet de connaître la différence de marche de l'interféromètre de mesure de manière absolue. Dans la tête de la céramique piézoélectrique est intégré un capteur de déplacement travaillant en boucle fermée et qui permet ainsi d'éliminer les phénomènes d'hystérésis, de non linéarité et l'influence de la température.

En fonction de ces avantages l'invention trouve un domaine d'application privilégié dans la mesure de la même grandeur physique, par exemple la pression, en des

points multiples (on a alors un réseau de capteurs optiques de pression) ou à la mesure de grandeurs physiques différentes en un même point.

Selon une forme de réalisation préférentielle du dispositif optique interférométrique pour la mesure d'une grandeur physique dite principale selon l'invention, le capteur double de détection utilise deux interféromètres dont l'un mesure la grandeur physique principale et l'autre une grandeur d'influence nécessaire à la correction de la grandeur physique principale.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description ci-après faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

15 - la figure 1 représente une vue en coupe d'un capteur interférométrique double parallèle selon l'invention;

- la figure 2 représente une vue en coupe d'un capteur interférométrique double série selon l'invention.

20 - la figure 3 illustre schématiquement la constitution d'ensemble du dispositif;

- la figure 4 représente une forme de réalisation concrète du concentrateur ;

25 - la figure 5 représente le signal délivré par le photodétecteur qui est la fonction d'intercorrélation des interféromètres du capteur d'un seul interféromètre et de mesure dans le cas d'une source de lumière à une seule diode électroluminescente aux alentours de  $D_c$  ;

30 - la figure 6 représente le signal délivré par le photodétecteur qui est la fonction d'intercorrélation des interféromètres du capteur et de mesure dans le cas d'une source de lumière à deux diodes électroluminescentes différentes ;

35 - la figure 7 représente un mode de réalisation d'une source lumineuse à double spectre ;

- la figure 8 représente une variante de dispositif interférométrique multicapteur à source lumineuse commutée ;
  - la figure 9 représente une variante de 5 dispositif interférométrique multicapteur à source lumineuse et à analyseur unique ;
  - la figure 10 représente un dispositif multi-analyseur.
  - la figure 11 représente la fonction 10 d'intercorrélation à partir de  $D_M = 0$  dans les mêmes conditions que celles de la figure 5;
  - la figure 12 représente la fonction d'intercorrélation dans le cas d'un capteur double  $D_{C1}$  et  $D_{C2}$  et une diode électroluminescente.
- 15 Le capteur interférométrique double dit "capteur parallèle", figure 1, est constitué d'une bague de serrage (112) de forme cylindrique creuse dans laquelle vient se visser à son extrémité (1120) une bague cylindrique (11) formant un trou borgne (114), ce trou 20 borgne est obturé par une face plane (115) constituée par une membrane métallique déformable en fonction de la pression et de la température à laquelle est porté, d'une façon homogène, l'ensemble du capteur. Cette membrane appuie sur son pourtour sur une bague d'entretoise (12) 25 d'épaisseur (E2) et en verre de coefficient de dilatation ( $\alpha_1$ ). Sur cette bague cylindrique d'entretoise (12) est adhérente une lame à faces parallèles constituée par un même verre de coefficient de dilatation ( $\alpha_1$ ) formant une lame à faces parallèles (14). Sur la face tournée vers la membrane 30 déformable (115), est adhérente une lame à faces parallèles constituée par un même verre de coefficient de dilatation ( $\alpha_1$ ), cette lame (13) ayant une épaisseur (E3). Une deuxième lame à faces parallèles (17), constituée par un verre de coefficient de dilatation ( $\alpha_2$ ) est placée à une distance 35 (E5) par une entretoise cylindrique (15) constituée par du verre ayant un même coefficient de dilatation ( $\alpha_2$ ). Dans l'intérieur du cylindre (15) se trouve un deuxième cylindre

(16) également creux et ayant une épaisseur (E6) inférieure à (E5). Le diamètre interne de ce cylindre creux (16) correspond approximativement au diamètre externe de la lame à faces parallèles (13). Ce cylindre (16) est constitué  
5 dans un premier verre de coefficient de dilatation ( $\alpha_1$ ) et est adhérent sur la lame (14). Sur la deuxième lame (17) est adhérente une dernière entretoise (18) de montage d'une lentille collimatrice (19). Sur les bords de cette lentille collimatrice (19) repose également la base d'une pièce de  
10 révolution (110) dont le sommet sert de support pour une fibre de transmission de lumière (113) dont l'extrémité est placée au foyer de la lentille collimatrice. Enfin un ensemble de rondelles élastiques (111) appuyant d'une part sur la face externe de la pièce (110), d'autre part sur  
15 l'épaulement délimitant l'ouverture centrale (1121) dans la bague de serrage (112), permet de maintenir les différents éléments adhérents entre eux. Une enveloppe (116) extérieure à la bague de serrage (112) qui assure l'isolement du capteur à l'environnement est fixée de manière étanche sur  
20 la bague membrane (11), par exemple par un cordon de soudure (1160) et assure de plus l'étanchéité, par une bague d'étanchéité (1161) sur le câble (1130) qui contient la fibre optique (113). De façon à créer le vide à l'origine dans l'ensemble du capteur on prévoit les  
25 orifices (120, 150 et 1122) et l'orifice (1162) de l'enveloppe extérieure (116) qui est rebouché une fois le vide créé. A l'extérieur de (116) règnent la pression et la température du puits de production. En fonctionnement le capteur a sa membrane (115) soumise à la pression et à la  
30 température du puits de production et sous l'action de ces deux paramètres la membrane se déplace de façon à faire varier la distance e égale à la différence des épaisseurs (E3) et (E2), des lames respectives (13) et (12). Cette distance (e) variant, le faisceau lumineux qui passe dans  
35 le premier interféromètre au voisinage de l'axe de symétrie du capteur selon le trajet (A) voit ses cannelures se modifier en fonction du déplacement de la membrane (115).

Par contre le faisceau lumineux annulaire passant dans le deuxième interféromètre selon le trajet représenté par la flèche (B) parcourt la distance ( $e'$ ) séparant l'élément (16) de l'élément (17). Cette distance varie en fonction de la température et du fait de la différence des coefficients de dilatation ( $\alpha_1$ ) et ( $\alpha_2$ ) respectifs de ces éléments. Par conséquent, le faisceau lumineux selon le trajet B aura ses cannelures modifiées en fonction de cette variation. La lumière issue des deux interféromètres est mélangée à l'entrée de la fibre (113) et comporte des cannelures représentatives des distances  $2e$  et  $2e'$  parcourues. La différence de marche  $2e$  du premier interféromètre, à titre d'exemple, est de 300 microns et celle  $2e'$  du second interféromètre de 400 microns. L'exploitation de ces cannelures dues à  $2e$  et  $2e'$  prenant en compte à la fois les variations de pression et de température sera effectuée par le circuit décrit ultérieurement. Dans la réalisation de la figure 1 les éléments (12, 13, 14 et 16) sont adhésés entre eux et les éléments (15, 17) sont également adhésés entre eux. La jonction entre l'élément (15) et l'élément (14) n'est pas collée de façon à permettre aux différentes dilatations de se développer.

Dans une variante de réalisation du capteur, on peut avoir le cylindre (16) adhésé sur la lame (17). Dans cette variante la deuxième lame (17) et le deuxième cylindre (16) auront même coefficient de dilatation ( $\alpha_2$ ), tandis que l'entretoise cylindrique (15) aura un coefficient de dilatation ( $\alpha_1$ )

La figure 2 décrit un deuxième type de capteur interférométrique double dit "capteur série" dans lequel on retrouve la bague de serrage (214) et la membrane déformable (21) avec sa face (215). Le premier interféromètre de ce capteur est également constitué par la coopération de la face (215) avec la lame à faces parallèles (23), la lame (24) et l'entretoise (22). Ces éléments se comportent de la même façon que les éléments ayant les références (11, 12, 13, 14). Un deuxième

interféromètre constitué par l'empilement d'une entretoise (28), d'un polariseur (27), d'une entretoise (28), d'un cristal biréfringent (26) d'épaisseur (E6), par exemple en niobate de lithium ( $\text{LiNbO}_3$ ) dont la biréfringence dépend de la température. Ce second interféromètre est générateur d'un spectre cannelé dont les cannelures varient en fonction de la température. Cet empilement est contenu dans l'entretoise cylindrique creuse (25) et fermé aux deux extrémités par les lames à faces parallèles et adhérentes (24) et (29). Enfin le capteur se termine par une entretoise (210) de montage supportant une lentille collimatrice (211) et un support (212) de fibre optique, comme dans la réalisation précédente. Le capteur comporte également des rondelles élastiques (216) permettant d'appuyer l'ensemble sur les bords de la membrane déformable (21). L'objet des entretoises élastiques (28) est de compenser les variations d'épaisseur de la somme des pièces (26) et (27) due à la température par rapport aux variations de dilatation de la pièce (25). Comme dans le premier type de capteur, des orifices (220, 250, 2140, 1162) sont aménagés dans les différentes pièces afin de pouvoir créer le vide à l'origine après avoir monté une enveloppe extérieure (116) et assuré l'étanchéité sur le câble (1130) contenant la fibre optique (213). Dans le cas de ce capteur le spectre cannelé, créé par le passage successif du faisceau lumineux collimaté dans le deuxième interféromètre, puis le premier interféromètre, puis après réflexion à nouveau dans le deuxième interféromètre, est focalisé par la lentille collimatrice (211) sur la fibre optique (213). Par conséquent le faisceau lumineux sortant du capteur a un spectre constitué du produit des spectres cannelés générés par chacun des deux interféromètres suite aux variations de pression et température sur la membrane (215) et aux variations de température modifiant la biréfringence et l'épaisseur (E6) de la lame (26).

Les capteurs ci-dessus peuvent être utilisés dans tout dispositif de mesure interférométrique et en particulier avec le dispositif décrit ci-après.

L'ensemble du dispositif est constitué d'un 5 dispositif émetteur de lumière (a), d'un système de transmission du flux lumineux (b), d'un ensemble détecteur (c) composé d'un capteur double, d'un système de mesure (d) et d'un système de traitement (e), figure 3.

Le dispositif émetteur (a) est constitué, comme 10 représenté figure 3, d'une source, par exemple une diode électroluminescente (1), dont on focalise le flux lumineux sur l'entrée d'une fibre optique (x) d'un système de transmission (b), à l'aide d'un condenseur (2). De préférence, on peut utiliser, dans certaines variantes, 15 deux diodes ou une pluralité de diodes à bande large, le maximum de chacun de ces spectres coïncidant avec chaque minimum d'atténuation de transmission d'une fibre optique dont les valeurs sont respectivement environ, 800, 1300 et 1500 nanomètres. La source la plus avantageuse est 20 représentée à la figure 7 et comporte un premier spectre centré sur 800 nanomètres et un deuxième centré sur 1300 nanomètres. La source à large bande est constituée d'une première diode électroluminescente (71) émettant dans le premier spectre, d'une deuxième diode électroluminescente 25 (72) émettant dans le deuxième spectre et d'une lame dichroïque (73) à front raide centré à mi-distance (vers 1050 nanomètres) des maxima d'émission des deux diodes. Cette lame dichroïque (73) transmet la totalité du spectre de la diode (72) dont le spectre est centré à 1300 30 nanomètres et réfléchit la totalité du spectre de celle (71) dont le spectre est centré à 800 nanomètres. Cette idée de combiner au moins deux diodes électroluminescentes dont les maxima sont centrés sur les minima d'atténuation de la fibre permet, comme représenté figure 6, d'augmenter 35 considérablement la différence entre deux maxima de la fonction d'intercorrélacion, le maximum principal (60) et les maxima voisins (61) et (62) au voisinage du maximum

(60) et permet d'avoir une bien meilleure marge de détection vis-à-vis du bruit de mesure; de plus la disponibilité est meilleure avec deux diodes qu'avec une seule.

5 Le système de transmission du flux lumineux (b) est constitué par un sous-ensemble comprenant 3 fibres optiques (x, y, z) et un coupleur (t). Le coupleur assure le transfert du flux lumineux de l'aller, issu de la source de x vers y ainsi que celui du flux lumineux issu du  
10 capteur double vers z. La longueur de chacune des fibres peut être quelconque.

L'ensemble (c) comporte un capteur double (4), de l'un des deux types décrits précédemment, éclairé par y. Il est constitué d'une lentille collimatrice (7) et de deux  
15 interféromètres en "série" ou "parallèles" (5) et (6). L'interféromètre (5) est sensible à la température et l'autre interféromètre (6) est sensible à la pression et à la température (lame semi-réfléchissante et membrane (13, 115 fig 1 ou 23, 215 fig 2).

20 La lentille collimatrice (7) reçoit la lumière issue de la fibre optique y et l'envoie vers les interféromètres. Par retour inverse elle focalise le flux lumineux issu des interféromètres à l'entrée de la fibre y.

Ce flux lumineux a un spectre cannelé composite  
25 qui est la somme pour le capteur parallèle, ou le produit pour le capteur série, des spectres cannelés dus à chacun des interféromètres sensibles à la température et à la pression et température.

Le flux lumineux transporté par la fibre (z)  
30 pénètre dans l'ensemble (d) interféromètre d'analyse, passe par une lentille de collimation (10) et par un système séparateur (11), qui le divise en deux sous-faisceaux dont l'un est réfléchi par un miroir M1 (16) de référence, tandis que l'autre est réfléchi par un miroir mobile M2 (12) lié à  
35 un micropositionneur-mesureur (15) piézoélectrique, auquel on fait subir le déplacement à mesurer.

Les flux lumineux réfléchis par chacun des deux miroirs M1 et M2 vont interférer au niveau du système séparateur (11). Le flux lumineux traverse un condenseur (13) et éclaire un détecteur photoélectrique (14). Le  
5 micropositionneur-mesureur (15) ainsi que le détecteur photoélectrique (14) sont reliés à un dispositif de traitement et de commande (e).

Les positions relatives des deux miroirs M1 et M2 vont définir une différence de trajet optique de mesure  
10  $D_M$  que l'on va pouvoir modifier en déplaçant à l'aide du micropositionneur-mesureur (15) par un système de commande électronique le miroir mobile M2. Le flux lumineux arrivant sur le détecteur photoélectrique passe par une série de maxima, représentés figure 5, de plus en plus grand au fur  
15 et à mesure qu'on se rapproche du "maximum principal" (50). Ce maximum principal (50) témoigne de l'égalité des deux différences des trajets optiques  $D_C$  et  $D_M$  dans chacun des interféromètres capteur (4) d'une part et de mesure (11, 12, 16) d'autre part. Un second maximum apparaît dans  
20 la fonction d'intercorrélacion pour  $D_M = 0$ , figure 11.

Eclairé directement par la source, l'interféromètre de mesure transmettrait un flux lumineux dont le spectre cannelé serait caractéristique de la différence de chemin optique  $D_M$  de l'interféromètre de  
25 mesure. Eclairé par un flux lumineux présentant un spectre cannelé associé à une différence de chemin optique  $D_C$ , l'interféromètre de mesure transmettra en sortie un flux dont l'intensité traduira le niveau de corrélation entre les spectres cannelés associés aux différences de chemin  
30 optique  $D_M$  et  $D_C$ . Or le capteur interférométrique double (4) présente un spectre cannelé composite qui est la somme de deux spectres cannelés dus aux deux interféromètres (5) et (6) dans le cas d'un capteur "parallèle" ou le produit des spectres cannelés dus aux deux interféromètres (5) et  
35 (6) dans le cas d'un capteur "série". L'intensité du flux de sortie recueilli sur le photodétecteur présente donc trois maxima principaux, dont l'un correspond à une

différence de marche nulle de l'interféromètre de mesure traduisant le fait qu'il n'y a pas d'interférences destructives et que toute l'énergie qui rentre dans l'interféromètre ressort, et les autres correspondent à des 5 différences de marche sur l'interféromètre de mesure égales en valeur absolue à celle du capteur double:  $D_M = D_{C(1)}$  ou  $D_{C(2)}$ , figure 12.  $D_{C(1)}$  correspond à la différence de marche du premier interféromètre (5), figure 3 et  $D_{C(2)}$  à celle du second interféromètre (6), figure 3. Ces deux 10 différences de trajet permettent, par le calcul, de connaître la pression vraie et la température, par exemple dans le puits de production.

Pour permettre la mesure dans le cas où les différences de marche  $D_{C1}$  et  $D_{C2}$  sont trop éloignées l'une 15 de l'autre on dispose, pour décaler le zéro de l'interféromètre de mesure d'une valeur faible connue, d'un jeu de lames à faible différence connue de chemins optiques que l'on peut disposer devant les miroirs M1 ou M2 de l'interféromètre de mesure. Dans le cas d'un décalage 20 important une seule lame (17, fig 3) est disposée devant le miroir M1, ou une seule lame (18) est disposée devant le miroir M2.

La figure 6 représente la fonction d'intercorrélation entre l'un des interféromètres du 25 capteur et l'interféromètre de mesure lorsque la lumière émise par la source est constituée par la somme des spectres de deux diodes électroluminescentes dont les spectres sont respectivement centrés sur 800 et 1300 nanomètres avec une largeur de spectre d'environ 100. 30 nanomètres. Avec cette configuration, le maximum (60) sera plus facilement déterminé puisque le contraste entre le pic principal (60) et les pics latéraux (61) et (62) sera plus net.

L'utilisation d'un système de détection en 35 série dans un même capteur sur une même fibre, avec une analyse du signal utilisant un système de mesure absolue du déplacement, combiné avec l'utilisation d'un jeu de lame à

faces parallèles pour ramener les différences de marche dans la plage de déplacement du système de mesure, avec l'élargissement du spectre de la source en utilisant plusieurs fenêtres de transmission des fibres optiques afin d'améliorer la détection et la protection vis-à-vis des bruits de mesure, permet d'obtenir dans une gamme de pression de 200 bars et de température de 150 degré C, en un point de mesure à environ 3km ,dans un puits de production d'hydrocarbures, une précision de mesure de 0,1%.

10 Afin d'optimiser à la fois le niveau et le contraste du signal délivré par le photodétecteur, on choisira des coefficients de réflexion des lames à faces parallèles des interféromètres du capteur double compris entre 0,4 et 0,95. De façon avantageuse, le coefficient de  
15 réflexion sera compris entre 0,4 et 0,7.

Selon une autre forme de réalisation voisine de la précédente, représentée à la figure 8, le dispositif optique interférométrique pour la mesure de grandeurs physiques multiples est constitué par un dispositif émetteur dont la source d'émission peut être constituée d'une pluralité de sources (81-1 à 81-n) alimentées sélectivement par un dispositif de traitement et de commutation (89) pour éclairer une à une les branches (82-1 à 82-n) de l'ensemble de transmission optique. Le dispositif optique comprend  
25 également un ensemble de coupleurs (83-1 à 83-n) constituant avec les fibres optiques (82, 84, 86) n systèmes de transmission identiques à celui (b) décrit dans la réalisation préférentielle, un ensemble de "n" détecteurs composé de capteurs (85) destinés chacun à  
30 effectuer des mesures, un système de mesure (88) et un système (89) de traitement et de commutation des sources de lumières relié par n liaisons (810) aux sources (81). Il n'y a pas dans cette réalisation de moyen d'adressage et les flux réfléchis par chacun des capteurs de mesure sont  
35 combinés avant l'entrée de l'interféromètre de mesure grâce à un concentrateur (87) schématisé sur la figure 4.

Les extrémités des  $n$  fibres (86-1 à 86- $n$ ) à la sortie du système de fibres optiques sont rassemblées en un faisceau circulaire d'un diamètre tel qu'il contient effectivement ces fibres. Ces fibres sont ensuite collées  
5 et la surface perpendiculaire à leurs axes est dressée, polie et accollée à un concentrateur (87). Le concentrateur (87) a une face d'entrée (870) dont le diamètre est supérieur au diamètre du faisceau des  $n$  fibres (86-1 à 86- $n$ ). Le concentrateur (87) est réalisé par étirage d'un  
10 barreau de verre pour obtenir une fibre à section décroissante et d'angle faible. Si l'angle n'est pas trop grand, on peut obtenir à l'extrémité (871) ayant le plus petit diamètre un flux lumineux qui est voisin du flux d'entrée, figure 4.

15 Ce flux est séquentiellement le flux émis par chacune des sources.

Un système de traitement (89) lié au photodétecteur de l'interféromètre de mesure (88) identique à l'ensemble référencé (9) sur la figure 3 permet  
20 d'obtenir, à partir des mesures de variation de chemins optiques  $D_{c1}$  et  $D_{c2}$  correspondant au maximum de corrélation, les grandeurs physiques mesurées dans chacun des capteurs.

Une autre variante, représentée à la figure 9,  
25 est constituée d'un système d'instrumentation multi-capteur (96) relié à un seul interféromètre d'analyse (98) par un dispositif de commutation des voies de mesure provenant des capteurs. Le système est alimenté par une source lumineuse (91) reliée par une fibre optique (92) à un coupleur (93)  
30 accolé à un commutateur (94) de voies optiques commandé par une liaison (910) provenant du circuit de traitement et de commande (99). Chacune des voies (95-1 à 95- $n$ ) constituée par une fibre optique est reliée à un capteur respectif (96-1 à 96- $n$ ). Le coupleur (93) transmet la voie  
35 commutée à la fibre (97) reliée au système (98) d'analyse et de mesure identique à celui référencé (9) sur la figure 3. Dans les deux exemples de réalisation décrits ci-dessus,

les n spectres cannelés composites issus chacun de l'un des capteurs doubles éclairés sélectivement sont séquentiellement analysés l'un après l'autre par le système de traitement (89) ou (99).

5 Une dernière variante peut consister, comme représenté à la figure 10, à coupler plusieurs dispositifs de mesure (102) du type décrit précédemment en étoile à la sortie d'un éclateur (103), chacun des dispositifs de mesure (102) étant commutable afin d'améliorer la  
10 disponibilité de l'ensemble.

Naturellement, l'invention n'est en rien limitée par les particularités qui ont été spécifiées dans ce qui précède ou par les détails des modes de réalisation particuliers choisis pour illustrer l'invention. Toutes  
15 sortes de variantes peuvent être apportées aux réalisations particulières qui ont été décrites à titre d'exemples et à leurs éléments constitutifs sans sortir pour autant du cadre de l'invention. Cette dernière englobe tous les moyens constituant des équivalents techniques des moyens  
20 décrits ainsi que leurs combinaisons. En particulier dans les exemples de système d'analyse représentés figure 8 à 10, les capteurs interférométriques utilisés peuvent être doubles ou simples selon le degré de précision souhaité pour la grandeur physique mesurée.

REVENDEICATIONS

1. Capteur interférométrique parallèle caractérisé, en ce qu'il comporte deux interféromètres en parallèle utilisant des faisceaux de lumière concentriques issus d'une fibre optique placée au foyer d'une lentille collimatrice (19), le premier interféromètre utilisant un faisceau central (A) comporte une membrane déformable (115) dont la déformation est sensible à la pression et à la température qui font varier sa position par rapport à l'une des faces d'une première lame (13) de verre à faces parallèles en fonction de ces deux paramètres, le deuxième interféromètre utilisant le faisceau extérieur (B) dans lequel la distance entre deux faces de deux lames de verre à faces parallèles (16, 17) maintenues par une entretoise cylindrique (15) varie en fonction des coefficients de dilatation différents de chacune de ces deux lames (16, 15), une lentille collimatrice (19) des deux faisceaux de lumière en direction d'une fibre optique (113), ces deux faisceaux optiques ayant deux différences de marche différentes créant chacun un spectre cannelé de la source, chaque spectre se recombinant en s'additionnant vers la fibre optique (113).

2. Capteur interférométrique caractérisé en ce qu'il comporte un premier et un deuxième interféromètre en série utilisant un seul faisceau lumineux issu d'une fibre optique placée au foyer d'une lentille collimatrice (211), le premier interféromètre étant constitué d'une membrane déformable (215) dont la déformation est sensible à la pression et à la température qui font varier sa position par rapport à l'une des faces d'une première lame (23) de verre à faces parallèles en fonction de ces deux paramètres de façon à obtenir une différence de chemin optique caractéristique de la position de la membrane et créant un spectre cannelé de la source, le second interféromètre sur

le trajet lumineux et constitué par un polariseur (27) et une lame bi-réfringente (26) dont la bi-réfringence varie en fonction de la température pour créer, après avoir été traversé deux fois à l'aller et au retour, par différence  
5 de marche un spectre cannelé, le spectre cannelé résultant, étant le produit des spectres cannelés de chacun des interféromètres, est focalisé sur la fibre optique (213) par la lentille collimatrice (211).

3. Dispositif optique interférométrique pour la  
10 mesure de grandeurs physiques multiples susceptibles de créer des variations de différence de chemins optiques, ledit dispositif étant de type comportant :

- un dispositif émetteur (a) comprenant au moins une source à bande spectrale large;
- 15 - un détecteur constitué par au moins un capteur interférométrique à deux interféromètres en série ou en parallèle créant un spectre cannelé composite des différences de marches  $D_{c1}$ ,  $D_{c2}$  dues à chacun des interféromètres;
- 20 - un ensemble (b) de fibres optiques pour véhiculer le flux lumineux du dispositif émetteur (a) à l'ensemble détecteur (c) et le flux lumineux réfléchi par l'ensemble détecteur;
- un dispositif d'analyse (d) pour analyser les  
25 informations portées par le flux lumineux issu de l'ensemble détecteur et élaborer une valeur représentative des grandeurs physiques mesurées, lequel dispositif d'analyse comprend :
  - un interféromètre de mesure à deux ondes  
30 comprenant un collimateur d'entrée (10) éclairé par l'extrémité (z) de la fibre optique, un miroir de référence M1 (16) sur lequel se réfléchit une partie du flux lumineux collimaté fourni par le capteur à deux interféromètres et un second miroir M2 (12) sur lequel se réfléchit l'autre  
35 partie dudit flux lumineux collimaté, et des moyens pour faire interférer les deux flux réfléchis sur les miroirs M1 et M2 et donner à la sortie un flux lumineux résultant;

- un détecteur photoélectrique (14) apte à mesurer l'intensité du flux lumineux issu de l'interféromètre de mesure et de fournir un signal représentatif de ladite intensité; et

5 - un ensemble de traitement (e) du signal issu du détecteur photoélectrique fournissant une valeur représentative des grandeurs physiques, caractérisé en ce que le miroir M2 de l'interféromètre de mesure est fixé sur un micropositionneur-mesureur piézoélectrique (15) pour  
10 déplacer finement le miroir M2 et mesurer précisément le déplacement correspondant, et en ce que l'ensemble de traitement est relié non seulement au détecteur photoélectrique mais également au micropositionneur-mesureur pour piloter et déterminer la position absolue du  
15 miroir M2 correspondant au maximum d'intensité lumineuse reçue sur le détecteur photoélectrique et en déduire les valeurs des différences de marches Dc1, Dc2 nécessaires à l'élaboration de la ou des grandeurs physiques recherchées;

4. Dispositif selon la revendication 3  
20 caractérisé en ce que le miroir M2 (12) de l'interféromètre de mesure est monté sur un ou plusieurs micropositionneurs-mesureurs dont l'un au moins est utilisé pour la mesure, le ou les autres permettant de décaler le zéro de l'interféromètre de mesure.

25 5. Dispositif selon la revendication 3 caractérisé en ce que l'on dispose de lames ou jeux de lames Ei (18) et Ej (17) d'épaisseurs voisines que l'on place devant les miroirs M1 et M2 de l'interféromètre de mesure pour créer une différence de chemin optique fonction  
30 de la différence des épaisseurs des lames placées devant le miroir M1 d'une part et M2 d'autre part.

6. Dispositif selon la revendication 3 caractérisé en ce que l'on dispose une lame (18) ou (17) devant l'un des miroirs M1 ou M2 pour décaler le zéro de  
35 l'interféromètre de mesure lorsque le décalage nécessaire est important et que l'épaisseur de cette lame rend possible sa réalisation.

7. Dispositif selon l'une des revendications 3 à 6 caractérisé en ce qu'il comporte plusieurs capteurs pour la mesure en plusieurs points d'une ou plusieurs grandeurs physiques.

5 8. Dispositif selon l'une des revendications 3 à 6 caractérisé en ce qu'il comporte un seul capteur pour la mesure d'au moins une grandeur physique.

10 9. Dispositif selon l'une des revendications 3 à 8 caractérisé en ce que la source lumineuse (91) est constituée d'une seule source élémentaire émettrice de lumière, alimentée en permanence et éclairant un commutateur (94) placé devant un ensemble de branche de fibres optiques, lequel ensemble est constitué d'autant de fibres (95-1 à 95-n) qu'il y a de capteurs (96-1 à 96-n) et  
15 en ce que le commutateur (95) est commandé pour présenter sélectivement chacun des spectres cannelés délivré par chaque capteur (96) un à un devant une fibre (97) éclairant le collimateur (10) d'entrée de l'interféromètre de mesure (98).

20 10. Dispositif selon les revendications 3 à 8 caractérisé en ce que la source d'émission est constituée d'autant de sources élémentaires (81-1 à 81-n) alimentées successivement de manière cyclique ou programmable pour fournir par un ensemble de voies optiques (82, 83, 84) le  
25 flux lumineux à un ensemble de capteurs (85) et par un ensemble de voies optiques (84, 83, 86) de retour le flux lumineux à un concentrateur (87) pour présentation au collimateur (10) d'entrée de l'interféromètre de mesure (88).

30 11. Dispositif selon les revendications 3 à 8 caractérisé en ce que la source d'émission à bande spectrale large est constituée par une source élémentaire ou plusieurs sources élémentaires différentes à spectres larges afin d'élargir la bande spectrale, chaque source  
35 ayant un maximum centré sur le minimum d'atténuation de la fibre.

12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce que la source d'émission est constituée par une première diode électroluminescente (71) dont le spectre est centré sur la longueur d'onde de réflexion totale d'une lame dichroïque (73) et par une deuxième diode (72) dont le spectre est centré sur la longueur d'onde de transmission totale de la lame dichroïque.

13. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que les branches (86) des fibres optiques de retour sont collées et rassemblées en faisceau circulaire dont la surface perpendiculaire à l'axe des fibres est dressée et polie.

14. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que le concentrateur (87) est constitué d'une fibre, à section décroissante d'angle faible et à section d'entrée (870) supérieure à la section du faisceau des fibres de retour (86), réalisée par étirage d'un barreau de verre par exemple.

15. Dispositif selon une des revendications 9, 10, 13 ou 14, caractérisé en ce qu'un ou plusieurs dispositifs de mesure (102) sont couplés en étoile à la sortie d'un éclateur (103) et commutables afin d'améliorer la disponibilité du dispositif d'analyse.

16. Application du dispositif selon la revendication 8 à la mesure de deux grandeurs physiques différentes effectuées au même point de mesure, dont au moins une sert à corriger la grandeur physique fondamentale.

17. Capteur interférométrique double selon une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que chacun des interféromètres est constitué de pièces optiques ayant un coefficient de réflexion compris entre 0,95 et 0,4.

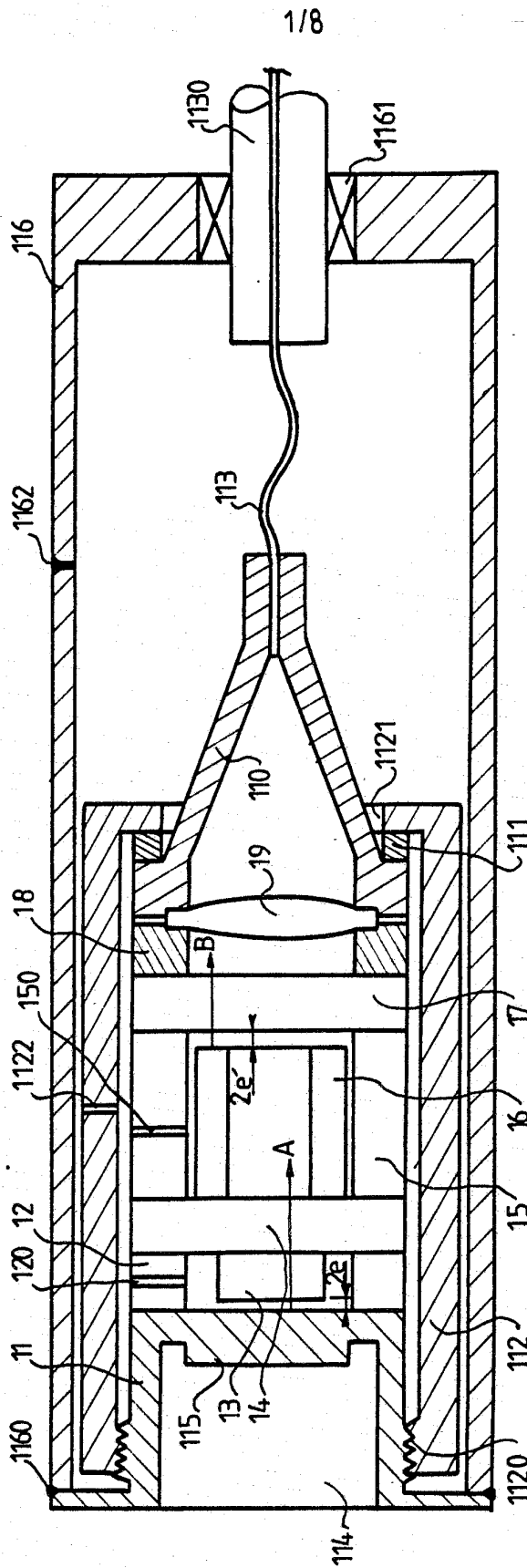


FIG.1

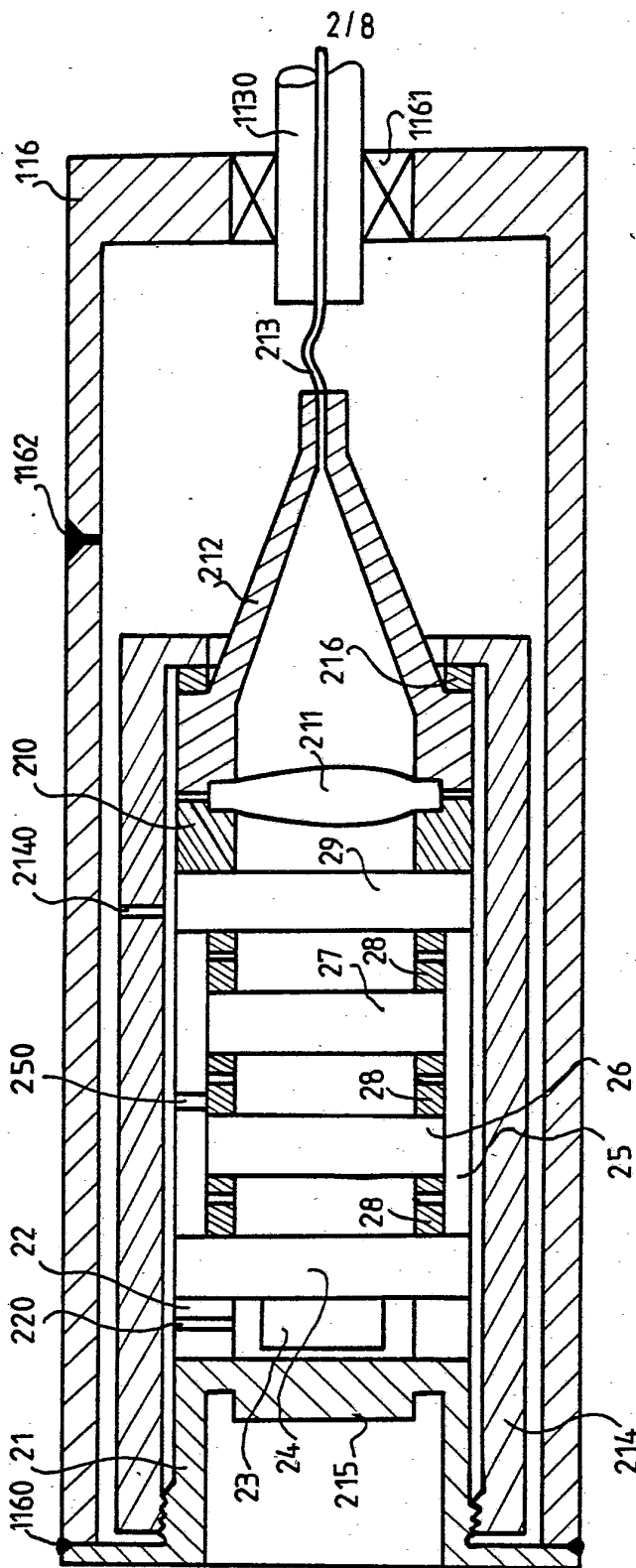


FIG. 2

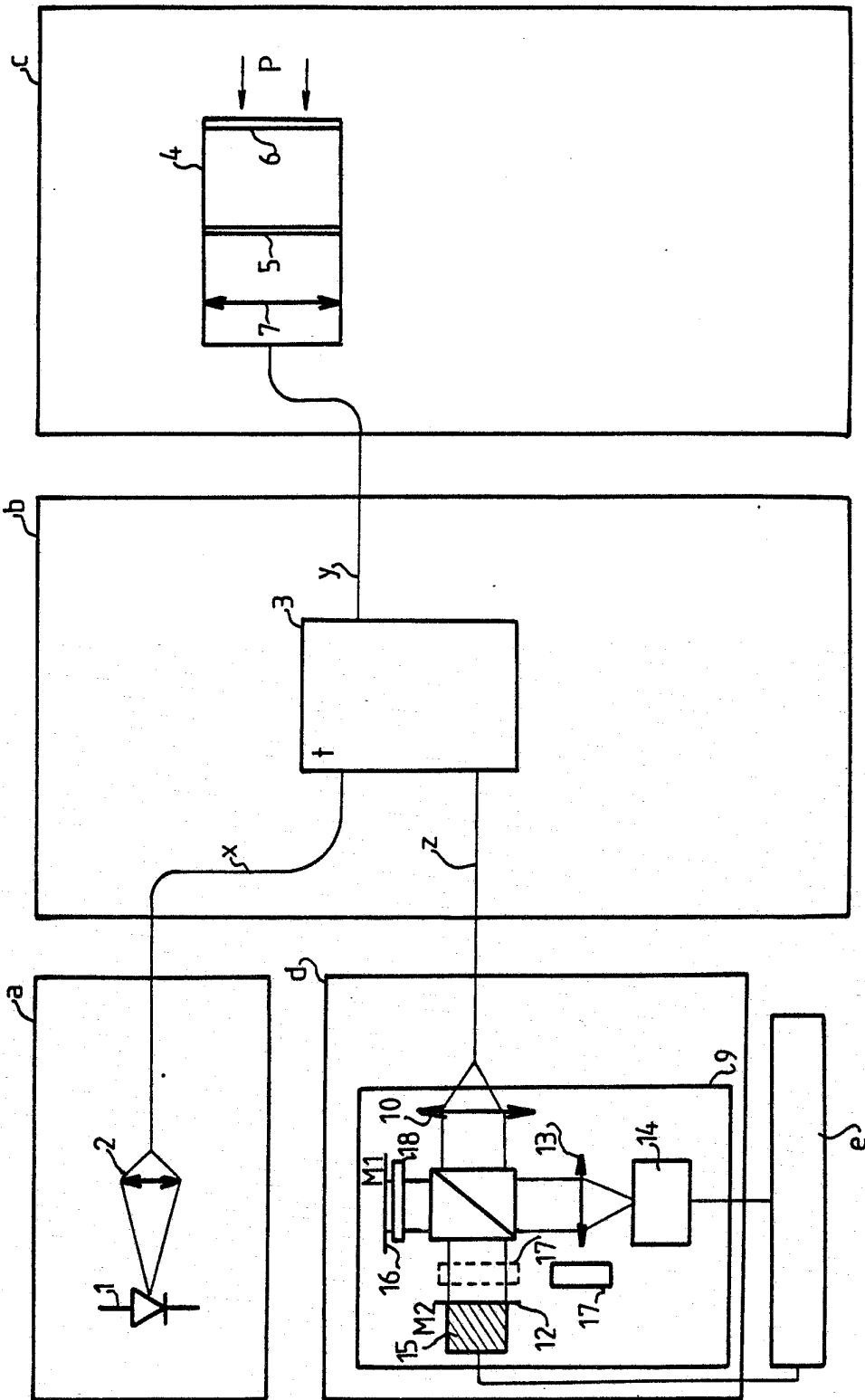


FIG.3

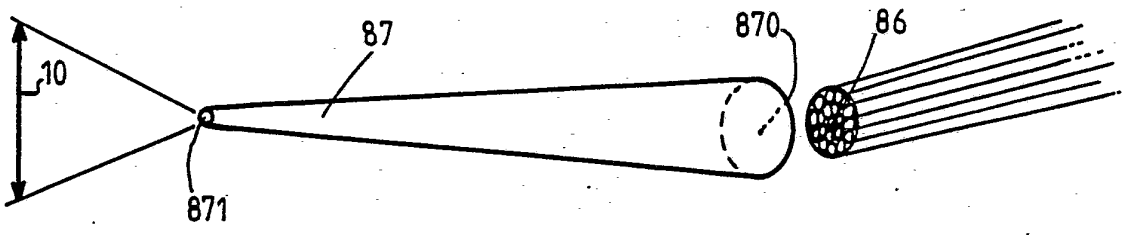


FIG. 4

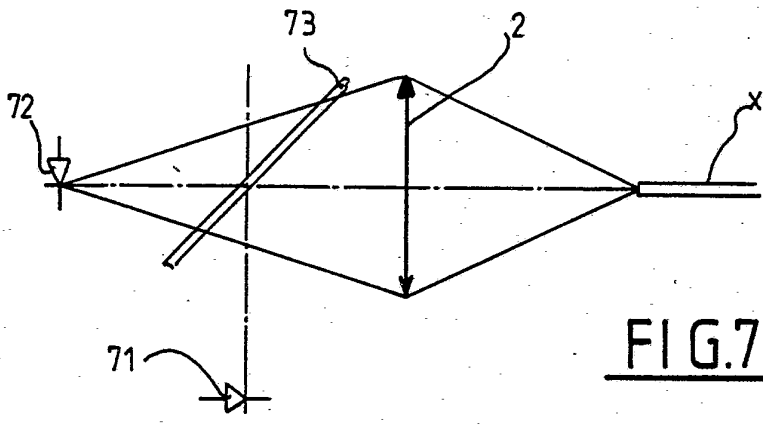


FIG. 7

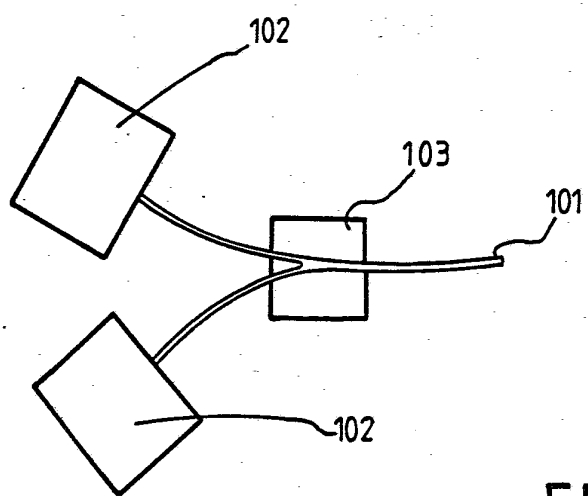


FIG. 10

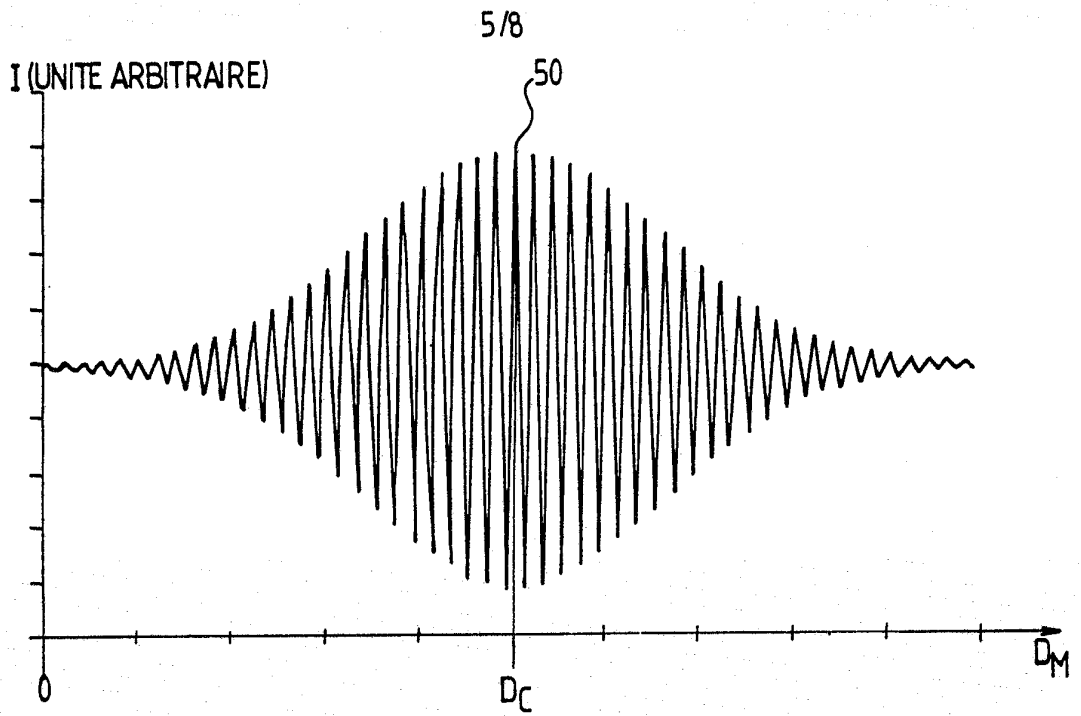


FIG.5

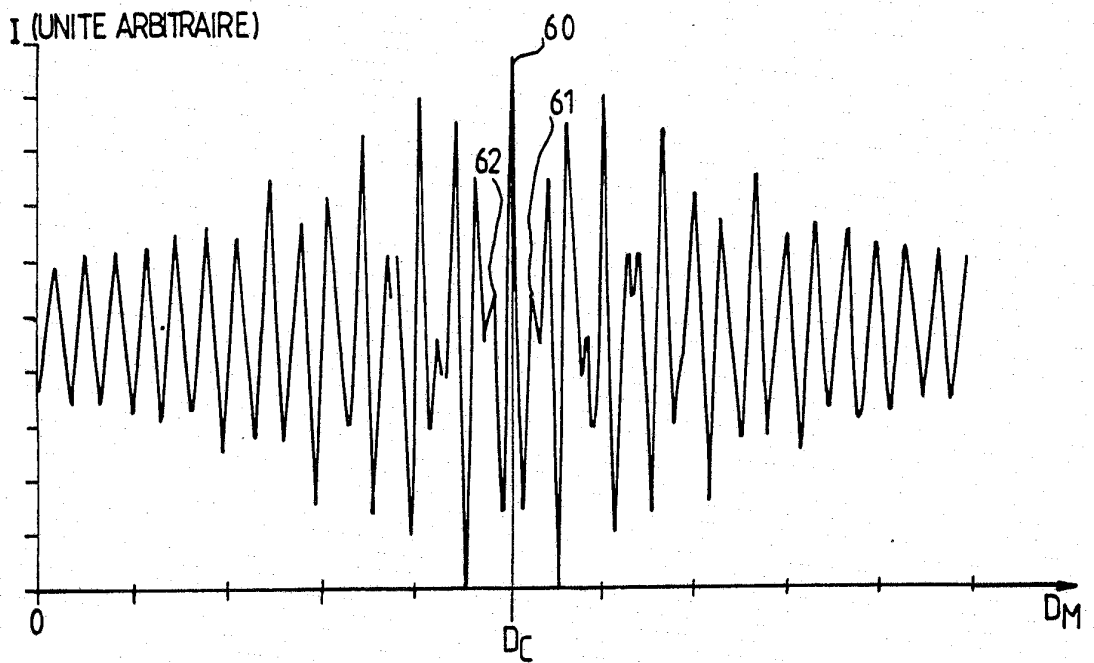


FIG.6

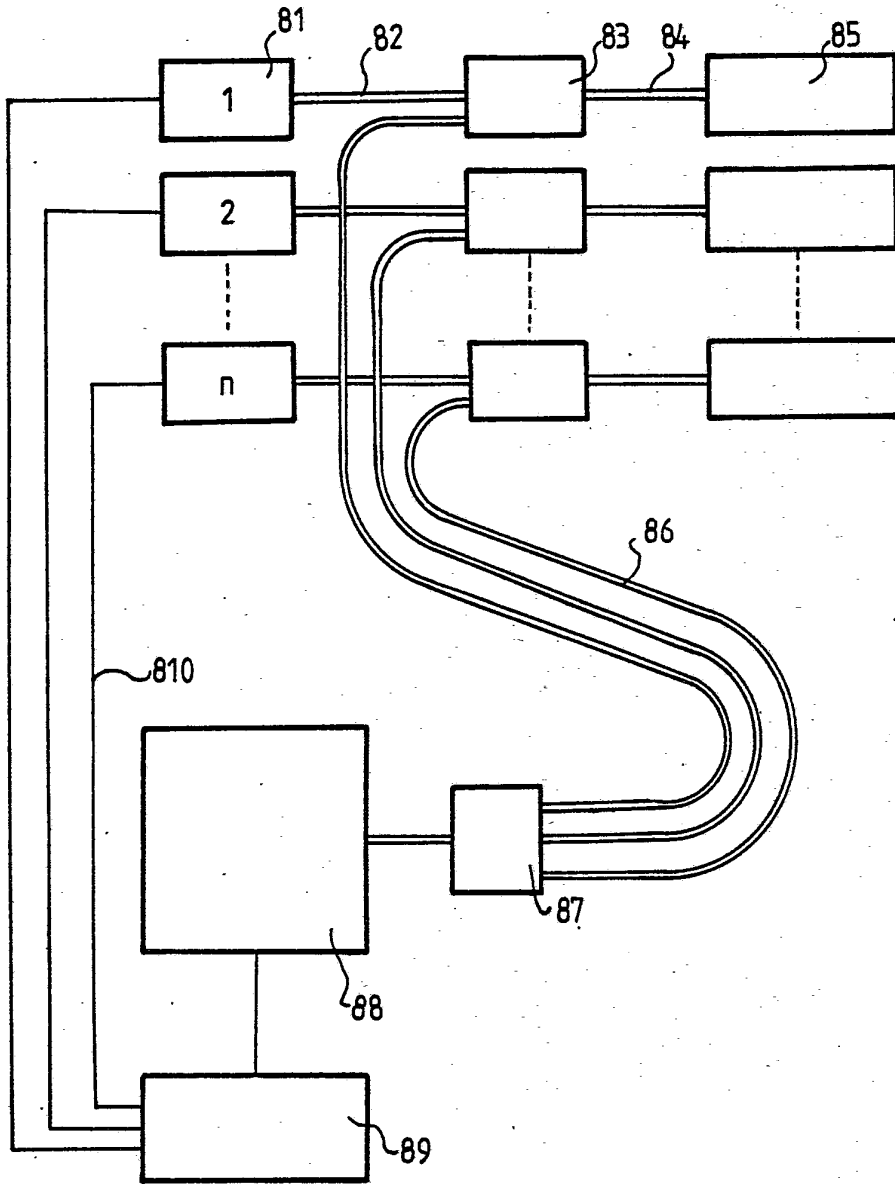


FIG.8

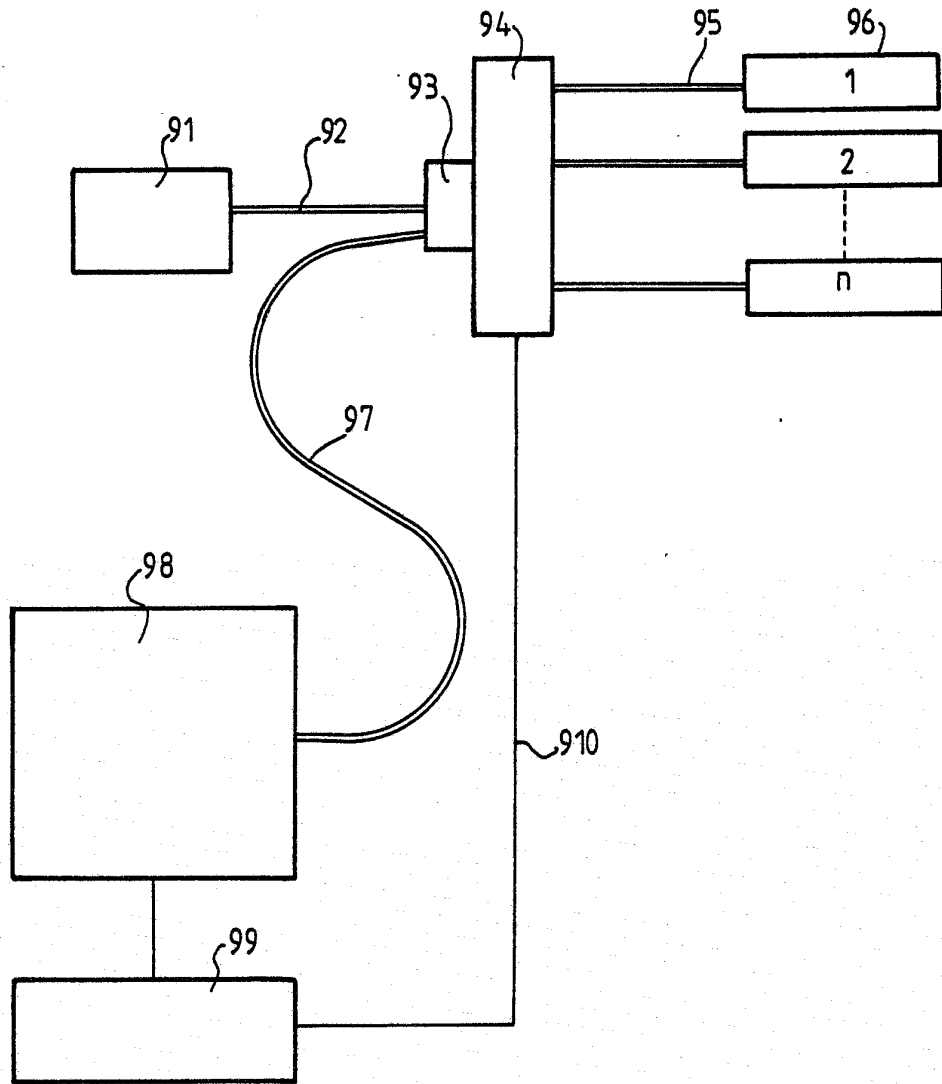


FIG.9

I (UNITE ARBITRAIRE)

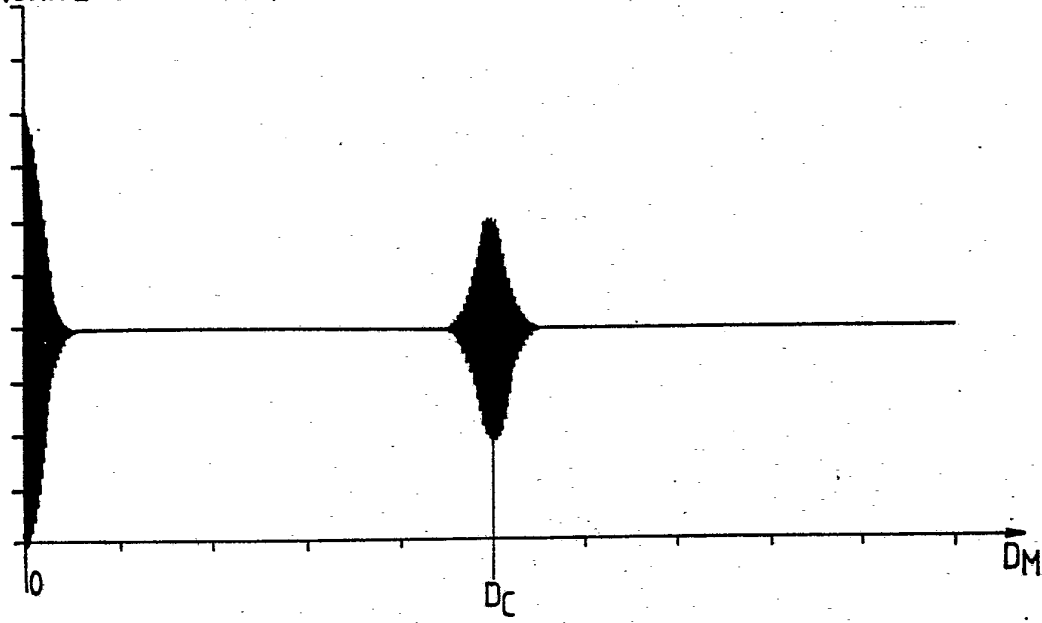


FIG.11

I (UNITE ARBITRAIRE)

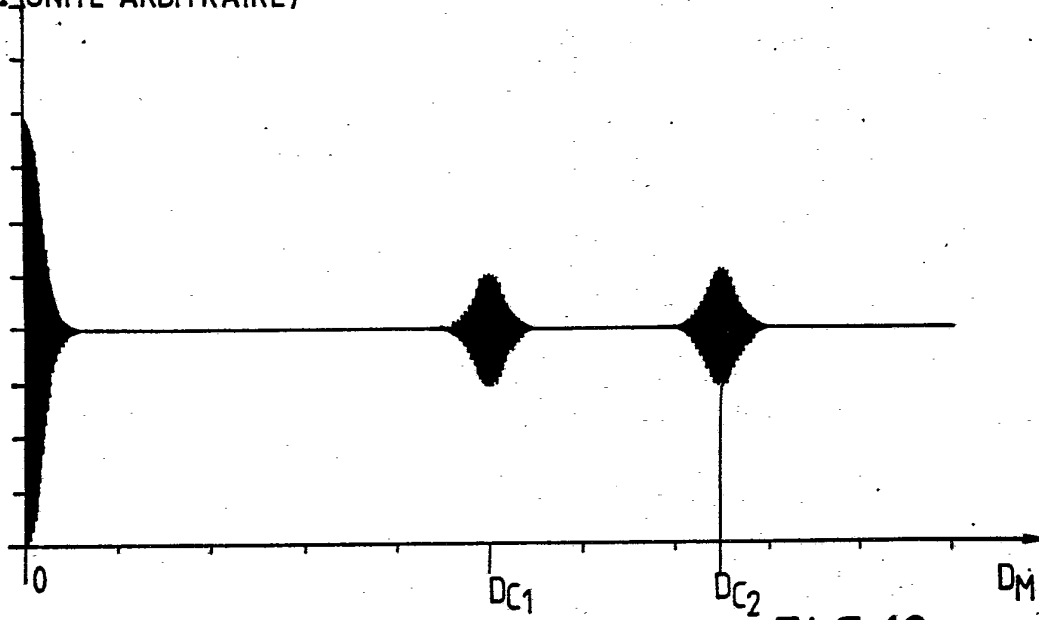


FIG.12