

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

**N° 82 15135**

---

⑭ Interféromètre à basculement invariable et à miroirs plans.

⑮ Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). G 01 J 9/00, 9/02.

⑯ Date de dépôt..... 6 septembre 1982.

⑰ ⑱ ⑲ Priorité revendiquée : DD, 24 septembre 1981, n° WP G 01 B/233 527.

⑳ Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 12 du 25-3-1983.

---

㉑ Déposant : Entreprise dite : VEB FEINMESSZEUGFABRIK SUHL, entreprise de droit allemand. — DD.

㉒ Invention de : Hans-Joachim Büchner.

㉓ Titulaire : *Idem* ㉑

㉔ Mandataire : Cabinet Madeuf, conseils en propriété industrielle,  
3, av. Bugeaud, 75116 Paris.

La présente invention se rapporte à un interféromètre à basculement invariable et à miroirs plans qui est constitué par une source lumineuse monochromatique des éléments divisant et réfléchissant le faisceau lumineux, des éléments optiques de polarisation et à double réfraction ainsi que par des récepteurs photo-électriques.

La présente invention peut être utilisée partout où la grandeur technique et physique à mesurer produit une modification de la différence du trajet optique. Ceci est par exemple le cas dans toutes les mesures de la grandeur de la longueur mais également lorsqu'il s'agit de mesurer l'indice de réfraction, la pression, la composition de gaz ou la force dans la mesure où l'effet produit par cette dernière provoque la modification d'une dimension géométrique d'un corps.

L'invention offre notamment la possibilité d'explorer optiquement et directement sans contact et de façon ponctuelle au moyen du faisceau de mesure de l'interféromètre, des doigts à surface d'un bon pouvoir de réflexion, par exemple tous les éléments de construction optiques tels que des lentilles, des prismes et des miroirs dont la planéité des surfaces doit être contrôlée, ainsi que tout autre objet à mesurer.

On connaît déjà des interféromètres de conceptions différentes, notamment depuis le développement de la technique du laser. Tous ces interféromètres comportent des récepteurs photo-électriques et des groupes de construction montés à la suite de ces derniers et qui permettent un enregistrement automatique et avec le signe correct des modifications de la différence du trajet optique. Cette caractéristique des interféromètres peut être obtenue de deux manières.

1 - L'interféromètre où à l'emplacement du récepteur photo-électrique une image d'interférence à petite distance ordinale et les récepteurs photo-électriques sont disposés géométriquement à l'intérieur de cette image d'interférence de façon que les signaux électriques délivrés par eux soient déphasés de  $90^\circ$  les uns par rapport aux autres lors d'une modification de la grandeur mesurée. Ce déphasage est nécessaire à l'enregistrement automatique et avec le signe correct

de la modification de la différence du trajet.

2 - L'interféromètre crée au niveau des récepteurs photo-électriques une image d'interférence à grande distance ordinaire et les signaux déphasés de  $90^\circ$  sont créés par des  
5 éléments de construction optiques à polarisation et à double réfraction.

Les deux types d'interféromètre présentent la caractéristique commune consistant dans le fait que l'image d'interférence choisie doit être conservée de façon inchangée  
10 pendant toute la mesure afin d'éviter des perturbations pendant le processus de comptage en avant et en arrière.

Dans le type d'interféromètre cité en premier on crée le plus souvent des interférences de "Fiseau" entre les miroirs plans et dans un coin réel ou virtuel. La distance  
15 ordinaire est fonction de l'angle formé par les miroirs. Lorsque cet angle se modifie pendant la mesure, la distance ordinaire et de ce fait également le déphasage entre les signaux de sortie électriques des récepteurs changent aussi. Afin d'éviter que ce cas se produise, les miroirs sont dis-  
20 posés fixement dans l'espace et on utilise des prismes triples en tant qu'éléments réfléchissants mobiles. Si on utilise par contre des miroirs plans comme éléments réfléchissants mobiles il est nécessaire de prévoir pour leur déplacement des guides de précision étant donné que des basculement des  
25 miroirs d'un angle de seulement quelques secondes provoque déjà des erreurs de phase importantes dans le processus de comptage en avant et arrière.

Dans le deuxième cas cité les miroirs entre lesquels est créée l'image d'interférence sont montés parallèlement l'un à l'autre. On se trouve alors confronté à des mesures erronées lorsque les miroirs occupent une position non  
30 parallèle de sorte qu'on peut également, dans ce cas, tirer profit de la caractéristique invariable en basculement des prismes triples en utilisant ces derniers en tant qu'éléments  
35 réfléchissants mobiles.

Ce procédé présente l'inconvénient qu'il est néces-

saire, d'une part, d'ajuster deux surfaces pour qu'elles occupent une position bien définie l'une par rapport à l'autre (angle et parallélité) et, d'autre part, d'utiliser des prismes triples dont la fabrication exige des soins particuliers. Les tolérances admissibles des angles, entre les trois surfaces réfléchissantes d'un prisme triple utilisé à des fins interférométriques, sont de quelques secondes. Lorsque ces tolérances ne sont pas respectées le prisme triple situé sur le trajet optique du faisceau agit comme un coin de verre et modifie la distance ordinaire à l'intérieur de l'image d'interférence.

Dans ce procédé de mesure l'objet à mesurer ne peut en outre être exploré que mécaniquement en raison de l'utilisation de prismes triples. De ce fait, le résultat de mesure renferme dans tous les cas les incertitudes du contact mécanique résultant par exemple de déformations sur l'objet à mesurer et créées par la force de mesure du palpeur, ainsi que des modifications de la force de mesure par suite de friction et d'hystérésis.

On connaît également un troisième groupe d'interféromètres qui permet le contrôle de la planéité de surfaces de grande qualité optique. Dans ces interféromètres, les surfaces à contrôler sont également explorées optiquement et sans contact et le plus souvent on crée une image d'interférence étendue au-dessus de toute la surface à vérifier. L'inconvénient de ces interféromètres réside dans le fait qu'on doit interpréter l'image d'interférence de façon visuelle et qu'il n'est pas possible d'utiliser le procédé automatique du comptage en avant et en arrière.

La présente invention a pour objet de créer un interféromètre qui permet de mesurer de petites longueurs ne dépassant pas 100 mm et dans lequel on peut utiliser, tout en renonçant à des prismes triples, des miroirs plans en tant qu'éléments réfléchissants mobiles et qui permet néanmoins d'obtenir un déplacement angulaire de ces miroirs à l'intérieur de limites assez larges et suffisantes pour la mise en oeuvre de la plupart des procédés techniques. Il est ainsi

possible de renoncer à des technologies optiques et mécaniques de précision ce qui réduit considérablement le prix de revient de l'interféromètre. On peut, en outre, explorer directement et de façon ponctuelle des objets à surface d'un bon  
5 pouvoir réfléchissant au moyen du faisceau de mesure sans qu'il soit nécessaire d'ajuster avec précision l'objet à mesurer par rapport à une surface de référence.

L'invention a également pour objet de créer un interféromètre dans lequel la position de phase des signaux  
10 électriques délivrés par les récepteurs photo-électriques est constante et ne dépend pas de la position angulaire des surfaces réfléchissantes créant l'interférence, interféromètre qui permet d'utiliser, de préférence des miroirs plans en tant que miroirs de référence et de mesure lorsque les centres de  
15 gravité optiques des récepteurs ne sont atteints que par des paires de faisceaux homologues.

L'interféromètre est constitué par un premier diviseur de rayons pour séparer le faisceau provenant d'une source lumineuse en un faisceau de mesure et un faisceau de référence  
20 des éléments optiques à double réfraction et à polarisation et par un deuxième diviseur de rayons pour la répartition sur les récepteurs photo-électriques des faisceaux partiels déjà amenés à interférer. Les faisceaux partiels créés lors de l'incidence d'un faisceau sur une couche diviseuse de rayon  
25 sont désignés par paire de faisceaux homologues. Au niveau de la première couche diviseuse de rayons, le faisceau provenant de la source lumineuse, par exemple, le faisceau de mesure et de référence est créé en tant que paire de faisceaux homologues et au niveau de la deuxième couche diviseuse de rayons  
30 sont créées deux paires de faisceaux homologues dont l'une résulte de la division du faisceau de référence tandis que l'autre provient de la division du faisceau de mesure.

Les problèmes exposés ci-dessus sont résolus conformément à l'invention par un interféromètre qui est  
35 caractérisé en ce que les surfaces actives des récepteurs photo-électriques sont disposées l'une par rapport à l'autre par rapport aux éléments diviseurs de rayons et aux éléments

réfléchissant les rayons de façon qu'elles ne reçoivent que les paires de faisceaux homologues. Lorsque les miroirs de mesure et de référence se trouvent dans une position perpendiculaire l'un par rapport à l'autre les paires de faisceaux homologues créées à partir des faisceaux de mesure et de référence se recouvrent. Dès que le miroir de mesure occupe une autre position angulaire, les faisceaux de mesure et de référence créent au niveau de la deuxième couche diviseuse de rayons des paires de faisceaux délimitant un angle entre elles. Lors d'un déplacement du miroir de mesure en direction du faisceau de mesure, la position de phase, entre les signaux électriques des récepteurs photo-électriques, est constante pour toute la zone de déplacement du miroir de mesure et indépendamment de la position angulaire délimitée par les deux miroirs plans et la différence de phase est zéro.

Afin de permettre le comptage en avant et en arrière il est nécessaire de créer une différence de phase constante de  $90^\circ$  entre les deux signaux des récepteurs ce est obtenu à l'aide d'éléments optiques à double réfraction et à polarisation. Le faisceau polarisé de façon linéaire et provenant de la source lumineuse monochromatique arrive sur une plaque  $\frac{\lambda}{4}$  en une matière optique à double réfraction. Par rapport aux deux sens d'oscillations possibles à l'intérieur de la plaque  $\frac{\lambda}{4}$ , le sens d'oscillations du faisceau lumineux est inférieur à  $45^\circ$ . A partir de la lumière polarisée linéairement, la plaque  $\frac{\lambda}{4}$  crée une lumière à polarisation circulaire. Cette lumière est séparée par le premier diviseur de rayons en un faisceau de référence et un faisceau de mesure et dans l'un des deux faisceaux est placée une deuxième plaque  $\frac{\lambda}{4}$  qui inverse le sens de rotation de la polarisation circulaire dudit faisceau par suite du deuxième passage. L'interférence entre les lumières polarisées vers la droite et vers la gauche après le passage dans le premier diviseur de rayons permet d'obtenir une lumière à polarisation linéaire dont le plan d'oscillations est fonction de la différence de trajet existant entre les deux faisceaux partiels interférents. Le faisceau créé par l'interférence est divisé avec le même rapport d'amplitudes par le

deuxième diviseur de rayons. Chacun de ces faisceaux partiels est envoyé sur un polariseur. Les directions de passage des deux polariseurs forment un angle de  $45^\circ$  l'un par rapport à l'autre. Lors d'un déplacement du miroir de mesure dans le  
5 sens de la mesure, les signaux délivrés par les récepteurs photo-électriques présentent un déphasage constant de  $90^\circ$ .

Jusqu'à ce jour, on supposait que les surfaces actives des récepteurs photo-électriques étaient concentrées en un point, le point de gravité. Vu sous cet aspect théorique  
10 l'angle de basculement entre le miroir de référence et le miroir de mesure peut présenter une grandeur quelconque et le processus de comptage ne subit aucun dérèglement lorsque les points de gravité optiques des récepteurs explorent des paires de faisceaux homologues. Bien qu'il soit pratiquement  
15 possible de réaliser un récepteur photo-électrique ponctuel basé sur cette théorie grâce à la technique récente des circuits intégrés permettant d'obtenir des surfaces photo-électriquement actives inférieures à quelque  $\mu^2$ , il est utile d'étudier l'influence exercée par une surface réceptrice  
20 qui est, en effet, petite mais tout de même limitée. Le terme limité indique dans ce cas que la surface réceptrice photo-électriquement active est inférieure à  $1\text{mm}^2$  et présente une forme carrée ou circulaire, c'est-à-dire qu'elle n'est pas linéaire. Lorsque les miroirs de référence et de mesure se  
25 trouvent dans une position perpendiculaire l'un par rapport à l'autre, la répartition de l'intensité au niveau des récepteurs photo-électriques est constante. Dans le cas d'un basculement du miroir de mesure pendant son mouvement de mesure par exemple en raison d'un guidage imprécis, il se produit  
30 une répartition sinusoïdale de l'intensité qui est enregistrée par les récepteurs. Lors d'un faible angle de pivotement de quelques secondes, la distance ordinaire va être importante par rapport à la surface photo-électriquement active et la répartition sinusoïdale de l'intensité est explorée sensiblement de façon ponctuelle par le récepteur. La distance ordinaire diminue simultanément à l'augmentation de l'angle de  
35 basculement et le récepteur commence à intégrer au-delà de la

répartition sinusoïdale de l'intensité. L'amplitude du signal électrique délivré par le récepteur diminue alors. Cette amplitude est de zéro lorsque la distance ordinaire est égale à la surface photo-électriquement active du récepteur. Cette situation correspond à une position angulaire déterminée du miroir de mesure par rapport au miroir de référence et cet angle ne doit pas être dépassé. La zone d'angle maximale à l'intérieur de laquelle le basculement du miroir de mesure est admissible est déterminée par les dimensions géométriques de la surface photo-électriquement active du récepteur.

Le tableau ci-dessus indique, à titre d'exemples, les angles de basculement admissibles  $\alpha$  par rapport aux longueurs de bord  $a$  des surfaces photo-électriquement actives de récepteurs de  $x = 633$  mm.

15	$\alpha$	$\pm 1'5''$	$\pm 2'11''$	$\pm 10'52''$	$\pm 21'45''$	$\pm 1^{\circ}48''$
	a/mm	1	0,5	0,1	0,05	0,01

Le déphasage de  $90^{\circ}$  ne dépend que de l'ajustement des surfaces photo-électriquement actives du récepteur par rapport au faisceau incident.

Diverses autres caractéristiques de l'invention ressortent d'ailleurs de la description détaillée qui suit.

Des formes de réalisation de l'objet de l'invention sont représentées, à titre d'exemples non limitatifs, aux dessins annexés.

La fig. 1 montre schématiquement un interféromètre à deux faisceaux.

La fig. 2 représente un interféromètre à plusieurs faisceaux et à éclairage incident.

L'interféromètre représenté à la fig. 1 comporte un laser 1 qui émet un faisceau lumineux monochromatique 13. Après avoir traversé une plaque 2 de  $\lambda$  réalisée en une matière optique à double réfraction, le faisceau 13 arrive sur un diviseur 4 de forme cubique et présentant une couche diviseuse de rayons 5. Le faisceau incident est divisé par la couche 5 et dans un rapport de 1:1 en un faisceau de référence 15 et en

un faisceau de mesure 16. Par la couche diviseuse 5 le faisceau de référence 15 est réfléchi en direction d'un miroir de référence 6 plan et fixe et qui renvoie le faisceau sur la couche diviseuse. Le faisceau de mesure 16 traverse la  
 5 couche diviseuse 5 et une plaque 3 de  $\frac{\lambda}{4}$  est traversée une deuxième fois par le faisceau après sa<sup>4</sup> réflexion par un miroir de mesure plan 7. Les faisceaux 15 et 16 interfèrent au niveau de la couche diviseuse 5. Ces faisceaux sont ensuite divisés dans un rapport de 1:1 par une couche diviseuse 8 de  
 10 façon à créer des paires de faisceaux homologues 15', 15'' et 16', 16''. Après avoir traversé un filtre de polarisation 10, les faisceaux partiels 15', 16' arrivent sur un récepteur photo-électrique 11 et les faisceaux partiels 15'', 16'' arrivent sur un autre récepteur photo-électrique 12 après avoir  
 15 traversé un autre filtre de polarisation 9.

Le faisceau 13 est polarisé linéairement et le plan d'oscillations de sa polarisation est orienté par rapport aux deux plans d'oscillations possibles à l'intérieur de la plaque 2 de  $\frac{\lambda}{4}$  de façon que le faisceau et le plan d'oscillations  
 20 forment un angle de  $45^\circ$  l'un par rapport à l'autre. Le faisceau 14 est ensuite polarisé de façon circulaire en présentant par exemple un sens de rotation à droite. Le faisceau de mesure 16 dirigé sur le miroir de mesure 7 traverse, lors de son trajet d'aller et de retour, deux fois la plaque 3 de  $\frac{\lambda}{4}$   
 25 dont l'orientation par rapport au faisceau incident est la<sup>4</sup> même que celle de la plaque 2 de  $\frac{\lambda}{4}$  par rapport au faisceau 13. De ce fait, il se produit un changement du sens de rotation de la polarisation circulaire du faisceau 16 retournant vers la couche diviseuse 5. Les faisceaux 15, 16 qui, à partir  
 30 de la couche diviseuse 5, empruntent la même direction créent une interférence d'une lumière polarisée de façon circulaire dans le sens à droite et dans le sens à gauche. Le résultat de cette interférence est un faisceau dont la polarisation est linéaire mais le plan d'oscillations de cette dernière  
 35 n'est pas constant et est fonction de la différence de trajet entre le faisceau de référence 15 et le faisceau de mesure 16. Les polariseurs 10 et 9 sont orientés l'un par rapport à

l'autre de façon que les plans d'oscillations des faisceaux partiels 15', 16', 15'', 16'' forment un angle de  $45^\circ$ , les uns par rapport aux autres après leur passage dans les polariseurs. De ce fait, les signaux délivrés par les récepteurs photo-électriques 11, 12 présentent un déphasage de  $90^\circ$ .

Afin de permettre un ajustage précis des surfaces photo-électriquement actives des récepteurs 11, 12 par rapport aux paires de faisceaux homologues, on peut prévoir dans le trajet du faisceau lumineux provenant du laser 1 un diaphragme 17 à faible ouverture qui laisse passer le faisceau 13 et qui est retiré après l'ajustage. A la fig. 1, le miroir de mesure 7 et le miroir de référence 6 occupent une position perpendiculaire l'un par rapport à l'autre ce qui a pour effet que les faisceaux partiels 15, 16 obtenus à partir du faisceau 14 sont également perpendiculaires l'un à l'autre. Pour cette raison, ces faisceaux partiels se recouvrent dans la forme de réalisation suivant la fig. 1 après avoir traversé la deuxième fois la couche diviseuse 5. La couche diviseuse 8 crée à partir du faisceau 15, la paire de faisceaux homologues 15', 15'' et à partir du faisceau 16 la paire de faisceaux homologues 16', 16''. L'ajustage des récepteurs s'effectue de façon que les faisceaux 15', 16' arrivent sur la surface photo-électriquement active du récepteur 11 et les faisceaux 15'', 16'' de façon correspondante sur la surface photo-électriquement active du récepteur 12. Cet ajustage peut s'effectuer tout d'abord visuellement à l'aide du diaphragme 17 et le réglage précis en corrigeant la superposition des signaux électriques de sortie des deux récepteurs visualisée sur l'écran d'un oscilloscope ou enregistrée par un oscillographe.

Un coin, par exemple 20, d'une paire de coins, est monté fixe tandis que l'autre coin 19 est disposé pour coulisser perpendiculairement par rapport à la direction du faisceau de mesure 16 de façon à obtenir une modification de la différence du trajet optique entre le faisceau de référence 15 et le faisceau de mesure 16 lors d'un déplacement du coin 19. Il est également possible de déplacer les deux coins 19, 20 l'un par rapport à l'autre et en sens opposé. Grâce au déplacement

du coin, il est possible d'obtenir une modification définie de la différence du trajet en vue, par exemple, d'une interpolation ou d'une modulation.

La fig. 2 montre une autre forme de réalisation d'un  
5 interféromètre suivant l'invention et dans laquelle des inter-  
férences "Fizeau" à faisceaux multiples sont créées au niveau  
d'un coin réel. Les éléments identiques à ceux de la fig. 1  
sont désignés par les mêmes références. Le faisceau 13 polarisé  
linéairement et provenant du laser arrive en étant orienté.  
10 de  $45^\circ$  sur la plaque 2 de  $\frac{\lambda}{4}$  qui crée le faisceau 14 polarisé  
de façon circulaire à sens  $\frac{4}{4}$  de rotation vers la droite. Ce  
faisceau traverse la couche diviseuse 5 et est divisé par la  
couche 18 partiellement réfléchissante du miroir de référence 6  
en un faisceau passant et en un faisceau réfléchi. Le faisceau  
15 partiel et réfléchi 15 représente le faisceau de référence et  
est polarisé de façon circulaire vers la droite. Le faisceau  
partiel passant 16 forme le faisceau de mesure dont le sens  
de rotation de la polarisation circulaire est inversé par suite  
de son double passage dans la plaque 3 de  $\frac{\lambda}{4}$ . Les faisceaux  
20 partiels 16 parcourant, grâce à leur réflexion, plusieurs fois  
le trajet entre le miroir de référence 6 et le miroir de  
mesure 7 conservent leur polarisation circulaire vers la  
gauche du fait que le nombre des passages du faisceau partiel  
25 retour est toujours pair.

REVENDICATIONS

1 - Interféromètre à basculement invariable et à miroirs plans qui est constitué par une source lumineuse monochromatique, des éléments divisant et réfléchissant le faisceau lumineux, des éléments optiques de polarisation et à double réfraction ainsi que par des récepteurs photo-électriques caractérisé en ce que les surfaces actives des récepteurs photo-électriques (11, 12) sont disposées l'une par rapport à l'autre par rapport aux éléments diviseurs de rayons (5, 8) et aux éléments (6, 7) réfléchissant les rayons de façon qu'elles ne reçoivent que les paires de faisceaux homologues (15', 15'' et 16', 16'').

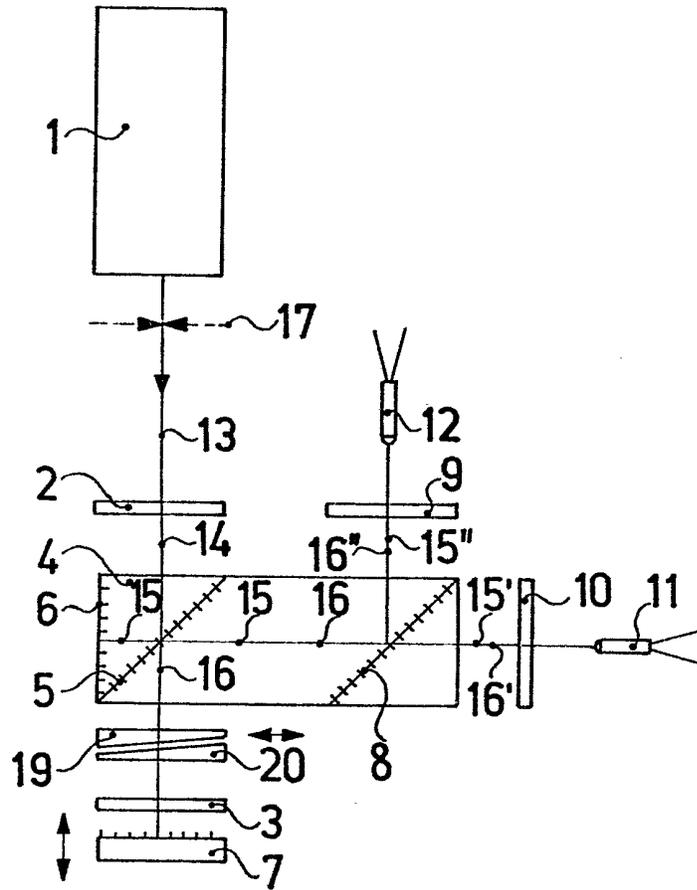
2 - Interféromètre suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'une première plaque  $2 \frac{\lambda}{4}$  réalisée en une matière à double réfraction est prévue en amont d'un premier élément diviseur de rayons (5), et en ce qu'une deuxième plaque (3) de  $\frac{\lambda}{4}$  est disposée dans un faisceau partiel en aval du premier élément diviseur de rayons (5), en ce qu'un analyseur optique de polarisation (9, 10) est prévu dans chacun des trajets des faisceaux partiels (15', 16') et (15'', 16'') et en aval d'un deuxième élément diviseur de rayons (8), en ce qu'un récepteur photo-électrique (11, 12) est monté à la suite de chaque analyseur optique de polarisation (9, 10) et en ce que les directions de passage des analyseurs optiques de polarisation (9, 10) forment un angle l'un par rapport à l'autre.

3 - Interféromètre suivant la revendication 1, caractérisé en ce que les éléments diviseurs de rayons (5, 8) et l'élément (6) réfléchissant les rayons sont assemblés pour former une seule unité de construction.

4 - Interféromètre suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'un élément réfléchissant les rayons est réalisé sous forme d'un miroir partiellement transparent (18), en ce qu'un élément (7) réfléchissant les rayons est disposé parallèlement au miroir partiellement transparent (18) et en ce que la plaque (3)  $\frac{\lambda}{4}$  est disposée entre les deux éléments (7, 18) réfléchissant les rayons.

5 - Interféromètre suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'une paire de coins (19, 20) est prévue dans l'un des trajets des faisceaux partiels.

Fig. 1



*Fig. 2*

