

(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 1999/07/06
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2000/01/13
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2008/02/19
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2001/01/05
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 1999/001631
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2000/002023
(30) Priorité/Priority: 1998/07/06 (FR98/08630)

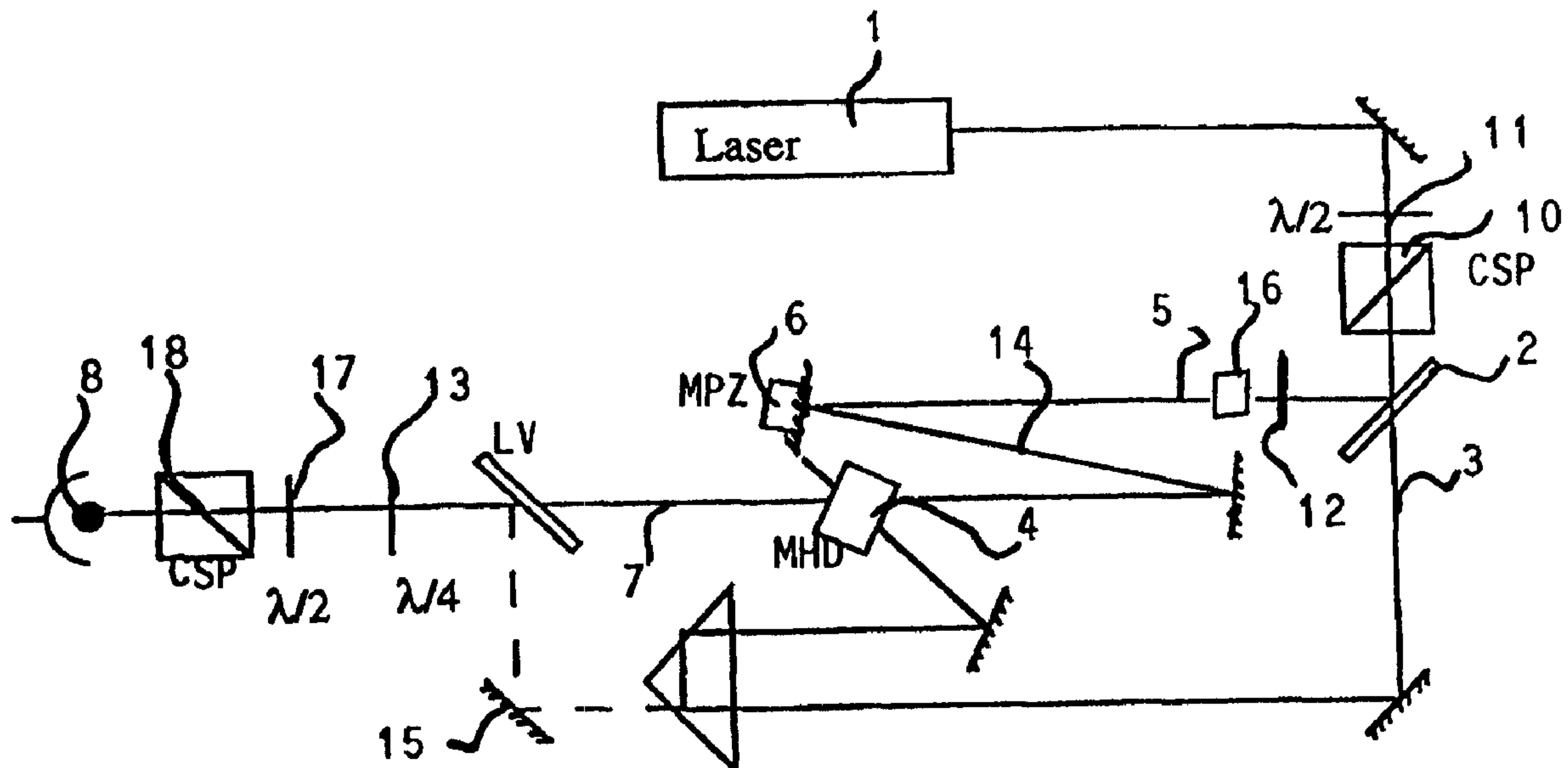
(51) Cl.Int./Int.Cl. *G01H 9/00* (2006.01)

(72) Inventeurs/Inventors:
DELAYE, PHILIPPE, FR;
ROOSEN, GERALD, FR

(73) Propriétaire/Owner:
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (CNRS), FR

(74) Agent: GOWLING LAFLEUR HENDERSON LLP

(54) Titre : VELOCIMETRE HOLOGRAPHIQUE DYNAMIQUE POUR LA MESURE DE VIBRATIONS
(54) Title: DYNAMIC HOLOGRAPHIC VELOCIMETER FOR MEASURING VIBRATIONS



(57) Abrégé/Abstract:

The invention concerns a method for velocimetric measuring of a target (6) vibrating with a displacement higher than the wavelength, with limited extension about a mean position, which consists in causing a reference laser beam (3) and a beam diffused (14) by the target (6) to interfere in the holographic material (4); and measuring with a photoelectric detector (8) the variation of the luminous intensity transmitted by the material is measured.

PCT

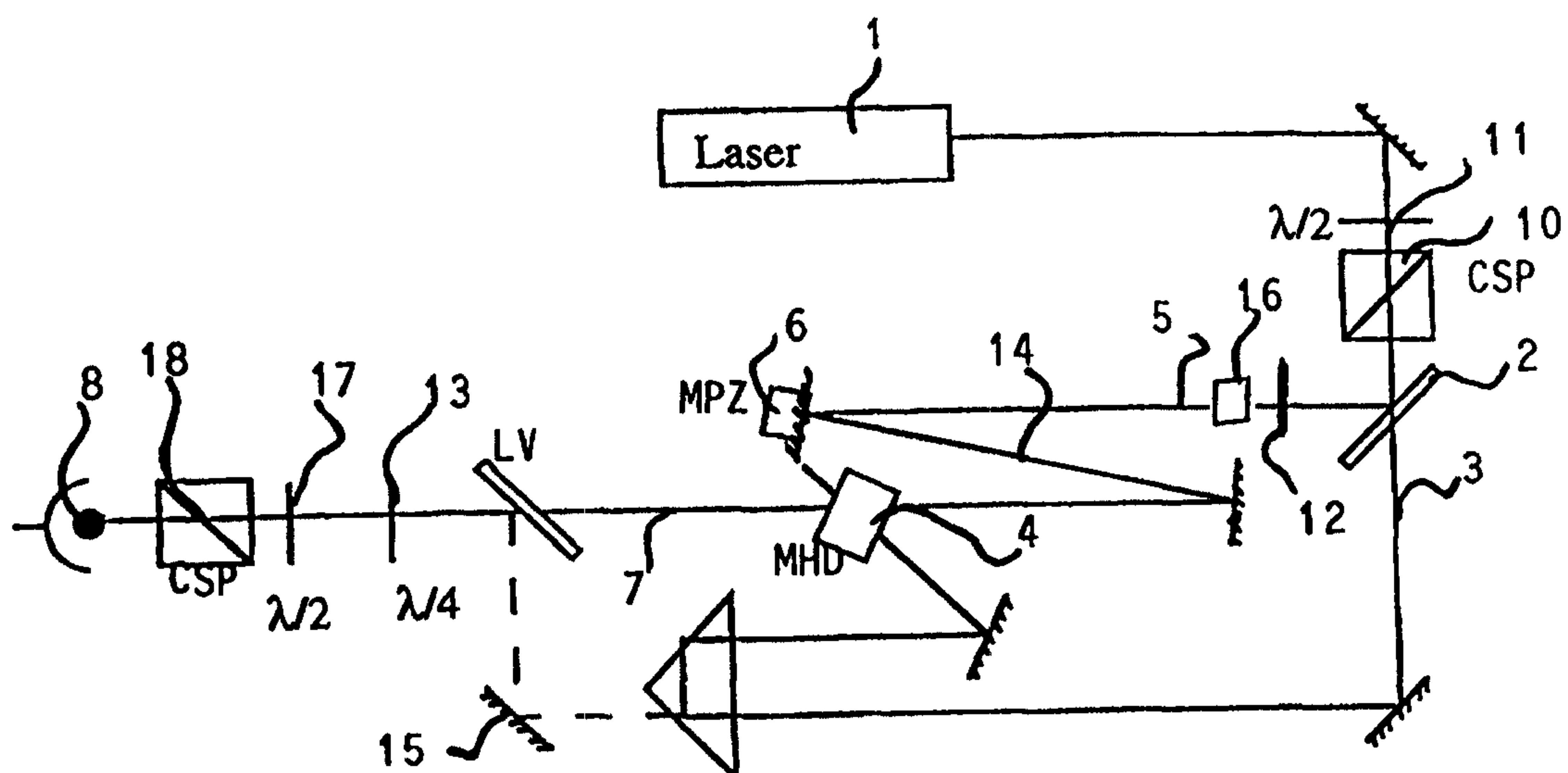
ORGANISATION MONDIALE DE LA PROPRIETE INTELLECTUELLE
Bureau international

DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIEE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁷ : G01H 9/00		A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 00/02023 (43) Date de publication internationale: 13 janvier 2000 (13.01.00)
(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR99/01631 (22) Date de dépôt international: 6 juillet 1999 (06.07.99)		(81) Etats désignés: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, UG, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).	
(30) Données relatives à la priorité: 98/08630 6 juillet 1998 (06.07.98) FR		Publiée Avec rapport de recherche internationale.	
(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, F-75794 Paris Cedex 16 (FR).			
(72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): DELAYE, Philippe [FR/FR]; 257, rue du Faubourg Saint Martin, F-75010 Paris (FR). ROOSEN, Gérald [FR/FR]; 3, rue de Guiloire, F-78720 La Celle les Bordes (FR).			
(74) Mandataires: BREESE, Pierre etc.; Breese-Majerowicz, 3, avenue de l'Opéra, F-75001 Paris (FR).			

(54) Title: DYNAMIC HOLOGRAPHIC VELOCIMETER FOR MEASURING VIBRATIONS

(54) Titre: VELOCIMETRE HOLOGRAPHIQUE DYNAMIQUE POUR LA MESURE DE VIBRATIONS



(57) Abstract

The invention concerns a method for velocimetric measuring of a target (6) vibrating with a displacement higher than the wavelength, with limited extension about a mean position, which consists in causing a reference laser beam (3) and a beam diffused (14) by the target (6) to interfere in the holographic material (4); and measuring with a photoelectric detector (8) the variation of the luminous intensity transmitted by the material is measured.

VELOCIMETRE HOLOGRAPHIQUE DYNAMIQUE POUR LA
MESURE DE VIBRATIONS.

La présente invention concerne le domaine de la métrologie, et plus précisément de la mesure de la vitesse de déplacement d'objets animés d'un mouvement vibratoire.

5 Pour mesurer des mouvements rapides d'un objet, il est connu d'utiliser un équipement mettant en œuvre un faisceau laser divisé entre un faisceau fixe direct et un faisceau secondaire indirect illuminant la cible vibrante, interférant dans un matériau holographique.

10 A titre d'exemple, le brevet US3,899,921 décrit un montage utilisant un hologramme stationnaire et mettant en œuvre le principe de l'holographie en temps moyenné. Pour augmenter l'amplitude des vibrations mesurables (limité par principe par la technique du temps moyenné), 15 l'invention décrite dans ce brevet de l'art antérieur concerne un équipement utilisant un montage annexe qui permet de compenser une partie plus ou moins importante du déplacement de la cible. Le montage de la référence permet d'avoir une cartographie du déplacement de l'objet mais ne permet pas de suivre la variation temporelle de cette vibration. Le montage de la référence ne fonctionne par exemple pas sur des objets se déplaçant de manière transitoire.

20 25 Les articles de R.K. Ing and J.P. Monchalin, "Broadband optical detection of ultrasound by two-wave mixing in a photorefractive crystal", Appl. Phys. Lett. 59 (1991) 3233 et A. Blouin and J.P. Monchalin, "Detection of ultrasonic motion of a scattering surface by two-wave mixing in a photorefractive GaAs crystal", Appl. Phys. Lett. 65 (1994) 932 divulguent l'utilisation d'un montage de mélange à deux ondes pour détecter des vibrations ultrasonores.

30 35 Le montage décrit dans ce document de l'art antérieur fonctionne en mesure de déplacement alors que le

5

nôtre mesure la vitesse instantanée de la cible vibrante. De plus le système présenté dans l'article ne peut pas mesurer des déplacements supérieurs à la longueur d'onde (environ $0,5\mu\text{m}$) tandis que l'invention est conçue pour l'analyse de grands déplacements (supérieurs à plusieurs μm).

10

Un autre article, A.A. Kamshilin, E.V. Mokrushina, "Possible use of photorefractive crystals in holographic vibrometry", Sov. Tech. Phys. Lett. **12** (1986) 149, décrit l'utilisation d'un cristal photoréfractif dans un montage de mélange à deux ondes afin de détecter des vibrations de forte amplitude de haute fréquence. Le principe est en fait très proche de celui de l'holographie en temps moyennée. Là où l'hologramme bouge d'environ π l'hologramme est effacé et la diffraction ne se produit pas, donc on a une cartographie des lignes où le déphasage est π .

15

20

25

30

35

L'article de S. Breugnot, M. Defour, J.-P. Huignard, "Photorefractive two-wave mixing : complex amplitudes solutions in the case of a weak signal beam", Optics Commun. 134 (1997) 599 décrit un procédé de détection de vibrations par un montage de détection hétérodyne ou homodyne basé sur le mélange à deux ondes. Une des hypothèses de départ est que les vibrations sont rapides devant le temps de réponse et que l'hologramme inscrit peut être effacé par une vibration de trop forte amplitude. Dans le cas de la mesure de vitesse par mesure de décalage Doppler (détection hétérodyne) les auteurs considèrent un déplacement du réseau continu toujours dans le même sens et non d'extension limitée autour d'une position moyenne comme dans le cas de la mesure de la vitesse vibrationnelle d'un objet, comme dans le cas de l'invention.

De même, l'article de T.J. Hall, M.A. Fiddy,

M.S. Ner, "Detector for an optical fiber acoustic sensor

using dynamic holographic interferometry", Opt. Lett. 5 (1980) 485 divulgue l'utilisation d'un montage holographique pour mesurer des vibrations acoustiques. Le montage décrit ne fonctionne qu'à haute fréquence avec des vibrations de faible amplitude pour éviter l'effacement du réseau.

10 Ces équipements selon l'état de la technique sont adaptés à des déplacements vibratoires de faible amplitude et de fréquence élevée. Les équipements selon l'état de la technique ne sont par contre pas adaptés pour la mesure de vitesse pour des cibles vibrant à faible fréquence, avec des mouvements d'amplitude éventuellement importante.

15 Le but de l'invention est de mesurer la vitesse d'objets animés d'un déplacement vibratoire autour d'une position moyenne, sans contact et sans préparation préalable, et de permettre ainsi d'établir, entre autre, un spectre des vitesses de vibration de cet objet. Le dispositif permettra de mesurer des vibrations d'amplitude 20 de l'ordre et supérieure à la longueur d'onde de la lumière utilisée, les fréquences d'étude appartiendront aux domaines des basses fréquences (typiquement 0 à 10 kHz).

25 Un autre but de l'invention est de permettre une mesure qui ne soit pas sensible à l'état de surface de l'objet et pourra donc travailler sans traitement préalable de la surface de l'objet (polissage).

30 L'invention concerne dans une première acception un procédé consistant à mélanger deux ondes dans un matériau holographique dynamique déjà utilisé pour développer un capteur de vibrations ultrasonores. Le point de mesure sur l'objet est illuminé par un faisceau issu d'une source laser. L'onde réfléchie et diffusée par le point de mesure, est envoyée dans le matériau holographique dynamique en même temps qu'une onde de pompe issue de la même source laser. Ces ondes inscrivent dans le matériau 35

holographique dynamique un hologramme de la structure du front d'onde de l'onde signal issue de l'objet. Cet hologramme est relu par le faisceau pompe pour donner un faisceau oscillateur local qui est envoyé sur un détecteur en même temps que le faisceau signal transmis par le matériau holographique dynamique. Du fait des propriétés de l'holographie, les deux ondes (oscillateur local et onde signal transmise) sont identiques et déphasées d'une valeur qui dépend du montage et du matériau utilisé. Ce déphasage sera choisi de manière à rendre optimal le fonctionnement de l'invention.

Lorsque l'objet entre en vibration (naturellement ou suite à une excitation extérieure), la vibration du point de mesure module en phase l'onde signal renvoyée par l'objet. Le but du système va être de transformer cette modulation de phase en modulation d'intensité qui sera transformée en signal électrique caractéristique de la vibration. Cette transformation va dépendre à la fois de la fréquence de la vibration et de son amplitude. Pour les vibrations de très faible amplitude (par rapport à la longueur d'onde de la lumière utilisée) et de très haute fréquence (par rapport à l'inverse du temps de réponse du matériau holographique dynamique), on connaît des solutions dans l'art antérieur. C'est le cas, par exemple, des vibrations ultrasonores où la modulation de phase est trop rapide et de trop faible amplitude pour perturber l'hologramme inscrit dans le matériau holographique dynamique. Celui-ci est donc stationnaire du point de vue de la vibration et l'oscillateur local issu de la diffraction du faisceau pompe stationnaire sur l'hologramme stationnaire, est lui-même stationnaire. Il est envoyé sur le détecteur en même temps que le faisceau signal transmis qui lui est modulé en phase par la vibration ultrasonore. Si le déphasage ϕ_y entre les deux faisceaux envoyés sur le détecteur est

5

pris égal à $\pi/2$ (ondes en quadrature), l'interférence entre les deux faisceaux signal et oscillateur local transforme la modulation de phase en modulation d'intensité, puis en signal électrique directement proportionnel à l'amplitude de la vibration ultrasonore. Le montage de mélange à deux ondes est donc très bien adapté à la mesure des vibrations ultrasonores.

10

Par contre dès que l'on va vouloir augmenter l'amplitude des vibrations que l'on cherche à mesurer (en restant à haute fréquence) le montage selon l'état de la technique ne fonctionnera plus. En effet lorsque la vibration a une grande amplitude (par rapport à la longueur d'onde de la lumière), tout d'abord la réponse du dispositif n'est plus linéaire, et ensuite l'hologramme est effacé par la modulation de phase, ce qui fait disparaître l'oscillateur local et supprime le signal électrique de mesure. Il n'est donc pas possible de mesurer des vibrations de grande amplitude et de haute fréquence avec ce dispositif.

15

20

25

30

35

Le problème est résolu par l'invention dans le cas des vibrations de faible fréquence (par rapport à l'inverse du temps de réponse du matériau holographique dynamique) et l'on peut alors mesurer des vibrations de grande amplitude. À faible fréquence, l'hologramme inscrit n'est plus stationnaire, il se déplace suivant une loi liée à la modulation de phase. Toutefois il suit cette modulation avec un certain retard qui dépend de la fréquence de variation de cette modulation de phase (il la suit d'autant mieux qu'elle est lente). La modulation de phase retardée à cause du déplacement de l'hologramme est alors transmise à l'oscillateur local qui va encore interférer en quadrature avec l'onde signal transmise. Le signal électrique est alors proportionnel à la dérivée de la modulation de phase et donc proportionnel à la vitesse instantanée de l'objet vibrant. La saturation à grande

5

amplitude de déplacement existe toujours mais elle est considérablement relaxée et elle peut être contrôlée par le temps de réponse du matériau holographique dynamique. À fréquence donnée, la valeur correspondant à la saturation sera d'autant plus grande que le temps de réponse du matériau holographique sera court.

10

L'invention est une adaptation originale du montage de mélange à deux ondes dans un matériau holographique dynamique permettant l'extension du régime de fonctionnement à la mesure de vibrations de basse fréquence (comparée au temps de réponse du matériau holographique dynamique) et de forte amplitude (comparée à la longueur d'onde de la lumière utilisée). Tous les montages effectivement utilisés ont toujours considéré l'hologramme comme fixe à l'échelle de temps de la vibration. Aucun montage n'a utilisé un hologramme mobile pour la détection de la vibration (si l'on excepte le montage très différent utilisant la force photoélectromotrice transitoire pour la mesure de décalage Doppler).

15

L'invention présente également l'avantage de permettre le suivi de signaux transitoires dans tout leur développement temporel.

20

Il existe actuellement des capteurs de vibrations disponibles commercialement. Ils sont basés sur des dispositifs de détection cohérente (homodyne ou hétérodyne). Bien que très performants ces capteurs voient leur efficacité chuter fortement dès qu'ils sont employés avec des surfaces diffusantes, ce qui empêche souvent de faire la mesure à moins de polir la surface de l'objet testé. Il existe toutefois un certain nombre de domaines où il n'est pas possible de polir l'objet étudié.

25

L'invention sera décrite dans ce qui suit de façon détaillée, en relation avec un exemple de réalisation non limitatif où :

35

- la figure 1 : Schéma du montage expérimental utilisé pour valider le fonctionnement du vélocimètre à mélange deux ondes.

5 - la figure 2 : Comparaison de la réponse obtenue avec le montage de mélange à deux ondes (courbe en gras) avec celle obtenue avec un interféromètre de Mach-Zehnder (courbe en trait fin). Le signal envoyé à la cale piézoélectrique dans les deux cas est montré en pointillé.

10 - la figure 3 : Signal de réponse à une modulation de phase sinusoïdale de forte amplitude, pour une forte valeur de l'illumination (courbe pointillé) et une faible illumination (courbes en trait plein). La courbe en trait gras représente une mesure à faible illumination et avec un déphasage divisé par 10.

15 - la figure 4 : Réponse à un faible déphasage sinusoïdal à faible illumination (trait gras) et à forte illumination (trait grisé). En trait fin est indiqué le signal envoyé à la cale piézoélectrique.

20 - la figure 5 : Réponse à un faible déphasage triangulaire à faible illumination (trait gras) et à forte illumination (trait grisé). En trait fin est indiqué le signal envoyé à la cale piézoélectrique.

25 - la figure 6 : Réponse à un faible déphasage triangulaire à forte illumination (trait grisé). Signal obtenu dans les mêmes conditions avec une fréquence multipliée par 100. En trait fin est indiqué le signal envoyé à la cale piézoélectrique.

30 La figure 1 représente le schéma d'un exemple de réalisation d'un vélocimètre à mélange deux ondes selon l'invention. Différentes architectures sont possibles pour obtenir un faisceau diffracté en quadrature avec le faisceau transmis ($\Phi_y = \pi/2$) et sur les types de matériaux qui peuvent être utilisés. La lumière issue d'un laser (1), est séparée en deux par un séparateur de faisceau (2). L'un des deux faisceaux, le

5

faisceau de référence (3), est envoyé dans le matériau holographique dynamique (4) pour former le faisceau pompe. L'autre faisceau, le faisceau de mesure (5) est envoyé sur la cible (6) dont on veut mesurer la vibration. La lumière renvoyée par la cible (6) est collectée et envoyée sur le matériau holographique dynamique (4) pour former le faisceau signal (14).

10

15

20

Ce transport de faisceau (aussi bien pour le signal que pour la pompe) peut se faire avec des fibres multi-modes de gros diamètre de cœur, pour avoir une mesure déportée. La lumière du faisceau signal (7) après traversée du matériau holographique (4), est envoyée sur un détecteur (8) pour donner un signal électrique qui sera ensuite traité par un système électronique. Ce montage de base est complété par des moyens optiques pour assurer que l'on a un faisceau diffracté (7) en quadrature avec le signal transmis (7). Il existe différentes possibilités pour avoir $\Phi_\gamma = \pi/2$. Leurs implantations vont principalement dépendre de la nature du matériau holographique (4) dynamique.

25

La première possibilité est l'utilisation d'un matériau holographique dynamique (4) dans lequel l'hologramme inscrit est local, c'est-à-dire en phase avec la figure d'illumination, comme par exemple un matériau photoréfractif avec une tension électrique appliquée. Dans ce cas, on a directement $\Phi_\gamma \approx \pi/2$. Il suffit de mettre le détecteur (8).

30

Une seconde possibilité est l'utilisation d'un matériau dans lequel l'hologramme est déphasé de $\pi/2$ par rapport au réseau d'illumination, comme dans le cas d'un matériau photoréfractif sans champ électrique appliqué. Dans ce cas, on a automatiquement $\Phi_\gamma=0$. Ce qui signifie une efficacité nulle du montage. Il va donc falloir rajouter un déphasage supplémentaire de manière

externe pour obtenir $\phi_Y \approx \pi/2$. Plusieurs possibilités existent.

Une première solution consiste à polariser les faisceaux incidents (3, 5 ou 14), le faisceau pompe suivant une direction X et le faisceau signal (14) à 45° de cette direction.

Le faisceau signal (14) comporte deux composantes d'égales amplitudes suivant deux directions de polarisations X et Y, Y désignant la direction orthogonale à X. La composante polarisée suivant X du faisceau signal (14) écrit l'hologramme avec le faisceau pompe (3), et crée ainsi un faisceau diffracté polarisé suivant X.

Le faisceau (7) transmis comporte lui, les deux composantes suivant X et Y. Après le cristal (4) on place une lame de phase (13) dont les axes sont suivant les directions X et Y et qui déphase de $\pi/2$ la composante suivant Y du faisceau signal (7) transmis par rapport au faisceau diffracté (7) qui est polarisé suivant X. On fait ensuite interférer les deux composantes en plaçant un cube séparateur de polarisation (18) orienté à 45° des directions X et Y et on envoie les deux faisceaux issus du cube sur deux détecteurs (8). Sur les deux détecteurs (8), on a deux signaux correspondant à des déphasages respectivement égaux à $+\pi/2$ et $-\pi/2$. On fait ensuite la différence des deux signaux électriques pour avoir le signal final de mesure.

Avec ce type d'hologramme, on peut aussi utiliser le cristal photoréfractif dans une configuration particulière appelée configuration de diffraction anisotrope dans laquelle le faisceau diffracté est polarisé orthogonalement par rapport au faisceau d'écriture. On peut donc utiliser dans le montage précédent deux faisceaux incidents polarisés suivant X, le diffracté sera polarisé suivant Y. En mettant ensuite

un système optique identique au précédent (lame de phase orientée suivant X et Y et déphasant de $\pi/2$, puis un cube séparateur de polarisation orienté à 45° envoyant les faisceaux sur deux détecteurs (8)) on obtient encore une fois un signal différentiel.

5

10

Ces deux montages peuvent être généralisés à un matériau holographique (4) dans lequel l'hologramme possède un déphasage quelconque par rapport au réseau d'illumination (cas d'un cristal photoréfractif sous champ électrique). Dans un tel cas, le montage est identique aux précédents simplement la lame de phase possède un déphasage variable qui sert simplement à amener le déphasage total Φ_Y entre le faisceau diffracté et le signal transmis à sa valeur optimale de $\pi/2$.

15

20

25

30

Le matériau que l'on utilisera sera d'une manière générale tout matériau holographique (4) dynamique c'est-à-dire un matériau dans lequel une structure d'illumination donnée par l'interférence de deux faisceaux engendrera un hologramme d'un de ces faisceaux, cet hologramme étant dynamique, c'est-à-dire qu'il suivra les évolutions de la structure d'illumination de manière suffisamment rapide pour que l'on ait un système qui réponde au cahier des charges posé. Parmi les matériaux holographiques dynamiques, on pourra avantageusement utiliser des matériaux photoréfractifs. Parmi les cristaux photoréfractifs, on pourra utiliser les sillénites, ainsi que les composés semi-conducteurs III-V comme GaAs, InP et II-VI comme CdTe, ZnTe ou des structures à puit quantique. Ce montage, comme tout montage basé sur les techniques holographiques, permet de faire des mesures en parallèle sur plusieurs points dans le cadre d'un traitement multicanal ou d'imagerie.

35

Le procédé selon l'invention est basé sur l'utilisation d'un matériau holographique (4) dynamique

dans lequel on inscrit un hologramme. Ce peut-être un hologramme de phase ou d'amplitude. La suite de l'explication sera faite en considérant un hologramme de phase ou réseau d'indice. Elle peut-être aisément adaptée pour considérer le cas d'un hologramme d'amplitude ou réseau d'absorption. Cet hologramme est obtenu en faisant interférer sur le matériau holographique (4) dynamique le faisceau signal (14) (d'amplitude E_s et d'intensité I_s) issu de la cible (6) avec un faisceau pompe (3) (d'amplitude E_p et d'intensité I_p) issu du même laser. En régime stationnaire, l'hologramme est une variation d'indice dont l'amplitude Δn est proportionnelle à m , terme d'interférence entre les deux faisceaux (donné par le produit $2E_sE_p*/(I_s+I_p)$). L'hologramme est dynamique, ce qui signifie qu'il atteint son régime stationnaire après un certain temps. Cette dynamique sera donnée (sans perte de généralité) par une loi de cinétique du premier ordre avec une constante de temps réelle. L'hologramme étant caractérisé par la quantité Δn , cette quantité suit donc la loi de variation suivante (G est la constante de proportionnalité donnant la force du réseau d'indice) :

$$\frac{\partial \Delta n}{\partial t} + \frac{\Delta n}{\tau} = \frac{G m}{\tau^2} \quad (1)$$

Si la cible (6) vibre, cela va se traduire par l'introduction d'une modulation de phase transitoire $\phi(t)$ (proportionnelle au déplacement $\delta(t)$ de la cible (6)) sur le faisceau signal (14), et par suite, par un déplacement de la figure d'interférence suivant une loi : $E_s(t) = E_{s0} e^{i\phi(t)}$. Donc la modulation des franges d'interférence (autre nom de m) intervenant dans l'équation (1) est une quantité variant dans le temps ($m(t) = m_0 e^{i\phi(t)}$).

Les faisceaux signal (14) et pompe (3) interférant dans le matériau holographique (4) dynamique vont inscrire un hologramme dynamique, qui suivra donc

5

plus ou moins facilement la modulation de phase engendrée par une vibration de la cible (6). Par ailleurs, les deux faisceaux vont diffracter sur l'hologramme qu'ils inscrivent. En particulier, le faisceau pompe (3) va diffracter sur l'hologramme pour donner un faisceau se propageant dans la direction du faisceau signal transmis (7).

10

La condition d'utilisation du vélocimètre dépend du temps de réponse τ du matériau holographique dynamique. Par exemple, pour une vibration sinusoïdale d'amplitude δ et de fréquence f , la relation entre τ et $f\delta$ est fixée par la condition :

$$f\delta < \frac{\lambda}{24\pi^2\tau} \approx \frac{4}{1000} \frac{\lambda}{\tau}$$

15

On pourra détecter des vibrations de grande amplitude et de très basse fréquence comme des vibrations de haute fréquence et de faible amplitude, par contre on ne pourra pas mesurer des vibrations de haute fréquence et forte amplitude.

20

Le montage (Fig.1) est un montage de mélange à deux ondes dans un cristal photoréfractif de CdTe. Le cristal est utilisé en configuration de diffraction anisotrope avec en sortie une lame quart d'onde (13) servant à créer le déphasage de $\phi_y = \pi/2$, suivie d'un ensemble lame demi-onde (17) et d'un cube séparateur de polarisation (18) simulant un cube séparateur de polarisation à 45° . Une seule voie du montage est utilisée avec un seul détecteur (8). Par rapport au vrai montage de diffraction anisotrope, seul le caractère différentiel de la sortie n'est pas conservé. Sur le faisceau pompe (3) une ligne à retard est installée, elle peut être aisément enlevée et replacée. Lorsque elle est enlevée le faisceau pompe (3) est envoyé sur un miroir (15) qui renvoie le faisceau sur une lame de verre constituant la seconde lame de séparatrice d'un

interféromètre de Mach-Zehnder. (La première est la lame de verre (2) qui engendre le faisceau pompe (3) et le faisceau signal (14) du montage de mélange à deux ondes. On peut donc très facilement passer du montage de mélange à deux ondes à un interféromètre classique qui permet de mesurer directement le déphasage. En sortie du laser une lame demi onde (11) et un polariseur (10) permettent de faire varier la puissance incidente sur le cristal photoréfractif (4) et donc la constante de temps de l'effet photoréfractif. Compte tenu des fréquences utilisées, on passe ainsi d'une configuration (forte illumination) où la fréquence est faible devant l'inverse du temps de réponse du cristal photoréfractif à une configuration (faible illumination) où la fréquence est grande devant l'inverse du temps de réponse du cristal photoréfractif. Le régime de fonctionnement qui nous intéresse est celui à forte illumination, tandis que le régime à faible illumination correspond au montage de mélange à deux ondes fonctionnant comme détecteur (8) d'ultrasons.

Dans la première mesure effectuée, on envoie un déphasage sinusoïdal de forte amplitude (de l'ordre de 2π) et de faible fréquence comparée à l'inverse du temps de réponse du cristal photoréfractif (temps de réponse court dû à la forte illumination incidente). La figure 2 représente la comparaison de la réponse obtenue avec le montage de mélange à deux ondes (courbe en gras) avec celle obtenue avec un interféromètre de Mach-Zehnder (courbe en trait fin). Le signal envoyé à la cale piézoélectrique dans les deux cas est montré en pointillé.

La mesure est faite avec l'interféromètre de Mach Zehnder (réglé à peu près en quadrature) et elle est comparée à la réponse donnée par le vélocimètre à mélange à deux ondes. On voit sur la courbe que le déphasage

supérieur à π cause une réponse complexe du Mach Zehnder, avec plusieurs repliements de la réponse, correspondant à un déphasage dû au miroir piézo-électrique estimé à environ $(3\pi/2)\sin(2\pi ft)$. Dans le cas du vélocimètre à mélange à deux ondes, la réponse est quasiment sinusoïdale (une composante à la seconde harmonique commence à être visible) et déphasée de $\pi/2$ par rapport au déphasage initial. Ce déphasage de $\pi/2$ correspondant à une dérivation du sinus, on a bien une réponse proportionnelle à la vitesse instantanée de la cible (6) comme prédit par la théorie et qui de plus permet de mesurer de fort déplacement.

La figure 3 représente le signal de réponse à une modulation de phase sinusoïdale de forte amplitude, pour une forte valeur de l'illumination (courbe pointillé) et une faible illumination (courbes en trait plein). La courbe en trait gras représente une mesure à faible illumination et avec un déphasage divisé par 10.

Avec le montage représenté en figure 1, on peut aussi avoir une indication de la réponse en fréquence du vélocimètre par mélange à deux ondes. On baisse l'illumination afin que la fréquence de la modulation de phase devienne grande devant l'inverse du temps de réponse du cristal photoréfractif. Le fonctionnement du mélange à deux ondes ne permet plus de mesurer de forts déphasages. La vibration de la figure d'illumination sur plus d'une frange cause un effacement du réseau qui entraîne une chute de l'efficacité de la mesure de la phase en même temps que l'apparition d'harmoniques supérieures dans la réponse, c'est ce que l'on observe sur la courbe en trait fin de la Figure 3. Pour retrouver un comportement linéaire avec le déphasage il faut dans ces conditions baisser l'amplitude du déphasage sinusoïdal. C'est ce que l'on observe sur la

courbe en trait gras de la figure 3 pour laquelle on a baissé l'amplitude du déphasage d'un facteur 10.

La figure 4 représente la réponse à un faible déphasage sinusoïdal à faible illumination (trait gras) et à forte illumination (trait grisé). En trait fin est indiqué le signal envoyé à la cale piézoélectrique.

Le signal est alors en phase avec le déphasage, contrairement à la courbe en pointillé obtenue à fort déphasage et à forte puissance d'illumination (régime de basse fréquence) (sur la figure les deux courbes sont en phase pour des raisons purement fortuite de changement de niveau de déclenchement). Ce point est vu plus en détail sur la figure suivante (Fig. 4). Pour cette courbe on mesure un déphasage faible ($<\pi$) et on fait varier l'illumination incidente, tout chose restant par ailleurs constante, pour passer du régime de basse fréquence (forte illumination) au régime de haute fréquence (faible illumination). À faible fréquence le mélange à deux ondes se comporte en déivateur ce qui cause le déphasage de $\pi/2$ entre la réponse du mélange à deux ondes (courbe grise) par rapport au déphasage initial (courbe en trait fin). Tandis qu'à haute fréquence, il est directement proportionnel (courbe en gras) au déphasage initial, ce que traduit le fait que les deux courbes sont en phase.

La figure 5 représente la réponse à un faible déphasage triangulaire à faible illumination (trait gras) et à forte illumination (trait grisé). En trait fin est indiqué le signal envoyé à la calé piézoélectrique. Ce comportement de déivateur est encore plus évident lorsque l'on envoie sur le miroir piézo-électrique un signal triangulaire de faible amplitude (Fig. 5). À basse fréquence on mesure la dérivée de ce signal (courbe grise), qui est un signal carré, tandis qu'à haute fréquence on est de nouveau proportionnel au déphasage

comme le montre le signal triangulaire (courbe en gras) obtenu sur le détecteur (8).

Enfin dans une dernière série de mesure (Fig. 6) nous avons gardé un déphasage triangulaire de faible amplitude ainsi qu'une illumination constante, et nous avons multiplié par 100 la fréquence du déphasage, pour passer directement du régime basse fréquence au régime haute fréquence. Ici encore, le signal mesuré passe d'un carré (courbe grise) correspondant à une dérivation du signal à basse fréquence, à un triangle correspondant à la réponse proportionnelle au déphasage (courbe en gras) obtenue à haute fréquence (capteur d'ultrasons).

REVENDICATIONS

1 - Procédé de mesure vélocimétrique d'une cible consistant à faire interférer dans un matériau holographique un faisceau laser de référence et un faisceau diffusé par la cible, lesdits faisceaux ayant une longueur d'onde prédéterminée, et en ce que l'on mesure à l'aide d'un détecteur photoélectrique la variation d'intensité lumineuse transmise par le matériau caractérisé en ce que le matériau holographique est un matériau holographique dynamique et en ce que la cible est une cible vibrant avec un déplacement supérieur à la longueur d'onde, avec une extension limitée autour d'une position moyenne.

2 - Procédé de mesure vélocimétrique d'une cible selon la revendication 1 caractérisé en ce que la détection est déterminée pour des fréquences de vibration de la cible inférieures à 10Khz.

3 - Procédé de mesure vélocimétrique d'une cible selon la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce que la détection est déterminée pour des amplitudes de vibration de la cible supérieures à 0,1 μ m.

4 - Procédé de mesure vélocimétrique d'une cible selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 caractérisé en ce que l'amplitude de déplacement de la cible est comprise entre $\lambda/10$ et $4\lambda/1000\tau F$ où:

- λ désigne la longueur du faisceau laser
- τ désigne le temps de réponse du matériau holographique (4)
- F désigne la fréquence de vibration.

5 - Vélocimètre constitué par un laser produisant un faisceau divisé en un faisceau de référence

5

et un faisceau dirigé vers une cible vibrant à une fréquence inférieure à 10Khz avec une amplitude supérieure à $0,1\mu\text{m}$ autour d'une position moyenne, les deux faisceaux interférant dans un matériau holographique dynamique, le signal lumineux transmis par le matériau holographique étant détecté par un photodétecteur.

10

6 - Vélocimètre selon la revendication 5 caractérisé en ce que le transport de faisceau est réalisé avec des fibres multi-modes de gros diamètre de cœur.

15

7 - Vélocimètre selon la revendication 5 ou 6 caractérisé en ce que le matériau holographique dynamique est un matériau dans lequel l'hologramme est en phase par rapport au réseau d'illumination de manière à avoir ϕ_y environ égale à $\pi/2$ comme dans le cas d'un matériau photoréfractif avec une tension électrique appliquée.

20

25

8 - Vélocimètre selon la revendication 5 ou 6 caractérisé en ce que le matériau holographique dynamique est un matériau dans lequel l'hologramme est déphasé de $\pi/2$ par rapport au réseau d'illumination, comme dans le cas d'un matériau photoréfractif sans champ électrique appliqué et en ce qu'il comporte un moyen pour réaliser un déphasage supplémentaire de manière externe pour obtenir $\phi_y \approx \pi/2$.

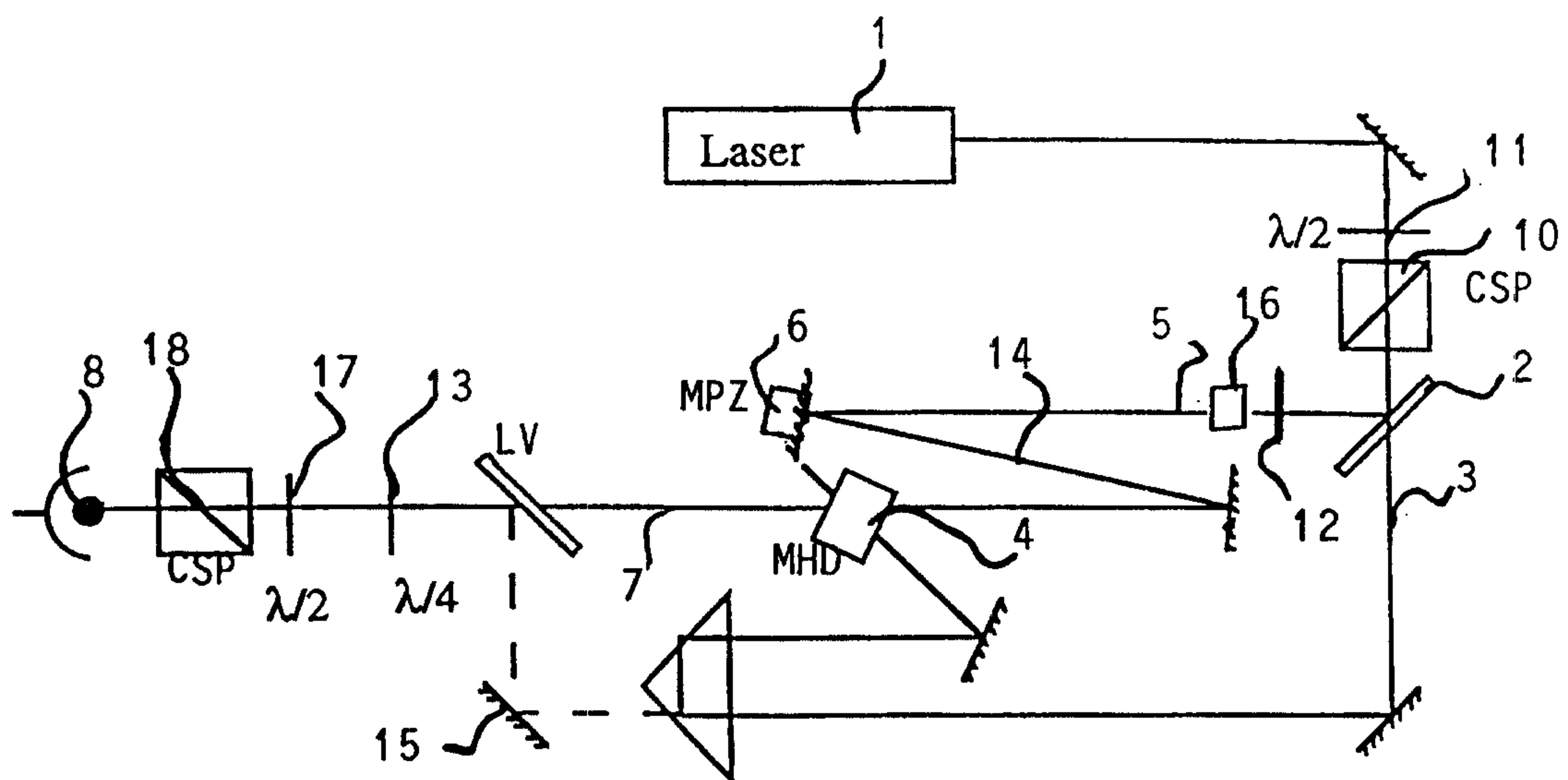
30

9 - Vélocimètre selon la revendication 8 caractérisé en ce que le matériau holographique dynamique est un matériau phoréfractif utilisé en configuration de diffraction anisotrope.

10 - Vélocimètre selon la revendication 8 caractérisé en ce qu'il comporte une lame demi onde et un polariseur sur le trajet des faisceaux incidents pour polariser les faisceaux incidents, le faisceau pompe suivant une direction X et le faisceau final à 45° de cette direction.

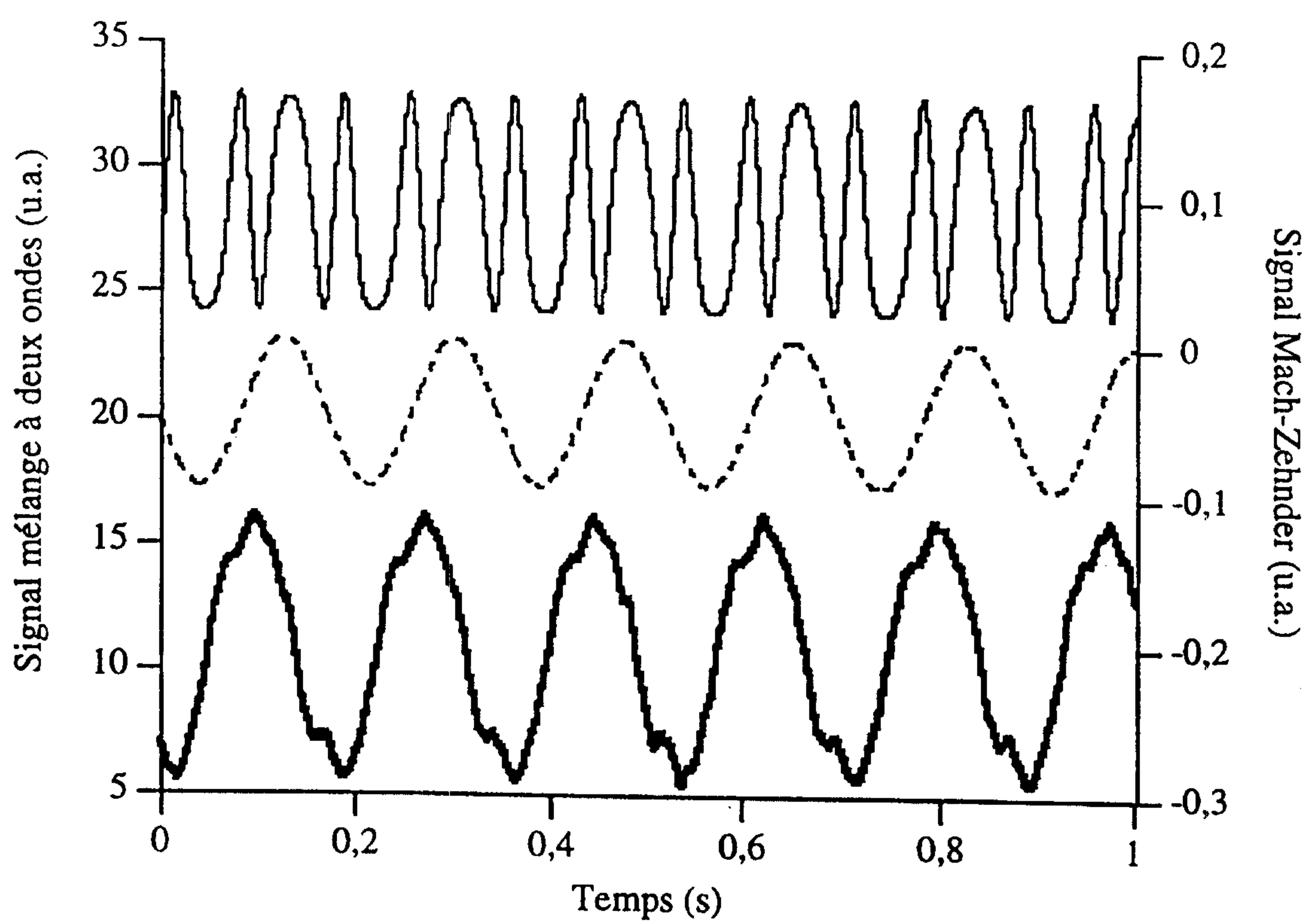
11 - Vélocimètre selon la revendication 10 caractérisé en ce qu'il comporte après le cristal une lame de phase dont les axes sont suivant les directions X et Y et qui déphase de $\pi/2$ la composante suivant Y du faisceau signal transmis par rapport au faisceau diffracté qui est polarisé suivant X, les deux composantes interférant dans un cube séparateur de polarisation orienté à 45° des directions X et Y, les deux faisceaux issus du cube étant dirigés sur deux détecteurs.

Fig. 1



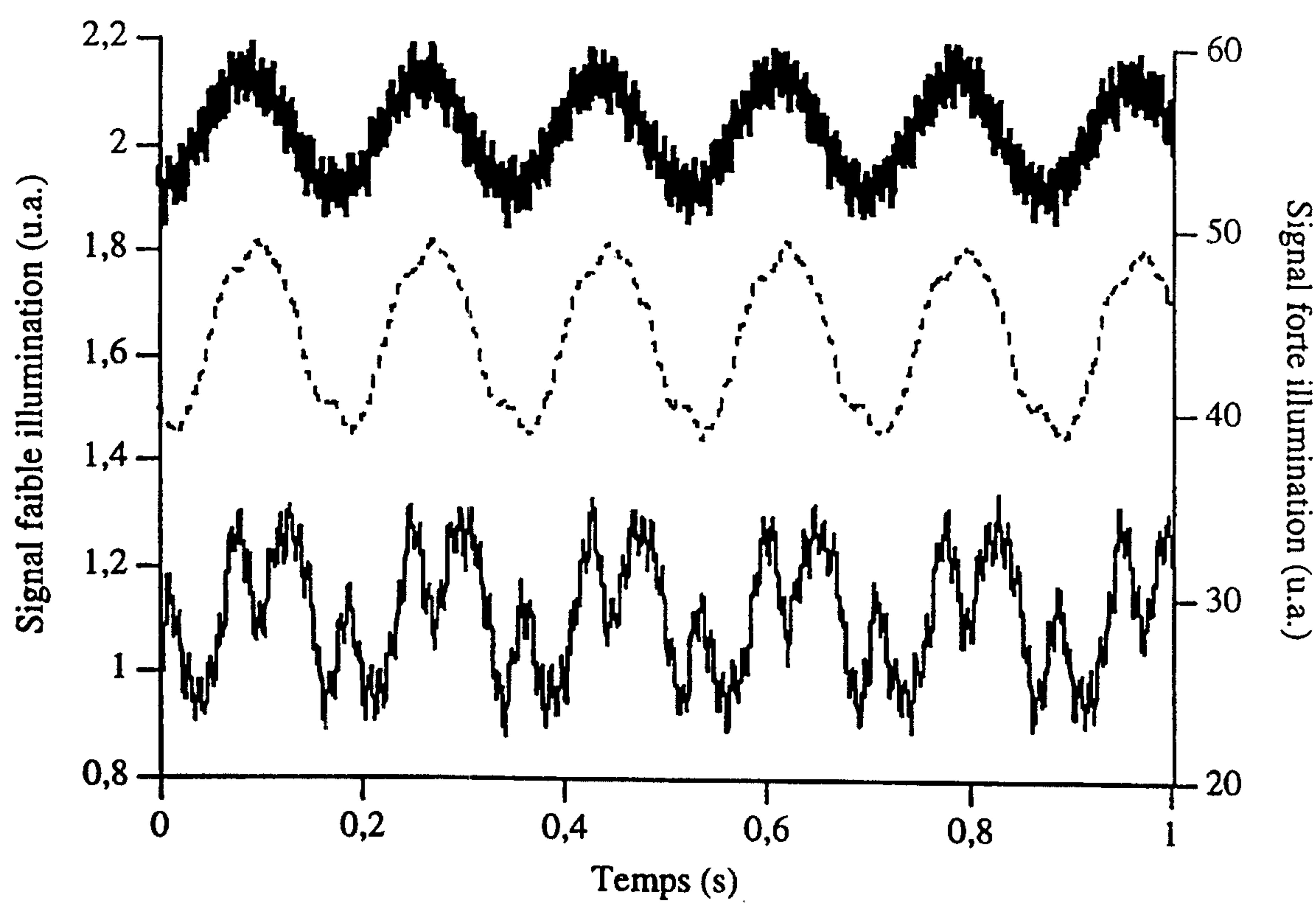
2 / 6

Fig. 2



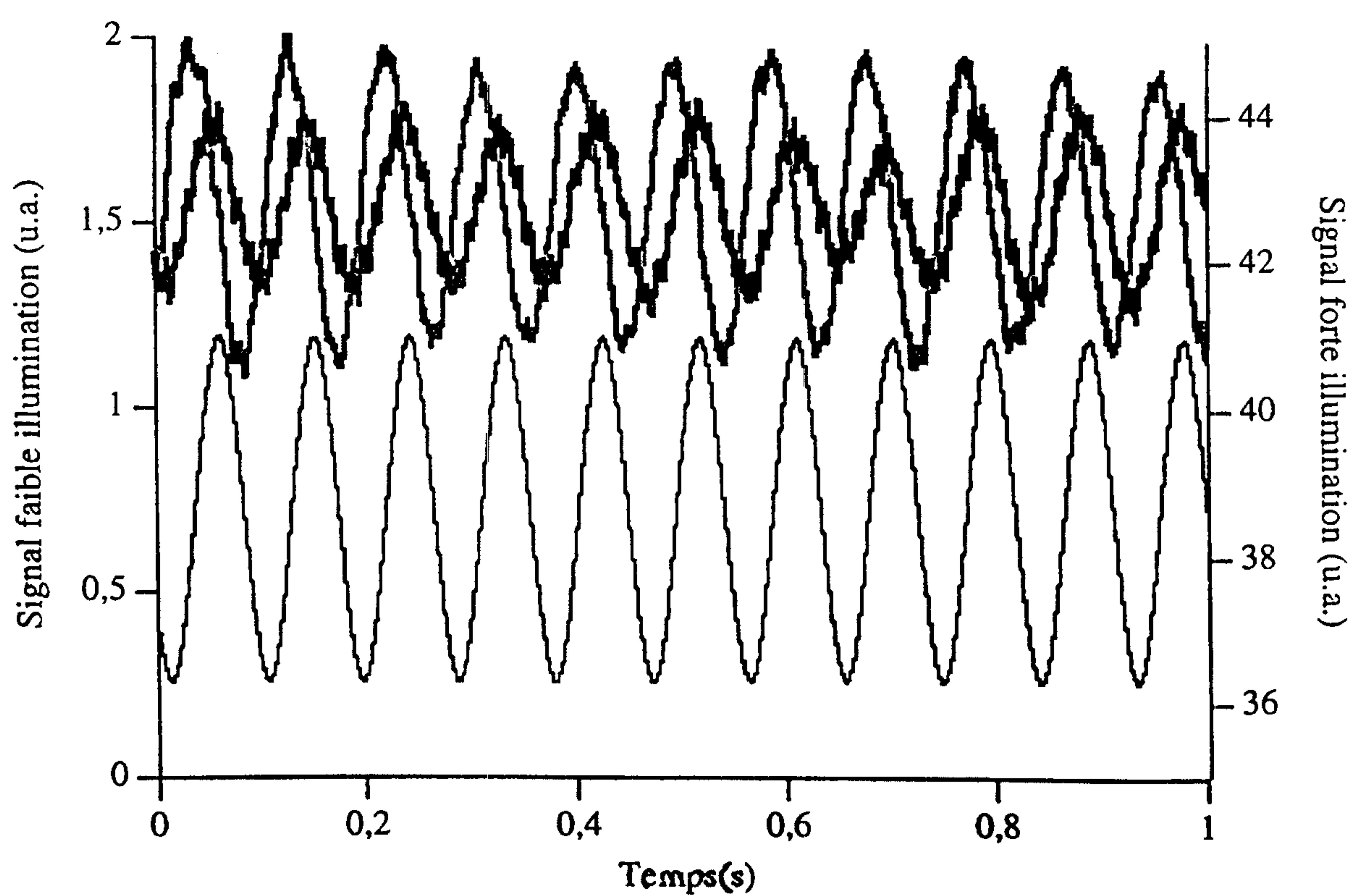
3 / 6

Fig. 3



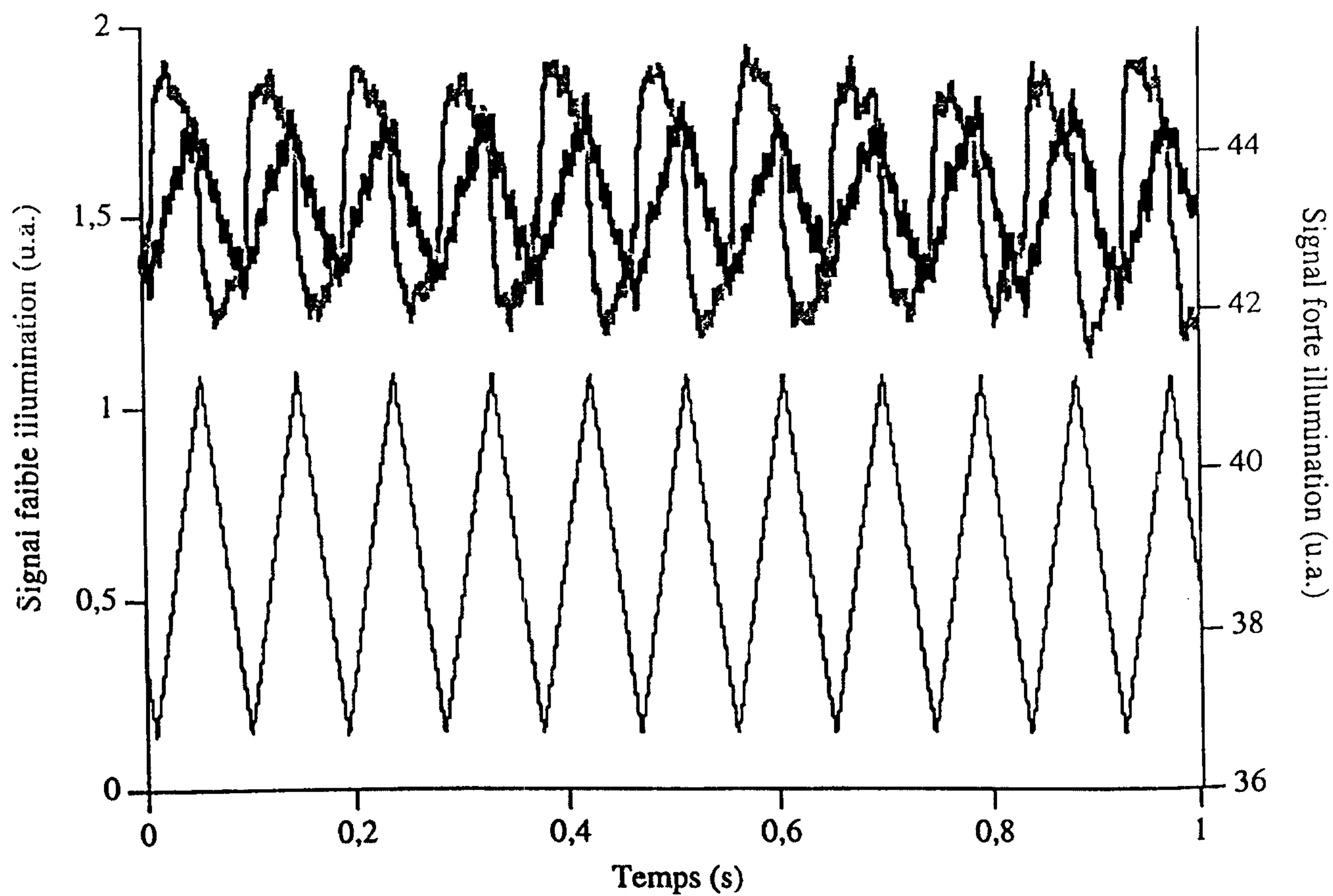
4 / 6

Fig. 4



5 / 6

Fig. 5



6/6

Fig. 6

