

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :  
(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

**2 504 685**

A2

**DEMANDE  
DE CERTIFICAT D'ADDITION**

(21) **N° 81 08355**

Se référant : au brevet d'invention n° 76 26546 du 2 septembre 1976.

(54) Dispositif pour la détermination de la position de points de la surface d'un corps.

(51) Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). G 01 S 17/46; B 25 J 3/00.

(22) Date de dépôt ..... 27 avril 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 43 du 29-10-1982.

(71) Déposant : INRIA - INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN  
AUTOMATIQUE, résidant en France.

(72) Invention de : Michel Clerget, François Germain, Georges Kryze et Robert Poujois.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : André Netter, conseil en brevets d'invention,  
40, rue Vignon, 75009 Paris.

Certificat(s) d'addition antérieur(s) :

L'invention est relative à un dispositif pour la détermination de la position des points de la surface d'un corps.

Les Demandes de Brevet français 76 26 546 demandé le 2 septembre 1976 et de Premier Certificat d'Addition 78 30 112

5 demandé le 23 octobre 1978 décrivent un tel dispositif comprenant des moyens pour éclairer ou suréclairer une zone quasi-ponctuelle de la surface d'un corps, et des moyens permettant de prendre des vues de ladite zone quasi-ponctuelle à partir de plusieurs postes afin de produire des images correspondantes  
10 dont on détermine les positions par rapport à des référentiels respectifs pour en déduire la position dans l'espace de ladite zone quasi-ponctuelle. On peut faire varier la position du point éclairé ou suréclairé pour obtenir des informations sur la forme du corps étudié.

15 Selon un mode de réalisation, on utilise comme supports photosensibles des composants formés par une série linéaire d'éléments photosensibles discrets juxtaposés. Les indications de position d'images fournies par de tels supports sont alors monodimensionnelles. On peut, par exemple, équiper de tels  
20 supports au moins trois postes de prise de vues de la zone quasi-ponctuelle pour obtenir pour chacun une coordonnée d'image, afin de déterminer la position de la zone quasi-ponctuelle du corps dans l'espace.

25 L'invention vise des perfectionnements aux dispositifs de ces Demandes.

Conformément à un aspect de l'invention, dans le cas où les supports photosensibles comprennent une rangée, sensiblement rectiligne, d'éléments photosensibles discrets en forme de segments dont la dimension, dans une direction transversale à leur direction d'alignement, est inférieure à la longueur de cette rangée, on prévoit des moyens pour agir sur au moins une des images de ladite zone quasi-ponctuelle formée à partir d'un des postes de prise de vue par un étirement dans une de ses dimensions, ou par déplacement de sa position,  
30 35 transversalement à la direction de la rangée d'éléments du support correspondant, pour que cette image atteigne ledit support quelle que soit la position de la zone quasi-ponctuelle.

Selon un mode de réalisation, ces moyens d'action sur l'image comprennent au moins un élément optique non sphérique  
40 propre à effectuer une dilatation de l'image de la zone quasi-

ponctuelle perpendiculairement à la direction de la rangée d'éléments photosensibles.

Selon un autre mode de réalisation, lesdits moyens d'action sur l'image comprennent des moyens de déflexion orientables propres à dévier les rayons provenant de la zone quasi-ponctuelle et des moyens propres à régler l'orientation de ces moyens de déflexion en fonction de la position de cette zone quasi-ponctuelle.

L'invention comporte encore d'autres aspects et formes de réalisation qui sont exposés en détail dans la description suivante faite en référence aux dessins annexés, dans lesquels:

- la figure 1 représente schématiquement une première forme de mise en œuvre de la détermination de la position de points d'un corps;
- 15 - la figure 2 illustre un support photosensible utilisable avec le dispositif de la figure 1;
- la figure 3 illustre un exemple d'utilisation d'une lentille cylindrique;
- 20 - la figure 4 représente un autre type de support photosensible utilisable avec le dispositif de la figure 1;
- la figure 5 représente un dispositif de sortie pour le support de la figure 4;
- la figure 6 représente un autre type de support photosensible;
- 25 - la figure 7 représente encore un autre type de support photosensible;
- la figure 8 illustre schématiquement un mode de réalisation d'une installation à trois postes de prise de vues;
- la figure 9 illustre un mode de réalisation de l'invention;
- 30 - la figure 10 représente schématiquement une autre forme de mise en œuvre de l'invention dans laquelle trois postes de prise de vue sont utilisés;
- la figure 11 illustre schématiquement un dispositif de prise de vue propre à être utilisé avec le mode de réalisation de la figure 10;
- 35 - la figure 12 illustre l'elongation de la tache lumineuse sur un support photosensible linéaire obtenue par l'emploi d'une optique cylindrique;
- 40 - la figure 13 illustre un agencement de postes de prise

de vue.

Dans toutes les réalisations de l'invention qui seront décrites plus loin, on utilise des supports photosensibles composés des éléments photosensibles discrets, par exemple en forme de photodiodes. La lumière incidente sur un tel élément entraîne le passage d'un courant proportionnel à un flux lumineux incident. Ce courant se traduit par un changement de la charge initiale de cet élément, qui est proportionnel au temps d'exposition à la lumière.

10 Par des moyens électriques qui seront discutés plus loin, il est possible, après un temps d'exposition suffisant, de mesurer cette charge et de connaître ainsi l'intensité du flux lumineux qui est à son origine, en rechargeant l'élément sensible pour une autre exposition. Cette opération de mesure de charges induites par la lumière sera appelée sur ce qui suit "lecture".

Par la lecture du support photosensible, on obtient la connaissance de la position de l'endroit le plus éclairé du support, qui correspond à une tache lumineuse formée par un système optique, comme image d'un point sur l'objet examiné, qui est suréclairé par un pinceau laser. Ceci permet, par des procédés décrits plus loin, de calculer la position dudit point dans l'espace.

Des supports photosensibles qui peuvent être utilisés dans des différentes réalisations appartiennent à deux classes principales : les supports de structure matricielle (figure 2) et les supports de structure linéaire (figures 4, 7).

Un support de structure matricielle est représenté en figure 2. Il consiste en une matrice 30 d'éléments photosensibles discrets, tels des photodiodes, formant les lignes 34 et les colonnes 35 de la matrice 30. Les éléments appartenant à une ligne sont tous reliés par une de leurs électrodes à un conducteur électrique 38. Les éléments appartenant à une colonne sont reliés par l'autre de leurs électrodes à un conducteur électrique 39.

La lumière incidente sur un élément photosensible, tel que 36, entraîne une diminution de charge entre les conducteurs de sa ligne 31 et de sa colonne 32.

40 En lisant, après l'exposition, les conducteurs de lignes

et de colonnes, on peut trouver les rangs de la ligne X et de la colonne Y correspondant à l'élément photosensible recevant l'éclairement maximum.

Dans le commerce, on trouve des supports photosensibles à structure matricielle qui diffèrent de celui décrit en figure 2 par le fait que les éléments photosensibles ne sont pas reliés à un réseau de conducteurs X et Y et se trouvent électriquement isolés l'un par l'autre. La lecture est alors ponctuelle et se fait alors élément par élément, et pour une matrice de dimension  $n \times m$ , concerne alors  $n \times m$  éléments. Pour une matrice comparable, le support selon la figure 2 demande la lecture de  $n$  lignes et de  $m$  colonnes, soit  $n+m$  lectures élémentaires.

Elle peut alors être  $\frac{nxm}{n+m}$  fois plus rapide. Par exemple, pour  $n = m = 200$ ,  $\frac{n \times m}{n + m} = 100$ .

Lorsque la lenteur relative des supports matriciels à lecture ponctuelle n'est pas gênante, ils peuvent remplacer les supports selon la figure 2, puisque leur lecture donne aussi l'information complète sur la position de l'élément le plus éclairé.

Les supports photosensibles linéaires (figure 4) sont constitués par une juxtaposition d'éléments photosensibles tels que photodiodes 60 en forme de segments allongés dans une première direction et accolés sur leur plus grande face, de façon à former une série d'éléments photosensibles alignés dans une direction D, sensiblement perpendiculaire à la direction de leur plus grande dimension. Ces éléments photosensibles comprennent une connexion de sortie 62. Ils peuvent être réalisés par intégration de photodiodes sur une puce de matériau semi-conducteur. La dimension longitudinale de chacun de ces éléments dans la première variante est sensiblement égale à la longueur totale du support photosensible parallèlement à la direction D.

Ces supports photosensibles présentent l'avantage de pouvoir être fabriqués à des coûts inférieurs aux éléments du type matriciel représenté à la figure 2.

Par contre, leur lecture donne l'information sur une seule coordonnée d'une tache lumineuse projetée sur leur surface, cette coordonnée étant définie par le rang de l'élément le plus excité. C'est pourquoi on leur affecte le qualificatif

"linéaire" pour les distinguer des structures matricielles qui sortent l'information en deux coordonnées. Afin de repérer la position d'une tache lumineuse dans les deux coordonnées à l'aide de tels récepteurs, on peut prévoir, selon une forme de réalisation de former un support photosensible combiné (figure 6) par superposition de deux supports 61 selon la figure 4 en croisant leurs éléments selon la disposition représentée à la figure 6. Le récepteur 65 représenté sur cette figure comprend une première puce de circuit intégré très mince et possédant une certaine transparence, constitué par une juxtaposition de segments photosensibles 60 ayant des connexions de sortie 62 tels que les éléments représentés à la figure 4. En dessous de cette puce est disposée une puce analogue composée de segments juxtaposés 66 ayant des connexions de sortie 68. Les segments 66 sont orientés dans une direction perpendiculaire à celle du segment 60 de la puce supérieure.

Selon une autre forme de réalisation, on obtient un réseau d'éléments photosensibles analogue à celui qui est représenté à la figure 6 en intégrant sur deux niveaux superposés d'une puce semi-conductrice deux supports photosensibles linéaires orientés selon la figure 6. Le support photosensible supérieur est réalisé de façon partiellement transparente et les deux niveaux d'intégration sont isolés électriquement l'un de l'autre.

Les supports photosensibles selon la figure 4 ou 6 restent onéreux, particulièrement si le nombre des éléments est élevé, à cause de leur taille croissante, qui influe défavorablement sur les rendements des technologies actuellement utilisées pour la fabrication de circuits intégrés. C'est pourquoi, dans d'autres réalisations, on utilise des supports photosensibles linéaires 98 selon la figure 7, dont la largeur l est une fraction de leur longueur L mesurée dans le sens perpendiculaire aux segments photosensibles 97. La diminution de la largeur l, qui est égale à la longueur des segments photosensibles, peut diminuer jusqu'à arriver à une forme carrée desdits segments.

Les supports photosensibles selon la figure 7 sont les moins onéreux de tous et existent sur le marché dans de nombreuses variantes avec jusqu'à 2048 diodes.

Les méthodes de lecture des supports photosensibles sont les mêmes pour toutes les variantes décrites.

Une de ces méthodes consiste à relier chaque source de charge (conducteur de ligne ou colonne pour la figure 2, 5 un élément photosensible, tel qu'une diode, dans les autres cas) à un étage d'un registre à décalage analogique à transfert de charge (charge coupled analog shift register) qui assure le transfert des charges recueillies sur des conducteurs de sortie vers une borne de sortie sous le contrôle 10 d'une horloge.

Les supports ainsi construits sont disponibles dans le commerce sous le nom de Charge Coupled Diode arrays, ou CCD diode arrays.

Une autre méthode consiste dans l'utilisation d'un multiplexeur analogique capable de relier une seule source de charge à la fois à une borne de sortie commune. 15

Ce multiplexeur peut être commandé par un registre à décalage binaire qui connecte les sources de charge à la borne de sortie l'une après l'autre.

20 Les supports ainsi construits sont disponibles dans le commerce sous le nom de self scanned diode arrays.

Dans les deux cas, les charges provenant de diodes individuelles arrivent à la borne de sortie dans l'ordre donné par leur position sur le support. Après avoir lu une diode 25 donnée, il faut obligatoirement lire toutes les autres avant de pouvoir revenir à cette même diode, et ceci même si la lecture des autres diodes n'apporte aucune information utile.

Dans une autre réalisation, on prévoit la commande du multiplexeur analogique par une adresse selon la figure 5.

30 Selon cette réalisation, on connecte chaque source de charge, telle qu'une diode 98 appartenant à un support photosensible linéaire 97, à travers un commutateur 99 formé, pour exemple, par des transistors MOS, à un bus de sortie commune 104.

L'ensemble des commutateurs 99 avec le bus 104 représente 35 un multiplexeur analogique qui est commandé par un décodeur 101. Chaque valeur d'adresse mise sur des fils d'entrée d'adresse en code binaire 102 entraîne l'activation du fil de commande 100 correspondant à l'élément photosensible dont le rang est égal à l'adresse, et de lui seul. Alors, seul 40 l'élément photosensible adressé sera connecté au bus.

Toutefois, l'activation de l'entrée 103 entraîne l'activation de tous les commutateurs et la connexion de tous les éléments sur le bus afin de les recharger (effacer) simultanément.

5        Cette structure de commande permet un accès aléatoire aux diodes permettant d'éviter la lecture d'information inutile. Des moyens de la lecture du support photosensible, comme registres à transfert de charge, multiplexeurs, registres à décalage, décodeurs et amplificateurs éventuels devront  
10      en général être implantés sur la même puce que les éléments photosensibles afin d'arriver à un nombre de connexions extérieures raisonnable.

Dans certaines réalisations, on prévoit d'amplifier la charge recueillie à la sortie des supports photosensibles  
15      par des amplificateurs adaptés, en aboutissant à une tension électrique qui, ensuite, par un convertisseur analogique-numérique, sera transformé en un nombre envoyé à une unité. L'ensemble de ces circuits permettant la lecture du support photosensible, amplification en conversion des signaux et  
20      leur acheminement vers l'unité de traitement sera appelé dans ce qui suit "les circuits de sortie".

Les taches lumineuses formées sur les supports photosensibles lors des réalisations diverses décrites sont, en général, d'une dimension comparable à la largeur d'un élément photosensible, et peuvent empiéter sur deux ou plusieurs éléments.  
25      Le centre de la tache lumineuse peut dans ce cas être obtenu par calcul en prenant en exemple les intensités d'excitation de tous les éléments atteints. Les méthodes actuelles permettent de retrouver la position du centre de la tache lumineuse à la fraction de la largeur d'un élément photosensible.  
30

Dans la description des réalisations qui suivent, on comprendra les expressions "le centre ou l'axe de l'élément ou diode excitée", "l'élément ou diode excitée", "le rang de l'élément, ou de la diode ou de la ligne ou de la colonne excitée", comme désignation de la position ou d'un chiffre non entier correspondant à la position du centre de la tache lumineuse. Ainsi, le rang sera exprimé en unités du pas des éléments photosensibles, où le pas désigne la distance séparant les centres de deux éléments photosensibles.

40        Les éléments photosensibles sur les supports photosensi-

bles peuvent ne pas avoir l'organisation rectangulaire et équidistante supposée dans des exemples donnés et le plus souvent utilisée. Il est possible, dans des cas spéciaux, d'obtenir par la modification des formes et des distances des éléments 5 photosensibles des effets bénéfiques, par exemple la correction des défauts du système optique.

On a représenté sur la figure 1 un émetteur laser 10 comprenant une optique de concentration propre à émettre un pinceau de rayons laser 12 en direction d'un dispositif 13, 10 par exemple à miroir propre à transformer le pinceau 12 en un pinceau 14 d'orientation variable qui tombe sur un point 16 d'un corps 15 dont on désire explorer la surface extérieure.

La direction du rayon est choisie par l'utilisateur ou son équipement et transmise en forme d'une commande numérique 15 à une unité de traitement 45 qui asservit le dispositif de balayage 13 et le contrôle par une liaison de commande 44, 46. Le dispositif 13 permet de faire varier la position de la zone quasi-ponctuelle 16 éclairée ou suréclairée à la surface externe du corps 15 de façon à effectuer un balayage de 20 cette surface.

Deux postes de prise de vue 20 et 21 comprennent chacun un système optique respectif 22 et 23 dont l'axe optique est dirigé vers le corps 15. Chaque poste de prise de vue 20, 21 comprend également un support photosensible 24, respectivement 25, sur lequel le système optique 22, 23, peut former une image 26, respectivement 27 de la zone quasi-ponctuelle 16 qui diffuse une partie du rayonnement qu'elle reçoit du pinceau laser 14. La position de cette image, par rapport à un référentiel associé au support photosensible, dépend de la 30 position dans l'espace de cette zone éclairée ou suréclairée 16 du corps 15. Par des considérations trigonométriques connues il est possible de déduire la position des images 26 et 27 par rapport à leur référentiel respectif, l'information de position du point 16 dans l'espace.

35 Dans l'exemple présentement décrit, les supports photosensibles 24 et 25 sont du type matriciel décrit dans le point précédent, pour exemple du type selon la figure 2, ou du type selon la figure 6, fournissant une information équivalente.

Les signaux électriques issus des matrices 30 des supports 40 24 et 25 sont transmis, par l'intermédiaire de dispositifs de

sortie 40 et 41 (figure 1) associés chacun à un des postes de prise de vue 20 et 21, à un dispositif de traitement 45 tel qu'un microprocesseur, par des liaisons respectives 42 et 43. Il est programmé pour effectuer la détermination 5 des coordonnées du point 16 éclairé à chaque instant par le pinceau laser 14, en fonction des signaux électriques transmis par les liaisons 42 et 43. Ces signaux électriques correspondent aux coordonnées de la tache 26, 27, image du point 16 sur le support photosensible respectif 24, 25. La position du centre 10 de la tache est fournie par le rang des conducteurs ligne (X) et colonne (Y) excités de la matrice 30 (figure 2).

Le calcul de la position du point 16 part, en termes géométriques, de la construction de deux droites dont chacune est définie par un des centres 26 ou 27 (dont la position est évaluée 15 à partir des rangs X et Y de ligne et colonne excitées) et le centre optique correspondant dont la position est connue d'avance. Le point 16 se trouve à l'intersection des deux droites. Si, à cause d'imprécisions, les deux droites n'ont pas de point commun, la position du point 16 peut être estimée 20 au milieu de la droite la plus courte joignant ces deux droites.

On note que la définition d'un point par intersection de deux droites est redondante. En fait, il suffit de définir un point par l'intersection d'une droite et d'un plan. Ainsi, pour déterminer le point 16, on peut utiliser la droite définie 25 par le centre de la tache 26 et le centre optique correspondant d'une part, et d'autre part, le plan défini par la ligne au rang X selon laquelle se trouve le centre de la tache 27 et le centre optique de l'objectif 23.

Bien entendu, on pourrait aussi bien prendre le plan défini 30 par la colonne au rang Y sur laquelle se trouve la tache 27.

Ainsi, un des quatre rangs fournis par les supports photosensibles est redondant. Toutefois, on améliore la précision en les utilisant tous les quatre selon la méthode décrite.

En raison des contraintes de fabrication propres aux composants à semi-conducteurs, le rendement d'un processus de fabrication déterminé en puces photoréceptrices comportant cent pour cent (100%) de photodiodes, opératoires, est en général, très faible si sa surface, qui croît avec le nombre des 35 éléments, est grande. Avec les technologies actuelles, si l'on 40

désire obtenir, notamment dans des cas difficiles, des rendements de production acceptables, il faut se contenter de supports à photodiodes comportant quelques éléments défaillants.

On prévoit d'équiper les postes de prise de vue mis en oeuvre dans un dispositif tel que représenté à la figure 1 à avec des supports photosensibles du type matriciel représenté à la figure 2, dont le pourcentage d'éléments opératoires n'est pas égal à cent pour cent. A cet effet, on prévoit de former pour chaque poste de prise de vue 20, 21, deux images de la zone observée identiques. A la sortie du système optique 22 du poste de prise de vue 20 est monté un miroir plan semi-transparent 50 qui laisse passer une partie des rayons lumineux issus du système 22 pour former l'image 26 sur le support photosensible 24. En même temps, la surface du miroir 50 réfléchit une partie du faisceau de rayons issus du système 22 pour former une autre image 26' sur un deuxième support photosensible 24' identique au support photosensible 24 et disposé symétriquement par rapport au support 26, par rapport au plan du miroir 50, de telle sorte que les indications de position fournies par les deux supports 24 et 24' soient identiques lorsque l'image respective se forme sur des éléments photosensibles non défectueux.

De même, on équipe le poste de prise de vue 21 d'un miroir semi-transparent 51 afin de former une image 27' symétrique par rapport au plan du miroir 51 de l'image 27 sur un support photosensible 25' également symétrique du support photosensible 25 par rapport au plan de ce miroir.

Les supports photosensibles 26' et 27' sont de type et de dimensions identiques à ceux des supports 24 et 25.

Les supports photosensibles 26' et 27' sont sélectionnés de telle manière que leurs éventuels éléments défectueux occupent des positions dans la matrice qui ne correspondent pas aux positions d'éventuels éléments défectueux dans les supports photosensibles symétriques 26 et 27 respectivement.

Le support photosensible 26' est relié par un dispositif de sortie 40' et une liaison 42' à une entrée du dispositif de traitement 45. De même, le support photosensible 27' est relié par un dispositif de sortie 41' au dispositif de traitement 45 par l'intermédiaire d'une liaison 43'.

Le dispositif de traitement 45 est programmé pour déter-

miner à chaque nouvelle position du point suréclairé 16 une position d'image correspondante pour chaque poste de prise de vue 20 et 21, en réponse aux signaux des dispositifs de sortie 40 et 40' d'une part et 41 et 41' d'autre part. Il

- 5 peut par exemple être programmé pour interroger systématiquement le dispositif de sortie 40 du support photosensible 24 excepté pour les positions de celui-ci qui correspondent à des éléments défectueux (dont on connaît la position à l'avance par des essais appropriés au moment de la construction du  
10 dispositif). Au lieu d'interroger les éléments défectueux, il interroge les éléments photosensibles correspondants du support 24' à travers le dispositif de sortie 40'. Bien entendu, d'autres méthodes de programmation du dispositif de traitement 45 pour l'exploitation complète des informations  
15 portées par les supports photosensibles 24 et 24' peuvent être prévues. Par exemple, le dispositif de traitement peut former la moyenne des indications des deux supports pour les positions où les deux supports sont bons, et prendre en considération seulement les indications d'un support pour les positions où l'autre est défaillant. L'exploitation des informations portées par les supports photosensibles 25 et 25' du deuxième poste de prise de vue 21 est identique.

On note qu'il existe de nombreux moyens pour obtenir un dédoublement d'image. Le miroir semi-transparent peut par  
25 exemple être remplacé par un cube. Il peut être placé en amont de deux objectifs au lieu d'être placé à la suite d'un objectif unique comme représenté sur la figure 1. On peut encore employer deux prismes placés chacun devant ou derrière une moitié respective de l'objet et déviant les rayons dans des  
30 directions opposées, ou encore deux miroirs placés chacun derrière une moitié respective de l'objectif dans le même but, et par de nombreux autres moyens.

Selon une autre forme de réalisation, on prévoit d'utiliser, au lieu de récepteurs photosensibles du type matriciel,  
35 des récepteurs d'un type linéaire selon la figure 4 décrits plus haut.

A cet effet, on peut avoir recours à la méthode de dédoublement décrite pour la figure 1, en implantant pour chaque poste de prise de vue deux supports selon la figure 4 en  
40 position croisée. Ainsi, les segments du support 24 et 25

pourraient être horizontaux et ceux du support 24' et 25' verticaux. Ainsi, chacun des deux supports remplirait la moitié de la fonction d'un support matriciel, en fournissant ou bien les excitations en X, ou bien les excitations en Y.

5 A eux deux , les supports 26 et 26' fournissent ainsi la même information que le dispositif selon la figure 2 dans la réalisation décrite antérieurement, et le fonctionnement du système reste le même.

En considérant la redondance de l'information démontrée 10 plus haut pour les supports matriciels, on peut éliminer un quelconque des supports 24, 24', 25, 25' puisque sur un des postes il suffit d'avoir une seule information (X ou Y), définissant un plan passant par le centre optique et le segment excité si sur l'autre on dispose des deux informations (X et 15 Y) situant le centre de la tache lumineuse, qui avec le centre optique du poste définit une droite dont l'intersection avec le plan donne la position du point 16.

Un des deux postes peut alors être pourvu d'un seul support du type de la figure 4 sans nécessiter de système de dédoublement d'image.

Dans une autre réalisation, représentée à la figure 8, un laser 325 émet un pinceau 326 formé par un système optique de concentration 327. Le faisceau à la sortie 328 est dévié selon deux axes par un système de déviation constitué par deux 25 miroirs 329 et 333 commandés par deux galvanomètres dont les axes 331 et 334 sont perpendiculaires. Trois postes de prise de vue 321<sub>1,2,3</sub> avec objectifs 322<sub>1,2,3</sub> et supports photosensibles 342<sub>1,2,3</sub> du type linéaire selon la figure 4, sont dirigés vers le corps exploré C. 30 Le rang du segment le plus excité et le centre optique de chaque poste de prise de vue définissent un plan. Le point suréclairé p de la surface S explorée se trouve à l'intersection de ces trois plans. Une unité de traitement 360, à partir de l'information d'excitation des segments transmise par des liaisons respectives, établit les équations 35 de ces plans et détermine les coordonnées du point P par la solution du système formé par ces trois équations. Sur la figure 8, les trois supports sont

perpendiculaires au plan de la figure et les segments de l'un d'eux (342<sub>1</sub>) sont parallèles à ce plan tandis que ceux des deux autres 342<sub>2</sub> et 342<sub>3</sub> lui sont perpendiculaires. Cette position 40 est une des plus avantageuses pour cette réalisation. Les

plans définis par les segments des supports  $342_2$  et  $342_3$  sont perpendiculaires au plan de la figure et se coupent selon une droite qui passe par P et est aussi perpendiculaire au plan de la figure.

5 Les plans définis par les segments du support  $342_1$  sont légèrement inclinés par rapport au plan d'image et vont couper la droite passant par P sous un angle voisin de  $90^\circ$  en assurant ainsi une bonne définition de la position du point P.

10 Les principes d'utilisation de supports photosensibles comprenant des éléments défaillants exposés à propos des figures 1 et 2 sont également valables dans le cas où l'on utilise des récepteurs linéaires du type représenté à la figure 4.

15 Pour une réalisation selon la figure 1, on prévoit de dédoubler une nouvelle fois les images déjà dédoublées pour aboutir à une image quadruplée, en affectant à chacune des paires deux supports selon la figure 4 orientés d'une façon identique, et perpendiculaire à l'orientation de l'autre paire. Pour la réalisation selon la figure 8, il suffit sur chaque 20 poste d'installer deux supports et dédoubler l'image une seule fois.

25 Les supports de chaque paire sont choisis après des tests préliminaires permettant de repérer leurs éléments défaillants éventuels, de façon qu'aucun élément défaillant de l'un n'occupe le même rang qu'un élément défaillant de l'autre.

30 L'identification des éléments défaillants de chaque support peut être consignée dans une mémoire morte (ROM) en forme de bits mis à 1. Cette mémoire doit comporter autant de mots que les supports comportent de segments, chaque adresse d'un mot correspondant à un rang de segment. Au  $n$ ième support, on peut affecter le  $n$ ième bit dans ce mot. L'unité de traitement peut alors recevoir l'information sur l'intensité d'excitation de chaque segment de chaque support. En examinant l'information fournie par le segment du rang  $k$  sur le  $i$ -ème support, 35 l'unité de traitement examine le  $i$ -ième bit du mot à l'adresse  $k$ . Si c'est 0, le segment est bon et l'information est prise en compte; si c'est 1, elle est rejetée.

40 Conformément à une autre forme de mise en oeuvre, on prévoit d'utiliser, à la place de récepteurs linéaires selon la figure 4, des récepteurs tels que représentés en 98 à la

figure 7, constitués d'une série de segments photosensibles juxtaposés 97 et dont la dimension longitudinale l est relativement faible comparée à la longueur totale L du récepteur constitué par la juxtaposition de n segments 97.

5 Si l'on ne prend aucune précaution, le champ d'investigation d'un système optique équipé d'un tel récepteur 98 peut être relativement large dans la direction d'alignement des segments photosensibles et faible dans la direction transversale. Pour pallier cet inconvénient, on prévoit d'utiliser des  
10 moyens permettant de maintenir l'image de la zone quasi-ponctuelle, ou au moins une partie de celle-ci, sur le récepteur 98 malgré sa petite dimension longitudinale l.

On peut employer à cet effet des dispositifs optiques anamorphoseurs permettant d'obtenir un agrandissement plus  
15 important dans la direction transversale à la direction du photorécepteur que dans cette dernière. A un point dans le champ visuel d'un tel dispositif, correspond toujours un point sur l'image, mais l'image d'un champ carré, est rectangulaire. Les dispositifs sont complexes et coûteux, et ont des sévères  
20 limitations concernant l'angle de champ, le rapport de compression, l'ouverture et la profondeur de champ.

Dans une autre forme de réalisation, on prévoit l'utilisation d'une optique non sphérique, particulièrement à caractère cylindrique, afin d'étirer la tache lumineuse 96 représentant l'image du point suréclairé afin qu'elle forme, comme représenté en figure 12, un trait sensiblement rectiligne orienté parallèlement aux axes des segments photosensibles 97 sans pourtant augmenter la dimension de la tache dans le sens de l'axe du support 98. Alors, à condition d'étirer la tache suffisamment de chaque côté de sa position originale obtenue sans application des moyens optiques supplémentaires, le support photosensible sera touché par une partie de la tache pour toute position du point P appartenant à l'espace à explorer. Le rang de l'élément excité sera le même que celui qui serait excité par une tache non étirée sur un support photosensible avec des éléments photosensibles à la même largeur, mais suffisamment allongés (comme selon la figure 4) pour capter la tache. Ainsi, l'étirement de la tache perpendiculairement à l'axe du support photosensible, et donc dans le sens de l'axe des éléments photosensibles, équivaut à rallonger ces

éléments eux-mêmes. La méthode d'évaluation de la position du point P comme l'intersection de trois plans, décrite pour la réalisation selon la figure 8 reste ainsi applicable.

La figure 3 illustre une méthode simple pour étirer ou 5 allonger la tache lumineuse en utilisant, au lieu d'un objectif sphérique, un objectif cylindrique 89. Bien entendu, les aberrations optiques de cet objectif sont corrigées comme celles d'un objectif sphérique. La figure 3 est une double vue en coupe du système optique par deux plans perpendiculaires 10 contenant chacun l'axe optique. Le plan supérieur contient l'axe du support photosensible 98 tandis que le plan inférieur lui est perpendiculaire. L'axe de l'objectif cylindrique est perpendiculaire à la fois à l'axe du support et à l'axe optique qu'il coupe.

15 Selon des lois optiques connues, les rayons contenus dans un plan 93 parallèle à l'axe du cylindre et passant par le centre d'une lentille cylindrique idéale ne sont pas déviés. Les rayons contenus dans d'autres plans  $93_1$ ,  $93_2$ , parallèles à l'axe du cylindre et passant par un point P commun avec le 20 plan 93 mentionné ci-dessus sont concentrés le long d'une ligne 96 correspondant à la tache allongée 96 de la figure 12. La position de la diode excitée par la tache à l'emplacement où la ligne 96 rencontre le support 98 et le centre de la lentille définissent un plan parallèle à l'axe du cylindre qui passe par la région quasi-ponctuelle éclairée ou 25 suréclairée. Ainsi, la méthode d'évaluation de la position du point P à l'intersection de trois plans, telle que décrite en référence à la figure 8, reste applicable.

La longueur et la position de la tache linéaire 96 sont 30 définies comme une projection de la longueur de la lentille cylindrique sur le plan du support photosensible, comme le montrent les rayons  $94_1$ ,  $94_2$  sur la figure 3. Ainsi, la longueur de la lentille doit être suffisamment grande pour assurer que les rayons qui vont des positions extrêmes du 35 champ observé au support photosensible passent par la lentille.

Du fait que la longueur de cette lentille ne comporte pas de limite supérieure, il est possible d'utiliser des longueurs de lentilles supérieures au minimum nécessaire 40 de façon à obtenir des longueurs de taches linéaires redon-

dantes. On peut alors placer un objectif sphérique derrière l'objectif cylindrique de façon à former une image réduite mais plus brillante de la tache linéaire d'origine. L'influence de l'objectif sphérique sur la distance focale globale doit être compensée par un changement de la distance focale cylindrique. Par exemple, si l'on double la longueur et la distance focale de l'objectif cylindrique, on peut, en ajoutant un objectif sphérique de même distance focale, obtenir un doublement de la brillance de la tache lumineuse allongée sans changer sa longueur ni sa position.

Une telle réalisation de l'invention comportant l'étirage de la tache lumineuse par des moyens optiques asphériques se prête de façon particulièrement simple à l'utilisation de supports photosensibles partiellement défaillants. En effet, selon la figure 12, il est facile de placer à côté d'un premier support photosensible un autre semblable 95' qui sera aussi éclairé par la tache étirée.

Alors, même si les deux supports côte à côte sont partiellement défaillants, on peut quand même obtenir une information valide sur le rang de diode éclairée à condition que parmi deux diodes du même rang au moins une soit bonne.

En outre, en décalant deux ou plusieurs supports photosensibles non défaillants l'un par rapport à l'autre dans le sens de leur axe, par exemple sur la figure 12, le support 98 vers le haut et le support 95' vers le bas, il est possible, par combinaison de l'information provenant des deux supports, d'obtenir un nombre de positions distinctes d'éléments photosensibles supérieur à celui fourni par l'un ou l'autre support pris séparément, et pouvant atteindre la somme des éléments photosensibles de tous les supports utilisés.

Des lentilles cylindriques utilisées pour étirer la tache lumineuse peuvent être remplacées par des miroirs cylindriques et ces lentilles ou ces miroirs peuvent avoir une section perpendiculaire non circulaire, peuvent être orientés diversement dans l'espace, être placés devant ou derrière un objectif sphérique. Plusieurs éléments cylindriques et sphériques ou asphériques peuvent être combinés pour améliorer la performance générale du système optique.

Selon une autre forme de réalisation qui sera décrite plus en détail, à propos des figures 10 et 11, on prévoit

d'équiper chaque poste de prise de vue d'un dispositif optique orientable, par exemple un miroir, commandé de façon à amener l'image de la zone ponctuelle à toujours se former sur la barrette photosensible 98 utilisée comme récepteur,

5 de préférence au centre de celle-ci comme représenté par la tache 99' sur la figure 7.

Cette solution permet d'orienter en direction du support photosensible toute la lumière provenant du point suréclairé et parvenant à l'objectif, alors que la dimension du support 10 ne correspond qu'à une fraction du champ observé, égale à environ  $\frac{1}{n}$  si la longueur du support est n fois sa largeur (ceci pour un champ d'observation carré). Le suréclairage de la tache sur le support est alors n fois plus fort que pour les autres réalisations de l'invention qui admettent 15 la lumière de la totalité du champ au support photosensible.

La figure 10 représente une forme de réalisation de l'invention analogue à celle de la figure 8, mais améliorée par l'utilisation d'un support photosensible selon la figure 7 monté sur un poste de prise de vue équipé par un miroir 20 commandé par galvanomètre selon la figure 11.

L'installation (figure 10) comprend trois postes de prise de vue  $121_1$ ,  $121_2$ ,  $121_3$  avec des objectifs  $122_1$ ,  $122_2$ ,  $122_3$  d'axes optiques  $123_1$ ,  $123_2$ ,  $123_3$  permettant de prendre des vues respectives d'un point P à la surface S d'un corps C 25 dont on désire connaître la forme. Un point P est, par exemple, le point d'incidence d'un pinceau laser 124 provenant d'une source 125 fournissant un faisceau laser 126 traversant un système optique de focalisation 127. Le pinceau focalisé 128 tombe sur un premier miroir 129 monté à rotation autour d'un 30 axe médian 131, le pinceau réfléchi 132 tombant sur un second miroir 133 orientable autour d'un axe 134 perpendiculaire à l'axe 131. Avantageusement, les orientations des miroirs 129 et 133 sont commandées par des galvanomètres à aimant mobile avec capteur de position capacitif et asservis par 35 l'unité de traitement. Le faisceau sortant 124 peut ainsi être dévié avec précision dans deux directions perpendiculaires l'une à l'autre et assurer le pointage vers une zone de la surface S correspondant à la commande transmise par l'utilisateur ou son équipement à l'unité de traitement.

40 La focalisation fournie par le dispositif 127 assure au

faisceau un diamètre constant dans l'intervalle destiné à l'éclairage de l'objet à étudier. Ainsi, même pour des objets d'une certaine profondeur, le pinceau 124 marque sur l'objet un point lumineux de diamètre presque constant, et petit, en 5 pratique de l'ordre de 1/1000 de la profondeur du champ à explorer.

Chaque poste de prise de vue comprend une chambre 141 (figure 11) renfermant un support photosensible 142 constitué par une barrette 98 de photodiodes rectangulaires accolées 97 10 (figure 7). La barrette utilisée est avantageusement du type Reticon, série H, avec 1024 ou 2048 diodes de  $15 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$ , (micron) ou bien de la série S, avec 1024 diodes de  $25 \mu\text{m} \times 2500 \mu\text{m}$ . Le spot lumineux 99' qui apparaît sur la barrette 98 lors de l'utilisation est, de préférence, d'un diamètre comparable 15 à la largeur d'une diode 97. Dans une telle barrette, la charge induite dans une photodiode par la lumière incidente varie linéairement et d'une manière continue dans le voisinage de deux diodes.

La chambre 141 est portée par un support 145, qui porte 20 également un bloc électronique 146 et un chariot 147 portant l'objectif 133 de la caméra. En cas de besoin, ce chariot peut être mobile et asservi pour assurer une mise au point en fonction de la distance.

Devant l'objectif 122 de chaque poste de prise de vue 121 25 est placé un miroir plan 149, dont le centre est sur l'axe optique de l'objectif. Le miroir 149 est monté à rotation autour d'un axe 151, diamétral, parallèle à l'axe longitudinal de la barrette 142, et perpendiculaire à l'axe 123 de l'objectif. Le miroir 149 est, à cet effet, fixé sur une tige 152 30 coaxiale à l'axe 151 et solidaire de l'aimant mobile d'un galvanomètre à aimant mobile 153, équipé de préférence d'un capteur capacitif de position, et asservi par l'unité de traitement 160.

Dans la disposition montrée sur la figure 10, la barrette 35 142<sub>1</sub> du poste de prise de vue 121<sub>1</sub> est perpendiculaire au plan de figure, les barrettes 142<sub>2</sub> et 142<sub>3</sub> des caméras 121<sub>1</sub> et 121<sub>3</sub> sont dans le plan de figure, et peuvent former par exemple entre elles un angle qui peut être égal à 90°.

Pour chaque poste de prise de vue 121, l'axe optique 123 40 de l'objectif 122 est perpendiculaire à la barrette 142 et

passe par son centre optique. La diode centrale de la barrette reçoit de la lumière provenant de sources situées dans un plan défini par le centre optique de l'objectif 123 et la dimension longitudinale de cette diode centrale.

5 De même, toute autre diode de cette barrette reçoit la lumière de l'autre plan défini par le centre optique de l'objectif et par l'axe de cette autre diode.

L'inclinaison de ce plan par rapport au plan central est tirée du rang de cette diode dans la barrette, du pas de la 10 barrette, et de la distance entre le centre optique de l'objectif et la barrette.

Si donc une photodiode est excitée, on peut situer la source dans un plan symétrique par rapport au miroir 149 au plan défini par le centre optique et l'axe de la photo- 15 diode excitée.

En fait, il peut y avoir deux diodes éclairées compte tenu de la dimension de la tache image de la zone P ou même un plus grand nombre de diodes éclairées. L'électronique 146 associée à la barrette 142 permet la lecture et la numérisation des charges induites et leur mémorisation dans une unité de traitement 160 à laquelle sont reliés les postes de prise de vue 121<sub>1</sub> à 121<sub>3</sub> qui peut établir la position du centre de la tache sur la barrette à une fraction du pas près, cette fraction étant inférieure au demi-pas, selon les techniques 20 connues. Ainsi, le nombre de positions reconnaissables sur une barrette 142 est un multiple du nombre des diodes 97.

Chacun des trois postes de prise de vue fournissant une image du point éclairé ou suréclairé sur la barrette qu'elle comprend, on peut déterminer trois plans dans cet exemple, 30 définis chacun par l'axe du segment photosensible excité, le centre optique de l'objectif 122 respectif et la position du miroir 149 respectif. Ces plans ont pour point d'intersection la zone ponctuelle P. La position de cette dernière peut ainsi être calculée selon des règles trigonométriques élémentaires à partir des indications de position monodimensionnelles fournies par les trois barrettes 142<sub>1</sub> à 142<sub>3</sub>.

Les rangs n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub>, n<sub>3</sub> des photodiodes éclairées des barrettes 142<sub>1</sub>, 142<sub>2</sub>, 142<sub>3</sub> constituent en effet les informations à partir desquelles l'unité de traitement reliée aux électroniques 40 146<sub>1</sub>, 146<sub>2</sub>, 146<sub>3</sub>, fournit, en réponse à la commande de l'uti-

sateur définissant l'orientation du faisceau laser les coordonnées du point éclairé P se trouvant sur le faisceau dans un système de référence à trois axes.

5 Pour chaque position du point P, l'orientation des miroirs  $149_1$  à  $149_3$  est ajustée (sous le contrôle de l'unité de traitement 160 qui contrôle également l'orientation des miroirs 129 et 133 qui commandent la position du point d'incidence P du faisceau laser sur le corps) pour maintenir l'image de ce point sur la barrette respective.

10 Pour y arriver, l'unité de traitement fait d'abord une estimation de la position du point P qui, dans le cas le plus simple, peut être égale à la position de P précédemment mesurée, ou bien à une position du point qui se trouve sur la nouvelle orientation du rayon laser qui vient d'être commandé par 15 l'utilisateur, et à la même distance du centre du miroir 133 que le point précédemment mesuré.

Ensuite, on tourne chacun des miroirs 149 pour que l'angle qu'il forme avec l'axe optique soit égal à la moitié de l'angle que forme le plan défini par l'axe du miroir 149 et la 20 position présumée du point P avec le plan défini par le même axe et le centre optique. Ainsi, l'image de la position présumée du point P vue dans le miroir par l'objectif tombera dans le plan défini par l'axe du miroir et le centre optique. Ce plan comprend aussi l'axe de la barrette, sur laquelle tombera donc l'image de la position présumée du point P.

Si l'erreur d'estimation est trop grande, et l'image du point P tombe en dehors de la barrette, on peut corriger la position du miroir correspondant par des pas successifs ne dépassant pas la moitié de l'angle sous lequel est vue la 30 largeur de la barrette du centre optique en explorant dans l'une et l'autre direction jusqu'à retrouver l'image du point.

Il peut arriver que la surface S du corps G soit suffisamment irrégulière pour que tous les points de sa surface tournée vers les dispositifs de prise de vue ne soient pas visibles simultanément par ces derniers. On peut, dans certains cas, remédier à ce défaut en orientant les caméras  $121_2$  et  $121_3$  de telle manière qu'au lieu d'être disposés selon des directions sensiblement orthogonales, les axes optiques  $123_2$  et  $123_3$  de leurs objectifs forment entre eux un angle aigu 40 relativement faible de sorte que même pour un corps à surface

relativement irrégulière, tout point de ce corps visible par l'une des caméras 121<sub>2</sub> est également visible du poste de prise de vue 121<sub>3</sub>.

Si la forme du corps C est très irrégulière et présente 5 par exemple des anfractuosités relativement profondes, on peut prévoir un nombre de postes de prise de vue supérieur au nombre strictement nécessaire pour déterminer la position d'un point donné de ce corps. Dans le cas de la figure 13, par exemple, on a représenté une coupe d'un corps 180 dont la 10 surface extérieure 182 présente une cavité ou anfractuosité 183. Face à cette surface sont disposées cinq caméras. Trois caméras 184<sub>1</sub>, 184<sub>2</sub> et 184<sub>3</sub> possèdent des barrettes photosensibles respectives 185<sub>1</sub> à 185<sub>3</sub> alignées parallèlement au plan de la figure 13. En outre, deux caméras 186<sub>1</sub> et 186<sub>2</sub> ont des 15 barrettes photosensibles 187<sub>1</sub> et 187<sub>2</sub> respectives, orientées perpendiculairement au plan de la figure.

Les caméras 184<sub>1</sub> à 184<sub>3</sub> sont disposées de telle façon que tout point de la surface 182 compris entre les zones limites 188 et 189 visibles à la surface 182 depuis la caméra 20 centrale 184<sub>2</sub> est visible par au moins deux de ces caméras. Ainsi, par exemple, un point 190 situé dans l'anfractuosité 183 est invisible de la caméra 184<sub>1</sub>, mais est visible par les caméras 184<sub>2</sub> et 184<sub>3</sub>. On constate ainsi qu'il est possible de déterminer les coordonnées de tout point de la surface 182 25 compris entre les limites 188 et 189 dans un plan parallèle au plan de la figure, les caméras 186<sub>1</sub> et 186<sub>2</sub> permettant d'obtenir la troisième coordonnée de tels points dans un sens perpendiculaire au plan de la figure pour déterminer, sans ambiguïté, la position de ce point dans l'espace.

30 L'ensemble des caméras 184 et 186 est relié à une unité de traitement 192 qui, en fonction d'une analyse des images reçues par les barrettes photodéetectrices de chacun de ces postes de prise de vue est programmé pour effectuer la détermination des coordonnées de chaque point suréclairé de la 35 surface du corps 180. En particulier, si un des postes de prise de vue ne forme pas d'image d'un point déterminé du corps éclairé ou suréclairé par le pinceau laser, l'unité de traitement 192 effectue les déterminations de position à l'aide des indications en provenance des deux autres postes 40 de prise de vue.

Afin d'effectuer un balayage d'une surface 182 très irrégulièrre, à l'aide d'un pinceau laser, il est également possible de prévoir deux émetteurs laser ou davantage. Il est également possible de prévoir un émetteur laser déplaçable afin de permettre l'accès du pinceau laser émis à toutes les zones du corps à explorer ou des postes de prise de vue déplaçables. Cette remarque s'applique également au cas où la surface à explorer s'étend sur une fraction importante ou la totalité du pourtour de ce corps.

10 Afin de limiter l'effet sur les postes de prise de vue utilisés, dans les dispositifs qui viennent d'être décrits jusqu'à présent, de la lumière ambiante qui peut frapper l'objet suréclairé par le pinceau laser, on prévoit avantageusement d'équiper ces caméras de filtres exerçant une absorption des longueurs d'onde différentes de celles du laser.

15 La figure 9 illustre un dispositif prévu dans une autre réalisation de l'invention pour explorer la surface 202 d'un corps 200 le long d'une section par un plan R balayé par un pinceau laser 204. Le pinceau est issu d'un émetteur 205, après renvoi par un miroir 206, orientable autour d'un axe 207 perpendiculaire au plan de section R du corps 200.

20 De part et d'autre du pinceau 204 sont montés deux postes de prise de vue 210 et 211 équipés respectivement de barrettes photosensibles 212 et 213 et d'objectifs 214 et 215 dont les axes optiques respectifs 216 et 217 sont dirigés en direction du corps 200.

25 Les axes optiques 216 et 217 sont dans le plan R. Les supports photosensibles linéaires 212 et 213 sont également orientés dans le plan R. Ils peuvent être constitués d'éléments ayant une forme sensiblement carrée (la largeur de l'élément sensiblement égal en pas). Les objectifs 214 et 215 forment deux images, respectivement 226 et 227 de la zone quasi-ponctuelle suréclairée qui, avec les centres optiques correspondants, définissent deux droites dont l'intersection indique la position du point 225 dans le plan R.

30 Ainsi, les deux postes de prise de vue permettent d'établir, à partir de la connaissance du rang de diodes 226 et 227 excitées, la position du point suréclairé dans un espace bimensionnel, de plan R.

35 40 Avec le dispositif représenté à la figure 9, une explora-

tion tridimensionnelle est toutefois possible, en prévoyant des moyens non représentés pour déplacer ou bien le corps 200 et/ou bien le dispositif d'exploration constitué par les éléments 205, 206 et les postes de prise de vue 210, 211 dans 5 une direction perpendiculaire au plan R.

Pour les mêmes raisons qui ont été explicitées pour le dispositif figure 13, il est envisageable d'utiliser plus de deux postes de prise de vue et plus qu'un pinceau laser orientable, tous explorant le même plan, pour parvenir à mesurer 10 les coordonnées de points se trouvant sur des surfaces complexes.

De même, toutes les méthodes permettant d'utiliser des supports photosensibles partiellement défaillants s'appliquent ainsi pour les dispositifs selon l'image 13.

15 Pour toutes les réalisations de l'invention, il peut se présenter le problème de profondeur de champ de l'objectif qui doit correspondre à la profondeur de champ à explorer.

Il est possible de prévoir une mise au point par un mouvement de l'objectif asservi commandé par l'unité de traitement.

20 Il est beaucoup plus simple d'augmenter la profondeur de champ en diminuant l'ouverture de l'objectif par un diaphragme mais en sacrifiant l'énergie lumineuse disponible pour le support photosensible.

La forme habituelle d'un diaphragme destiné pour le contrôle de la profondeur de champ d'un objectif est circulaire. 25 C'est la forme la plus avantageuse aussi pour l'utilisation de supports photosensibles matriciels. Mais pour les supports linéaires, la dimension du diaphragme parallèle à l'orientation des éléments photosensibles allongés n'a aucune influence 30 sur la profondeur du champ. En effet, en cas d'une mise au point imprécise, elle ne fait qu'allonger la tache lumineuse représentant l'image d'un point dans le sens de l'axe de l'élément photosensible, qui reçoit le même éclairage que pour la bonne mise au point. Par contre, l'autre dimension du dia- 35 phragme, parallèle à l'axe du support photosensible, a l'effet habituel sur la profondeur de champ, puisque, en cas d'une mise au point imprécise, elle élargit la tache lumineuse dans le sens perpendiculaire à l'axe de l'élément photosensible en la faisant empiéter sur plusieurs éléments.

40 Pour des supports photosensibles linéaires, il est alors

avantageux d'utiliser des diaphragmes rectangulaires orientés perpendiculairement à l'axe du support, avec une largeur qui correspond à la profondeur de champ désirée et une longueur égale au diamètre de l'objectif pour obtenir le maximum de 5 lumière.

Simultanément, cette forme de diaphragme diminue les exigences ou qualités optiques de l'objectif puisque la plupart des aberrations habituelles des objectifs conduisent dans ces conditions à un allongement de la tache lumineuse 10 dans le sens de l'élément photosensible et n'ont donc pas d'effet sur l'éclairage respectif des éléments.

Dans la description précédente, ont été, pour toutes les réalisations de l'invention, utilisés des miroirs commandés par des galvanomètres à aimant mobile avec, de préférence, un 15 capteur capacitif de position.

D'autres moyens optiques, par exemple prismes, et d'autres moyens de commande, par exemple servomoteurs, et d'autres capteurs de position, par exemple potentiomètres, peuvent être utilisés dans le même but. Finalement, on peut remplacer ces 20 moyens de déflexion électromécaniques par des moyens acousto-optiques connus et disponibles sur le marché, qui ne comportent aucun élément mobile et sont entièrement en phase solide.

Ces moyens, qui utilisent des ultrasons de très haute fréquence pour dévier un faisceau laser passant par un cristal 25 sont toutefois actuellement assez onéreux, exigent la mise en oeuvre de systèmes optiques complexes et atteignent difficilement la définition exigée dans les réalisations de l'invention.

Toutefois, leur application peut se révéler avantageuse dans le futur.

30 Finalement, dans certaines réalisations de l'invention, le système de déflexion du rayon laser peut être absent et le rayon alors être fixe par rapport au laser. Dans un pareil cas, l'exploration d'un corps peut se faire en déplaçant ou bien le laser, ou bien le corps.

35 Dans les développements précédents, les expressions "poste de prise de vue" ou "moyens de prise de vue à partir d'un poste" désignent des moyens optiques permettant de capter des rayons en provenance de la zone éclairée ou suréclairée de la surface du corps examiné le long d'un trajet optique spécifique de ce 40 poste de prise de vue et formant au moins une image de cette

zone sur au moins un support photosensible de telle sorte qu'une information de position de cette zone puisse dériver de la position de l'image respective.

Un tel poste peut avoir sa propre optique et son propre support. Il est possible cependant, par l'utilisation de miroirs et/ou de prismes, de dévier les rayons captés en deux points différents et de les diriger vers des moyens optiques communs, tels que des objectifs qui peuvent en former des images sur un même support photosensible.

Ainsi, des postes distincts peuvent partager des moyens optiques et des supports photosensibles, ce qui se traduit par une économie de matériel optique et de circuit de lecture, et par conséquent, de place. Ceci peut présenter un grand intérêt dans certaines applications. Bien entendu, si les images formées sur un support commun empiètent l'une sur l'autre, il est possible de les distinguer par divers moyens, tels par exemple en séparant dans le temps les instants de réception de ces images.

REVENDICATIONS

1. Dispositif optique pour la détermination de la position dans l'espace d'un point de la surface d'un corps, comprenant des moyens pour éclairer ou suréclairer une zone  
5 quasi-ponctuelle de la surface dudit corps contenant ce point, des moyens de prise de vue propres à prendre des vues de cette zone quasi-ponctuelle à partir d'au moins deux postes différents pour former au moins deux images respectives, au moins un support pour ces images, chaque support comprenant
- 10 une rangée sensiblement rectiligne d'éléments photosensibles discrets dont la dimension, dans une direction transversale à leur direction d'alignement, est inférieure à la longueur de cette rangée, des moyens de détection propres à fournir une indication électrique de l'intensité de l'éclairage
- 15 correspondant à la position de chaque élément photosensible excité par l'image de ladite zone quasi-ponctuelle sur le support respectif, et des moyens propres à traiter lesdites indications électriques pour déterminer la position dans l'espace de cette zone quasi-ponctuelle, caractérisé en ce
- 20 qu'il comprend en outre des moyens propres à agir sur au moins une desdites images transversalement à la direction de ladite rangée d'éléments du support correspondant, par étirement de la forme de cette image ou par déplacement de sa position pour qu'elle tombe au moins en partie sur ledit support.
- 25 2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens d'action sur l'image comprennent des éléments optiques non sphériques effectuant une dilatation de l'image de ladite zone quasi-ponctuelle dans un plan comprenant le support photosensible, cette dilatation étant presque exclusivement limitée à une seule dimension de ladite image, perpendiculairement à la direction de ladite rangée.
- 30 3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits moyens optiques non sphériques comprennent une lentille ou un miroir cylindrique.
- 35 4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que lesdits moyens optiques comprennent en outre une optique sphérique propre à augmenter la brillance de l'image dilatée sur le support photosensible.
- 40 5. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens d'action sur l'image comprennent des

moyens de déflexion orientables propres à dévier les rayons en provenance de la zone quasi-ponctuelle en fonction de leur orientation et des moyens propres à ajuster l'orientation des dits moyens de déflexion en fonction de la position de la zone 5 quasi-ponctuelle éclairée ou suréclairée de façon à en maintenir l'image sur le support photosensible respectif.

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits moyens orientables comprennent un miroir commandé par un galvanomètre ou un moteur.

10 7. Dispositif selon l'une des revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que lesdits moyens de déflexion sont montés tournants autour d'un axe parallèle à la direction d'alignement des éléments photosensibles du support correspondant.

15 8. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'un au moins des postes de prise de vue comprend au moins un premier et un deuxième supports sensiblement rectilignes placés côte à côte et comprenant des éléments photosensibles dont certains sont défectueux de façon telle que l'image de ladite zone quasi-ponctuelle tombe dans 20 chacune de ses positions utiles sur au moins un élément non défectueux de l'un au moins de ces supports.

25 9. Dispositif selon les revendications 2 et 8, caractérisé en ce que lesdits premier et deuxième supports photosensibles sont placés côte à côte de telle manière que l'image dilatée de la zone quasi-ponctuelle tombe simultanément sur ces deux supports pour toutes positions de ladite zone quasi-ponctuelle.

30 10. Dispositif selon l'une des revendications 8 ou 9, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'évaluation des indications fournies par lesdits premier et deuxième supports photosensibles pour produire une indication de position d'image de ladite zone quasi-ponctuelle par rapport à un référentiel représenté par la direction d'alignement des éléments desdits supports.

35 11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens d'évaluation sont opératoires en réponse à des indications mises en mémoire des positions des éléments photosensibles défectueux de chacun desdits premier et deuxième supports.

40 12. Dispositif selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce qu'il comprend deux postes de prise de vue pourvus de supports photosensibles respectifs agencés pour déterminer la position de ladite zone quasi-ponctuelle parallèlement à un plan défini par les directions d'alignement

5 des éléments formant chacun de ces supports photosensibles.

13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour déplacer les postes de prise de vue et le corps l'un par rapport à l'autre transversalement à ce plan.

10 14. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce qu'il comprend au moins trois postes de prise de vue dont les supports photosensibles respectifs comprennent chacun une rangée d'éléments photosensibles discrets définissant chacun un référentiel linéaire pour la détermination de la position de l'image respective, lesdits moyens de traitement étant propres à combiner ces signaux de position d'image pour déterminer la position dans l'espace de la zone quasi-ponctuelle.

15 15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que l'un desdits référentiels est perpendiculaire à chacun des deux autres.

16. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens pour éclairer ou suréclairer ladite zone quasi-ponctuelle comprennent des moyens électro-acoustiques en phase solide.

17. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins un parmi les postes de prise de vue est équipé d'un diaphragme rectangulaire dont la longueur est plusieurs fois supérieure à la largeur et 30 dont le grand axe coupe les rayons provenant de l'axe de l'élément photosensible central dans une direction perpendiculaire à ce support photosensible.

1/6

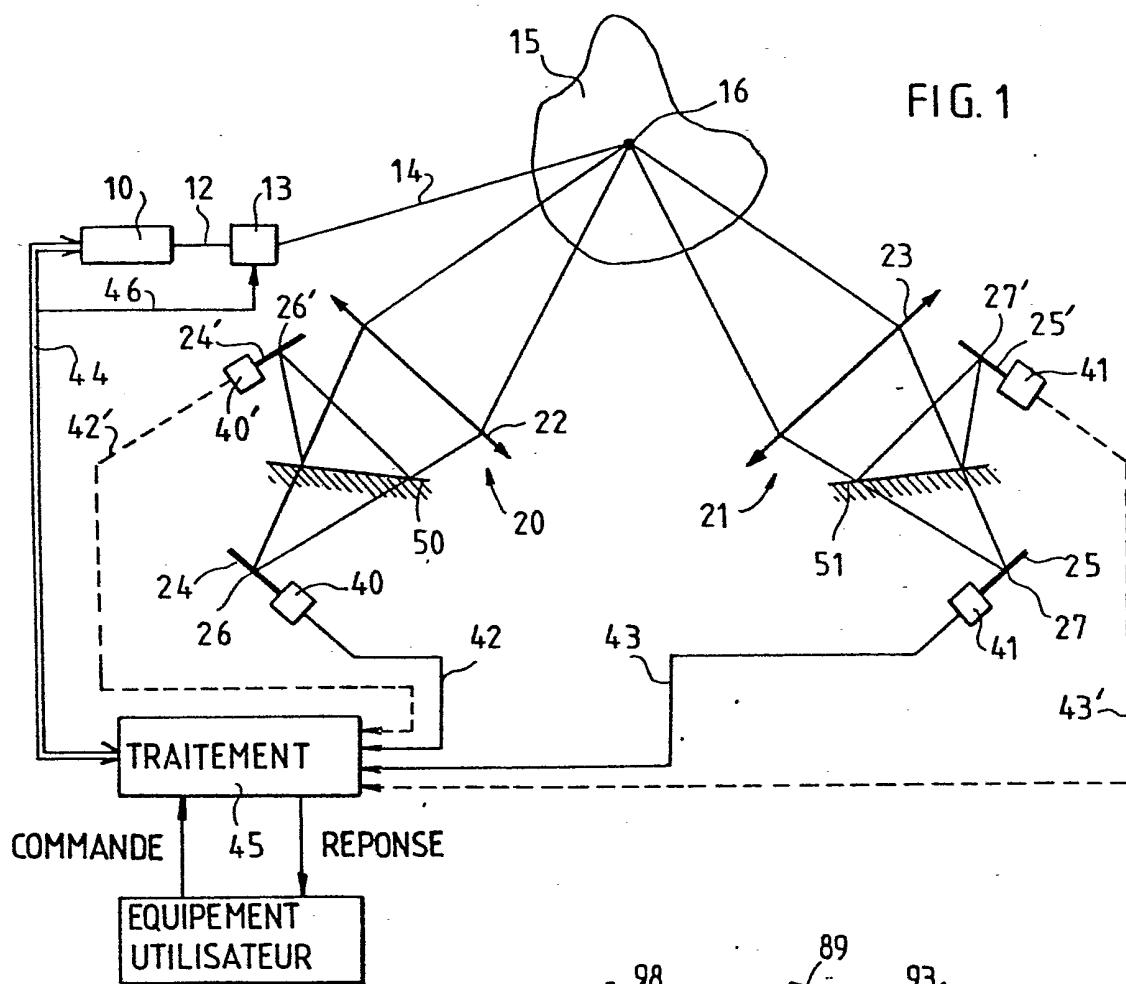
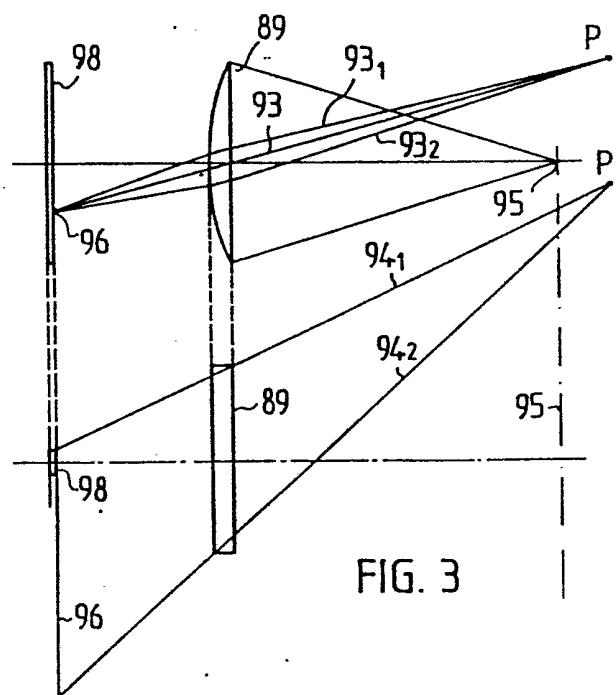
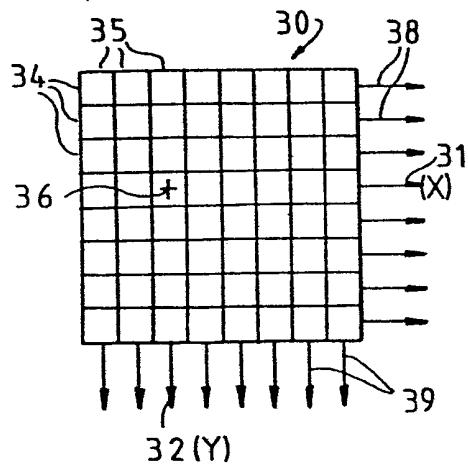


FIG. 2



216

FIG. 4

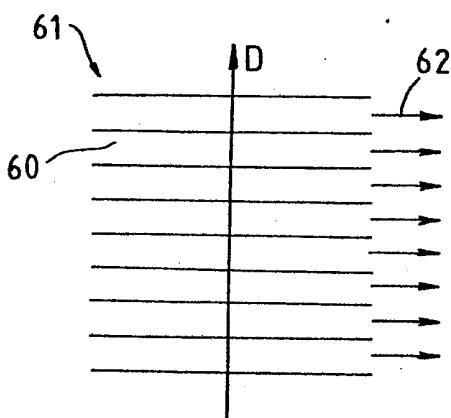


FIG. 6

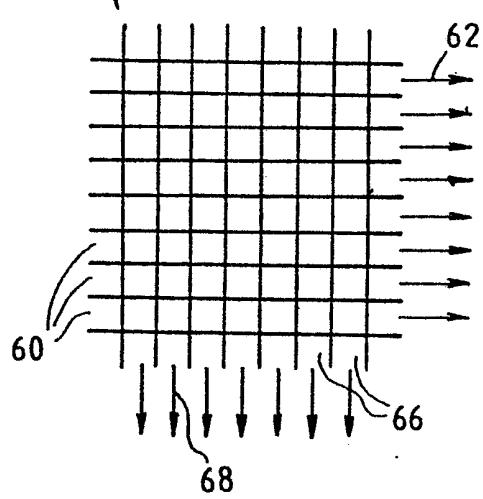


FIG. 7

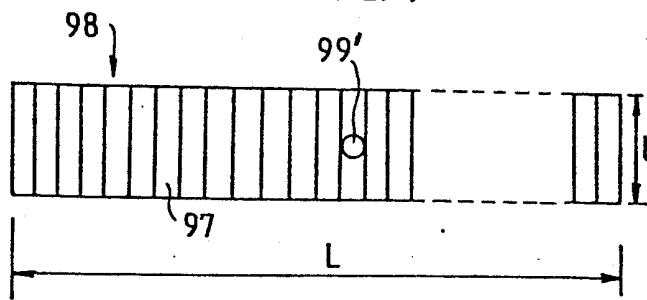
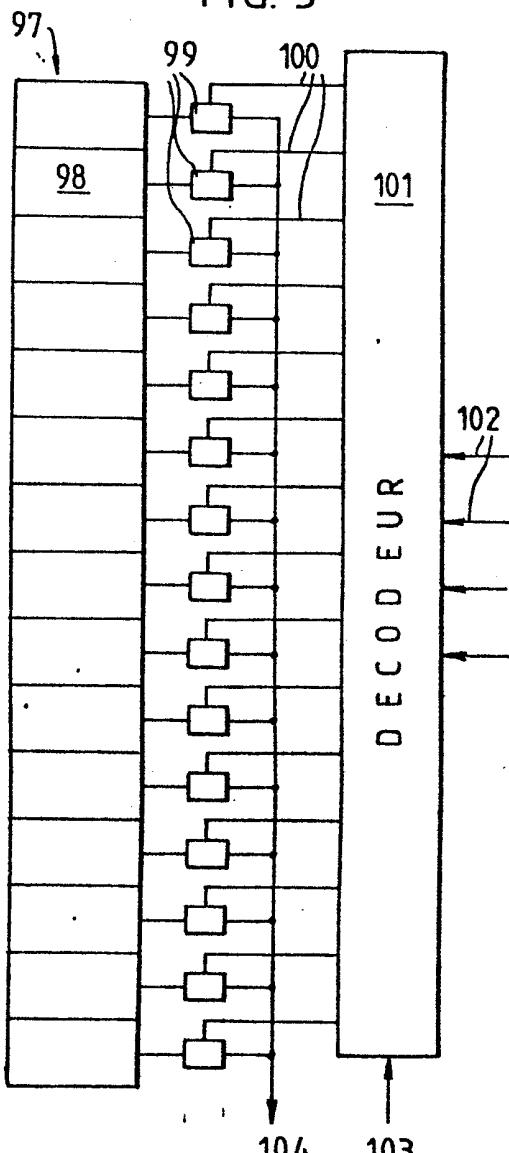
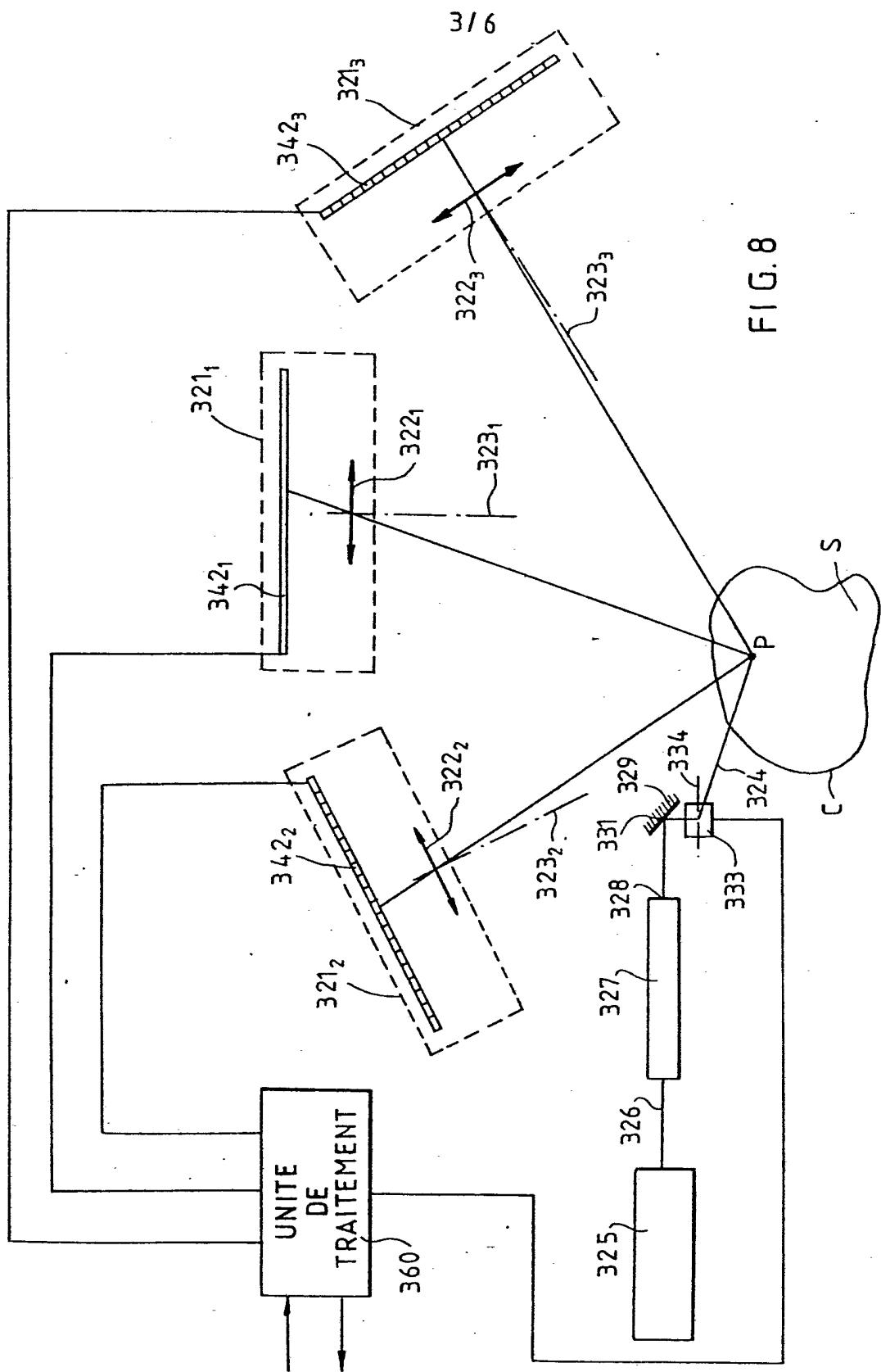
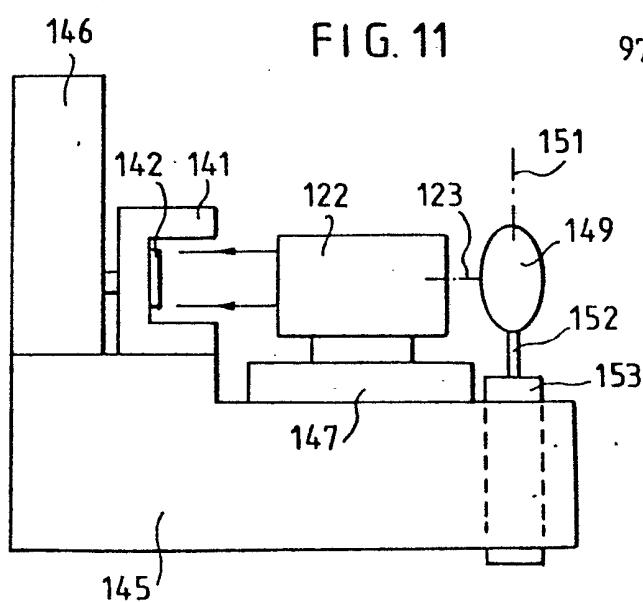
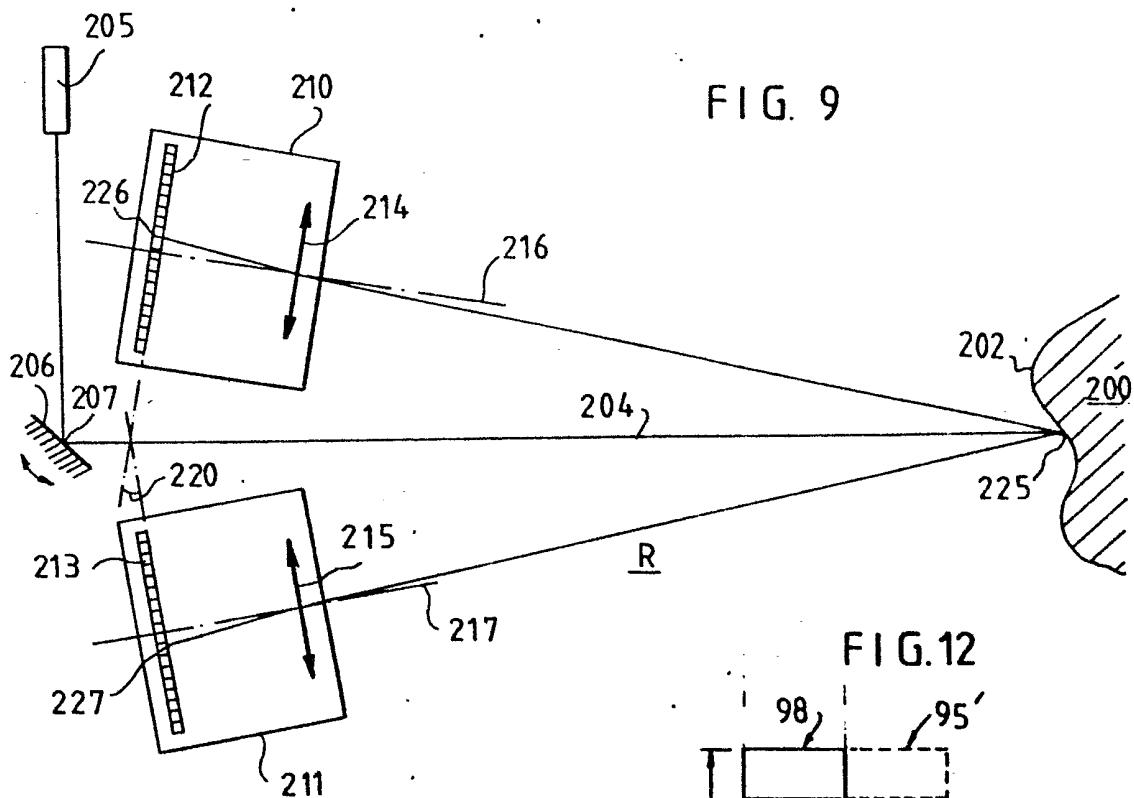


FIG. 5





4/6



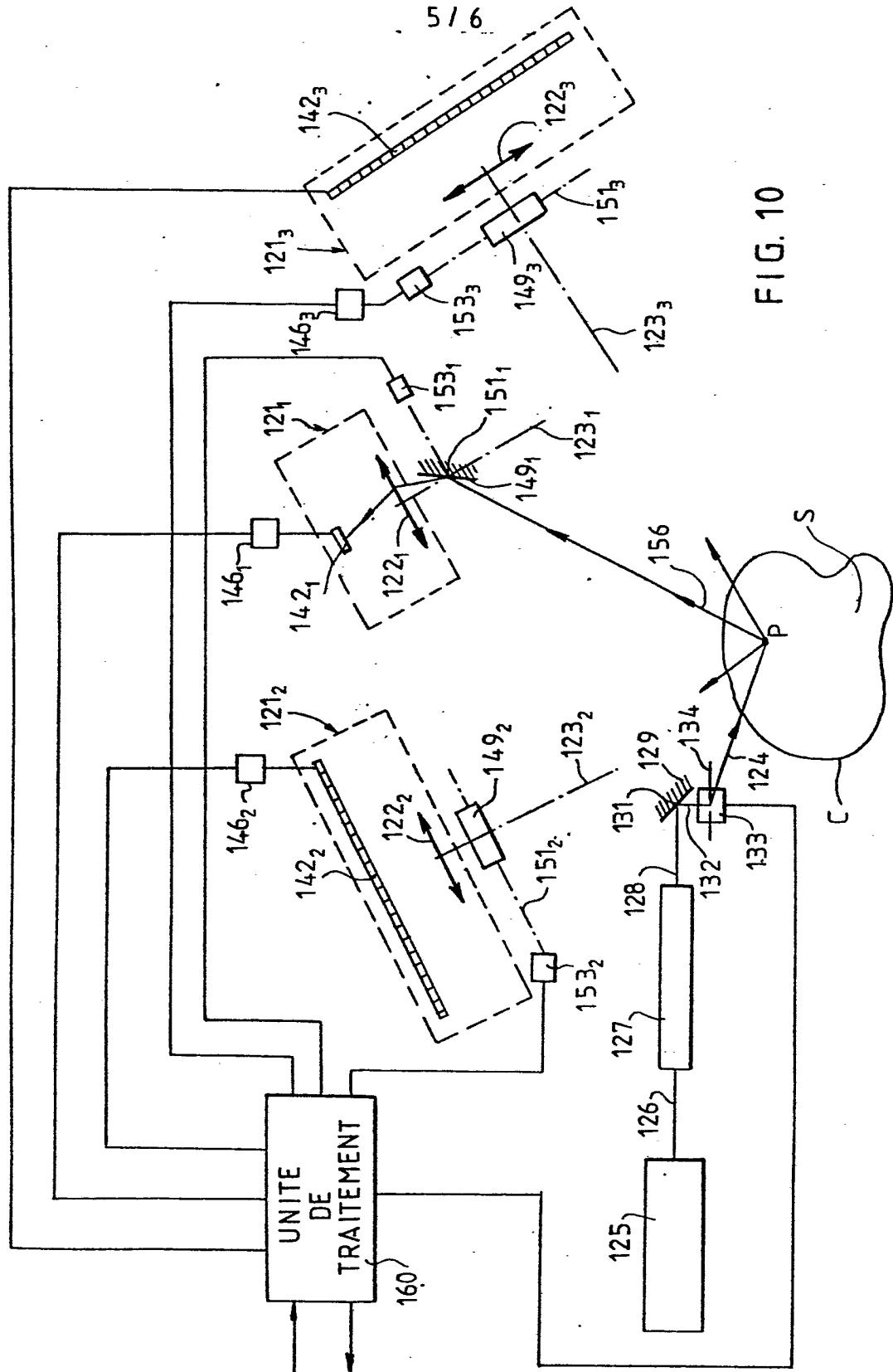


FIG. 10

6/6

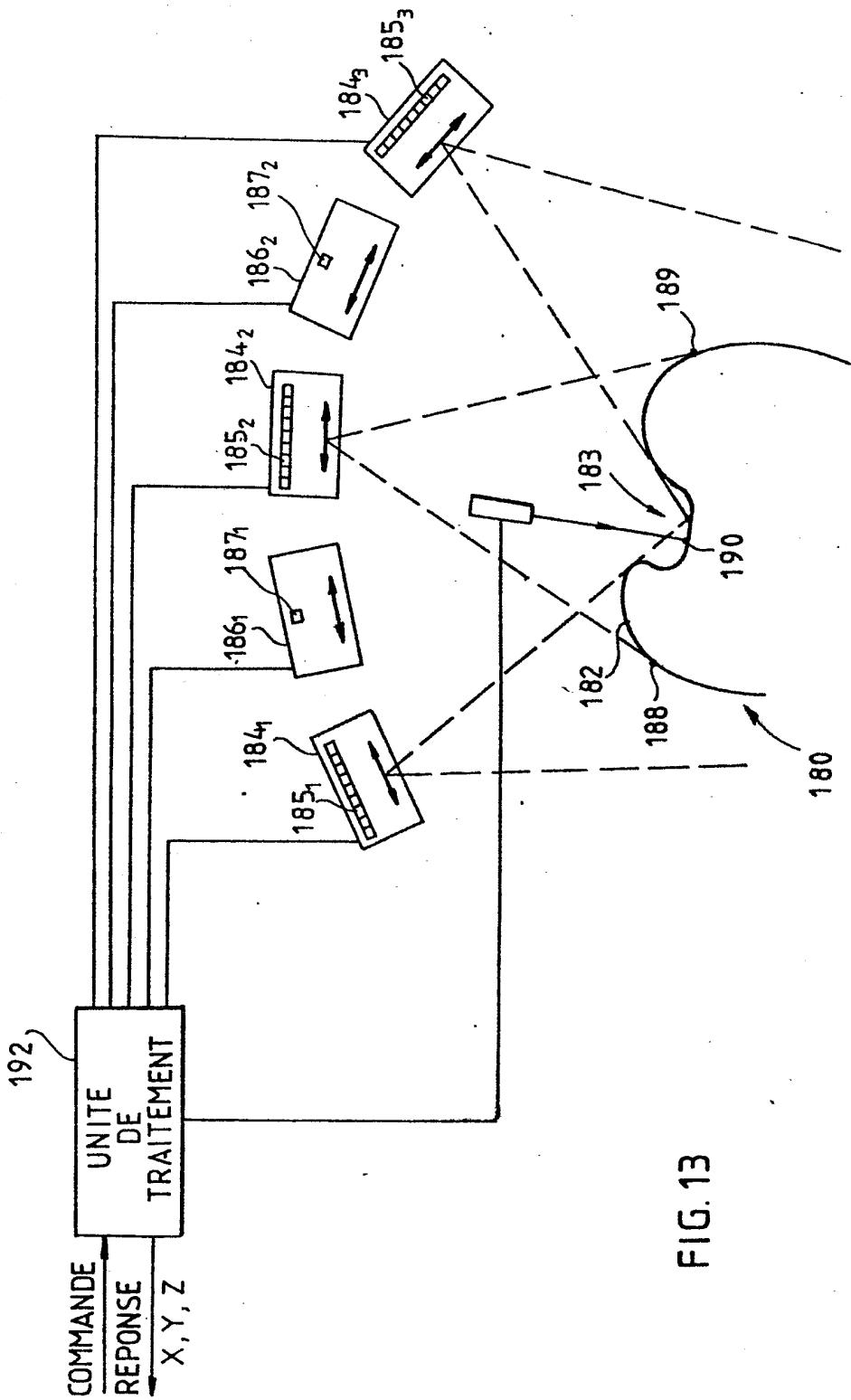


FIG. 13