

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 18.01.93.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la demande : 22.07.94 Bulletin 94/29.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : MATRA SEP IMAGERIE ET INFORMATIQUE Société anonyme — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Rosier Jean-Claude.

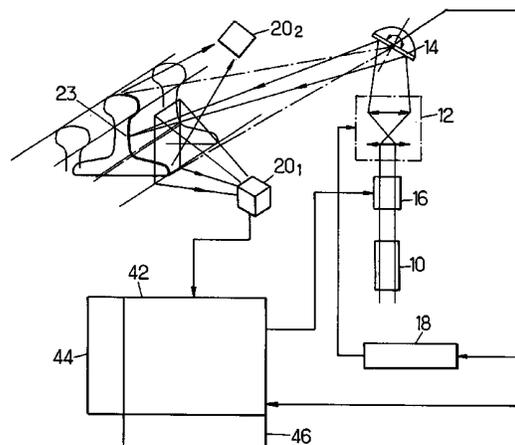
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire : Cabinet Plasseraud.

⑤4 Procédé et dispositif de contrôle dimensionnel du profil de produits longs.

⑤7 Pour compléter optiquement le profil en section d'un produit long, on illumine transversalement le profil, on forme au moins une image de la coupe et on reconstitue le profil par analyse de l'image et modélisation tenant compte de l'incidence de prise de vue.

Pour compléter la précision nécessaire, on focalise dynamiquement le faisceau le long du profil. Le procédé est notamment utilisé pour le contrôle des rails.



PROCEDE ET DISPOSITIF DE CONTROLE DIMENSIONNEL DU PROFIL DE  
PRODUITS LONGS

5           La présente invention concerne le contrôle dimensionnel  
par voie optique du profil transversal de produits longs  
élaborés pouvant avoir une forme complexe et en particulier  
avec des parties concaves. Elle trouve une application  
particulièrement importante dans le contrôle dimensionnel  
10 des surfaces apparentes de produits métallurgiques fabriqués  
par laminage ou filage.

Pour des applications de plus en plus nombreuses, les  
tolérances dimensionnelles requises sur le profil imposent  
de contrôler les produits élaborés directement sur le site  
15 de production, dès la sortie de l'installation qui leur  
donne une forme définitive. Les rails destinés aux trains à  
grande vitesse constituent un exemple particulièrement  
représentatif : la mesure effectuée à la sortie d'un  
laminoir, où le rail progresse à 4 m/s environ et à une  
20 température de plusieurs centaines de degrés, doit permettre  
de vérifier que les cotes à froid du rail respecteront les  
spécifications à quelques dixièmes de millimètre près. Et  
seule la mesure à la sortie du dernier laminoir permet  
d'intervenir sur le train de laminoirs pour corriger  
25 rapidement toute dérive.

On connaît déjà un procédé de contrôle dimensionnel  
suivant lequel on illumine transversalement le profil du  
produit à un emplacement déterminé sur sa longueur par le  
faisceau laser d'incidence déterminée, on forme au moins une  
30 image de la coupe sous une incidence déterminée et on  
reconstitue la forme du profil par analyse de l'image et  
modélisation tenant compte de l'incidence.

Les procédés connus de ce type ne permettent cependant  
pas d'arriver à une précision suffisante. La plupart  
35 utilisent un faisceau laser qui passe à travers une lentille

cylindrique lui donnant une forme plate d'épaisseur sensiblement égale au diamètre initial du faisceau laser. Du fait notamment de la non-planéité du profil à analyser, on ne focalise pas correctement l'ensemble de la nappe lumineuse dont au surplus la répartition énergétique n'est pas constante.

On a également envisagé de balayer le profil à l'aide d'un faisceau qui successivement traverse une lentille de focalisation et est réfléchi par un miroir tournant. Le profil du rail n'étant pas rectiligne, les variations de distance dépassent la profondeur de champ et la focalisation est, au moins dans certaines zones du profil, insuffisante pour garantir la précision requise.

Pour permettre d'arriver à la précision requise, l'invention propose notamment un procédé suivant lequel on illumine transversalement le dit profil par un faisceau laser d'incidence déterminée, on forme au moins une image de la coupe et on reconstitue le profil par analyse de l'image et modélisation tenant compte de l'incidence de prise de vue, caractérisé en ce qu'on focalise dynamiquement le faisceau le long du profil.

Cette focalisation dynamique peut notamment s'effectuer, dans le cas de balayage du profil transversal par un faisceau étroit, en commandant une optique de focalisation en réponse au déplacement du faisceau, suivant une séquence mémorisée, obtenue soit à partir d'un calcul fondé sur le profil de consigne, soit obtenue par des mesures effectuées au cours du passage d'un premier produit, notamment lorsque le contrôle vise essentiellement à déterminer que les produits successifs ont le même profil.

La focalisation dynamique du faisceau le long du profil permet d'obtenir une trace sur ce profil de dimensions telles que la tache correspondante sur la cible de la caméra a une taille inférieure à la résolution de la caméra (par exemple à l'espacement entre sites photosensibles). Il est

avantageux d'illuminer des points particuliers avec une surintensité suffisante pour saturer complètement la caméra. Du fait de la saturation, le barycentre de la tache permet de définir de façon précise un point sur le tracé. Ces points peuvent être corrélés avec des emplacements nominaux sur le profil et donc facilitent la comparaison avec un profil nominal. De plus, la mise en correspondance des points, sur les images fournies par des caméras différentes, correspondant aux mêmes traces lumineuses en surintensité, permet de recalibrer les images les unes par rapport aux autres et de reconstituer la totalité ou la majeure partie du profil complet à partir de plusieurs images partielles.

Dans le cas où l'exploration d'un profil s'effectue par balayage à partir d'un pinceau étroit, la programmation dynamique autorise un calibrage automatique quelle que soit la position du rail, par comparaison entre l'image fournie par une caméra de supervision et une image nominale.

Dans le cas où le produit à contrôler est en déplacement rapide, l'exploration par balayage du profil n'est pas suffisamment rapide pour s'affranchir des déplacements intempestifs du produit, qui contrarient la méthode de reconstruction globale du profil. Un moyen pour réaliser la focalisation dynamique consiste à former une nappe de lumière à partir d'une source constituée par une fente étroite, localisée dans une surface conjuguée du profil à travers une optique de focalisation. Pour cela la fente peut être collée sur un support rigide constituant une réplique. Cette réplique peut être calculée et réalisée à partir des spécifications dimensionnelles du produit. La fente peut être constituée par une zone transparente d'un film photographique, impressionnée sur une machine de phototraçage du genre couramment utilisé pour la fabrication des circuits imprimés. Le rail étant guidé, les faibles modifications de distance entre le rail et la jauge sont dans la profondeur de champ du dispositif optique.

Pour garantir une illumination homogène d'une telle fente, un générateur de lumière peut être couplé à la fente par l'intermédiaire d'un paquet de fibres optiques regroupées de façon à constituer une nappe de fibres dont les extrémités sont à une distance courte et sensiblement constante de la fente.

Toujours dans le cas d'un produit en défilement, il est nécessaire de "geler" l'image, pour éviter durant la mesure un déplacement du rail en défilement, un filé et éventuellement une influence néfaste des vibrations. Pour cela on peut utiliser un éclairage uniforme et des caméras de formation d'image à obturation rapide, par exemple par intensificateurs de lumière pulsés simultanément, ou un éclairage pulsé. Dans tous les cas, l'acquisition d'images par les différentes caméras, dans la mesure où plusieurs caméras sont nécessaires, est faite simultanément, ou de manière synchrone avec l'impulsion lumineuse délivrée par le laser dans le cas d'un éclairage pulsé.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit de modes particuliers de réalisation, donnés à titre d'exemples non limitatifs. La description se réfère aux dessins qui l'accompagnent, dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma de principe d'un dispositif de contrôle selon un premier mode de réalisation de l'invention, applicable à un produit statique et mettant en oeuvre un balayage du profil à contrôler ;

- la figure 2 est un schéma montrant l'image de traces représentatives du faisceau de balayage sur le produit ;

- la figure 3 montre une répartition possible de traces en surbrillance sur un profil ;

- la figure 4 est un schéma montrant une disposition possible de plusieurs jeux de moyens de génération de faisceaux de balayage, permettant de contrôler l'ensemble du profil d'un produit ;

- les figures 5 et 6 sont des schémas destinés à montrer

comment peut s'effectuer le raccordement entre les divers tronçons de profil observés par les différentes caméras de la figure 4 ;

5 - la figure 7 est un schéma destiné à faire apparaître les paramètres qui interviennent au cours d'une étape préliminaire autorisant une focalisation ultérieure ;

- la figure 8 est un schéma de principe montrant la disposition des moyens nécessaires à la mise en oeuvre d'un second mode de réalisation ;

10 - la figure 9 est un schéma montrant une constitution possible de la fente formant source dans le mode de réalisation de la figure 8 ;

15 - la figure 10 est un schéma montrant un mode possible d'éclairage de la fente constituant source dans le mode de réalisation de la figure 8 ;

- la figure 11 est une vue en coupe suivant la ligne XI-XI de la figure 10.

Le mode de réalisation schématisé en figure 1 permet notamment le contrôle de profil d'un rail à l'arrêt, posé sur un chemin de roulement après sa sortie du dernier laminoir. Du fait du refroidissement rapide du rail, sa température est alors généralement comprise entre 700°C et 800°C, même lorsque la mesure est effectuée immédiatement après dépose. Elle est moins homogène qu'à la sortie du laminoir, de sorte que le rayonnement thermique varie suivant les points du profil. La mesure sera effectuée en mettant en oeuvre une lumière dont la longueur d'onde est nettement inférieure à celle du spectre d'émission thermique du rail, et en utilisant un filtre optique de bande étroite, centrée sur la longueur d'onde principale d'émission de la source de lumière, et placé devant chacune des caméras.

30 Le dispositif représenté comporte des moyens permettant de générer un faisceau focalisé de lumière et de balayer un profil du rail dans un plan perpendiculaire à l'axe longitudinal du rail. Ces moyens comportent un laser 10 qui permet

d'obtenir un faisceau relativement étroit, dont l'énergie est concentrée à une longueur d'onde déterminée. On peut notamment utiliser un laser continu hélium-néon ou argon.

5 Le laser 10 est suivi d'une optique 12 de focalisation dynamique, schématisée par deux lentilles déplaçables l'une par rapport à l'autre, et d'un miroir tournant de balayage 14 qui peut être à plusieurs facettes. Ce miroir est muni d'un moteur d'entraînement (non représenté) permettant de le faire tourner autour d'un axe placé de façon à provoquer un  
10 balayage suivant un profil. En général, cet axe sera parallèle à la longueur du rail.

Les moyens représentés à titre d'exemple comportent de plus un modulateur électro-optique ou acousto-optique 16 permettant de moduler le faisceau en intensité et/ou de le  
15 couper avec une fréquence supérieure à ce que permettrait la commande du laser.

Comme on l'a indiqué plus haut, le faisceau d'exploration doit être focalisé en permanence sur le profil, tout le long de la zone balayée, indiquée en traits épais sur la  
20 figure 1. Pour cela le miroir 14 peut être muni d'un capteur de position fournissant un signal d'entrée à un organe de commande 18 qui alimente un actionneur (non représenté) de déplacement d'une des lentilles de l'optique 12. Les déplacements étant faibles, un actionneur piézo-électrique  
25 ou utilisant un montage galvanométrique sera souvent suffisant.

L'organe de commande 18 comportera en général une mémoire dans laquelle est stockée la loi de variation de la position de la lentille en fonction de la position angulaire  
30 du miroir 14 permettant de focaliser le faisceau sur le profil nominal ou de consigne du rail et un générateur de contrôle pas à pas ou continu. La loi de variation peut être déterminée a priori sur la base de calcul mathématique tenant compte de la position relative des différents  
35 éléments et des caractéristiques de l'optique.

Les écarts de profil entre le rail réel et le rail nominal sont toujours suffisamment faibles pour que l'on puisse atteindre par focalisation programmée, en tous points du profil, une trace lumineuse n'ayant que quelques dizaines de microns de large.

5 Le dispositif comprend encore au moins une caméra (ou plus fréquemment deux caméras  $20_1$  et  $20_2$ ) permettant de former une image de l'ensemble de la zone balayée. Les caméras utilisées seront généralement du type à matrice ou  
10 barrette de capteurs à couplage de charges ou du type Vidicon. L'image 22 de la trace lumineuse 23 (Figure 1) sur le profil aura alors une taille bien inférieure à la résolution intrinsèque de la cible de chaque caméra, correspondant à l'écartement entre sites photosensibles dans le cas d'une  
15 caméra à matrice de capteurs à couplage de charge ou CCD.

Le caractère très fin de l'image permet de connaître de façon précise le point 23 d'impact de l'axe du faisceau de lumière sur le profil. Il faut remarquer à ce sujet que les processus classiques de recherche d'un tel point, par  
20 détermination du barycentre, dans le cas d'un faisceau non focalisé sur l'ensemble du profil donnerait lieu à une tache non homogène du fait des fortes variations de réflectivité le long de la surface du rail et ne seraient généralement pas satisfaisants.

25 Afin de pouvoir établir une correspondance précise entre certains points seulement du profil et des points correspondants de l'image, l'invention propose, dans un mode de réalisation avantageux, de moduler en intensité le faisceau de façon à lui donner, à des intervalles de temps régulièrement  
30 espacés (ou à des intervalles angulaires réguliers du miroir 14) une intensité suffisamment élevée pour saturer localement et temporairement la cible de la caméra. Ce résultat peut notamment être atteint en commandant le modulateur 16 de façon à donner au faisceau l'une ou l'autre  
35 de deux intensités :

- une intensité qui s'inscrit parfaitement dans la dynamique de réponse des caméras et correspond à l'image fine 22, d'un point courant 23,

5 - une intensité beaucoup plus puissante qui se traduit par une tache 24, débordant en général sur plusieurs capteurs ou sites photosensibles.

Lorsque la caméra est saturée, les écarts de luminance et de réflectivité entre les différents points de la tache permettent de déterminer le barycentre exact 26 de la tache sans difficulté. La seule condition impérative est que les taches 24 correspondant à des impulsions brèves successives de lumière intense soient suffisamment éloignées pour ne pas se recouvrir.

10 Dans le cas représenté sur la figure 3, le modulateur 16 est cadencé de façon que les orientations pour lesquelles le faisceau est surbrillant soient équidistantes dans un plan 8 orthogonal au plan de balayage. En revanche, les traces en surbrillance sur le rail et les taches correspondantes sur la matrice  $24_1, 24_2, \dots, 24_n$  présentent des variations d'espacement qui caractérisent les distances qui séparent les points d'impact du faisceau laser sur le rail du centre de rotation du miroir tournant 14.

15 Etant donné que le cadencement des impulsions de commande du modulateur 16, qui détermine les instants d'apparition des traces en surintensité, peut être facilement programmé avec une très grande précision, l'analyse de l'image, après détermination des barycentres, permet d'atteindre une résolution de mesure très supérieure à la résolution intrinsèque des caméras.

20  
25  
30  
35 Lorsqu'une analyse très précise est nécessaire et exige de disposer de points 26 tellement rapprochés que les taches 24 se chevaucheraient, il est possible d'effectuer plusieurs balayages successifs, avec un décalage, qui peut atteindre une fraction de pixel, dans le cadencement du modulateur 16, de façon à disposer des barycentres de traces en surbril-

lance entrelacées. Chaque balayage peut être effectué pendant le temps nécessaire au calcul du barycentre des taches du balayage précédent.

5 Lorsque, ce qui est le cas le plus fréquent, la totalité ou la plus grande fraction du profil doit être contrôlée, plusieurs caméras et plusieurs moyens de génération de faisceaux lumineux de balayage sont nécessaires. La figure 4 montre un dispositif comportant des moyens permettant de générer quatre faisceaux de balayage, un seul jeu de moyens 10 étant représenté complètement et comportant un laser  $10_1$ , un modulateur  $16_1$ , une optique de focalisation  $12_1$  et un miroir de balayage  $14_1$ . Les champs angulaires de balayage  $30_1$ ,  $30_2$ ,  $30_3$ , et  $30_4$  permettent d'illuminer le profil complet du rail et présentent au surplus des recouvrements. Les champs des 15 caméras présentent un recouvrement 34 permettant de mettre en correspondance les images fournies par les différentes caméras, dont une seule  $20_1$  est représentée.

La mise en correspondance des différents fragments du profil, reconstitués à partir des images provenant de 20 différentes caméras, en vue de reconstituer le profil complet du rail, peut s'effectuer de diverses façons, notamment en utilisant la présence de traces en surintensité suivant les caméras.

La figure 5 montre, à titre d'exemple, deux fractions de 25 profil  $32_1$  et  $32_2$  reconstituées à partir des images de deux caméras adjacentes, les taches en surintensité étant représentées par des points épais. Une zone de raccordement, telle que celle montrée en 34 sur la figure 4, apparaît sur les deux représentations. Pour faciliter encore le raccorde- 30 ment, la modulation des faisceaux peut être réalisée de façon plus complexe afin de permettre une identification. Par exemple la figure 5 montre, dans la zone de raccorde- ment, l'image de deux traces 36 en surintensité encadrant une zone où le faisceau de balayage est coupé. Les traces 36 35 peuvent appartenir aux traces 24 ci-dessus mentionnées

présentant une surintensité suffisante pour saturer les caméras, ou peuvent être simplement en légère surintensité.

Après projection de chacun des profils enregistrés dans un plan de coupe normal à l'axe longitudinal du rail, il est possible de faire coïncider les différents profils et de reconstituer la coupe, comme le montre la figure 6, par de  
5 simples translations et rotations, dans la mesure où les grandissements sont les mêmes.

Au cours d'une phase préliminaire d'examen, il est également possible d'ajuster la position des moyens de  
10 génération et de balayage, par exemple par des translations et/ou les caméras de façon à obtenir une coïncidence initiale aussi parfaite que possible et d'éviter la nécessité d'un traitement informatique ultérieur de mise en  
15 correspondance.

Lorsque le produit à contrôler présente une plasticité résiduelle qui interdit de le guider efficacement dans le sens transversal à son chemin de roulement sans risque de l'endommager, ce qui est le cas d'un rail à l'arrêt, donc  
20 dégagé de la dernière cage du laminoir, la position relative du produit par rapport aux moyens de génération du faisceau de balayage et des caméras n'est pas connue avec précision. Il est souhaitable, à chaque mesure, de repositionner mutuellement le rail et le dispositif dans l'espace de  
25 mesure le plus près possible d'une position nominale.

Ce résultat peut être atteint en regroupant l'ensemble des moyens de génération de faisceau et des caméras sur un bâti de façon à constituer une jauge pouvant être déplacée, dans le sens des flèches  $f$ , c'est-à-dire horizontalement et  
30 perpendiculairement au chemin de roulement sur lequel repose le rail. Le réglage peut être effectué en comparant l'image fournie par une caméra de supervision 40 à une image nominale. On peut ainsi reproduire la position nominale de la jauge par rapport au produit à quelques millimètres près,  
35 par recalage mécanique.

Cette précision reste souvent encore insuffisante pour garantir une focalisation dynamique satisfaisante.

Un mode possible de recalage optique, complétant le recalage mécanique, consiste à déterminer la distance moyenne  $\bar{r}$  entre le miroir 14 et la zone du profil à balayer par ce miroir et à corriger la loi de commande de l'optique 12 en conséquence. Au cours d'un premier balayage (Figure 7), effectuée avec une focalisation correspondant à la position nominale, la focalisation réelle n'est qu'ap-  
10 prochée ; les caméras donnent une image sur laquelle chaque trace est constituée par une tache 41. Une analyse barycentrique de cette tache permet d'obtenir un profil imparfait mais suffisant pour recalculer les différentes distances  $r_1, \dots, r_n$  qui séparent les différents points de la zone du  
15 profil de l'axe du miroir. A partir de là, la distance moyenne  $\bar{r}$  peut être calculée et on peut en déduire les paramètres de correction à appliquer à l'organe de commande 18 (Figure 1).

La profondeur de champ du faisceau étant généralement d'environ 1 mm, une seule itération est suffisante au cours de l'étape préliminaire. Cependant il est possible de poursuivre plus loin le processus itératif pour améliorer encore la précision.

L'ensemble des opérations d'analyse d'image, de recalage des différents tronçons du profil et de comparaison avec le profil nominal peuvent être effectuées par une unité de calcul 42 (Figure 1). A cette unité de calcul peut être associé un descripteur de forme 44 dans lequel est chargé le modèle nominal, soit déterminé a priori, soit défini par une  
25 opération de contrôle exercée sur un premier produit considéré comme représentatif. A l'unité de calcul 42 est également associée une mémoire de calcul 46 sous forme analytique.

Chacune des opérations individuelles peut être effectuée par des moyens matériels ou logiciels connus de l'homme de  
35

métier. L'image reçue est numérisée, puis mémorisée. La détection de contour en deux dimensions s'effectue, à partir des traces en surintensité dont l'emplacement sur le profil théorique est connu, par reconstitution entre ces points, à l'aide des points intermédiaires de l'image, en mettant en oeuvre une technique connue, telles que les fonctions de Spline ou une interpolation par segments de conique.

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35

Eventuellement une correction d'inclinaison peut être faite sur l'image reconstituée, pour tenir compte de ce que le rail fléchit et a une inclinaison aléatoire. Cette correction peut être faite en utilisant une image fournie par la caméra de supervision 40, dont le champ couvre une longueur notable du produit.

L'unité de calcul 42 peut également être utilisée pour déterminer, à partir du profil ainsi déterminé, le profil à froid qui en résultera. Enfin la forme peut être fournie en sortie sous forme de l'expression des cotes normalisées du produit (dans le cas d'un rail, hauteur, largeur de la semelle, largeur du chemin de roulement, etc.).

On décrira maintenant une variante de réalisation destinée au contrôle d'un rail en défilement à la sortie d'un laminoir. Dans ce cas la position du rail est bien déterminée du fait du guidage assuré par la cage du laminoir. La température du rail est suffisamment élevée (900°C à 950°C en général) pour que le changement de phase n'ait pas commencé. Par ailleurs la température du rail est alors homogène.

En contrepartie, le rail risque de présenter des vibrations dues à son défilement. La profondeur de champ des moyens de génération du faisceau optique de balayage peut être rendue supérieure à l'amplitude des vibrations, grâce à des moyens de focalisation dynamique, c'est-à-dire à distance variable suivant la position le long du profil.

Pour arriver à ce résultat, le faisceau peut être formé en utilisant comme source une fente fine 44 placée dans le

plan objet, c'est-à-dire dans le plan conjugué de la portion de profil à contrôler par rapport à l'optique de focalisation 46. Cette fente 44 peut être ménagée dans un diaphragme 48 et présenter des points 50 de luminosité très accrue de façon à constituer des traces en surintensité du genre montré en figures 3 et 5.

5 L'image de la fente 44, reprise par l'objectif 46, produit dans le plan image une ligne lumineuse dont les dimensions sont fonction du rapport de grandissement de l'optique.

10 Le diaphragme peut être constitué par un matériau souple tel qu'un film photographique, insolé au moyen d'un appareillage de phototraçage à laser pour former la fente étroite (20  $\mu\text{m}$  environ). Puis ce matériau souple est appliqué sur un support massif dont le profil est calculé pour être le conjugué du profil nominal du rail dans le plan objet de l'objectif 46.

15 Il est souhaitable que la source constituée par la fente 44 ait une luminosité uniforme sur toute sa longueur. Pour cela on peut utiliser la constitution montrée schématiquement en figures 9 et 10.

20 La fente 44 est ménagée dans un diaphragme collé sur un support massif 48 constituant l'image conjuguée de la zone du rail à contrôler, telle qu'elle est formée par l'objectif 46. Les figures 9 et 10 montrent, respectivement en élévation et en coupe, la forme que peut avoir ce support massif 48 qui présente une brèche 50 ménagée dans le sens de l'élévation pour permettre l'éclairage de la fente 44 par un générateur de lumière.

25 30 Des moyens doivent être prévus pour "figer" l'image d'un profil à un emplacement longitudinal déterminé, puisque le rail est en circulation.

Plusieurs approches sont possibles.

35 Une première approche pour réaliser le relevé instantané du profil permet d'utiliser un éclairage continu de la

fente. Il exige l'emploi de caméras électroniques couplées à un organe obturateur fonctionnant en mode pulsé à un temps d'ouverture très bref, pour compenser la vitesse insuffisante des obturateurs des caméras.

5           On peut notamment utiliser dans ce but un intensificateur de lumière placé devant la caméra et fonctionnant en mode pulsé, à temps d'ouverture très bref, choisi en fonction de la vitesse de défilement, qui est souvent de plusieurs mètres par seconde dans le cas des rails.

10           Une autre approche consiste à pulser la lumière d'éclairage de la fente objet, de façon que l'éclairement se limite à un court instant, par un obturateur ou en utilisant un laser pulsé de puissance.

          A titre d'exemple, lorsque le rail progresse à 4 m/s, un  
15           temps d'exposition de 10  $\mu$ s correspond à un déplacement du rail de 40  $\mu$ m dans le sens longitudinal.

          L'utilisation d'une fente 44 ayant un profil conjugué permet de maintenir la focalisation, à condition de placer convenablement la source de lumière : il faut d'une part  
20           éviter les incidences rasantes, d'autre part éviter une orientation du faisceau lumineux parallèlement à la direction préférentielle de vibration.

          Malgré tout, des difficultés peuvent dans certains cas être rencontrées pour les parties terminales du profil, car  
25           un faible déplacement du rail fait alors déboucher dans le vide le bord du faisceau issu de la fente objet, alors qu'à l'autre extrémité la fente image ne couvre plus entièrement le profil.

          Cette difficulté peut être écartée en prolongeant sur  
30           une longueur  $a$  (Figure 8) les extrémités de la réplique de l'objet, en conservant la pente locale terminale. La distance  $a$  est déterminée en fonction de l'amplitude maximale de vibration évaluée.

          Du fait que les temps d'exposition sont nécessairement  
35           très brefs comparés aux temps d'intégration habituels des

caméras électroniques, la source doit être intense. Pour cela il est souhaitable d'utiliser un mode d'illumination de la fente concentrant le maximum d'énergie sur elle.

5 Etant donné que la fente n'est pas plane, des systèmes optiques à lentilles ne permettent pas de focaliser uniformément le flux lumineux.

10 La figure 10 montre une réalisation permettant d'écarter cette difficulté. Le générateur (laser 10 de puissance de quelques Watts du fait du très faible temps d'exposition) fournit une puissance qui est focalisée sur la tranche terminale d'un paquet 52 de fibres optiques. Chaque fibre optique 54, de diamètre faible, est placée pour que son extrémité soit à proximité immédiate de la fente objet 44. Les fibres peuvent être enfouies dans des sillons d'une plaque 56 d'épaisseur supérieure au diamètre de la fibre. 15 L'extrémité de chaque fibre 54 peut dépasser suffisamment de la plaque pour arriver très près de la fente objet. Plusieurs plaques équipées chacune d'une nappe de fibres optiques peuvent être empilées et maintenues entre quatre plaques de maintien 58 entre lesquelles les plaques de guidage 56 peuvent glisser. 20

25 Avant une campagne de mesures portant sur des rails tous de même forme, le diaphragme approprié, son support massif sont mis en place. Les fibres sont mises en place dans les plaques munies de sillons et ces plaques sont immobilisées dans la position convenable.

## REVENDICATIONS

5 1. Procédé de contrôle optique du profil en section d'un  
produit long, suivant lequel on illumine transversalement le  
dit profil par un faisceau laser d'incidence déterminée, on  
forme au moins une image de la coupe et on reconstitue le  
profil par analyse de l'image et modélisation tenant compte  
de l'incidence de prise de vue, caractérisé en ce qu'on  
10 focalise dynamiquement le faisceau le long du profil.

2. Procédé de contrôle optique selon la revendication 1,  
caractérisé en ce qu'on illumine des points particuliers du  
profil avec une surintensité suffisante pour saturer  
localement une tache d'image d'une caméra fournissant  
15 l'image et en ce qu'on définit le centre de la tache par  
recherche de son barycentre.

3. Procédé de contrôle optique selon la revendication 2,  
caractérisé en ce que l'on corrèle les dites taches de  
plusieurs caméras mutuellement et éventuellement avec des  
20 emplacements nominaux du profil.

4. Procédé de contrôle optique selon la revendication 3,  
caractérisé en ce qu'on recalcule mutuellement les images de  
plusieurs caméras par mise en concordance des dites taches.

5. Procédé de contrôle optique selon l'une quelconque  
25 des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'illumina-  
tion est effectuée par balayage par un faisceau focalisé  
sous forme d'une trace ponctuelle, et en ce que la focalisa-  
tion est suffisamment fine pour que l'image de la trace du  
faisceau sur la cible d'une caméra soit inférieure à la  
30 résolution de la caméra.

6. Procédé de contrôle optique selon la revendication 5,  
caractérisé en ce que l'on effectue une étape préalable de  
calibrage par déplacement d'ensemble d'une jauge comportant  
la ou les caméras de formation d'image ainsi que les  
35 générateurs de faisceau laser jusqu'à ce que l'image fournie

par une caméra de supervision corresponde à une image nominale.

5 7. Procédé de contrôle optique selon la revendication 5 ou 6, caractérisé par une étape préliminaire de calibrage optique par balayage avec un faisceau focalisé dynamiquement suivant une séquence nominale, relevé du contour et correction de la loi de focalisation dynamique.

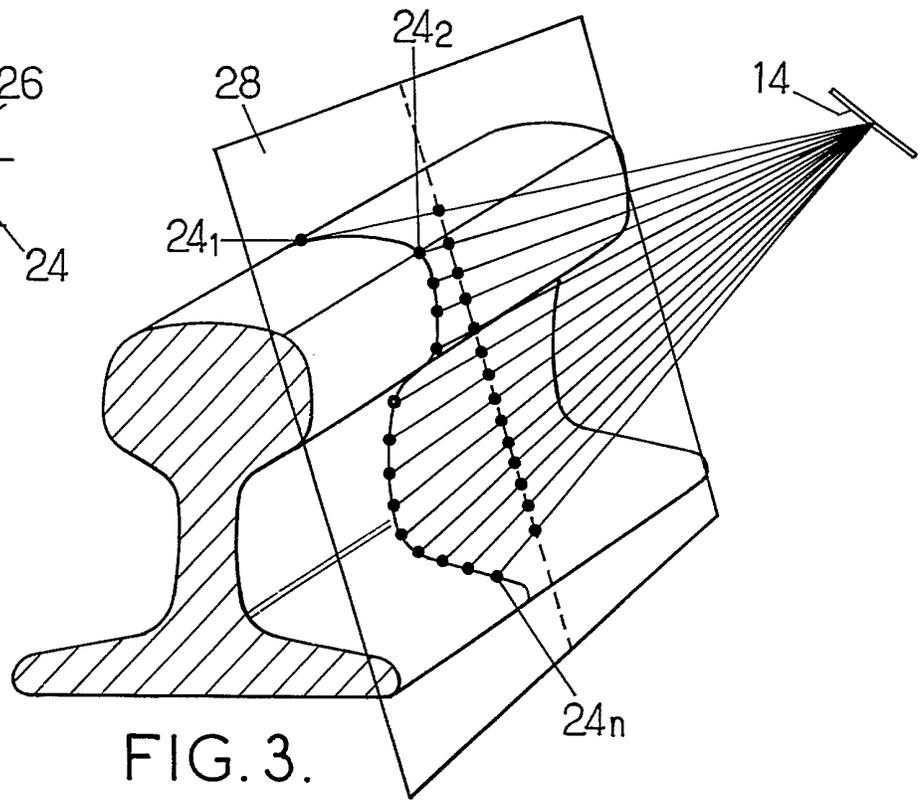
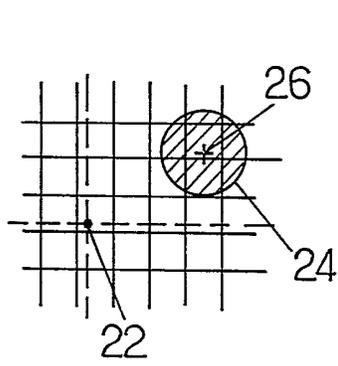
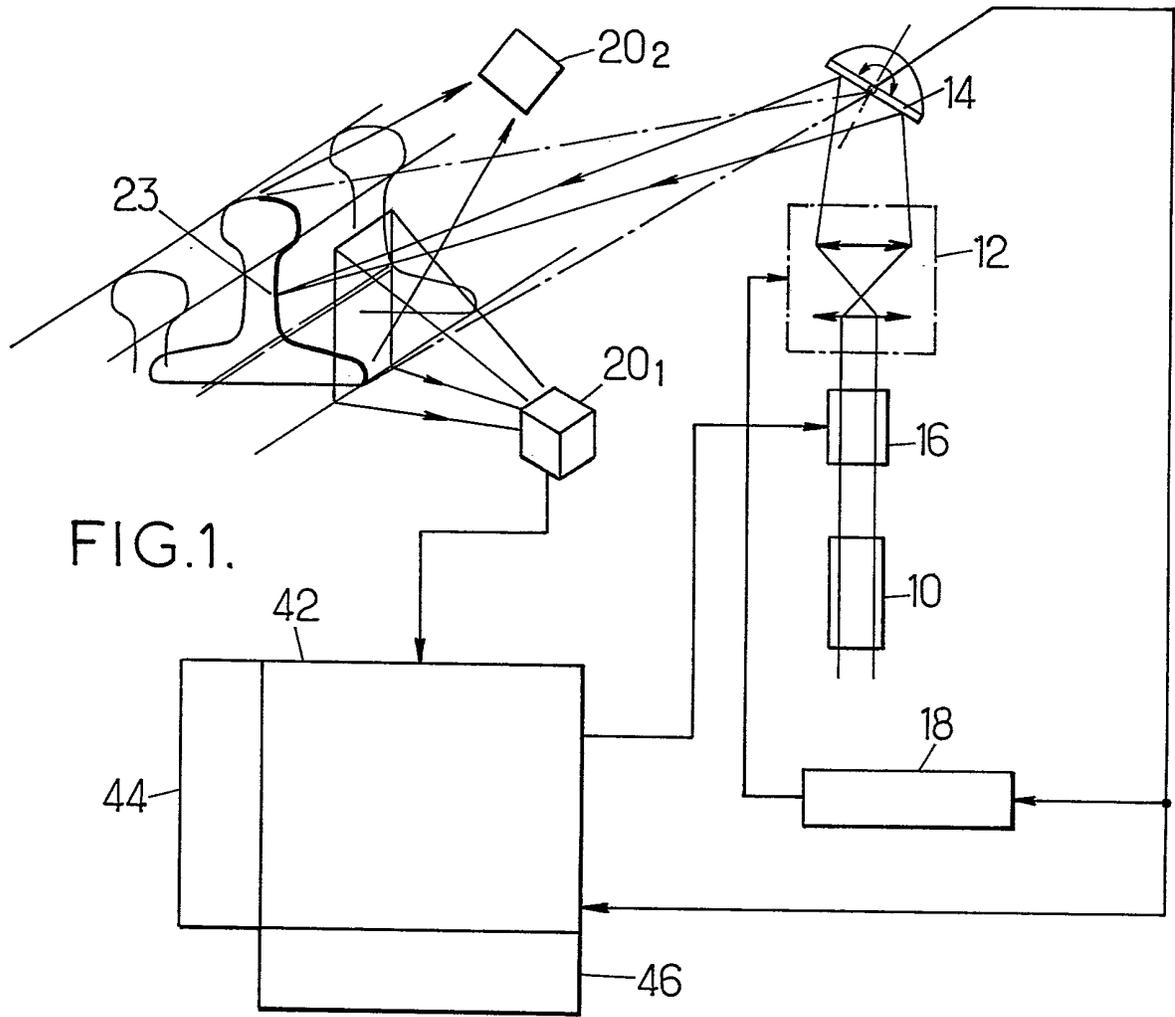
10 8. Procédé de contrôle optique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'illumination est effectuée en formant une nappe de lumière à partir d'une source constituée par une fente étroite, localisée dans une surface conjuguée du profil à travers une optique de focalisation.

15 9. Procédé de contrôle optique selon la revendication 8, caractérisé en ce que la fente est éclairée par un générateur de lumière couplé à la fente par l'intermédiaire d'un paquet de fibres optiques dont les extrémités sont à une distance courte et sensiblement constante de la fente.

20 10. Procédé de contrôle optique selon la revendication 8 ou 9, caractérisé en ce que l'on forme l'image à travers un intensificateur d'image à obturation rapide.

11. Procédé de contrôle optique selon la revendication 8, 9 ou 10, caractérisé en ce qu'on forme l'image en pulsant brièvement une lumière intense d'éclairage de la fente.

25 12. Procédé de contrôle optique selon l'une quelconque des revendications 8 à 11, caractérisé en ce que plusieurs dites images du profil sont acquises simultanément, et de manière synchrone, et en ce que la source ou les sources, si elles sont pulsées, sont synchronisées avec les caméras.



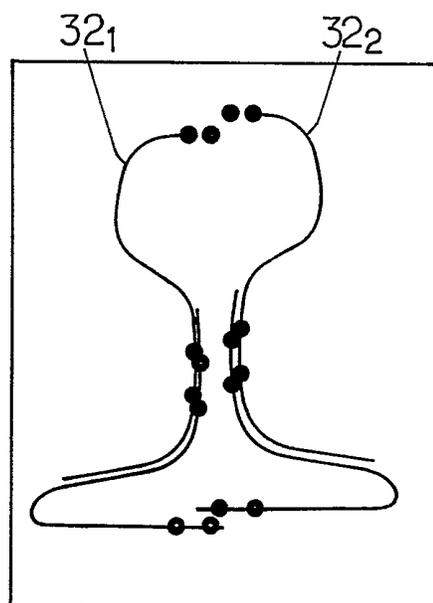
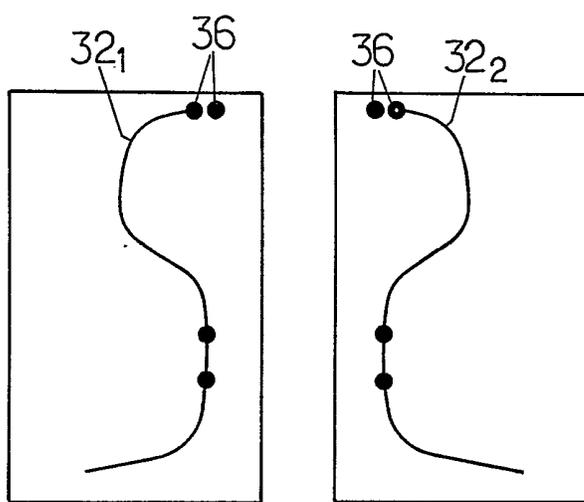
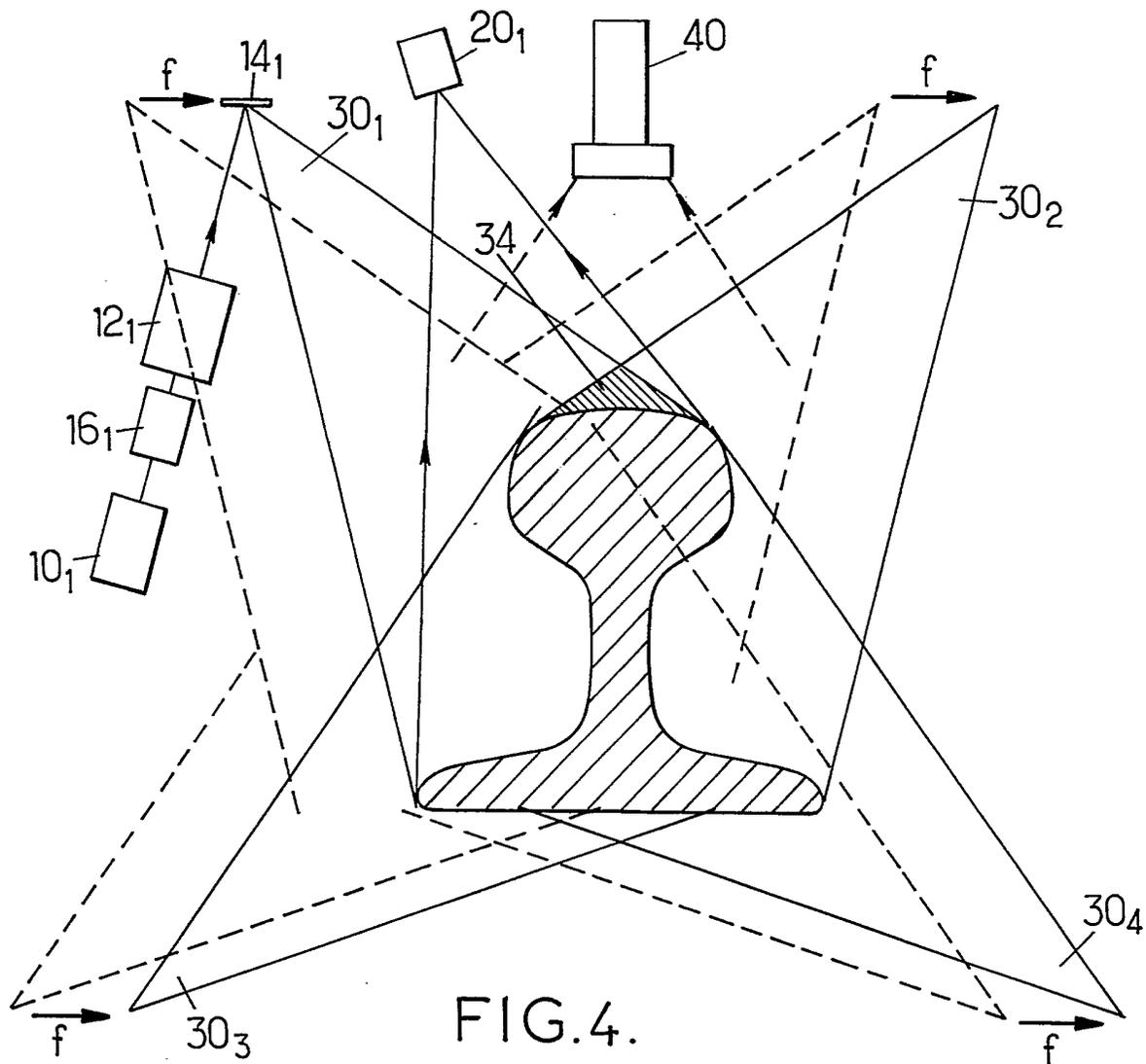


FIG. 6.

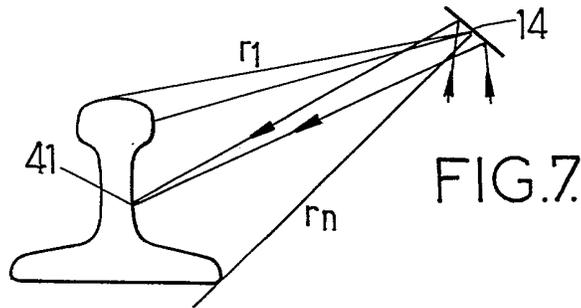


FIG. 7.

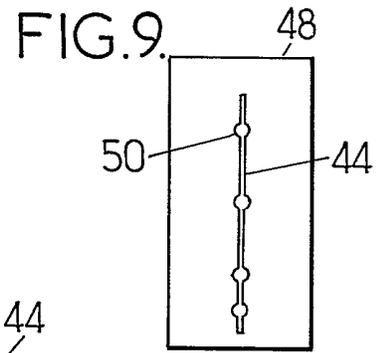


FIG. 9.

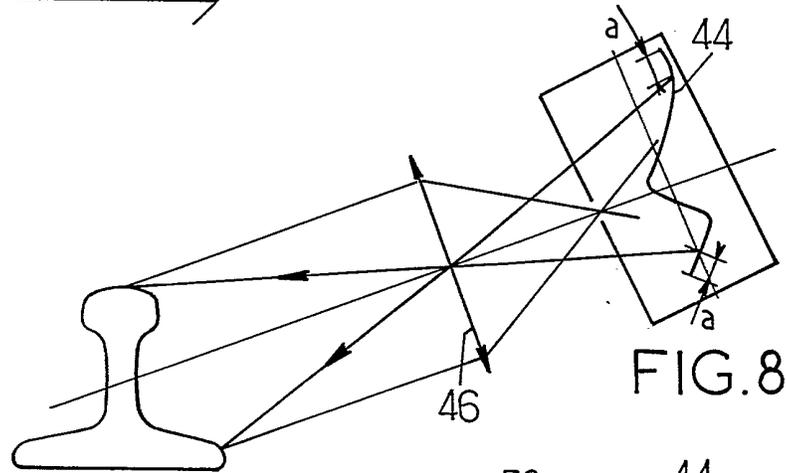


FIG. 8.

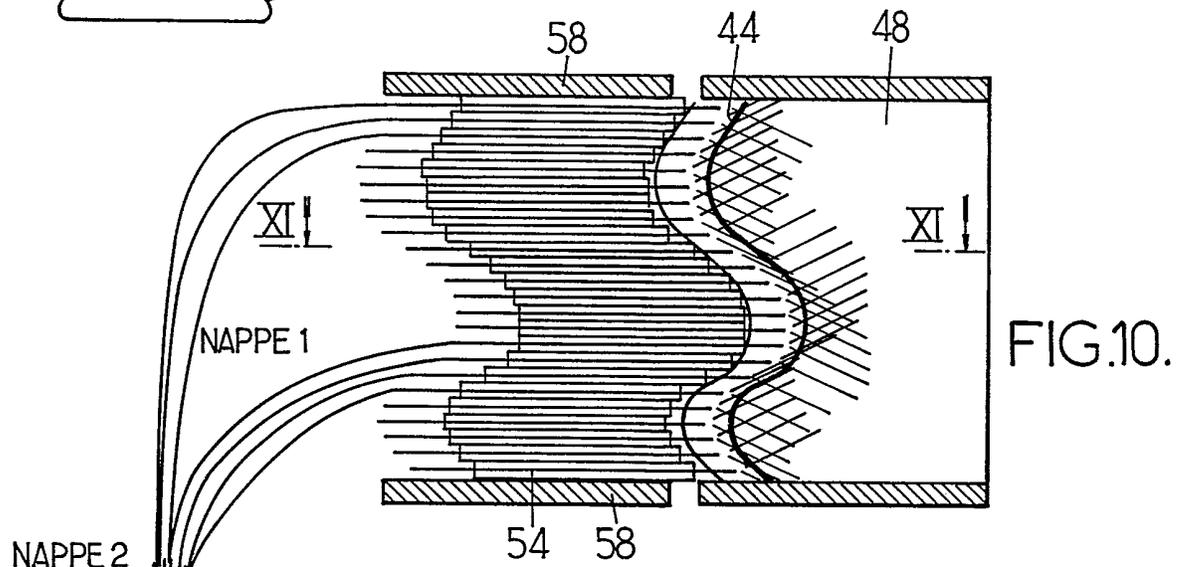


FIG. 10.

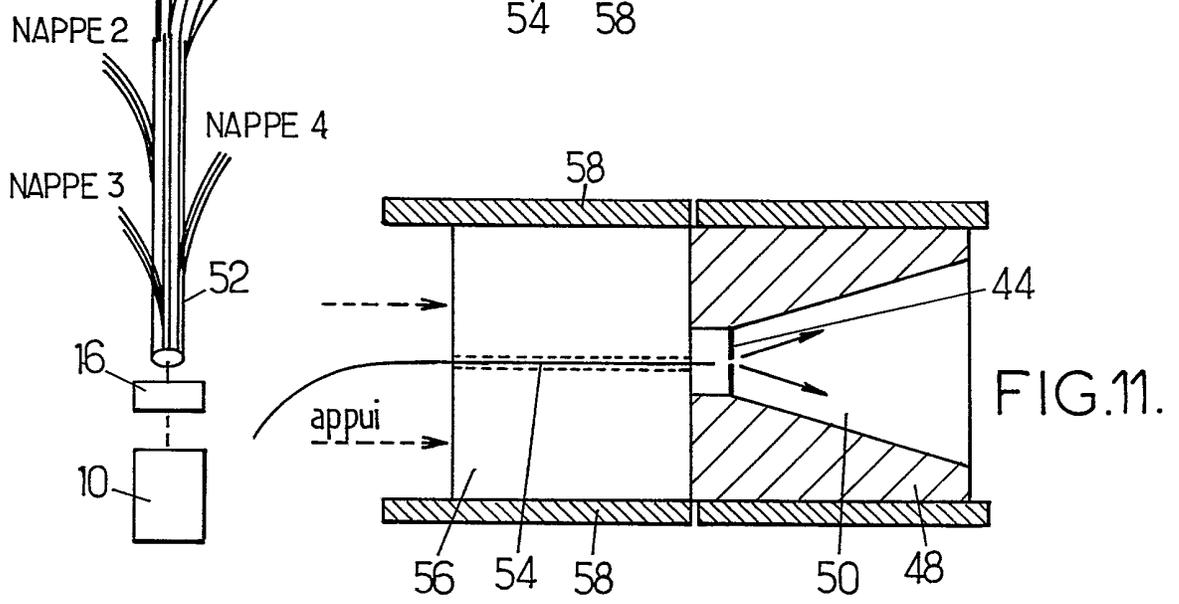


FIG. 11.

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRELIMINAIRE  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FR 9300401  
FA 481031

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
Y	EP-A-0 378 781 (LINSINGER MASCHINENBAU GMBH) * abrégé; figure 1 * ---	1-5,8
Y	US-A-4 957 369 (ANTONSSON) * abrégé; figure 2 * ---	1-5,8
Y	US-A-5 129 010 (HIGUCHI ET AL.) * abrégé; figure 1 * ---	2-4
Y	EP-A-0 087 592 (SPENO INTERNATIONAL S.A.) * abrégé; figures 1,3 * ---	5
A	EP-A-0 488 292 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD) * abrégé; figure 5 * ---	2
A	WO-A-8 911 630 (WILD LEITZ AG) * abrégé; figure 2 * ---	2
A	EP-A-0 007 227 (COMMONWEALTH SCIENT ORG) -----	
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
		G01B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
05 OCTOBRE 1993		BATTESON A.
<p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul  Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un  autre document de la même catégorie  A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication  ou arrière-plan technologique général  O : divulgation non-écrite  P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention  E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure  à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date  de dépôt ou qu'à une date postérieure.  D : cité dans la demande  L : cité pour d'autres raisons  .....  &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		

2

EPO FORM 1503 03.82 (P0413)