



Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/9480>

To cite this version :

Laurent BERTHE, Marco SOSCIA, Matthieu SCHNEIDER - Analyseur spatial de faisceau laser à réglage automatique. 2014-01-17. Brevet n° FR2974 176

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : scienceouverte@ensam.eu



①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
PARIS
—

①⑪ N° de publication :

2 974 176

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national :

11 53265

G 01 J 1/42 (2013.01), G 01 J 11/00, H 01 S 3/00

⑤① Int Cl⁸ :

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ ANALYSEUR SPATIAL DE FAISCEAU LASER A REGLAGE AUTOMATIQUE.

②② Date de dépôt : 14.04.11.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : *CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE et LASER
METROLOGIE Société à responsabilité limitée — FR.*

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 19.10.12 Bulletin 12/42.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 17.01.14 Bulletin 14/03.

⑦② Inventeur(s) : BERTHE LAURENT, SCHNEIDER
MATTHIEU et SOSCIA MARCO.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦③ Titulaire(s) : CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE, LASER
METROLOGIE Société à responsabilité limitée.

⑦④ Mandataire(s) : MARKS & CLERK FRANCE Société
en nom collectif.

FR 2 974 176 - B1



ANALYSEUR SPATIAL DE FAISCEAU LASER A REGLAGE AUTOMATIQUE

Le domaine de l'invention est celui des analyseurs de faisceaux laser utilisés pour l'analyse de la distribution spatiale de l'intensité $I_z(x,y)$ ou de l'énergie $E_z(x,y)$ d'un faisceau laser focalisé ou issu d'une fibre optique. Avec ces systèmes, on forme et on analyse l'image d'un faisceau laser dans un plan (x,y) perpendiculaire à l'axe de son trajet optique.

- Ces analyseurs sont utilisés dans tous les secteurs d'activités : industriel, médical, agroalimentaire, etc..., et concernent toutes les sources laser focalisées déjà développées et en cours de développement, qui nécessitent une caractérisation complète, et toutes les applications de traitement par laser focalisé, parmi lesquelles on peut citer :
- le perçage (percussion, trépanation),
 - le soudage,
 - la découpe,
 - le rechargement,
 - le frittage,
 - le choc laser (mise sous contraintes des surfaces, endommagement des matériaux, test d'adhérence, etc..),
 - le traitement de surface (décapage, refusions, etc...),
 - la gravure en surface et dans la matière,
 - etc.

L'analyse de faisceaux laser impulsionnel ou continu, est déterminante pour connaître les conditions d'irradiation laser. Ces paramètres sont généralement désignés comme suit:

- la puissance moyenne du laser,
- le diamètre du faisceau assimilé à un spot de forme circulaire, elliptique, carrée, rectangulaire, etc...
- la distribution d'intensité sur la zone irradiée par le laser,
- la divergence du faisceau (Expansion du faisceau le long de son axe optique).

Et pour les lasers impulsionnels s'ajoutent :

- la fréquence : nombre d'impulsions laser par seconde,
- la durée des impulsions,
- l'énergie par impulsion,

- la puissance crête dans l'impulsion,
- la forme temporelle des impulsions,
- les fluctuations d'impulsion à impulsion ou sur une rafale d'impulsions.

5 Il n'existe pas à ce jour d'analyseur capable d'extraire l'ensemble de ces paramètres sur une partie de l'axe optique. En effet, les instruments existants sont confrontés à des difficultés de mise en forme du faisceau à analyser, de tenue au flux, de saturation des signaux liés à des densités de puissance incidentes trop importantes pour les capteurs CCD ou CMOS
10 utilisés. En effet, les niveaux de saturation de ces capteurs sont de l'ordre de $0.5 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ à une longueur d'onde de $1.064 \mu\text{m}$ ce qui nécessite d'utiliser des dispositifs de prélèvement d'une partie du faisceau pour son analyse, mais également des atténuateurs supplémentaires en fonction des densités de puissance incidentes. En plus d'être encombrants, les atténuateurs utilisés
15 dégradent la qualité optique du faisceau rendant leur utilisation très discutable.

Il en est de même pour l'analyse des lasers continus focalisés de quelques kW et plus, utilisés pour d'autres applications.

20 La figure 1 présente une conception classique d'analyseur pour faisceau laser focalisé. Il comprend :

- une lentille convergente 3 dite lentille de mise en forme, de focale f_1 , dont le foyer objet doit être placé dans le plan de focalisation 2 du faisceau à analyser 1,
- 25 - un dispositif de prélèvement et/ou d'atténuation 4 représenté ici par 3 prismes 41, 42, 43,
- un dispositif d'absorption de l'énergie en l'occurrence un "puits thermique" 8 destiné à absorber le faisceau non prélevé, soit jusqu'à plus de 99,995 % du faisceau à analyser 1,
- 30 - une lentille convergente 5 dite lentille d'imagerie de focale f_2 , qui forme l'image 11 du faisceau au plan focal 2, sur le capteur d'analyse 6 et qui définit le grossissement (f_2/f_1) utilisé pour la mesure du diamètre au plan focal : $\varnothing_{\text{focal}} = \varnothing_{\text{capteur}} \times (f_1/f_2)$. Un télescope peut également être associé à cette lentille d'imagerie pour augmenter le grossissement dans le cas d'un
35 faisceau laser à analyser de faible diamètre (quelques $10\mu\text{m}$) ;

- une caméra pour l'analyse d'images et donc de la distribution spatiale de l'énergie $E_z(x,y)$: elle est typiquement équipée d'un capteur CCD ou CMOS 6 placé dans le plan focal de la lentille d'imagerie 5.

5 L'opération préliminaire à l'analyse du faisceau, consiste à placer correctement les lentilles de mise en forme 3 et d'imagerie 5 afin de garantir la mesure du diamètre de l'image 11 du faisceau obtenue sur le capteur 6. Le réglage manuel de ces lentilles est fastidieux et dangereux pour les éléments de l'appareil. En effet, il est possible de produire des focalisations
10 accidentelles sur les éléments internes du système, qui peuvent les endommager ou les détruire malgré les atténuations prévues.

En outre, avec un laser impulsionnel il faut synchroniser la prise d'images avec les impulsions laser incidentes. Cette synchronisation peut être réalisée si le laser dispose d'une sortie dite "TRIGGER". Cependant,
15 cette opération peut être lourde à mettre en œuvre, voire impossible dans certains cas.

L'ensemble de ces contraintes rendent les analyseurs de faisceaux actuels, encombrants, difficiles à utiliser et fragiles vis-à-vis des densités de puissance, voire incapables d'analyser un faisceau laser de forte
20 puissance (de 1 à 12kW pour un laser continu et de 1 à 50kW crête pour un laser à impulsions) sur l'ensemble des caractéristiques précitées.

Le but de l'invention est de remédier à ces inconvénients.

Plus précisément l'invention a pour objet un analyseur de la
25 distribution spatiale d'intensité d'un faisceau laser issu d'une fibre optique ou focalisé dans un plan perpendiculaire à l'axe du trajet optique du faisceau, qui comprend en aval du plan et sur le trajet optique :

- une lentille de mise en forme,
- un dispositif de prélèvement partiel du faisceau mis en forme,
- 30 - un puits thermique destiné à absorber le faisceau non prélevé,
- une lentille d'imagerie apte à former les images du plan sur un capteur d'images.

Il est principalement caractérisé en ce qu'il comprend :

- une motorisation de la lentille de mise en forme apte à translater cette
35 lentille suivant l'axe du trajet optique,

- une motorisation de la lentille d'imagerie apte à translater cette lentille dans un plan perpendiculaire à l'axe du trajet optique,
- une motorisation du capteur d'images apte à translater ce capteur suivant l'axe du trajet optique,
- 5 - une électronique de commande de chaque motorisation, et
- une interface logicielle de paramétrage et de pilotage des électroniques de commande, équipée d'une unité de traitement des images acquises par le capteur.

10 Selon une caractéristique de l'invention, le capteur est reliée à une électronique de réglage de son ouverture et/ou de son gain, pilotée par l'interface logicielle, et l'analyseur comprend une photodiode reliée à une électronique de synchronisation également pilotée par l'interface logicielle.

15 L'invention a aussi pour objet un procédé de réglage d'un tel analyseur, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes pour collimater le faisceau laser après la lentille de mise en forme de focale f_1 :

- a) escamoter la lentille d'imagerie du trajet optique à l'aide de la motorisation,
- 20 b) positionner la lentille de mise en forme de focale f_1 , à une distance d du plan à analyser avec $d < f_1$, au moyen de sa motorisation, pour obtenir un faisceau divergent en sortie de la lentille de mise en forme, de façon à éviter toute focalisation dommageable
- c) déterminer sur l'image captée, une première caractéristique telle
- 25 que le diamètre du faisceau pour une position p_1 du capteur, puis pour une position p_2 du capteur décalé sur l'axe du trajet optique, au moyen de sa motorisation,
- d) tant que la comparaison de ces premières caractéristiques telles que les diamètres n'atteint pas un seuil prédéterminé, réitérer les étapes
- 30 b) et c) en ajustant la position d de la lentille par rapport à f_1 .

De préférence, il comprend en outre à l'issue des étapes précédentes, les étapes suivantes pour centrer la lentille d'imagerie sur le faisceau collimaté :

e) déterminer la position (x, y) de l'image du faisceau obtenue sur le capteur (par exemple grâce au calcul du barycentre d'intensité),

f) positionner la lentille d'imagerie dans le plan perpendiculaire à l'axe du trajet optique au moyen de sa motorisation à une distance D de l'axe,

5 g) déterminer de nouveau la position (x, y) de l'image du faisceau obtenue sur le capteur et,

h) tant que la comparaison entre ces positions n'atteint pas un seuil prédéterminé, réitérer les étapes f) et g) en ajustant la position D de la lentille d'imagerie par rapport à l'axe.

10

Il comprend avantageusement à l'issue des étapes précédentes, les étapes suivantes pour positionner le capteur d'image dans le plan de focalisation de la lentille d'imagerie :

15

i) le capteur étant positionné sur une position P1, au moyen de sa motorisation, une deuxième caractéristique telle que le diamètre $\Phi 1$ du faisceau est déterminée, au moyen de l'unité de traitement des images,

j) puis le capteur étant positionné sur une position P2, le diamètre $\Phi 2$ du faisceau (ou cette deuxième caractéristique) est mesuré,

20

k) $|\Phi 1 - \Phi 2|$ est calculé et comparé à un seuil prédéterminé, ou les deuxièmes caractéristiques sont comparées à un seuil prédéterminé,

25

l) tant que ce seuil n'est pas atteint, les étapes j) à k) sont réitérées pour une nouvelle position P2 du capteur, à laquelle est associé un nouveau diamètre $\Phi 2$, ou une nouvelle deuxième caractéristique,

m) lorsque le seuil prédéterminé est atteint on place le capteur à la position médiane entre P1 et P2 qui définit alors la position du plan de focalisation de la lentille d'imagerie de focale f2.

30

Selon une caractéristique de l'invention, le procédé de réglage comporte une étape de commande des réglages de l'ouverture et/ou du gain du capteur en fonction de la puissance moyenne (pour un laser continu) ou de la puissance crête (pour un laser à impulsions), de façon à éviter toute saturation du signal sur celui-ci.

Lorsque le laser est un laser à impulsions, il comprend les étapes suivantes : mesure de la période séparant deux impulsions et de la durée moyenne de ces impulsions, et déclenchement du capteur par l'électronique de synchronisation en fonction de cette période et de cette durée. Le
5 déclenchement du capteur peut être temporellement paramétré à l'aide l'interface logicielle pour par exemple, capturer une image dans l'impulsion laser à un moment choisi.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront
10 à la lecture de la description détaillée qui suit, faite à titre d'exemple non limitatif et en référence aux dessins annexés dans lesquels :

la figure 1 déjà décrite représente schématiquement un exemple d'analyseur de faisceau selon l'état de la technique,

la figure 2 représente schématiquement un exemple d'analyseur
15 de faisceau selon l'invention.

D'une figure à l'autre, les mêmes éléments sont repérés par les mêmes références.

On décrit en relation avec la figure 2 un analyseur de faisceau
20 selon l'invention et son procédé de réglage.

Selon l'invention les positions des lentilles de mise en forme 3 et d'imagerie 5, ainsi que celles du capteur 6 sont motorisées et commandées automatiquement pour obtenir sur le capteur la meilleure image 11 du faisceau à analyser dans le plan focal 2.

25 Plus précisément, la lentille de mise en forme 3 est associée à une motorisation 31 apte à la translater suivant l'axe du trajet optique, et qui est pilotée par une première électronique de commande, elle-même pilotée par une interface logicielle 102. La lentille d'imagerie 5 est associée à une motorisation 51 apte à la translater suivant un plan perpendiculaire à l'axe du
30 trajet optique ; elle est également pilotée par une deuxième électronique de commande, elle-même pilotée par l'interface logicielle 102. Enfin, le capteur 6 est associé à une motorisation 61 apte à le translater suivant l'axe du trajet optique ; il est également piloté par une troisième électronique de commande, elle-même pilotée par l'interface logicielle 102. Ces trois
35 électroniques de commande sont de préférence regroupées au sein de

l'électronique 101. Sur chacun de ces trois axes motorisés une butée électromécanique ou électronique peut être prévue, qui permet de définir une origine et un sens initial pour chacune des translations en renvoyant un signal correspondant aux électroniques de commande.

5

Le réglage des positions de ces trois éléments 3, 5 et 6 est obtenu de la manière suivante.

Dans un premier temps, on cherche à positionner la lentille de mise en forme 3 de manière à ce que le plan 2 du faisceau à analyser coïncide avec le plan focal objet de cette lentille 3, c'est-à-dire qu'il soit situé à une distance f_1 de la lentille 3.

A cet effet, la position de la lentille de mise en forme 3 est pilotée de manière à être placée grossièrement à une distance d_1 du plan focal objet à analyser, inférieure à sa focale f_1 , de façon à être certain d'obtenir un faisceau divergent non dommageable pour les constituants internes de l'analyseur.

La position de la lentille d'imagerie 5 est pilotée de manière à ce que cette lentille soit escamotée du trajet optique suivant un plan perpendiculaire. L'image du faisceau divergent est ainsi obtenue sur le capteur 6 CCD ou CMOS. Cette lentille 5 peut être escamotée avant l'étape précédente.

Pour une position donnée de la lentille de mise en forme 3, le capteur 6 est également piloté pour être déplacé selon le trajet optique, sur une distance de quelques cm pour vérifier que l'on se rapproche bien d'un faisceau collimaté jusqu'à obtenir celui-ci.

- Plus précisément, pour une position d_1 de la lentille 3 avec $d_1 < f_1$:
- A) le capteur 6 étant positionné sur une position P11, au moyen de sa motorisation 61, une caractéristique de l'image du faisceau telle que le diamètre Φ_{11} (ou la distribution d'intensité ou d'énergie $E_{11}(x,y)$, ou ...), est mesurée par l'interface logicielle 102 qui comporte une unité de traitement des images acquises par le capteur 6,
 - B) puis le capteur 6 étant positionné sur une position P12, la caractéristique de l'image du faisceau telle que le diamètre Φ_{12}

(ou la distribution d'intensité ou d'énergie $E_{12}(x,y)$, ou ...) est mesurée,

- 5 o C) $|\Phi_{11} - \Phi_{12}|$ est calculé et comparé à un seuil prédéterminé, ou les distributions d'intensité ou d'énergie ou autre, sont comparées à un seuil prédéterminé,
- 10 o D) tant que ce seuil n'est pas atteint, les étapes A) à C) sont réitérées pour une nouvelle position d_2 de la lentille 3 (avec $d_2 < d_1$) atteinte au moyen de sa motorisation 31, à laquelle sont associés de nouvelles positions P_{21} et P_{22} du capteur et de nouvelles caractéristiques tels que de nouveaux diamètres Φ_{21} , et Φ_{22} ou de nouvelles distributions d'intensité ou d'énergie.
- 15 o E) Le faisceau est considéré comme étant collimaté et donc la lentille de mise en forme 3 comme étant correctement positionnée (pour que le plan à observer soit situé au foyer objet de la lentille 3), dès que ce seuil est atteint. Ce seuil est typiquement égal à 0 ou proche de 0.

20 L'opération de collimation étant réalisée, on pilote le repositionnement de la lentille d'imagerie 5 dans le plan perpendiculaire à l'axe du trajet optique. Pour qu'elle soit parfaitement centrée sur l'axe du trajet optique du faisceau collimaté, en C0 on procède de la manière suivante. On superpose à l'image obtenue sur le capteur 6, l'image précédente du faisceau collimaté mise en mémoire par l'unité de traitement

25 des images acquises, en utilisant par exemple un algorithme de comparaison des positions des images : les positions coïncident lorsque la lentille 5 est centrée. Plus précisément :

- 30 - A) on détermine la position (x,y) de l'image du faisceau collimaté, obtenue sur le capteur 6, à l'issue de la procédure de collimation, au moyen de l'unité de traitement des images,
- B) on positionne la lentille 5 sur le trajet optique, au moyen de sa motorisation 51, sur une position C1 située à une distance D_1 par rapport au centre C0 du trajet optique,
- 35 - C) on détermine la position (x,y) de l'image du faisceau convergent, obtenue sur le capteur 6,

- D) on compare les deux positions à un seuil prédéterminé,
- E) tant que ce seuil n'est pas atteint, les étapes B) à D) sont répétées pour une nouvelle position C2 de la lentille 5, située à une distance D2 plus proche du centre C0, ($D2 < D1$), à laquelle est associée une nouvelle position de l'image.
- F) La lentille 5 est considérée comme étant correctement centrée, dès que ce seuil est atteint. Ce seuil est typiquement égal à 0 ou proche de 0.

La comparaison des positions est par exemple déterminée à partir de la comparaison des barycentres d'intensité des pixels des images, ou à partir de la comparaison des distributions d'intensité ou d'énergie des images $E11(x,y)$ et $E12(x,y)$, etc....

L'opération de centrage de la lentille 5 étant réalisée, on pilote le capteur 6 pour qu'il soit positionné suivant le trajet optique au plus près (à la résolution numérique près) dans le plan focal image de la lentille d'imagerie 5 en recherchant le diamètre minimum (ou une autre caractéristique optimale) des images obtenues sur le capteur en fonction des positions de celui-ci. Plus précisément :

- o A) le capteur 6 étant positionné sur une position P1, au moyen de sa motorisation 61, le diamètre $\Phi1$ de l'image du faisceau est mesuré, au moyen de l'unité de traitement des images,
- o B) puis le capteur 6 étant positionné sur une position P2, le diamètre $\Phi2$ de l'image du faisceau est mesuré,
- o C) $|\Phi1 - \Phi2|$ est calculé et comparé à un seuil prédéterminé,
- o D) tant que ce seuil n'est pas atteint, les étapes B) à C) sont répétées pour une nouvelle position P2 du capteur, à laquelle est associé un nouveau diamètre $\Phi2$,
- o E) dès que ce seuil est atteint, typiquement égal à 0 ou proche de 0, on place le capteur 6 à la position médiane entre P1 et P2 qui définit la position du foyer image de la lentille 5.

Comme indiqué précédemment, outre la comparaison des diamètres $\Phi1$, $\Phi2$ d'autres méthodes de comparaison de caractéristiques peuvent être utilisées pour ce réglage : par exemple la comparaison directe

des distributions d'intensité ou d'énergie des images obtenues sur le capteur, etc.

On considère à présent la synchronisation automatique de la prise
5 d'images par le capteur 6, avec un laser à impulsions. Le capteur est alors
relié à une électronique de synchronisation des prises d'image avec
l'émission laser (continue ou à impulsions) et également à une électronique
de réglage de l'ouverture et/ou du gain du capteur d'image. Le signal de
synchronisation utilisé par l'électronique est généré par une photodiode
10 judicieusement placée (par exemple au niveau du puits thermique) qui
détecte l'émission laser ; cette électronique est également pilotée par
l'interface logicielle.

Plus précisément, on utilise pour cela :

- 15 - une photodiode 7 placée judicieusement sur le trajet du faisceau
optique par exemple au niveau du puits thermique 8, et reliée à
l'électronique de synchronisation, et
- une électronique de réglage de l'ouverture et éventuellement du gain
du capteur 6. Les électroniques de commande de motorisation, de
synchronisation et de réglage de gain et d'ouverture sont ici
20 regroupées au sein de l'électronique 101, reliée à l'interface logicielle
102.

On mesure au moyen de la photodiode 7 et de l'interface logicielle
102, la période séparant 2 impulsions laser ainsi que la largeur (durée)
moyenne de ces impulsions. La prise d'image par le capteur 6 pour l'analyse
25 spatiale de la distribution d'intensité, commandée par l'électronique de
synchronisation 101 est alors réalisée à partir de 2 impulsions : la détection
par la photodiode 7 d'une première impulsion et la connaissance de la
période séparant cette impulsion de l'impulsion suivante, permettent de
déclencher une prise d'image synchronisée avec la 2^{ème} impulsion. On
30 peut alors au moyen de l'interface logicielle 102 piloter via l'électronique de
réglage 101, la durée d'ouverture du capteur 6 en fonction de la largeur des
impulsions, et de préférence, également en fonction de la puissance
moyenne (laser continu) ou de la puissance crête (laser à impulsions) du
faisceau (avec un prélèvement très faible du faisceau de l'ordre de 10^{-8} à

10⁻⁹) détectée par le capteur 6 afin d'obtenir un niveau de signal non saturé. Un signal saturé serait en effet inexploitable.

Dans le cas d'un capteur 6 CCD, lorsque cette synchronisation automatique est réalisée, on règle éventuellement automatiquement le gain du capteur CCD, impulsion par impulsion, jusqu'à obtenir un niveau de signal non saturé, mais proche du format maximum admissible. L'interface logicielle 102 est programmée pour piloter automatiquement le gain programmé avec le niveau de signal sur le capteur CCD.

Cette synchronisation autonome peut être utilisée pour analyser le faisceau à un moment choisi pendant la durée de l'impulsion et/ou à une cadence compatible avec la fréquence de ces impulsions de façon à stocker les images de toutes les impulsions d'une rafale jusqu'à quelques dizaines de Hertz (Soit quelques dizaines d'images par secondes) : elle permet une analyse temporelle des impulsions et des rafales d'impulsions.

Avec un laser continu, la synchronisation consiste simplement à régler automatiquement l'ouverture et éventuellement le gain du capteur en fonction du début de l'émission continue et de la puissance moyenne du faisceau détectée par le capteur. Pour un laser émettant continûment pendant 1s par exemple, la durée d'ouverture du capteur est typiquement de quelques centaines de μ s.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le puits thermique 8 qui peut absorber plus de 99,995 % de l'énergie ou de la puissance moyenne du faisceau, est utilisé pour réaliser des mesures absolues d'énergie et de puissance laser pendant un temps d'exposition laser prolongé, de l'ordre par exemple d'1mn ; pendant ces mesures un obturateur est avantageusement placé judicieusement sur l'axe motorisé de la lentille d'imagerie 5 pour protéger le capteur 6 de cette exposition laser prolongée. En effet quand bien même le capteur ne serait pas ouvert, cette exposition (1 mn) plus longue que l'exposition moyenne habituelle (<1s) pourrait l'endommager.

On obtient ainsi une analyse complète des caractéristiques du faisceau focalisé : distribution spatiale d'intensité, diamètre au plan focal ou suivant sa propagation autour du plan focal (soit la caustique de focalisation),

le profil temporel, la fréquence et la durée des impulsions, l'énergie et la puissance crête des impulsions, ainsi que la puissance moyenne.

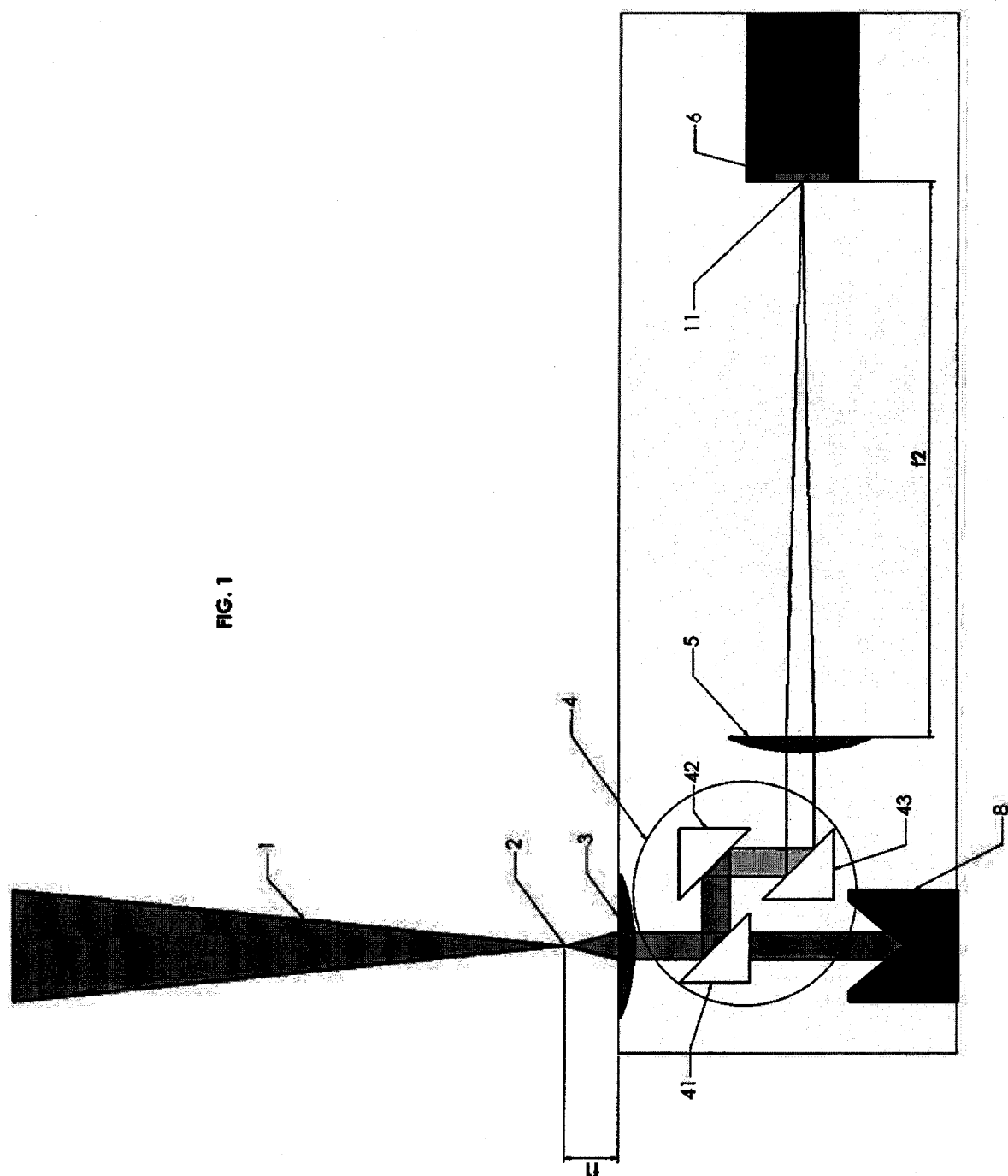
- 5 La connaissance de l'évolution dans le temps de la distribution spatiale de l'intensité dans une section du faisceau ou au point de focalisation est particulièrement utile dans certaines applications industrielles comme le perçage aéronautique par exemple.

REVENDICATIONS

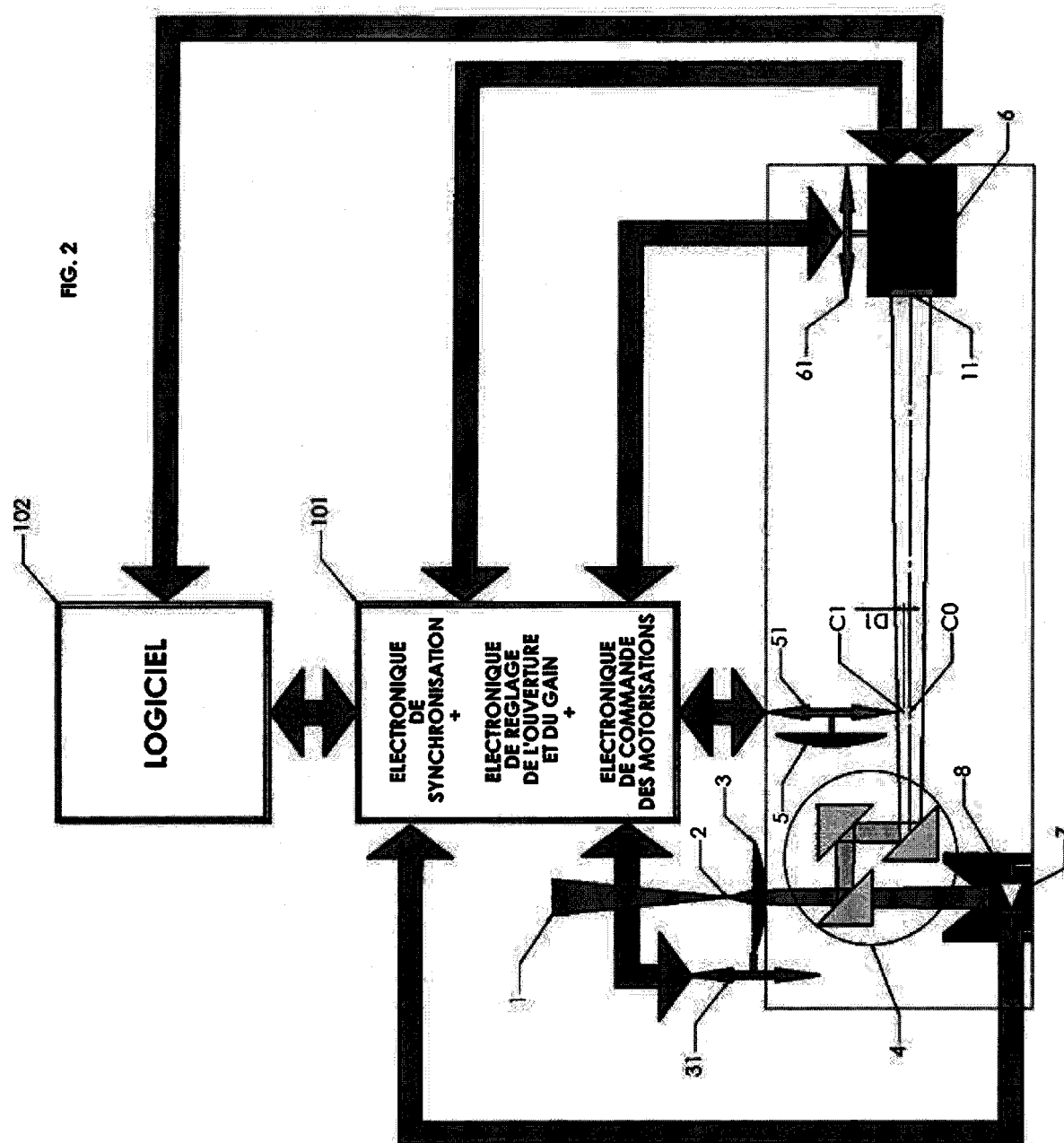
- 5 1. Analyseur de la distribution spatiale d'intensité d'un faisceau laser (1) impulsif focalisé dans un plan de focalisation (2), qui comprend en aval de ce plan (2) et sur le trajet optique :
 - une lentille de mise en forme (3),
 - un dispositif de prélèvement (4) partiel du faisceau mis en forme,
 - 10 - un puits thermique (8) destiné à absorber le faisceau non prélevé,
 - une photodiode (7),
 - une lentille d'imagerie (5) apte à former les images du plan (2) sur un capteur d'images (6),
 - caractérisé en ce qu'il comprend :
 - 15 - une motorisation (31) de la lentille de mise en forme (3) apte à translater cette lentille suivant l'axe du trajet optique,
 - une motorisation (51) de la lentille d'imagerie (5) apte à translater cette lentille dans un plan perpendiculaire à l'axe du trajet optique,
 - une motorisation (61) du capteur d'images (6) apte à translater ce
 - 20 capteur suivant l'axe du trajet optique,
 - une électronique de commande (101) de chaque motorisation, et
 - une électronique de synchronisation (101) du capteur d'image, reliée à la photodiode (7), destinée à synchroniser les prises d'images avec les impulsions laser ou dans les impulsions,
 - 25 - une électronique de réglage (101) de l'ouverture et/ou du gain du capteur d'image (6), et
 - une interface logicielle (102) de paramétrage et de pilotage de ces électroniques de commande, de synchronisation et de réglage, équipée d'une unité de traitement des images acquises par le
 - 30 capteur (6).
2. Procédé d'analyse de la distribution spatiale d'intensité d'un faisceau laser au moyen d'un analyseur selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivante :

- mesure au moyen de la photodiode (7) et de l'interface logicielle (102), de la période séparant deux impulsions et de la durée moyenne de ces impulsions,
 - déclenchement de la prise d'image avec le capteur (6) par l'électronique de synchronisation (101) en fonction de cette période et de cette durée, et
 - mesure de la distribution spatiale d'intensité de l'(ou des) image(s) captée(s).
- 5
- 10 3. Procédé d'analyse selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la prise d'image est déclenchée à un moment choisi pendant la durée de l'impulsion

1/2



2/2



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

- ☐ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- ☐ Le demandeur a maintenu les revendications.
- ☒ Le demandeur a modifié les revendications.
- ☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- ☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- ☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- ☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- ☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- ☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- ☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

"PARAMETER FEST IM GRIFF", ELEKTROTECHNIK, 331951 1, vol. 73, no. 9, 20 septembre 1991
(1991-09-20), pages
22-24, XP000264643, ISSN: 1431-9578

EP 2 037 238 A1 (WAVELIGHT AG [DE])
18 mars 2009 (2009-03-18)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT