

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2018/234336 A1**

(43) Date de la publication internationale  
27 décembre 2018 (27.12.2018)

(51) Classification internationale des brevets :

*B22F 3/105* (2006.01)      *B29C 64/393* (2017.01)  
*G05B 19/401* (2006.01)      *B33Y 50/02* (2015.01)  
*B33Y 50/00* (2015.01)      *B23K 26/70* (2014.01)

(71) **Déposant :** ADDUP [FR/FR] ; 5 Rue Bleue Zone Industrielle de Ladoux, 63118 CEBAZAT (FR).

(72) **Inventeurs :** ROBLIN, Alexandre ; AddUp Zone Industrielle de Ladoux 5 rue Bleue, 63118 CEBAZAT (FR). NI-CAISE, Jean-Pierre ; AddUp Zone Industrielle de Ladoux 5 rue Bleue, 63118 CEBAZAT (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2018/066309

(74) **Mandataire :** REGIMBEAU ; 20, rue de Chazelles, 75847 PARIS CEDEX 17 (FR).

(22) Date de dépôt international :

19 juin 2018 (19.06.2018)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

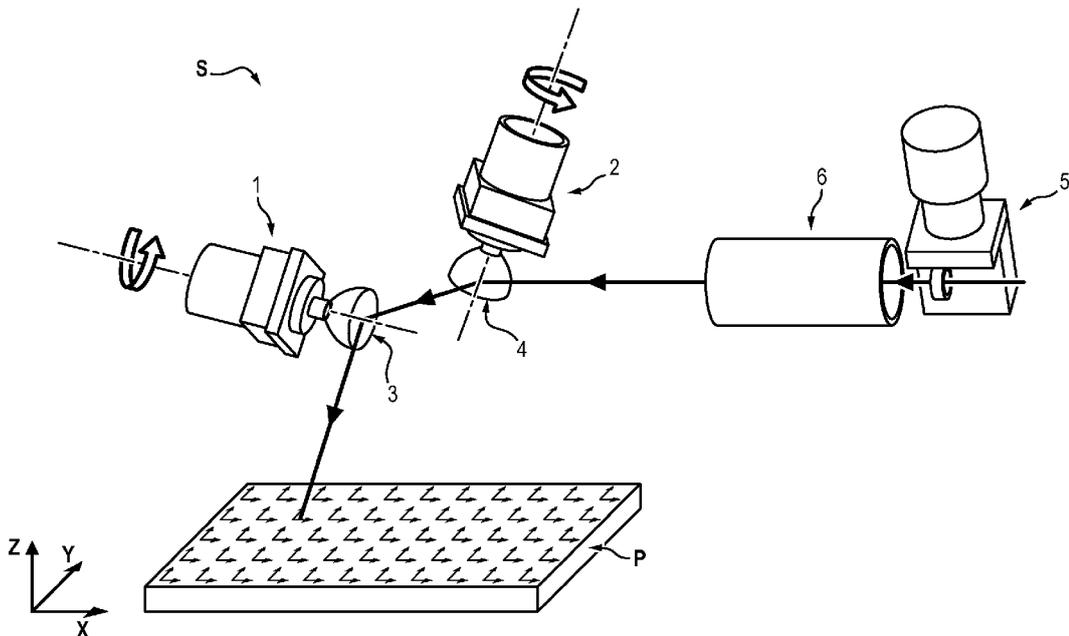
1755571      19 juin 2017 (19.06.2017)      FR

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,

(54) **Title:** CALIBRATING A HEAD SYSTEM OF A POWER RADIATION SOURCE OF AN ADDITIVE MANUFACTURING DEVICE

(54) **Titre :** CALIBRATION D'UN SYSTÈME DE TÊTE D'UNE SOURCE DE RAYONNEMENT DE PUISSANCE D'UN APPAREIL DE FABRICATION ADDITIVE

FIG. 1



(57) **Abstract:** The invention relates to an assembly for calibrating a head system of a power radiation source of an additive manufacturing device, comprising: - a calibration plate that has a plurality of reference markings, and - a firing support made of at least one material that is sensitive to the radiation from the source, said support leaving the reference markings of the calibration plate visible when it is installed thereupon, characterised in that the firing support comprises a plurality of windows which are distributed so as to lie over the different reference markings on the calibration plate and leave them visible when the firing support is installed on the calibration plate. The invention also relates to a method for calibrating such a system.



WO 2018/234336 A1

MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

**(84) États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée:**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

---

**(57) Abrégé :** L'invention concerne un ensemble pour la calibration d'un système de tête d'une source de rayonnement de puissance d'un appareil de fabrication additive comportant: -un plateau de calibration présentant une pluralité de repères de référence, -un support de tir en au moins un matériau sensible au rayonnement de la source, ce support laissant apparents les repères de référence du plateau de calibration lorsqu'il est en place sur celui-ci, caractérisé en ce que le support de tir comporte une pluralité de fenêtres réparties pour se superposer aux différents repères de référence du plateau de calibration et les laisser apparents lorsque le support de tir est en place sur le plateau de calibration. Elle concerne également un procédé de calibration d'un tel système.

**CALIBRATION D'UN SYSTEME DE TETE D'UNE SOURCE DE  
RAYONNEMENT DE PUISSANCE D'UN APPAREIL  
DE FABRICATION ADDITIVE**

5           La présente invention est relative à la fabrication additive sélective.  
Plus particulièrement, elle concerne la calibration de la commande d'un système de tête d'une source de rayonnement de puissance d'un appareil de fabrication additive.

**DOMAINE TECHNIQUE GÉNÉRAL ET ART ANTÉRIEUR**

10           La fabrication additive sélective consiste à réaliser des objets tridimensionnels par consolidation de zones sélectionnées sur des strates successives de matériau pulvérulent (poudre métallique, poudre de céramique). Les zones consolidées correspondent à des sections successives de l'objet tridimensionnel. La consolidation se fait, couche par  
15 couche, par une fusion sélective totale ou partielle réalisée avec une source de rayonnement focalisé, telle qu'une source optique (laser de forte puissance par exemple) ou encore une source de faisceau de particules (par exemple un faisceau d'électrons - technologie dite EBM ou « Electron Beam Melting » selon la terminologie anglo-saxonne généralement utilisée dans  
20 le domaine).

On se réfère dans la suite principalement aux sources optiques (telles qu'utilisées dans les technologies SLM ou « Selective Laser Melting » selon la terminologie anglo-saxonne).

Elle trouve toutefois application avec tout autre type de  
25 rayonnement.

Classiquement, ainsi qu'illustré sur la figure 1, les appareils de fabrication additive de type à source optique utilisent des systèmes S de tête trois axes à trois galvanomètres pour permettre une précision accrue d'une part de la position du point d'impact sur la couche de matériau  
30 pulvérulent et d'autre part de la focalisation du faisceau au niveau de ladite couche.

Deux galvanomètres 1, 2 sont utilisés pour guider en rotation deux miroirs 3, 4 et permettre de contrôler la trajectoire du faisceau en sortie de la tête, afin de contrôler le positionnement du point d'impact du faisceau sur le lit de poudre (plan de travail P) (commande en X et en Y).

5 Par ailleurs, un module DFM (« Dynamic Focusing Module » selon la terminologie anglo-saxonne) – comportant un galvanomètre, un module de translation et une lentille - permet, en jouant sur la translation de ladite lentille, de parfaitement ajuster la distance de focalisation du faisceau au niveau du lit de poudre (commande en Z). Sur la figure 1, on a également  
10 représenté un module objectif 6 qui introduit une focalisation fixe, le module DFM 5 permettant la modification de la focalisation se trouvant en amont.

On comprend en effet que plus le faisceau laser est correctement focalisé au niveau du lit de poudre, plus l'énergie transmise au point de fusion est importante et maîtrisée.

15 On notera néanmoins qu'un tel système S de tête trois axes implique deux principaux types de déformation au niveau du lit de poudre (plan P).

Tout d'abord, la focalisation au niveau du plan de travail P où se situe le lit de poudre varie selon l'inclinaison du faisceau optique. Comme l'illustre en effet la figure 2, l'inclinaison du faisceau résulte des variations de  
20 longueur de chemin optique (schématisées par  $\Delta Z$  sur la figure), ces variations étant elles-mêmes à ajouter aux phénomènes dus aux jeux induits par les miroirs ou encore par la traversée des différentes vitres qui peuvent être prévues dans l'appareil de fabrication additive.

En l'absence de traitement de ce décalage géométrique, la focalisation  
25 sur l'ensemble du plan de travail P n'est donc pas constante.

Par ailleurs, on observe classiquement sur le plan de travail P une déformation non linéaire en X et en Y des figures des points d'impact (déformation dite « pillow-shaped » selon la terminologie anglo-saxonne généralement utilisée – forme PS de la figure 3). Cette déformation est due  
30 à la géométrie du chemin optique, notamment à la position des miroirs et optiques et à leur distance par rapport au plateau P.

Il est classiquement connu de corriger les commandes des têtes pour tenir compte des distorsions en X et en Y.

On utilise à cet effet des tables de corrections dédiées préalablement déterminées.

Ces tables fournissent des différentiels de commande dont on corrige les entrées de commande de la tête trois axes. Les tirs et balayages du plan  
5 de travail P par le faisceau optique se font ainsi avec des positions en X et Y corrigées par rapport au lit de poudre.

Il est connu, pour déterminer ces tables de correction, d'utiliser des plateaux de calibration qui portent des repères de référence. On met en œuvre sur des positions cibles prédéterminées du plateau des séquences de  
10 tirs optiques. Un système de mesure à caméra relève la position de ces marquages par rapport aux repères de référence.

Les différentiels entre les positions des marquages ainsi réalisés sur le plateau de calibration et les positions de tirs qui étaient théoriquement ciblées sont utilisés pour calculer les corrections à appliquer aux commandes  
15 en X et en Y du système de tête de faisceau optique.

Un exemple en ce sens est par exemple décrit dans le brevet EP1048441 ou encore dans les demandes de brevet US2015/0100149, US 2010/176539, dans lequel le plateau comporte des cavités visant à augmenter le contraste entre un trou réalisé par un tir et son contour, US  
20 2003/192868, US 5 832 415 et US 2014/0333931.

Dans EP1048441 notamment, on utilise pour la calibration d'une part un plateau portant les repères de référence et d'autre part une feuille destinée à recevoir les marquages.

Le plateau est à cet effet divisé en deux zones : l'une qui reçoit la  
25 feuille sensible au faisceau optique, l'autre – non recouverte par ladite feuille – qui porte les repères de référence.

Dans le brevet US 6 175 413, la calibration d'un système de robotique est effectuée à l'aide un plateau comportant des surfaces de détection sensibles au faisceau optique, détectant la présence ou l'absence du  
30 faisceau laser.

Les corrections ainsi réalisées en X et en Y ne sont toutefois pas optimales.

En outre, les traitements proposés ne permettent pas une optimisation de la focalisation du faisceau sur le lit de poudre.

Comme on le comprendra aisément, des problématiques de calibration similaires se posent également avec d'autres sources de rayonnement (source EBM par exemple).

## **PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'INVENTION**

Un but de l'invention est de proposer une solution de calibration automatique permettant l'optimisation de la correction du tir.

10 Notamment, un but de l'invention est de proposer une solution de calibration permettant une meilleure calibration en X et en Y que dans l'art antérieur.

Un autre but de l'invention est de proposer une solution permettant la calibration de la focalisation de la source (calibration en Z).

15

Selon un premier aspect, l'invention propose à cet effet un ensemble pour la calibration d'un système de tête d'une source de rayonnement de puissance d'un appareil de fabrication additive comportant :

- 20 - un plateau de calibration présentant une pluralité de repères de référence,
- un support de tir en au moins un matériau sensible au rayonnement de la source,

ce support laissant apparents les repères de référence du plateau de calibration lorsqu'il est en place sur celui-ci,

25 caractérisé en ce que le support de tir comporte une pluralité de fenêtres réparties pour se superposer aux différents repères de référence du plateau de calibration et les laisser apparents lorsque le support de tir est en place sur le plateau de calibration.

L'ensemble décrit ci-dessus est avantageusement complété par les 30 différentes caractéristiques suivantes prises seules ou selon toutes leurs combinaisons techniquement possibles :

- les repères de référence sont répartis sur l'ensemble du plateau de calibration, le support de tir étant dimensionné pour correspondre audit plateau de calibration,
- l'ensemble comporte un équipement de mesure optique mobile, ledit équipement étant apte à être déplacé au-dessus du support de tir,
- l'ensemble comporte un support à double rails sur lequel l'équipement de mesure optique est destiné à être monté,
- le nombre de repères de référence sur le plateau de calibration est de 65x65 ou inférieur.

Selon un second aspect, l'invention propose également un procédé de calibration d'un système de tête d'une source de rayonnement de puissance d'un appareil de fabrication additive dans lequel, pour déterminer une correction à appliquer aux commandes dudit système, on met en œuvre les étapes suivantes :

- positionnement dans l'appareil de fabrication additive d'un plateau de calibration présentant une pluralité de repères de référence,
  - positionnement sur ce plateau de calibration d'un support de tir en au moins un matériau sensible au rayonnement de la source, ce support laissant apparents les repères de référence du plateau de calibration lorsqu'il est en place sur celui-ci,
  - commande de la source pour marquer ledit support avec au moins un motif de calibration,
  - acquisition d'au moins une image dudit motif de calibration et d'au moins un repère de référence,
  - détermination d'une table de correction en fonction de la ou des images ainsi obtenues,
- caractérisé en ce que le plateau et le support de tir sont ceux d'un ensemble selon le premier aspect de l'invention, en ce que la source est commandée avec le système de tête pour réaliser sur le support de tir un marquage d'une pluralité de motifs de calibration

théoriquement centrés sur des points cibles théoriques prédéterminés, ces points cibles théoriques étant répartis sur ledit support de tir à proximité immédiate des différentes fenêtres laissant apparents les repères de référence du plateau de calibration,

5 en ce que lors de l'étape d'acquisition, un équipement de mesure optique est déplacé sur le support de tir pour acquérir, pour chaque repère de référence du plateau de calibration, au moins une image d'une zone dans laquelle se trouve d'une part ledit repère de référence et d'autre part la position cible théorique à proximité immédiate,

10 et en ce que, pour chaque repère de référence, la ou les images ainsi obtenues sont traitées pour y identifier un motif de calibration et déterminer au moins une information relative audit motif, des corrections à appliquer à la commande du système de tête étant déterminées en fonction des informations de motifs de calibration  
15 déterminées pour les différents repères de référence.

Un tel procédé est avantageusement complété par les différentes caractéristiques suivantes prises seules ou selon toutes leurs combinaisons techniquement possibles :

- 20 - pour chaque repère de référence, la ou les images acquises est/sont traitées pour en déduire la position du centre du motif de tir dans un repère orthonormé dudit repère de référence et déterminer le décalage entre cette position et la position cible théorique,
- 25 - le plateau de calibration comporte un nombre de repères de référence égal au nombre de points de la table de correction,
- la détermination d'une correction met en œuvre un traitement pour le passage d'un repère du plateau de calibration à un repère lié à la tête,
- 30 - ledit traitement met en œuvre l'identification de motifs correspondants à deux repères de référence donnés sur le plateau de calibration et la détermination, à partir de ladite identification, d'un décalage en translation et d'une rotation

angulaire entre le repère du plateau de calibration et un repère lié à la tête,

- le support de tir est retourné et un test de contrôle est mis en œuvre,
- 5 - les étapes du procédé sont réitérées jusqu'à obtenir des motifs de tir présentant la tolérance de position attendue.

### **PRÉSENTATION DES FIGURES**

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront  
10 encore de la description qui suit, laquelle est purement illustrative et non limitative, et doit être lue en regard des figures annexées sur lesquelles :

- la figure 1 est une représentation schématique de la chaîne optique d'une tête trois axes d'une source d'émission laser d'un appareil de fabrication sélective ;
- 15 - les figures 2 et 3 illustrent les principales déformations en l'absence de correction sur un tel dispositif ;
- la figure 4a illustre schématiquement un exemple d'ensemble de calibration (kit) conforme à l'invention, la figure 4b détaillant quant à elle les éléments de l'ensemble optique de cet ensemble  
20 de calibration ;
- la figure 5 est une représentation schématique illustrant la superposition d'un plateau de calibration et d'un support de tir ;
- la figure 6 illustre schématiquement un support à rails à double axe sur lequel est destiné à être monté l'équipement de mesure  
25 de l'ensemble de la figure 4a ;
- la figure 7 illustre l'image dans le champ de mesure de la caméra de l'ensemble de la figure 4a ;
- la figure 8a illustre les points d'impacts sur le support de tir au niveau d'un motif de calibration ;
- 30 - la figure 8b illustre une répartition gaussienne des points d'impact et la détermination d'un point « waist » extrapolé ;

- la figure 9 illustre différentes étapes d'une mise en œuvre possible pour le procédé de l'invention ;
- la figure 10 illustre un support de tir présentant les impacts de différents motifs de tirs ;
- 5 - les figures 11 à 14 illustrent le traitement pour le passage du repère du plateau au repère de tête.

## **DESCRIPTION D'UN OU PLUSIEURS MODES DE MISE EN ŒUVRE ET DE RÉALISATION**

10

### Ensemble de calibration

L'ensemble de calibration des figures 4 et 5 est un kit qui comporte un plateau de calibration de référence 7 et un support de tir 8.

Il comporte également un équipement de contrôle 9 à capteur  
15 optique.

Le plateau de référence 7 est une plaque sur laquelle sont portés de façon apparente une pluralité de repères de référence 10.

Ces repères de référence 10 sont répartis sur l'ensemble du plateau selon des positions connues et contrôlées. A titre d'exemple, ils peuvent  
20 être situés proches de points d'une matrice 65x65 destinée à être balayée en tout ou partie par la source de rayonnement de puissance lors de la calibration. D'autres répartitions sont bien entendu possibles.

En chaque point de référence, le marquage apparent du repère 10 est défini par deux axes orthogonaux, dont l'intersection correspond au point  
25 de référence et qui définissent sur le plateau un repère orthonormé.

Le support de tir 8 est quant à lui constitué par un feuillard en un matériau sensible au faisceau de rayonnement.

Ce support 8 est de mêmes dimensions en X et en Y que le plateau 7 et se positionne sur celui-ci lors des tirs de calibration.

30 Ce support 8 présente une pluralité de fenêtres 11 réparties de la même façon que les repères de référence 10 sur le plateau 7. Lorsque le

support de tir 8 est en place sur le plateau 7, les fenêtres 11 sont centrées sur les repères de référence 10 qui sont donc apparents.

L'équipement 9 comporte une caméra 9a de type CMOS ou CCD, un objectif optique 9b et un système d'éclairage spécifique 9c.

5 Le système d'éclairage spécifique 9c est par exemple constitué par un anneau de diodes électroluminescentes. La caméra 9a et l'objectif 9b permettent une image d'une résolution autorisant des mesures avec une tolérance proche du micromètre sur le support de tir 8.

10 Cet équipement 9 est par exemple intégré à l'appareil d'impression sélective.

En variante, il peut n'être mis en place à l'intérieur de celui-ci que lors des phases de calibration.

Il est prévu dans l'appareil de fabrication par impression sélective un support 12 de rails à double axes tel que représenté sur la figure 6 qui reçoit  
15 l'équipement 9 et la caméra 9a. Ce système 12 permet le guidage manuel ou automatisé en X et en Y de l'équipement 9 et de la caméra 9a au-dessus du plateau de calibration 7 et du support 8.

Les différentes images recueillies sont traitées par un calculateur 13 pour en déduire les mesures décrites ci-après. Ce calculateur 13 est par  
20 exemple le calculateur de l'appareil d'impression sélective. Il peut également être un calculateur qui est distinct de celui de l'appareil d'impression sélective et qui échange avec celui-ci.

#### 25 Mesure des défauts

Lors d'une calibration, la caméra 9a acquiert pour chacun des différents repères de référence 10 une image sur laquelle apparait le marquage orthonormé qui correspond audit repère 10 (figure 7).

30 Les marquages de chacun des repères de référence 10 sont en effet laissés visibles grâce aux fenêtres 11 du support de tir 8, qui peuvent être par exemple des ouvertures rectangulaires, d'autres formes étant bien entendu possibles.

Un tel marquage de référence 10 définit sur le plateau de calibration 7 un repère orthonormé de mesure qui sert de référence à la caméra 9b.

Préalablement à l'acquisition des images, la source et son système S de tête ont été commandés pour réaliser sur le support 8, pour chaque 5 repère de référence 10, un tir sur une position cible théorique donnée à proximité du repère de référence 10 correspondant.

Ce tir se fait selon une succession de plusieurs points de tirs répartis selon un motif de tir prédéfini (motif matriciel 15 de 7x7 points dans l'exemple de la figure 7).

10 Sur la figure 7, la position cible théorique (non visible) correspond à la croix 14.

A l'issue des tirs de motifs qui impactent le support 8, des images sont acquises autour de chaque marquage de référence 10.

Pour chacun de ces marquages 10, l'image acquise de la zone autour 15 de celui-ci est traitée par le calculateur 13 pour en déduire la position du centre (point milieu) du motif de tir 15 dans le repère orthonormé dudit marquage 10 (mesures de position  $X_m$  et  $Y_m$ ) et par conséquent le décalage de cette position par rapport à la position cible théorique 14.

Par ailleurs, comme l'illustre la figure 8a, les tirs aux différents points 20 du motif 15 sont commandés pour générer différents diamètres aux points d'impact dudit motif.

Par exemple, plusieurs de ces tirs sont générés avec différentes commandes en Z, c'est-à-dire avec des commandes de focalisation différente. Typiquement, la commande en Z de ces différents tirs est 25 incrémentée d'un point à un autre pour obtenir théoriquement une répartition gaussienne autour du point milieu du motif.

Dans l'exemple sur la figure 8a, la répartition gaussienne est une répartition avec un axe de symétrie en Y.

En variante, cette répartition peut être gaussienne à la fois en X et en 30 Y (répartition selon une gaussienne à deux dimensions).

Un exemple de répartition d'incrémentations est donné par le tableau suivant. Le motif de tir est matriciel et la valeur de commande en Z

augmente colonne après colonne (en l'occurrence de gauche à droite) et ligne après ligne (du bas vers le haut).

....	....	-4 Δ	+3 Δ	....	....	....
....	....	-5 Δ	+2 Δ	+4 Δ	....	....
....	....	-6 Δ	+ Δ	+3 Δ	....	....
....	....	-7 Δ	0	+ Δ	....	....
....	....	-8 Δ	- Δ	-3 Δ	....	....
....	....	-9 Δ	-2 Δ	+5 Δ	....	....
....	....	....	-3 Δ	+4 Δ	....	....

5

Le point central d'incrément 0 correspond au point milieu du motif, tandis que Δ correspond à la valeur d'incrément unitaire de commande en Z. Dans le cas (donné uniquement à titre d'exemple) d'une matrice de tirs 7x7, il est ainsi possible de tester 49 valeurs de commande en Z.

10

Une fois le motif généré, le traitement mis en œuvre par le calculateur 13 analyse la répartition des diamètres des points d'impact et détermine en fonction de cette répartition le point de la zone du motif qui correspond au « waist ».

15

Ce point « waist » correspond à un point d'impact de plus petit diamètre ou à un point extrapolé en fonction des courbes de répartition des diamètres des points d'impacts.

Dans l'exemple illustré sur la figure 8a, on a représenté différents points d'impact I1 à I4 et une courbe G qui est la gaussienne passant au mieux par ces points.

20

Le point extrapolé est le point E correspondant au minimum de ladite gaussienne G.

25

La commande en Z pour le point d'impact ainsi sélectionné (ou la commande extrapolée qui correspond au point extrapolé ainsi déterminé) est ensuite appliquée comme commande pour la position cible théorique du marquage (sous forme d'une correction ΔZm).

En complément, une éventuelle correction pour tenir de la variation de longueur de chemin optique entre ce point cible théorique et le point déterminé comme correspondant au « waist » peut également être mise en œuvre.

5 La détermination de cette correction se fait par exemple par référence à des abaques donnant cette correction de focalisation complémentaire en fonction de la mesure de la distance entre le point cible théorique et le point d'impact de plus petit diamètre ou déterminé comme correspondant au « waist ».

10 On comprend qu'un tel traitement est particulièrement facilité dans le cas où les points d'impact dessinent ensemble un motif de calibration matriciel. Bien d'autres configurations de motifs de calibration sont bien entendu possibles.

Les mesures  $X_m$  et  $Y_m$  sont ensuite traitées pour en déduire les  
15 valeurs de correction en bits  $\Delta X$  et  $\Delta Y$  nécessaires au niveau du système S de commande de tête pour que le motif 15 soit, lors d'un tir de calibration suivant, centré sur la position cible 14.

De la même façon, la correction  $\Delta Z$  à appliquer au module DFM pour  
corriger la focalisation est déterminée en fonction de  $X_m$ ,  $Y_m$  et  $\Delta Z_m$  et  
20 remontée en bits audit module.

À titre d'ordre de grandeur, les galvanomètres de la tête trois axes  
sont typiquement commandés sur 24 bits (soit un guidage pour chacun des  
axes sur  $2^{24}$  bits), tandis que le pas en X, Y sur une grille de correction est  
réparti sur 4225 valeurs (pas de 262 144 bits). La commande Z est elle  
25 aussi commandée sur 24 bits, la table de correction ayant la même  
dimension que pour X et Y.

On notera en outre qu'un motif matriciel du type de celui proposé est  
particulièrement avantageux et permet une calibration de précision, tant  
quant à la position des points de tirs que quant à la focalisation du faisceau  
30 de rayonnement sur le lit de poudre. D'autres motifs sont néanmoins  
possibles (motifs matriciels avec répartition en quinconce, motifs circulaires,  
motifs elliptiques, etc.)

### Étapes de calibration

Dans une première étape (étape 21 sur la figure 9), des tables de précorrection selon les trois axes sont chargées dans le calculateur 13.

Ces tables sont préalablement obtenues à l'aide de modèles théoriques. Ceci permet d'éliminer en grande partie les défauts liés à la chaîne optique. Ainsi, il est possible de réaliser les tirs de calibration dans une zone très restreinte compatible avec le champ de vision de la caméra et avec une focalisation suffisante pour graver.

Dans une deuxième étape (étape 22), le plateau 7 est mis en place dans l'appareil de fabrication d'objets par impression sélective et le support de tir 8 est positionné sur celui-ci. Le plateau de calibration 7 est dimensionné pour permettre une mise en place aisée et directe sur le système de porte plateau dudit appareil.

Dans une troisième étape (étape 23), la source de faisceau et la tête sont commandées pour réaliser sur le support 8 une succession de tirs de motifs sur différents points cibles théoriques 14.

Les points cibles théoriques sont choisis pour correspondre à des points similaires à tout ou partie des repères de référence sur le plateau de calibration.

L'utilisation d'une matrice de points théoriques correspondant à la matrice de points utilisée pour une table de correction permet de limiter l'influence de la correction.

Le nombre de points de référence utilisés peut néanmoins être inférieur au nombre de points de la table de correction que l'on cherche à déterminer. Dans ce cas, les points manquants peuvent être extrapolés à partir des résultats relatifs aux points ciblés.

Les tirs des motifs sont ciblés à 7,5 mm du plateau en Y pour tirer sur le matériau du support 8 et non pas sur les fenêtres 11, de façon à ce que les impacts soient apparents sur le support 8 et puisse être mesurés avec la caméra 9b (figure 10).

Dans une quatrième étape (étape 24 de la figure 9), l'équipement 9 de mesure est introduit dans l'appareillage d'impression sélective afin de réaliser les mesures optiques permettant les corrections.

Grâce au support 12 à deux axes, l'opérateur déplace manuellement ou à l'aide de moyens motorisés ledit équipement 9 pour acquérir successivement des images de l'ensemble des différents points de tir sur le support 8. On notera que le plateau de calibration 7 peut porter une numérotation au voisinage des différents repères de référence 10, de sorte que le balayage peut se faire sans qu'il y ait un ordre de mesure imposé sur les repères de référence.

Les images ainsi acquises peuvent être traitées en temps réel par le calculateur 13 (étape 25) ou stockées pour traitement ultérieur.

10 Les mesures et le traitement se font de la façon suivante.

L'analyse d'une image sur un repère de référence donné permet la détermination des coordonnées  $X_m$  et  $Y_m$  du point au centre du motif de tir (milieu).

Elle permet également la détermination de la valeur de correction  $\Delta Z_m$ .

Le positionnement mécanique de la tête par rapport au plateau de calibration 7 ne peut pas être assuré au micromètre, le calculateur 13 met en œuvre un traitement de changement de repère, qui permet de ramener les mesures dans le repère de la tête.

20 La figure 11 illustre de manière accentuée le décalage en translation et en rotation qui peut exister entre les deux repères.

Pour évaluer le décalage en translation, on utilise le centre (point milieu) d'un des motifs comme point de référence (point A sur la figure 12).

Ce point est préférentiellement choisi comme situé sous la tête de la source (coordonnées (0,0) en bits des galvanomètres commandant la tête en X et en Y).

Le traitement de l'image correspondant au repère de référence 10 permet au calculateur de déterminer la position  $X_{m0}$  et  $Y_{m0}$  du point correspondant dans le repère du plateau et d'en déduire la correction en translation à appliquer aux mesures afin de les remonter dans le repère de la tête.

Pour évaluer le décalage en rotation, le calculateur 13 utilise les motifs correspondant au point A et à un deuxième point de tir (point B sur la figure 12) situé théoriquement sur la même ligne en X que le point A.

La commande du miroir Y étant nulle pour ces deux positions, le vecteur reliant ces deux points est donc l'horizontale du repère de tête.

La position du point B dans le repère du plateau 7 permet au calculateur de déterminer l'angle  $\Theta_0$  entre le repère du plateau et le repère du système de tête S (figure 13).

À l'aide de ces paramètres, le calculateur 13 effectue le changement de repère recherché pour l'ensemble des images enregistrées.

Ainsi, pour chaque point de mesure de coordonnées  $X_m$  et  $Y_m$ , il détermine les coordonnées correspondantes  $X_{mt}$  et  $Y_{mt}$  dans le repère du système de tête.

Ces mesures sont ensuite traitées pour obtenir les valeurs de corrections en bits pour la commande (en X et en Y) des mouvements des deux miroirs.

Cette correction en X et en Y engendre elle-même un déplacement du point d'impact sur le plateau 7 et donc une variation de focalisation (variation correspondant à  $Z_d$  sur la figure 14). Le calculateur 13 estime cette variation  $Z_d$  grâce aux lois optiques et détermine la valeur correspondante en bits galvanomètre ( $\Delta Z_d$ ).

Pour chaque motif sur le support 8 (c'est-à-dire pour chaque point de calibration), cette correction est additionnée à la correction en bits  $\Delta Z_m$  déterminée par le calculateur 13 pour le motif concerné, afin d'en déduire la bonne valeur de calibration en Z.

Lorsque les corrections sont établies, le calculateur 13 mémorise la nouvelle table de correction.

L'appareil est alors prêt pour un tir de contrôle (étape 26).

Une fois la table de correction ainsi obtenue, le support de tir 8 est retourné et l'opérateur déclenche une nouvelle séquence de tirs de contrôle.

La position des impacts (motifs de tir) sur le support de tir 8 est relevée et de nouvelles corrections sont déterminées par le calculateur 13.

Un rapport de test peut le cas échéant être émis.

Si le test de contrôle fait ressortir une précision de positionnement et de focalisation insuffisante par rapport à la précision attendue, une nouvelle table de correction peut être calculée, suivie d'un nouveau tir de contrôle.

Le processus est ainsi itéré jusqu'à ce que la calibration soit  
5 considérée comme suffisante pour le respect des tolérances de positionnement attendues.

### **REVENDEICATIONS**

1. Ensemble pour la calibration d'un système de tête d'une source de rayonnement de puissance d'un appareil de fabrication additive  
5 comportant :
  - un plateau de calibration présentant une pluralité de repères de référence,
  - un support de tir en au moins un matériau sensible au rayonnement de la source,10 ce support laissant apparents les repères de référence du plateau de calibration lorsqu'il est en place sur celui-ci, caractérisé en ce que le support de tir comporte une pluralité de fenêtres réparties pour se superposer aux différents repères de référence du plateau de calibration et les laisser apparents lorsque  
15 le support de tir est en place sur le plateau de calibration.
  
2. Ensemble selon la revendication 1, dans lequel les repères de référence sont répartis sur l'ensemble du plateau de calibration, le support de tir étant dimensionné pour correspondre audit  
20 plateau de calibration.
  
3. Ensemble selon l'une des revendications 1 ou 2, comportant un équipement de mesure optique mobile, ledit équipement étant apte à être déplacé au-dessus du support de tir.  
25
  
4. Ensemble selon la revendication 3, comportant un support à double rails sur lequel l'équipement de mesure optique est destiné à être monté.
  
- 30 5. Ensemble selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le nombre de repères de référence sur le plateau de calibration est de 65x65 ou inférieur.

6. Procédé de calibration d'un système de tête d'une source de rayonnement de puissance d'un appareil de fabrication additive dans lequel, pour déterminer une table de corrections à appliquer aux commandes dudit système, on met en œuvre les étapes suivantes :
- 5 - positionnement dans l'appareil de fabrication additive d'un plateau de calibration présentant une pluralité de repères de référence,
  - 10 - positionnement sur ce plateau de calibration d'un support de tir en au moins un matériau sensible au rayonnement de la source, ce support laissant apparents les repères de référence du plateau de calibration lorsqu'il est en place sur celui-ci,
  - commande de la source pour marquer ledit support avec au moins un motif de calibration,
  - 15 - acquisition d'au moins une image dudit motif de calibration et d'au moins un repère de référence,
  - détermination d'une table de correction en fonction de la ou des images ainsi obtenues,
  - 20 caractérisé en ce que le plateau et le support de tir sont ceux d'un ensemble selon l'une des revendications 1 à 5 en ce que la source est commandée avec le système de tête pour réaliser sur le support de tir un marquage d'une pluralité de motifs de calibration théoriquement centrés sur des points cibles théoriques prédéterminés, ces points cibles théoriques étant répartis sur ledit support de tir à proximité immédiate des différentes fenêtres laissant apparents les repères de référence du plateau de calibration,
  - 25 en ce que lors de l'étape d'acquisition, un équipement de mesure optique est déplacé sur le support de tir pour acquérir, pour chaque repère de référence du plateau de calibration, au moins une image d'une zone dans laquelle se trouve d'une part ledit
  - 30

repère de référence et d'autre part la position cible théorique à proximité immédiate,

et en ce que, pour chaque repère de référence, la ou les images ainsi obtenues sont traitées pour y identifier un motif de calibration et déterminer au moins une information relative audit motif, des corrections à appliquer à la commande du système de tête étant déterminées en fonction des informations de motifs de calibration déterminées pour les différents repères de référence.

5

10

7. Procédé de calibration selon la revendication 6, dans lequel, pour chaque repère de référence, la ou les images acquises est/sont traitées pour en déduire la position du centre du motif de tir dans un repère orthonormé dudit repère de référence et déterminer le décalage entre cette position et la position cible théorique.

15

8. Procédé de calibration selon la revendication 6 ou la revendication 7, dans lequel le plateau de calibration comporte un nombre de repères de référence égal au nombre de points de la table de correction.

20

9. Procédé selon l'une des revendications 6 à 8, dans lequel la détermination de la table de correction met en œuvre un traitement pour le passage d'un repère du plateau de calibration à un repère lié à la tête.

25

10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel ledit traitement met en œuvre l'identification de motifs correspondants à deux repères de référence donnés sur le plateau de calibration et la détermination, à partir de ladite identification, d'un décalage en translation et d'une rotation angulaire entre le repère du plateau de calibration et un repère lié à la tête.

30

11. Procédé selon l'une des revendications 6 à 10, dans lequel le support de tir est retourné et un test de contrôle est mis en œuvre.
- 5 12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel les étapes du procédé sont réitérées jusqu'à obtenir des motifs de tir présentant la tolérance de position attendue.

1/10

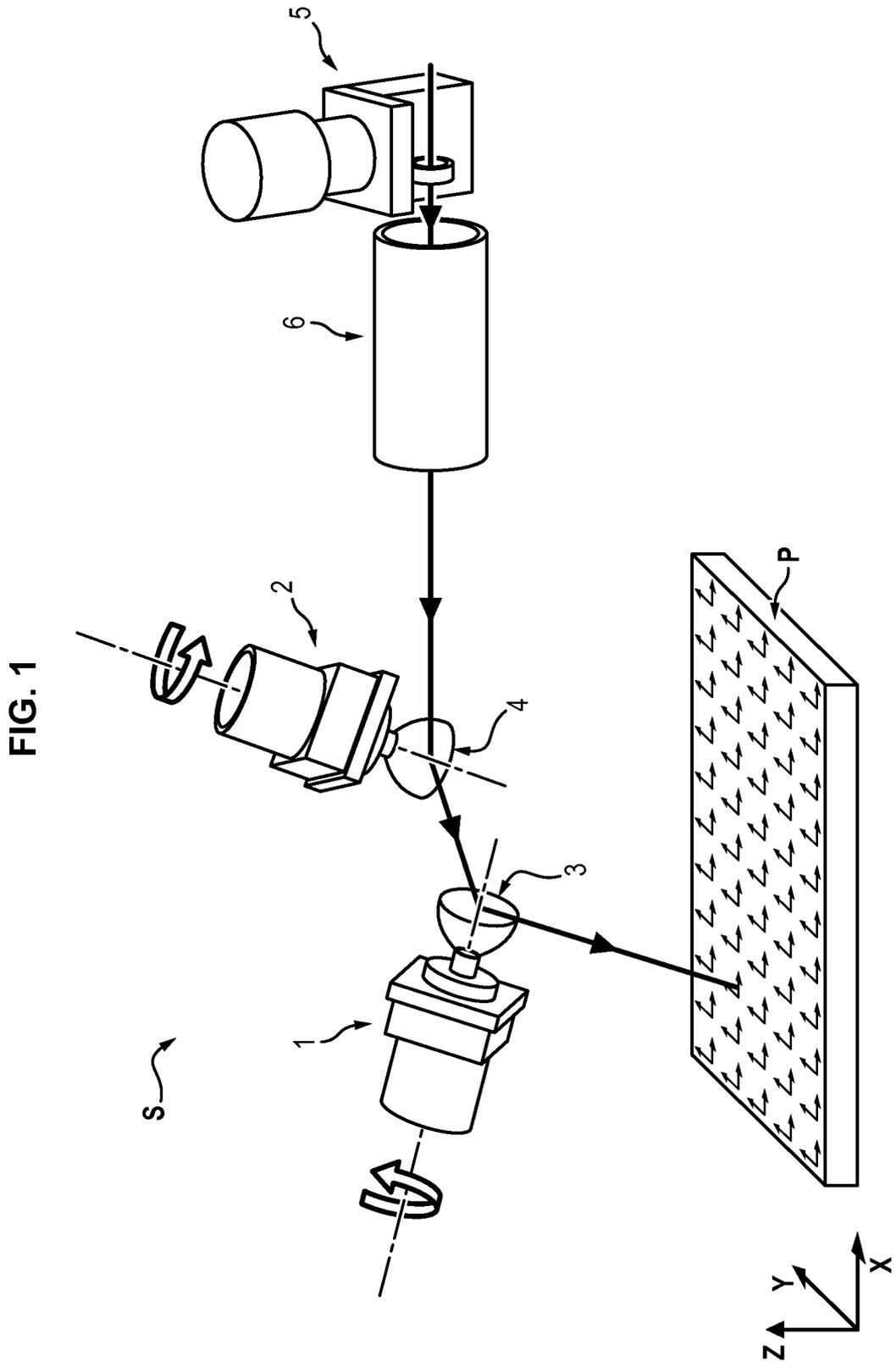


FIG. 3

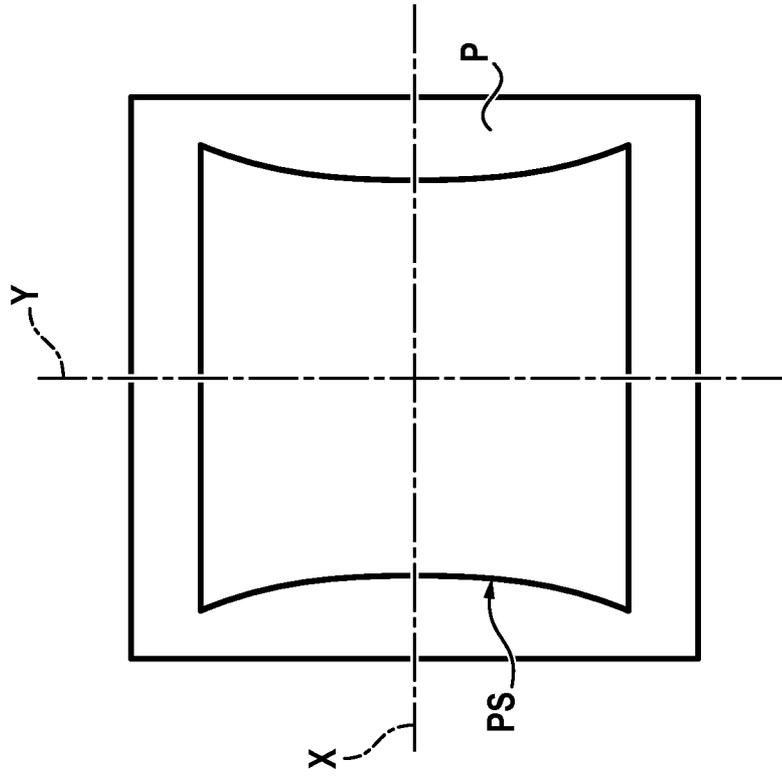
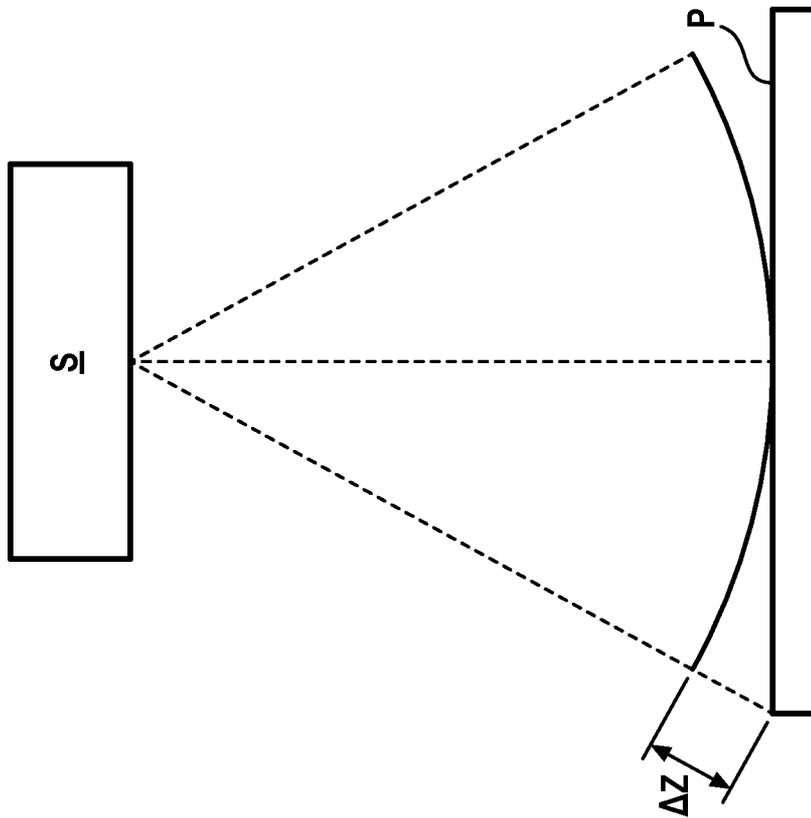
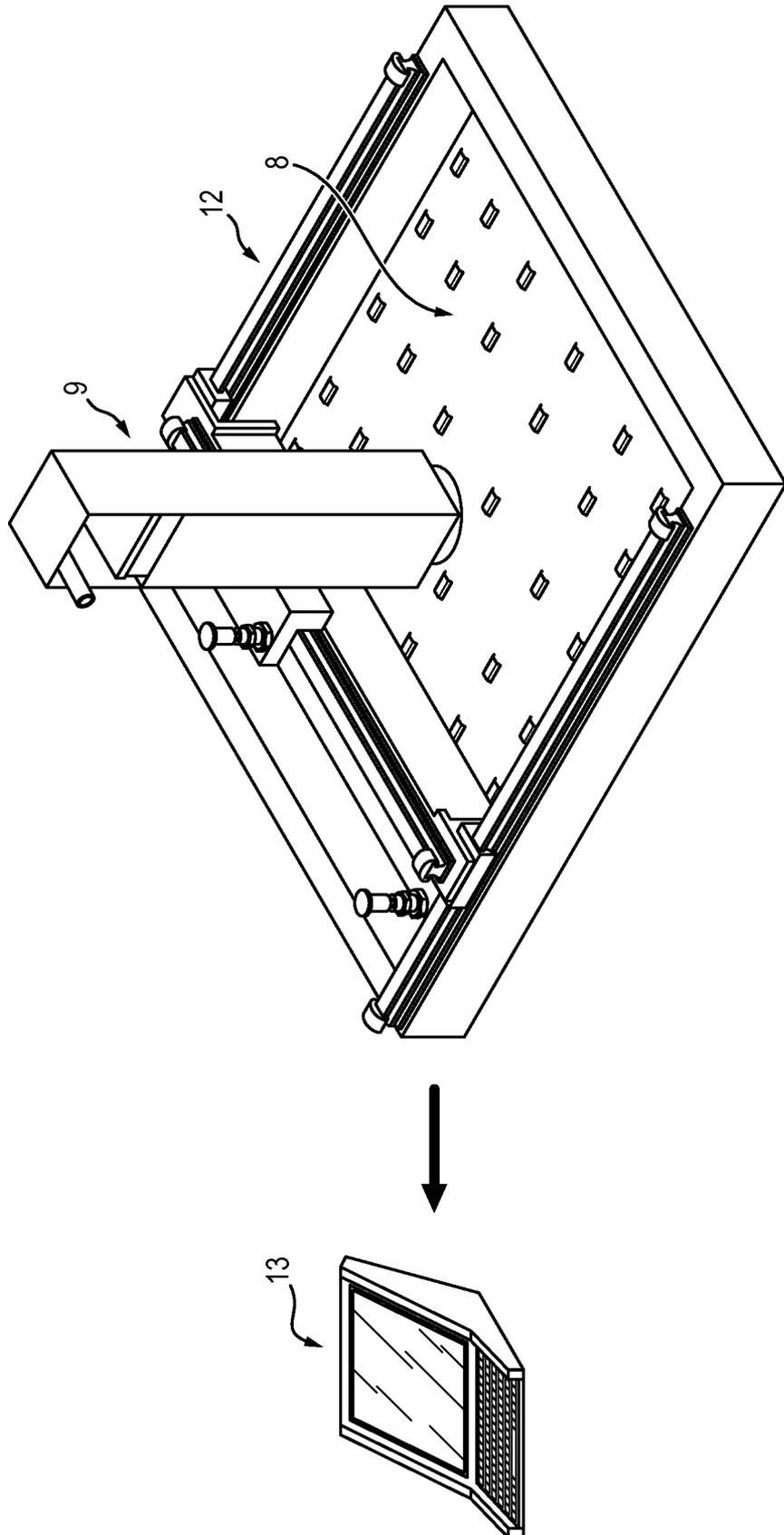


FIG. 2



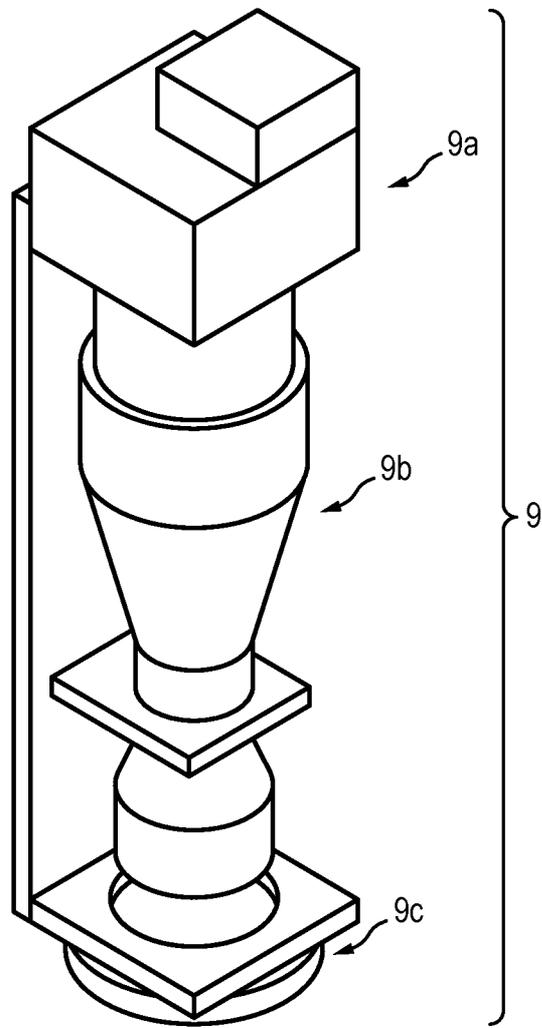
3/10

FIG. 4a



4/10

FIG. 4b



5/10

FIG. 5

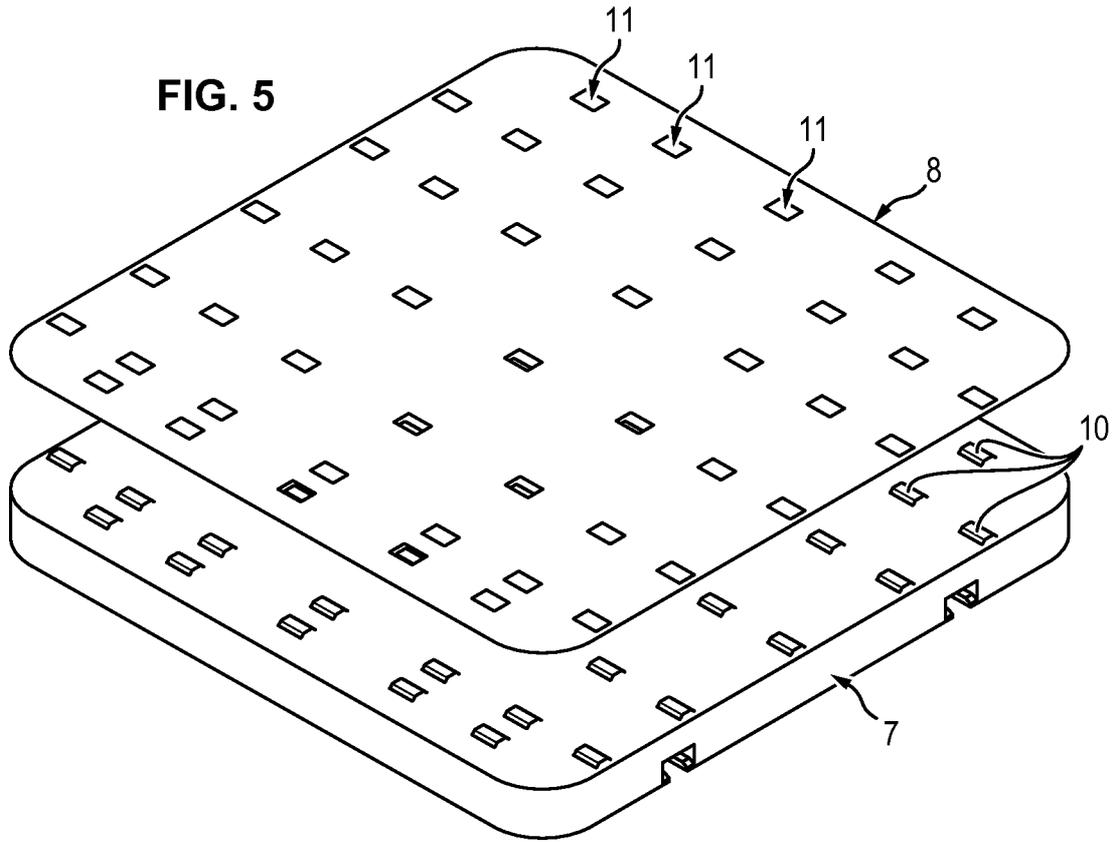


FIG. 6

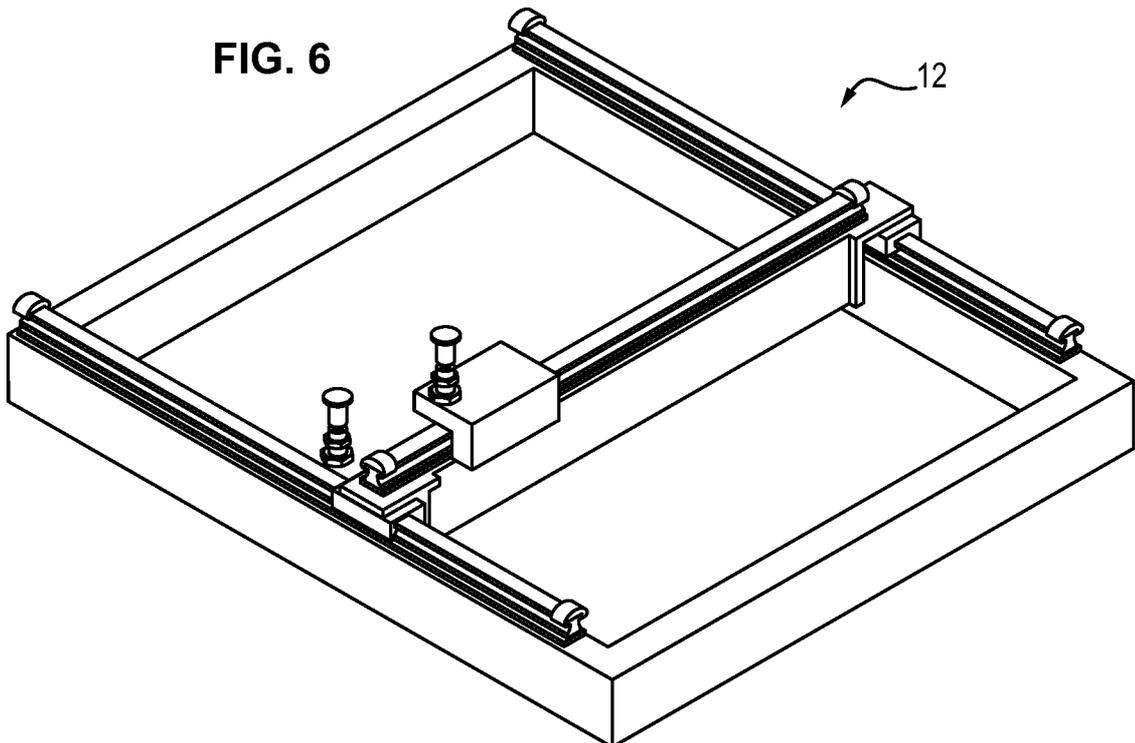


FIG. 8a

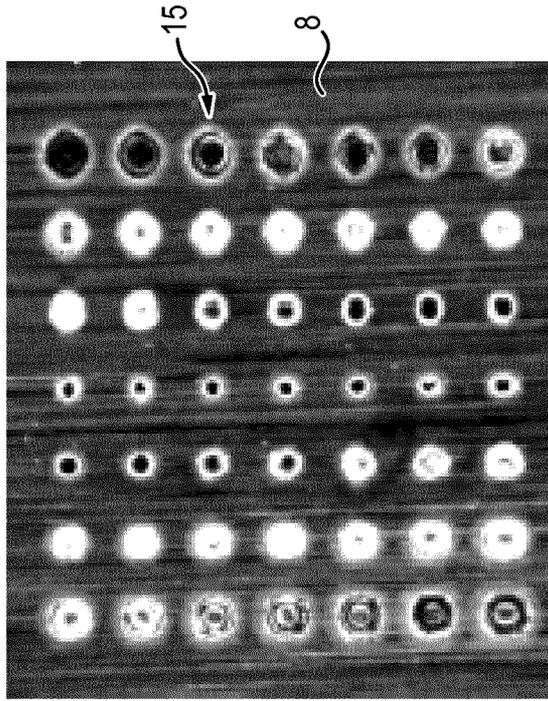


FIG. 8b

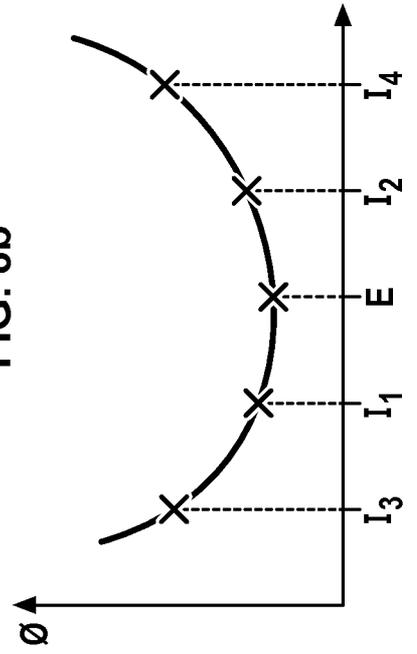
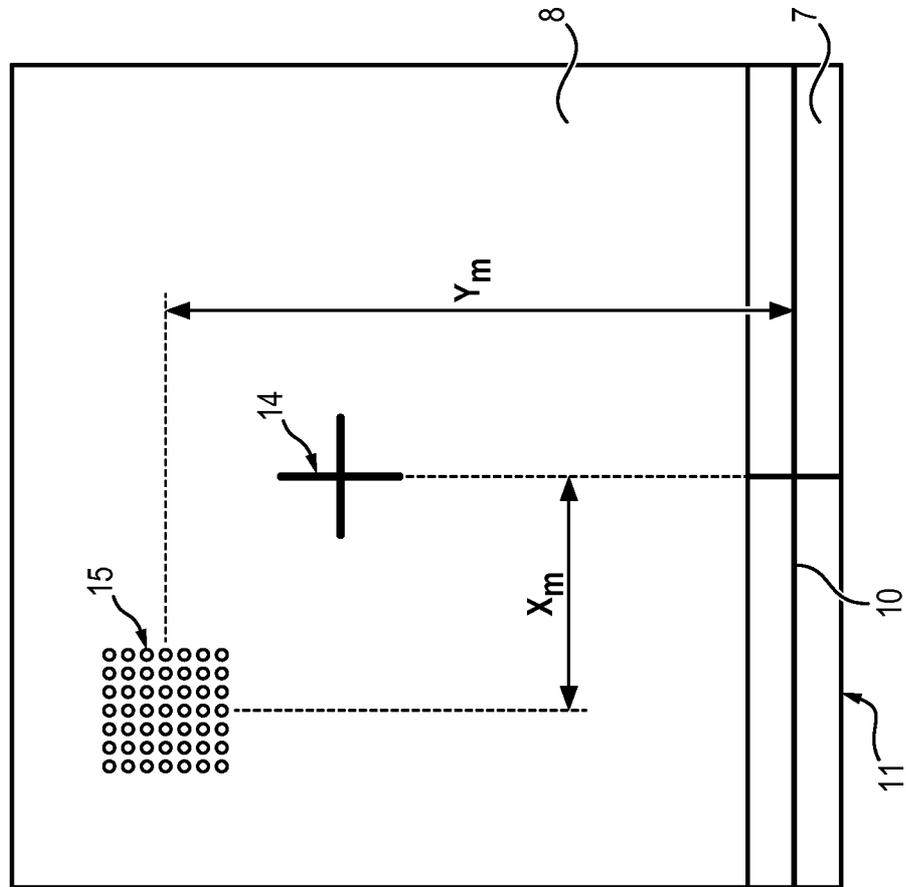
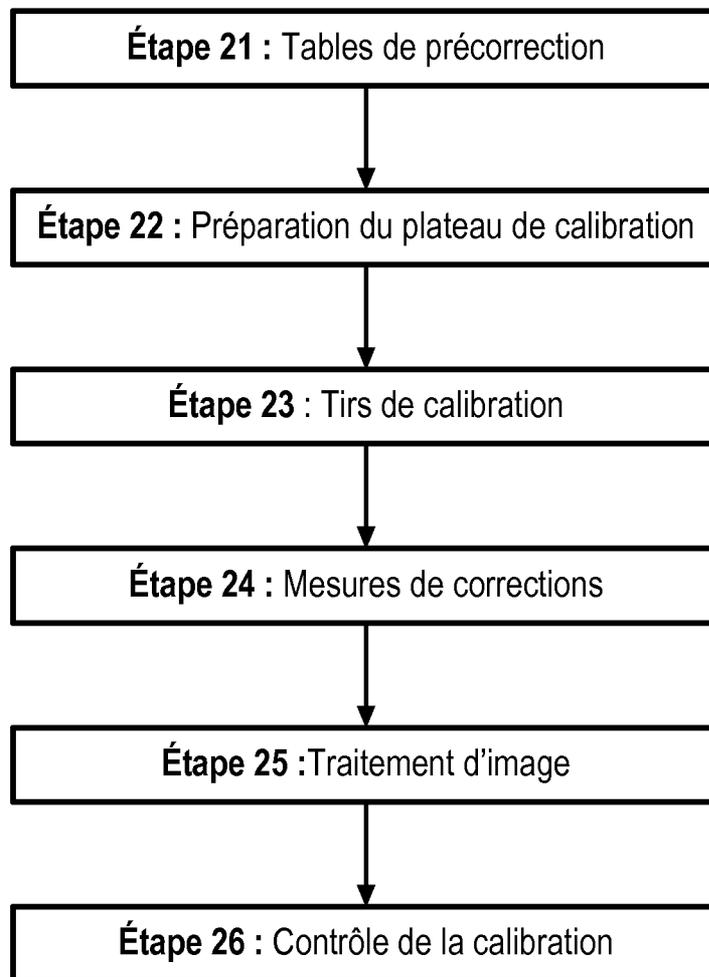


FIG. 7



# 7/10

**FIG. 9**

# 8/10

FIG. 10

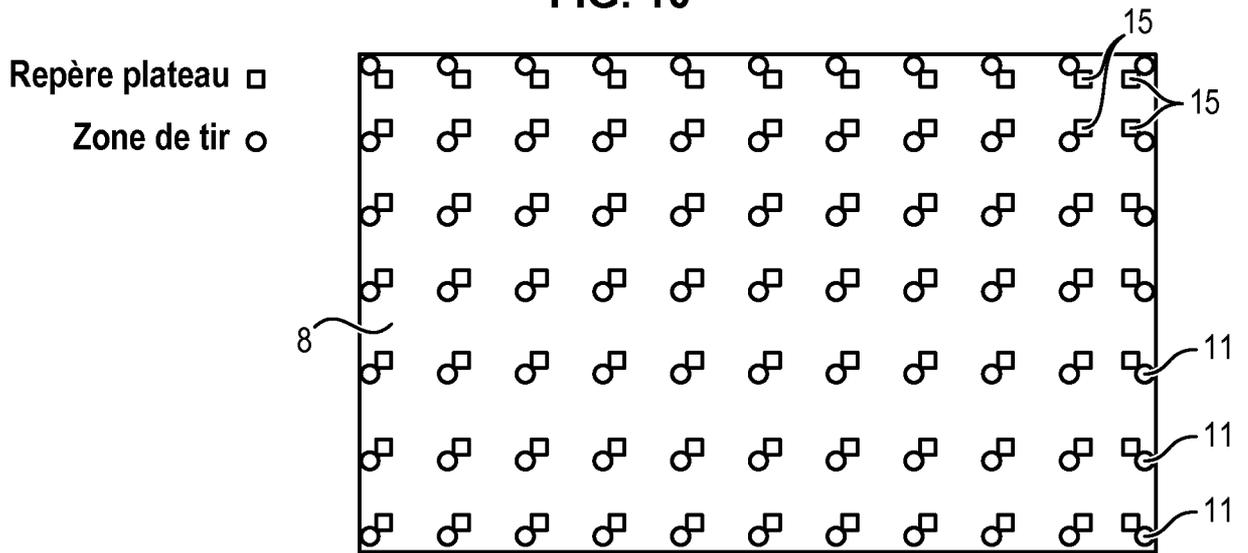


FIG. 11

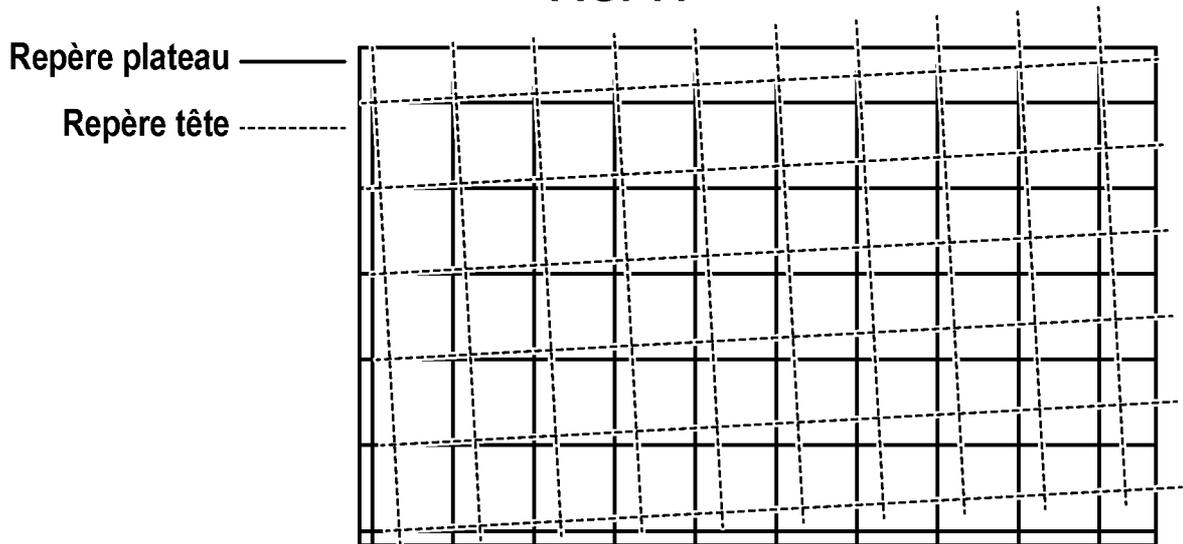


FIG. 12

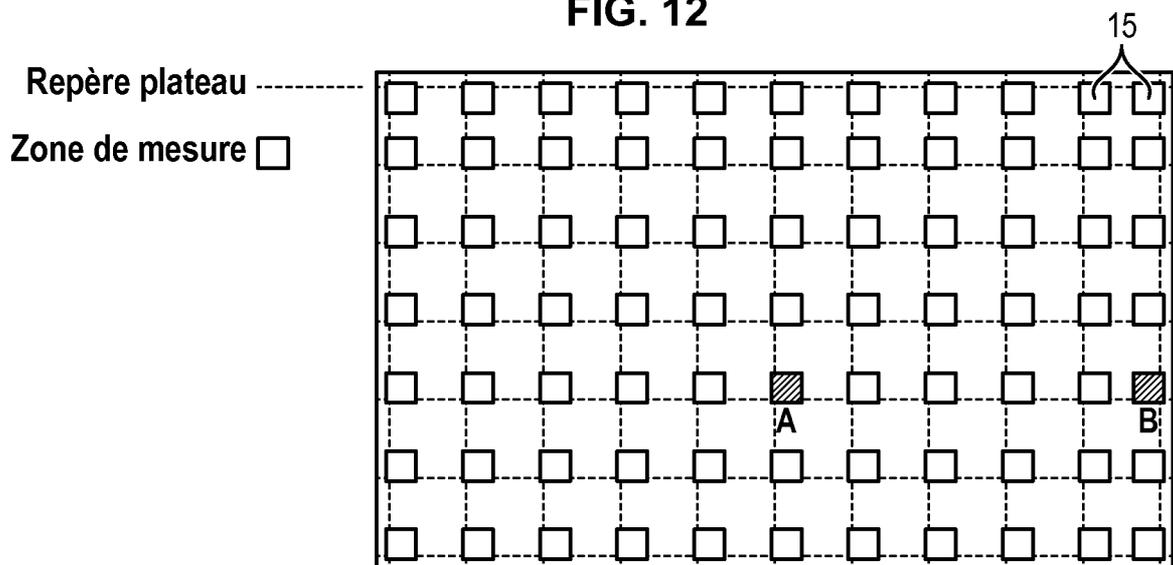
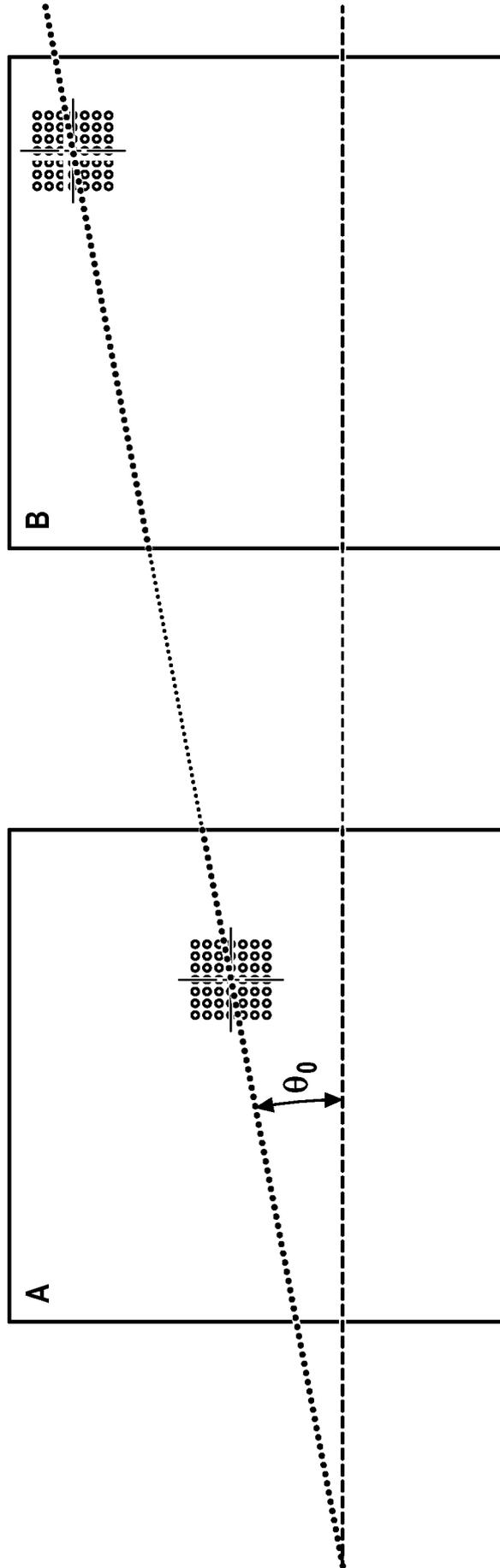


FIG. 13

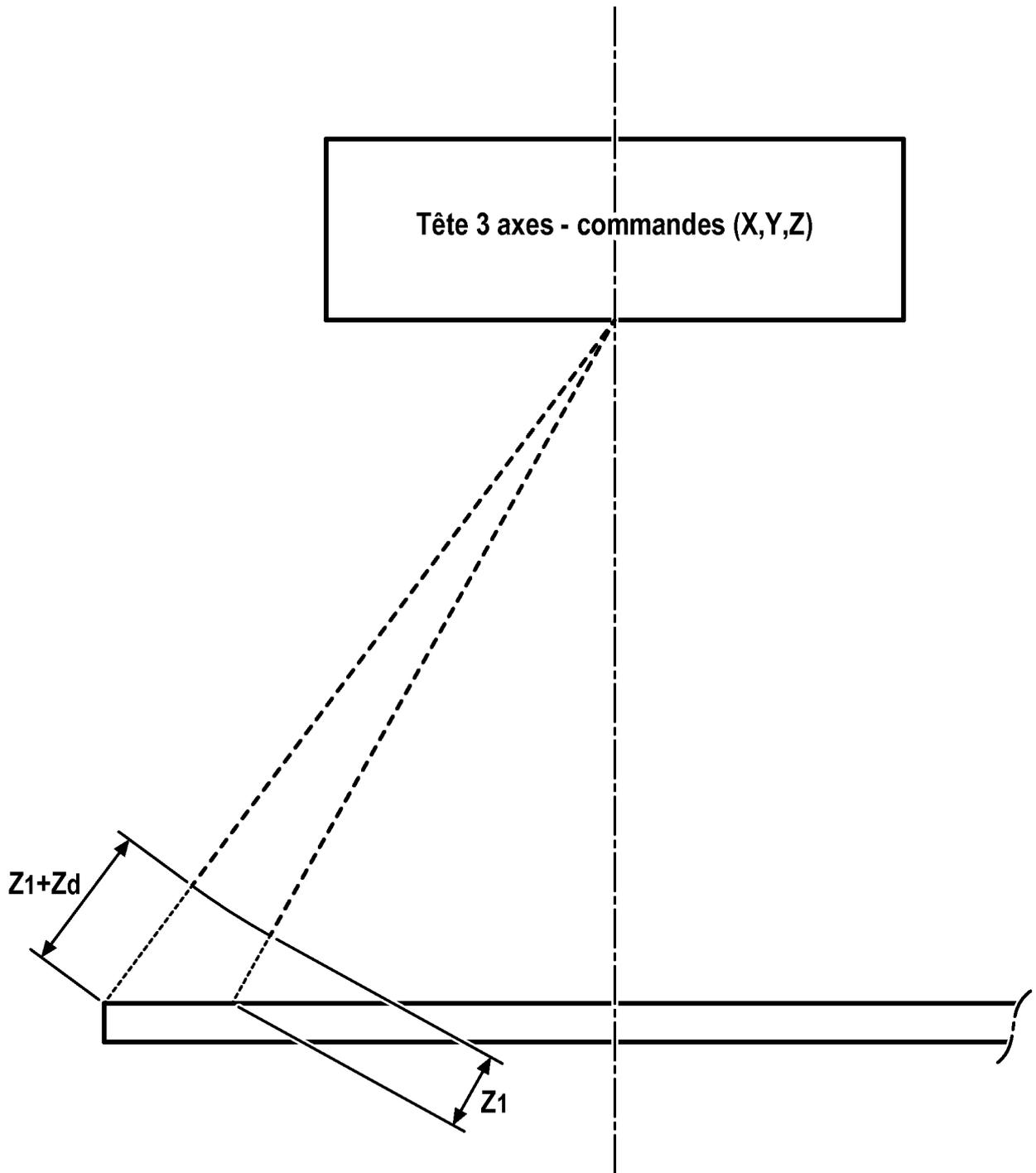


Repère plateau -----

Repère tête .....

10/10

FIG. 14



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2018/066309

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 INV. B22F3/105 G05B19/401 B33Y50/00 B29C64/393 B33Y50/02  
 B23K26/70  
 ADD.  
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED  
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 B22F G05B B33Y B29C B23K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
 EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2010/176539 A1 (HIGASHI YOSHIKAZU [JP] ET AL) 15 July 2010 (2010-07-15) paragraphs [0018] - [0028] figures 1, 5-7	1-5
X	US 6 175 413 B1 (LUCAS BRIAN K [GB]) 16 January 2001 (2001-01-16) column 3, lines 18-39 figures 1, 2	1,2,5
X	US 2003/192868 A1 (DIETRICH STEFAN [DE] ET AL) 16 October 2003 (2003-10-16) paragraphs [0017] - [0022] figures 1, 2	1-3,5-12
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search <b>29 June 2018</b>	Date of mailing of the international search report <b>25/07/2018</b>
--	---

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer <b>Forestier, Gilles</b>
--	--

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2018/066309

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2015/100149 A1 (COECK SAM [BE] ET AL) 9 April 2015 (2015-04-09) cited in the application paragraphs [0047] - [0060] figures 4-6, 8 -----	1-12
A	US 5 832 415 A (WILKENING CHRISTIAN [DE] ET AL) 3 November 1998 (1998-11-03) column 5, lines 42-47 column 5, lines 8-21 -----	1-12
A	US 2014/333931 A1 (LU SHAO-CHUAN [TW] ET AL) 13 November 2014 (2014-11-13) paragraphs [0002] - [0005], [0059] - [0063] figures 6-9E -----	1-12

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2018/066309

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 2010176539	A1	15-07-2010	CN 101541512 A	23-09-2009
			DE 112008000030 T5	24-09-2009
			JP 4258567 B1	30-04-2009
			JP 2009107153 A	21-05-2009
			KR 20090058506 A	09-06-2009
			US 2010176539 A1	15-07-2010
			WO 2009054442 A1	30-04-2009
US 6175413	B1	16-01-2001	AU 9112598 A	16-03-1999
			US 6175413 B1	16-01-2001
			WO 9910136 A1	04-03-1999
US 2003192868	A1	16-10-2003	DE 10206183 A1	28-08-2003
			US 2003192868 A1	16-10-2003
			WO 03068446 A1	21-08-2003
US 2015100149	A1	09-04-2015	CN 105682900 A	15-06-2016
			EP 3046747 A1	27-07-2016
			JP 2016532586 A	20-10-2016
			US 2015100149 A1	09-04-2015
			WO 2015040185 A1	26-03-2015
US 5832415	A	03-11-1998	DE 4437284 A1	25-04-1996
			EP 0792481 A1	03-09-1997
			JP 2979431 B2	15-11-1999
			JP H09511854 A	25-11-1997
			US 5832415 A	03-11-1998
			WO 9612217 A1	25-04-1996
US 2014333931	A1	13-11-2014	CN 104139247 A	12-11-2014
			TW 201442811 A	16-11-2014
			US 2014333931 A1	13-11-2014

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2018/066309

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> INV. B22F3/105 G05B19/401 B33Y50/00 B29C64/393 B33Y50/02 B23K26/70 ADD. Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b> Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) B22F G05B B33Y B29C B23K Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2010/176539 A1 (HIGASHI YOSHIKAZU [JP] ET AL) 15 juillet 2010 (2010-07-15) alinéas [0018] - [0028] figures 1, 5-7 -----	1-5
X	US 6 175 413 B1 (LUCAS BRIAN K [GB]) 16 janvier 2001 (2001-01-16) colonne 3, lignes 18-39 figures 1, 2 -----	1,2,5
X	US 2003/192868 A1 (DIETRICH STEFAN [DE] ET AL) 16 octobre 2003 (2003-10-16) alinéas [0017] - [0022] figures 1, 2 ----- -/--	1-3,5-12
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 29 juin 2018		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 25/07/2018
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Forestier, Gilles

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>US 2015/100149 A1 (COECK SAM [BE] ET AL)                      9 avril 2015 (2015-04-09)                      cité dans la demande                      alinéas [0047] - [0060]                      figures 4-6, 8</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12
A	<p>US 5 832 415 A (WILKENING CHRISTIAN [DE]                      ET AL) 3 novembre 1998 (1998-11-03)                      colonne 5, lignes 42-47                      colonne 5, lignes 8-21</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12
A	<p>US 2014/333931 A1 (LU SHAO-CHUAN [TW] ET                      AL) 13 novembre 2014 (2014-11-13)                      alinéas [0002] - [0005], [0059] - [0063]                      figures 6-9E</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2018/066309

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2010176539	A1	15-07-2010	CN 101541512 A	23-09-2009
			DE 112008000030 T5	24-09-2009
			JP 4258567 B1	30-04-2009
			JP 2009107153 A	21-05-2009
			KR 20090058506 A	09-06-2009
			US 2010176539 A1	15-07-2010
			WO 2009054442 A1	30-04-2009
-----				
US 6175413	B1	16-01-2001	AU 9112598 A	16-03-1999
			US 6175413 B1	16-01-2001
			WO 9910136 A1	04-03-1999
-----				
US 2003192868	A1	16-10-2003	DE 10206183 A1	28-08-2003
			US 2003192868 A1	16-10-2003
			WO 03068446 A1	21-08-2003
-----				
US 2015100149	A1	09-04-2015	CN 105682900 A	15-06-2016
			EP 3046747 A1	27-07-2016
			JP 2016532586 A	20-10-2016
			US 2015100149 A1	09-04-2015
			WO 2015040185 A1	26-03-2015
-----				
US 5832415	A	03-11-1998	DE 4437284 A1	25-04-1996
			EP 0792481 A1	03-09-1997
			JP 2979431 B2	15-11-1999
			JP H09511854 A	25-11-1997
			US 5832415 A	03-11-1998
			WO 9612217 A1	25-04-1996
-----				
US 2014333931	A1	13-11-2014	CN 104139247 A	12-11-2014
			TW 201442811 A	16-11-2014
			US 2014333931 A1	13-11-2014
-----				