

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 24.12.08.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 25.06.10 Bulletin 10/25.

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

⑥③ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : SNECMA — FR.

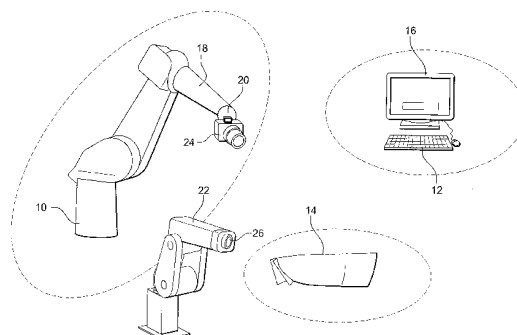
⑦② Inventeur(s) : DERRIEN GERARD et LEONETTI
CLAUDE.

⑦③ Titulaire(s) : SNECMA.

⑦④ Mandataire(s) : ERNEST GUTMANN YVES PLASSE-
RAUD SAS.

⑤④ PROCÉDE DE CONTROLE NON DESTRUCTIF D'UNE PIÈCE MÉCANIQUE.

⑤⑦ Procédé automatisé de contrôle non destructif d'une
pièce mécanique (14), par comparaison d'images de la sur-
face de la pièce avec des images de référence enregistrées
dans une base de données, au moyen d'un dispositif (10)
d'acquisition d'images numériques comprenant un capteur
d'images (24), une source lumineuse (26) d'éclairage et des
moyens (18, 22) de déplacement relatif du capteur d'images
(24), de la source lumineuse (26) et de la pièce mécanique
(14).



Procédé de contrôle non destructif d'une pièce mécanique

La présente invention concerne un procédé de contrôle non destructif d'une pièce mécanique, telle par exemple qu'un composant de
5 turbomachine.

Un contrôle d'usure de certaines pièces de turbomachine peut être effectué par une technique de ressuage, permettant une bonne détection des défauts de compacité débouchant en surface et non obstrués, tels que des fissures, porosités, ou replis.

10 Cette technique requiert l'utilisation de produits colorés ou fluorescents à faible tension superficielle, couramment appelés « pénétrants », capables de pénétrer par capillarité dans les défauts débouchants des pièces. Après application de ces produits pénétrants sur les pièces, imprégnation, puis élimination de l'excès de pénétrants restant
15 en surface, les défauts apparaissent par application sur les pièces d'une fine couche de poudre formée de tubes capillaires aptes à pomper les produits pénétrants présents dans les discontinuités de la pièce.

La technique de ressuage se révèle toutefois contraignante à l'usage, du fait notamment qu'elle requiert l'intervention d'un opérateur
20 dûment qualifié pour en interpréter les résultats.

De plus, elle peut être relativement dangereuse et polluante du fait de l'utilisation de produits inflammables, volatils et nocifs.

L'invention a notamment pour but d'apporter une solution non polluante, économique et efficace à ces problèmes, permettant d'éviter les
25 inconvénients de la technique connue.

Elle a en particulier pour but de permettre un contrôle de pièces mécaniques qui soit simple et rapide à mettre en œuvre, et qui puisse être exécuté de manière automatique par voie optique sans contact.

L'invention propose à cet effet un procédé automatisé de contrôle
30 non destructif d'une pièce mécanique, caractérisé en ce qu'il consiste successivement à :

- définir un programme d'acquisition d'images de la surface de la pièce au moyen d'un dispositif comprenant un capteur d'images, une source lumineuse d'éclairage et des moyens de déplacement relatif du capteur d'images, de la source lumineuse et/ou de la pièce mécanique, ce programme consistant à :
 - 5 . procéder à un relevé tridimensionnel de la surface de la pièce,
 - . à partir de ce relevé tridimensionnel, définir un découpage de la surface de la pièce en zones propres à être
 - 10 photographiées par le capteur d'images,
 - . pour chaque zone prédéfinie de la surface de la pièce, déterminer la valeur de l'intensité et de l'angle d'incidence de l'éclairage produit par la source lumineuse permettant le meilleur niveau de détection possible des défauts éventuels
 - 15 de la surface de la pièce,
 - . définir une trajectoire du capteur d'images et de la source lumineuse relativement à la pièce mécanique, pour permettre l'acquisition successive d'images de chacune des zones prédéfinies,
- 20 – acquérir des images de la surface de la pièce en suivant le programme d'acquisition défini à l'étape précédente, et enregistrer ces images,
- déterminer automatiquement dans les images enregistrées des zones mettant en évidence des éventuels défauts,
- comparer ces zones à des images de référence préalablement
 - 25 enregistrées dans une base de données.

Le procédé de contrôle non destructif proposé par l'invention présente une bonne sensibilité aux défauts de surface des pièces, et permet une réduction considérable du temps imparti à la préparation des

30 pièces à contrôler.

Ce procédé se révèle également plus économique du fait qu'il ne

requiert aucun produit consommable, et que sa mise en œuvre nécessite relativement peu de qualification.

Le procédé selon l'invention permet en outre d'éviter les dangers liés à l'utilisation de produits inflammables, volatils et nocifs, et les
5 inconvénients inhérents à la gestion des déchets liquides qui en résultent.

Chaque pièce est préalablement soumise, avant toute utilisation, à un relevé tridimensionnel de la topologie de sa surface, de manière à garantir la précision des contrôles non destructifs ultérieurs en permettant une localisation précise du capteur d'images et de la source d'éclairage
10 face à la surface de la pièce, quels que soient les écarts de position ou de forme constatés sur celle-ci. De cette manière, il est possible avec le procédé selon l'invention, d'analyser tout type de pièce allant d'une pièce neuve (avant utilisation) à une pièce usagée ou qui a été utilisée. Ce relevé tridimensionnel permet ainsi d'effectuer un suivi de l'évolution de l'état de la
15 pièce au cours du temps. Ceci est avantageux dans le cas où des écarts de forme significatifs sont susceptibles d'exister entre des pièces de même type.

La définition du programme d'acquisition d'images peut être effectuée une seule fois pour un type donné de pièce mécanique.

20 Ceci permet un gain de temps sans induire de réduction notable de la précision des contrôles, lorsque les écarts de forme et d'aspect susceptibles d'exister entre différentes pièces de même type, produites en série, sont négligeables, c'est-à-dire que les défauts de forme sont inférieurs à la précision de localisation du capteur optique et de la source
25 d'éclairage et que les écarts d'aspect se situent dans une plage de réglage définie en base de données.

Selon une autre caractéristique de l'invention, la définition du programme d'acquisition consiste également à :

- recalcr le capteur d'image et la source lumineuse par rapport à la
30 pièce en utilisant le relevé tridimensionnel,
- générer un modèle numérique simplifié de la surface de la pièce

en utilisant les facettes à mailles triangulaires obtenues à partir du relevé tridimensionnel de sa surface, ce modèle numérique simplifié pouvant être réalisé à partir de courbes mathématiques telles que des courbes de Bezier ou des fonctions NURBS,

- 5 – réaliser un découpage primaire de la surface de la pièce en intégrant sur chaque image du découpage primaire en utilisant des paramètres de positionnement de l'éclairage et du capteur contenus dans la base de données d'images tels que :
 - 10 – la normale du capteur optique par rapport à la surface d'une zone,
 - la profondeur de champ utile
 - les conditions optimales d'orientation de l'éclairage et d'exposition,
- 15 – réaliser un second découpage en définissant dans chaque image du découpage primaire des zones les plus larges possibles, en vérifiant que la surface de chaque zone est inférieure au champ maximum couvert par le capteur d'image dans des conditions de prise de vue permettant une résolution suffisante de l'image de la zone et que l'écart type angulaire de la variation de la normale en
- 20 tout point de cette surface est inférieur à une valeur maximale définie dans la base de données ;
- déterminer une trajectoire théorique du capteur d'images relativement à la pièce mécanique, permettant au capteur d'image de couvrir successivement toutes les zones du
- 25 découpage secondaire de la surface de la pièce ;
- prendre plusieurs images numériques sur certaines zones caractéristiques déterminées dans le découpage primaire en faisant varier l'intensité, l'angle d'incidence de l'éclairage produit par la source lumineuse, et l'orientation angulaire du capteur
- 30 optique autour de la normale théorique de la zone en fonction de paramètres définis en base de données.

Ces zones caractéristiques sont des zones déterminées dans les images du découpage primaire et représentatives des conditions réelles de sur-exposition, de sous-exposition ou de bonne exposition à l'éclairage lors de l'acquisition optique au réel dans les conditions de mesure.

- 5 Ceci permet de définir des valeurs optimales de l'intensité et de l'angle d'éclairage par comparaison entre elles des images de chaque zone caractéristique en référence à une base de données établissant une relation entre le niveau de détection des défauts de surface et d'une part, l'intensité et l'angle d'incidence de l'éclairage fourni par la source
10 lumineuse, et d'autre part, des caractéristiques de la surface, puis de déterminer les paramètres optimaux d'éclairage et de position du capteur pour chaque image du découpage secondaire,

- On détermine finalement une trajectoire de la source lumineuse et du capteur permettant d'acquérir les images du découpage secondaire en
15 utilisant les paramètres optimisés.

- Dans un mode de réalisation de l'invention, le procédé consiste à déplacer le capteur d'images et la source lumineuse par rapport à la pièce mécanique au moyen d'un bras robotisé dont une extrémité porte le capteur d'images et un dispositif orientable de support de la source
20 lumineuse.

- Le bras robotisé permet de déplacer le capteur d'images et la source lumineuse autour de la pièce mécanique pour permettre des acquisitions successives d'images de la totalité de la surface de la pièce dans des conditions optimales d'éclairage de cette surface et de réglage focal.

- 25 Le capteur d'image peut être porté par un premier bras robotisé permettant d'orienter le capteur d'image sensiblement suivant la normale à la surface considérée et la source lumineuse étant portée par un deuxième bras robotisé, synchronisé avec le premier bras, ce qui permet de modifier l'orientation angulaire de la source lumineuse par rapport à la pièce
30 indépendamment du mouvement du capteur.

Dans certaines configurations d'acquisitions d'images, l'orientation de la source lumineuse est telle que l'incidence des rayons lumineux est rasante par rapport à la surface considérée de la pièce.

Le découpage de la surface de la pièce est avantageusement défini
5 de sorte que l'image de chaque zone présente un taux prédéterminé de recouvrement avec les images des zones voisines.

Cela permet de garantir qu'aucune partie de la surface de la pièce n'échappe au contrôle.

Selon une autre caractéristique de l'invention, le capteur d'images
10 est un appareil photo à matrice de photodétecteurs du type CCD ou CMOS.

Un tel appareil permet l'acquisition d'images présentant une bonne résolution et sous un format numérique, tout en étant relativement bon marché.

L'invention sera mieux comprise et d'autres détails, avantages et
15 caractéristiques de celle-ci apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante faite à titre d'exemple non limitatif, en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique de moyens de mise en œuvre du procédé selon l'invention ;
- 20 – la figure 2 est un organigramme illustrant les principales étapes du procédé selon l'invention ;
- la figure 3 est un organigramme illustrant une variante du procédé selon l'invention.

La figure 1 représente schématiquement des moyens 10, 12 de mise
25 en œuvre du procédé de contrôle non destructif de pièces mécaniques proposé dans le cadre de l'invention, et une pièce 14 à contrôler, telle par exemple qu'une aube 14 de soufflante de turbomachine.

Les moyens de mise en œuvre du procédé de contrôle non destructif comprennent un dispositif 10 d'acquisition d'images numériques couplé à
30 un dispositif d'éclairage et des moyens 12 de traitement d'image, comprenant par exemple un micro-ordinateur 16 de type PC ou analogue,

qui est de préférence capable de piloter le dispositif 10 d'acquisition d'images et d'éclairage.

Le dispositif 10 d'acquisition d'images numériques comprend au moins un bras robotisé 18 dont une extrémité 20 comporte des moyens articulés de support d'un capteur d'images 24. Le dispositif d'éclairage
5 comprend des moyens articulés 22 de support d'une source lumineuse 26.

Le capteur d'images 24 est par exemple un appareil photographique à matrice de photodétecteurs du type CCD ou CMOS, couramment appelé
10 « appareil photo numérique ».

Les moyens 12 de traitement d'image sont reliés à ou comprennent une base de données dans laquelle sont enregistrées des images de référence de surfaces de pièces mécaniques de différents types présentant des défauts typiques (craques, fissures, rayures, impacts,...), chaque image
15 étant enregistrée conjointement avec des données concernant certaines caractéristiques de surface, telles que la nature du matériau et la rugosité, avec des informations relatives aux conditions d'éclairage et de prise de vue, et avec un indicateur de la qualité de la détection d'un défaut présent sur la surface de la pièce. Une image de référence d'un défaut réel ou d'un
20 artéfact optique est en particulier constituée d'un fond gris sensiblement uniforme et d'une partie ayant un niveau de gris supérieur ou inférieur au fond uniforme. Le fond gris sensiblement uniforme est défini comme une valeur de niveau de gris déterminée à une valeur de tolérance près.

La base de données d'images de référence est réalisée
25 préalablement à la mise en œuvre du procédé. Des moyens optiques sont utilisés pour acquérir des images sur des pièces comprenant des défauts connus. Ces images sont validées par comparaison avec une ou plusieurs méthodes de référence couramment utilisées en contrôle non destructif tels que par exemple la photothermie ou les courants de Foucault. Ces
30 méthodes sont mises en œuvre au moyen d'instruments déplaçables par le

bras robotisé. Les pièces utilisées pour la réalisation de la base de données peuvent être différentes des pièces à contrôler.

La base de données d'images de référence comprend pour chaque image des informations relatives :

- 5 – au niveau de gris du fond de l'image
- au matériau sur lequel l'image a été prise ;
- au procédé de fabrication de la pièce, tel que par exemple fraisage, fonderie,... ;
- à l'état de surface de la pièce (rugosité, ...) ;
- 10 – aux conditions de mesure utilisées pour réaliser l'image et comportant notamment des données sur l'éclairage, la focale, l'ouverture de l'objectif et le temps d'exposition ;
- au type et à la forme du défaut dans le cas où l'image indique la présence d'un défaut ;
- 15 – à la présence d'un artéfact optique ;
- au champ de contraintes présent dans la partie de la pièce photographiée ;
- au nombre n de fois où une image d'une zone donnée a été acquise par le procédé selon l'invention.

20 La base de données précitée peut être hébergée par un serveur informatique dédié relié au micro-ordinateur 16 par un réseau informatique, ou être directement hébergée par le micro-ordinateur 16.

L'organigramme de la figure 2 illustre les grandes phases successives du procédé de contrôle non destructif selon l'invention.

25 Ce procédé comporte une première phase 30 de définition d'un programme d'acquisition d'images de la surface d'une pièce.

Dans une première étape 32, un relevé tridimensionnel de la surface de la pièce à contrôler est effectué avec des moyens conventionnels de mesure 3D, puis un modèle numérique de cette surface est généré au
30 format STL en 34 à partir du relevé tridimensionnel. Une modélisation simplifiée du relevé tridimensionnel est réalisée sous forme de surfaces

mathématiques 3D comprenant des courbes de Bézier et des fonctions NURBS (« Non-Uniform Rational Basis Splines »), dans un format numérique neutre de type IGES compatible avec les systèmes standard de conception et fabrication assistées par ordinateur.

- 5 Une étape de recalage du capteur optique et de la source lumineuse est réalisée pour les positionner correctement par rapport à la pièce en utilisant le relevé tridimensionnel. L'étape suivante 36 du procédé consiste à découper la surface de la pièce à contrôler en zones primaires propres à être photographiées par le capteur d'images 24. Une acquisition d'images
- 10 est réalisée en positionnant le capteur et la source lumineuse en utilisant les paramètres contenus dans la base de données d'images de référence, c'est-à-dire des paramètres relatifs à la matière de la surface photographiée, à sa rugosité et à sa forme.

- Le programme de découpage de la surface de la pièce en zones
- 15 primaires est est défini soit sur la pièce étudiée, soit sur une pièce de référence. Dans cette étape préalable, l'opérateur définit les paramètres de prises de vue afin que les images prises aient un niveau de gris le plus homogène possible. Les paramètres (position du capteur, paramètres de prise de vue...) peuvent être organisés dans une base de donnée
- 20 spécifiquement associée à la pièce étudiée. Ainsi, l'opérateur peut en appelant la référence d'une pièce charger les paramètres nécessaires à l'exécution de cette première étape de découpage.

- Cette première étape de découpage de la pièce permet de vérifier l'homogénéité de l'apparence de la pièce étudiée par rapport aux réglages
- 25 de référence de la base de données. Par exemple, certaines pièces nécessitent des usinages additionnels en fin de cycle de production pour éliminer une bavure d'usinage ou pour un équilibrage dynamique. La fréquence de ces usinages additionnels ainsi que leurs positions sur la pièce sont aléatoires. L'aspect global d'un type de pièce est donc variable
- 30 d'une pièce à l'autre, certaines pièces présentant aléatoirement des zones

plus brillantes que d'autres. L'utilisation d'un programme préétabli permet de détecter ces zones et de les traiter spécifiquement.

A l'issue de cette première étape d'analyse des images du découpage primaire, les zones de ces images qui présentent une
5 sur-exposition ou une sous-exposition par rapport au réglage provenant de la base de données sont utilisées pour optimiser les réglages optiques. Pour cela on acquiert plusieurs images numériques de ces zones en faisant varier l'incidence et l'intensité de l'éclairage, les réglages et l'orientation de la focale ainsi que le temps d'exposition du capteur.

10 Après optimisation des réglages d'acquisition 2D sur l'ensemble des zones sur ou sous exposées, on réalise un second découpage prenant en compte l'optimisation pour l'ensemble des zones.

Ce deuxième processus de découpage consiste essentiellement à délimiter des zones de la pièce, en vérifiant d'une part que les dimensions
15 de chaque zone sont inférieures ou égales au champ linéaire couvert par le capteur d'images, et d'autre part que l'écart type angulaire de l'ensemble des normales d'une zone considérée est inférieur à une valeur prédéterminée dépendant du niveau souhaité de détection des défauts de la surface de la pièce et de la profondeur de champ du capteur d'images.

20 Cette valeur prédéterminée est obtenue par couplage de plusieurs paramètres. A cette fin, la courbure 3D peut être mesurée dans chaque zone et combinée à la profondeur de champ du capteur optique, ce qui permet de renseigner sur le niveau de détection qui sera obtenu. Pour assurer une détection des défauts, une valeur angulaire maximale d'écart
25 entre la normale au plan focal et la normale à un point d'un défaut est définie en utilisant la base de données d'images de référence. Ainsi, il est nécessaire que l'écart type angulaire de l'ensemble des normales dans chaque zone soit inférieur à la valeur angulaire maximale de détection du plan focal considéré.

30 La valeur angulaire maximale d'écart est définie expérimentalement à l'aide de pièce étalons. Pour cela, une pièce étalon est placée en regard

du capteur et on détermine l'écart angulaire à partir duquel il n'est plus possible d'obtenir une image satisfaisante.

Le processus de découpage est de préférence conçu de sorte que l'image de chaque zone présente un certain taux de recouvrement avec les images des zones voisines, de manière à garantir une couverture de l'ensemble de la surface de la pièce par le capteur d'image au cours du programme d'acquisition d'images.

L'étape suivante 38 consiste à définir une trajectoire optimale du bras robotisé 18 permettant d'amener successivement le capteur d'images 24 sur la normale moyenne de chaque zone secondaire prédéterminée de la surface de la pièce, à la distance D de cette surface, en minimisant le nombre de mouvements du bras robotisé.

L'étape suivante 42 du procédé est destinée à la détermination de conditions d'éclairage optimales de chaque zone, pour optimiser le niveau de détection des défauts lors de l'acquisition d'une image de chaque zone secondaire.

Par extrapolation des résultats d'optimisation de réglages à l'ensemble des zones secondaires, on peut déterminer en 46 un programme complet d'acquisition d'images de la surface de la pièce, comprenant une trajectoire du bras robotisé, des moyens 22 de support du capteur d'images, et des moyens 26 de support de la source lumineuse, permettant d'amener successivement le capteur d'image 24 et la source lumineuse 28 dans leurs positions optimales respectives pour l'acquisition d'une image de chaque zone de la surface de la pièce, ainsi que l'évolution optimale de l'intensité d'émission de la source lumineuse au cours de cette trajectoire.

Le contrôle non destructif est réalisé lors d'une deuxième phase 48, la surface de la pièce à contrôler étant découpée en zones secondaires d'acquisition optique optimisées selon la phase décrite en 30. On enregistre en 50 une image de chaque zone de la surface de la pièce-à contrôler en

suivant le programme d'acquisition d'images obtenu grâce au relevé tridimensionnel de la topologie de la surface de la pièce.

Des algorithmes de traitement d'images sont appliqués en 52 aux images de chacune des zones. Ces algorithmes consistent essentiellement à extraire d'une image d'une zone les parties correspondant à des hétérogénéités en niveau de gris par rapport au reste de l'image. Ces parties sont ensuite comparées avec les images dans la base de données de référence ayant une même forme géométrique et les mêmes caractéristiques de surface, c'est-à-dire une rugosité de surface identique, un matériau identique à celui sur lequel l'image a été obtenue, et un procédé identique d'obtention de la surface. Pour chaque image étudiée, on compare la distribution des niveaux de gris des parties hétérogènes relevés sur la zone étudiée avec les défauts présents sur les images dans la base de données d'images de référence.

- 15 La comparaison aboutit à deux résultats :
- soit aucune correspondance n'est établie avec une image de la base de données d'images de référence,
 - soit une correspondance est établie.

Dans le premier cas, où aucune correspondance n'est établie avec la base de données d'images de référence pour une image d'une zone donnée de la pièce, cette zone est analysée au moyen d'un instrument de contrôle non destructif conventionnel porté par le bras robotisé, afin de déterminer s'il s'agit ou non d'un défaut. Cette information est ensuite enregistrée dans la base de données d'images de référence avec l'image et en relation notamment avec les conditions d'acquisition de l'image, l'état de surface et le type de matériau de la pièce.

Dans le second cas, où une correspondance a été établie avec une image de la base de données d'images de référence, un critère de fiabilité est appliquée à cette correspondance et consiste à chercher dans la base de données d'images de référence le nombre n de fois où une telle image a déjà été photographiée. Si n est supérieur à une valeur seuil N déterminée,

la détection est considérée comme fiable et on attribue à cette image l'information relative à la présence ou non d'un défaut. Dans le cas où n est inférieur à la valeur seuil N , une méthode de contrôle non destructif par un instrument conventionnel est mise en œuvre de manière à confirmer
5 l'information sur la présence ou non d'un défaut. Le nombre de fois où une correspondance a été établie avec une image de la base de données d'images de référence est ensuite incrémenté à $n+1$.

La mise en œuvre du procédé selon l'invention, peut ainsi se faire sans intervention humaine dans le cas où il existe une correspondance
10 fiable avec la base de données d'images de référence. Dans le cas où l'utilisation de moyens de contrôle non destructifs conventionnels est nécessaire, l'image obtenue est intégrée à la base de données d'images de référence pour la compléter et améliorer les détections futures.

Le procédé de contrôle non destructif décrit ci-dessus permet de
15 détecter des défauts avec une sensibilité comparable aux techniques de ressuage tout en présentant de nombreux avantages par rapport à ces techniques, comme cela a été mentionné dans ce qui précède.

Ce procédé présente en particulier l'avantage d'être entièrement automatisable. Ce procédé est également auto-adaptatif. En effet, quel que
20 soit le positionnement initial de la pièce par rapport à la source d'éclairage et par rapport au capteur et quelle que soit la forme de la pièce, il est possible grâce à l'acquisition tridimensionnelle initiale d'effectuer une opération de contrôle non destructif.

La figure 3 est une représentation schématique d'une variante du
25 procédé selon l'invention, qui comprend essentiellement :

- un relevé tridimensionnel de la surface de la pièce, à partir duquel on calcule la position réelle de la pièce en face du dispositif d'éclairage et de prise de vues,
- le calcul d'une trajectoire de ce dispositif pour l'acquisition optique
30 bidimensionnelle de la surface de la pièce,

- l'acquisition d'images globales de la pièce en utilisant les paramètres de la base de données relatifs à la matière, la rugosité et la forme de la surface,
- 5 - une analyse des images et la détermination dans ces images de zones permettant une optimisation des réglages optiques liés à l'exposition en fonction des paramètres figurant dans la base de données sur l'orientation du capteur de prise de vues, l'éclairage et la forme de la surface,
- 10 - le calcul d'une trajectoire d'acquisition d'images permettant d'optimiser les réglages optiques en tenant compte de l'analyse ci-dessus et d'une trajectoire du dispositif d'éclairage,
- l'optimisation des réglages optiques d'acquisition d'images des zones définies précédemment,
- 15 - l'analyse des images, la validation des réglages optimisés pour les différentes zones et leur enregistrement dans la base de données,
- la discrétisation de la surface de la pièce en zones d'acquisition tenant compte des réglages optimisés,
- puis, en combinaison avec le résultat d'une étape de segmentation, simplification et reconstruction, le calcul d'une trajectoire
- 20 d'acquisition d'images au réel,
- la prise d'images de la surface de la pièce avec les réglages optimisés,
- l'analyse des images et la recherche de défauts et d'artéfacts optiques,
- 25 - la caractérisation des défauts et artéfacts trouvés et leur comparaison à des défauts et artéfacts connus enregistrés dans une base de données,
- puis, si les défauts et artéfacts trouvés sont déjà connus, leur enregistrement en base de données de référence et l'édition d'un
- 30 rapport correspondant,

- ou, si les défauts et artéfacts trouvés ne figurent pas dans la base de données, leur corrélation par des procédés de contrôle non destructif (par exemple courants de Foucault ou photothermie), leur identification comme nouveau défaut ou nouvel artéfact optique et leur enregistrement en base de données de référence.
- 5

REVENDEICATIONS

1. Procédé automatisé de contrôle non destructif d'une pièce mécanique (14), caractérisé en ce qu'il consiste successivement à :
- 5 - définir un programme d'acquisition d'images de la surface de la pièce à contrôler au moyen d'un dispositif (10) comprenant un capteur d'images (24), une source lumineuse (26) d'éclairage et des moyens (18, 22) de déplacement relatif du capteur d'images (24), de la source lumineuse (2) et/ou de la pièce mécanique (14), ce programme consistant
- 10 essentiellement à :
- . procéder à un relevé tridimensionnel de la surface de la pièce,
 - . à partir de ce relevé tridimensionnel, définir un découpage de la surface de la pièce en zones propres à être

15 photographiées par le capteur d'images,

 - . pour chaque zone prédéfinie de la surface de la pièce, déterminer une valeur de l'intensité et de l'angle d'incidence de l'éclairage par la source lumineuse permettant le meilleur niveau de détection possible des défauts éventuels de la

20 surface de la pièce,

 - . définir une trajectoire du capteur d'images et de la source lumineuse relativement à la pièce mécanique, pour permettre des acquisitions successives d'une image de chacune des zones prédéfinies,
- 25 le procédé consistant ensuite à :
- acquérir des images de la surface de la pièce en suivant le programme d'acquisition défini à l'étape précédente, et enregistrer ces images,
 - déterminer automatiquement dans les images enregistrées des zones mettant en évidence des éventuels défauts,

30 - comparer ces images à des images de référence préalablement enregistrées dans une base de données.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la définition du programme d'acquisition d'images est effectuée une seule fois pour un type donné de pièce mécanique.
3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la pièce à
5 contrôler est préalablement soumise avant toute utilisation à un relevé tridimensionnel de sa surface .
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la définition du programme d'acquisition d'images de la surface de la pièce consiste également à :
 - 10 - recalcr le capteur d'image et la source lumineuse par rapport à la pièce en utilisant le relevé tridimensionnel,
 - générer un modèle numérique de la surface de la pièce sous forme de courbes mathématiques tels que les courbes de Bézier ou de fonctions NURBS, à partir du relevé tridimensionnel de sa surface,
 - 15 - réaliser un découpage primaire de la surface de la pièce et acquérir une première série d'images en utilisant des paramètres de positionnement de l'éclairage et du capteur contenus dans la base de données d'images,
 - déterminer la normale moyenne de chaque zone;
 - 20 - réaliser un second découpage en définissant dans chaque image du découpage primaire des zones secondaires, en vérifiant que la surface de chaque zone est inférieure au champ couvert par le capteur d'image dans des conditions de prise de vue permettant une résolution suffisante de l'image de la zone, et que l'écart type des normales en
 - 25 tout point formant chaque zone est inférieur à une valeur maximale prédéterminée ;
 - déterminer une trajectoire théorique du capteur d'images relativement à la pièce mécanique, permettant au capteur d'image de couvrir successivement toutes les zones du découpage secondaire de la
 - 30 surface de la pièce ;
 - prendre plusieurs images numériques de chaque zone sur-exposée ou

- sous-exposée du découpage primaire en faisant varier l'intensité et l'angle d'incidence de l'éclairage produit par la source lumineuse, puis déterminer une valeur optimale de l'intensité et de l'angle d'incidence de l'éclairage par comparaison entre elles des images de chaque zone
- 5 sur-exposée ou sous-exposée en référence à une base de données établissant une relation entre le niveau de détection des défauts de surface et d'une part, l'intensité et l'angle d'incidence de l'éclairage par la source lumineuse, et d'autre part, des caractéristiques de la surface
- déterminer les paramètres optimaux d'éclairage et de position du
 - 10 capteur pour chaque zone,
 - déterminer une trajectoire de la source lumineuse et du capteur permettant d'acquérir des images des zones déterminées de la découpe secondaire en utilisant les paramètres d'éclairage déterminés précédemment.
- 15 5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il consiste à déplacer le capteur d'images (24) et la source lumineuse (26) par rapport à la pièce mécanique (14) au moyen de bras robotisés (18, 22) portant respectivement le capteur d'images et la source lumineuse (26).
- 20 6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le découpage de la surface de la pièce est défini de sorte que l'image de chaque zone présente un taux prédéterminé de recouvrement avec les images des zones voisines.
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce
- 25 que le capteur d'images (24) est un appareil photographique à matrice de photodétecteurs du type CCD ou CMOS.
8. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste essentiellement à effectuer:
- un relevé tridimensionnel de la surface de la pièce, à partir duquel on
 - 30 calcule la position réelle de la pièce en face du dispositif d'éclairage et de prise de vues,

- le calcul d'une trajectoire de ce dispositif pour l'acquisition optique bidimensionnelle de la surface de la pièce,
- l'acquisition d'images globales de la pièce en utilisant les paramètres de la base de données relatifs à la matière, la rugosité et la forme de la surface,
- 5 - une analyse des images et la détermination dans ces images de zones permettant une optimisation des réglages optiques liés à l'exposition en fonction des paramètres figurant dans la base de données sur l'orientation du capteur de prise de vues, l'éclairage et la
- 10 forme de la surface,
- le calcul d'une trajectoire d'acquisition d'images permettant d'optimiser les réglages optiques en tenant compte de l'analyse ci-dessus et d'une trajectoire du dispositif d'éclairage,
- l'optimisation des réglages optiques d'acquisition d'images des zones
- 15 définies précédemment,
- l'analyse des images, la validation des réglages optimisés pour les différentes zones et leur enregistrement dans la base de données,
- la discrétisation de la surface de la pièce en zones d'acquisition tenant compte des réglages optimisés,
- 20 - puis, en combinaison avec le résultat d'une étape de segmentation, simplification et reconstruction, le calcul d'une trajectoire d'acquisition d'images au réel,
- la prise d'images de la surface de la pièce avec les réglages optimisés,
- 25 - l'analyse des images et la recherche de défauts et d'artéfacts optiques,
- la caractérisation des défauts et artéfacts trouvés et leur comparaison à des défauts et artéfacts connus enregistrés dans une base de données,

- puis, si les défauts et artéfacts trouvés sont déjà connus, leur enregistrement en base de données de référence et l'édition d'un rapport correspondant,
 - ou, si les défauts et artéfacts trouvés ne figurent pas dans la base de données, leur corrélation par des procédés de contrôle non destructif (par exemple courants de Foucault ou photothermie), leur identification comme nouveau défaut ou nouvel artéfact optique et leur enregistrement en base de données de référence.
- 5

1/3

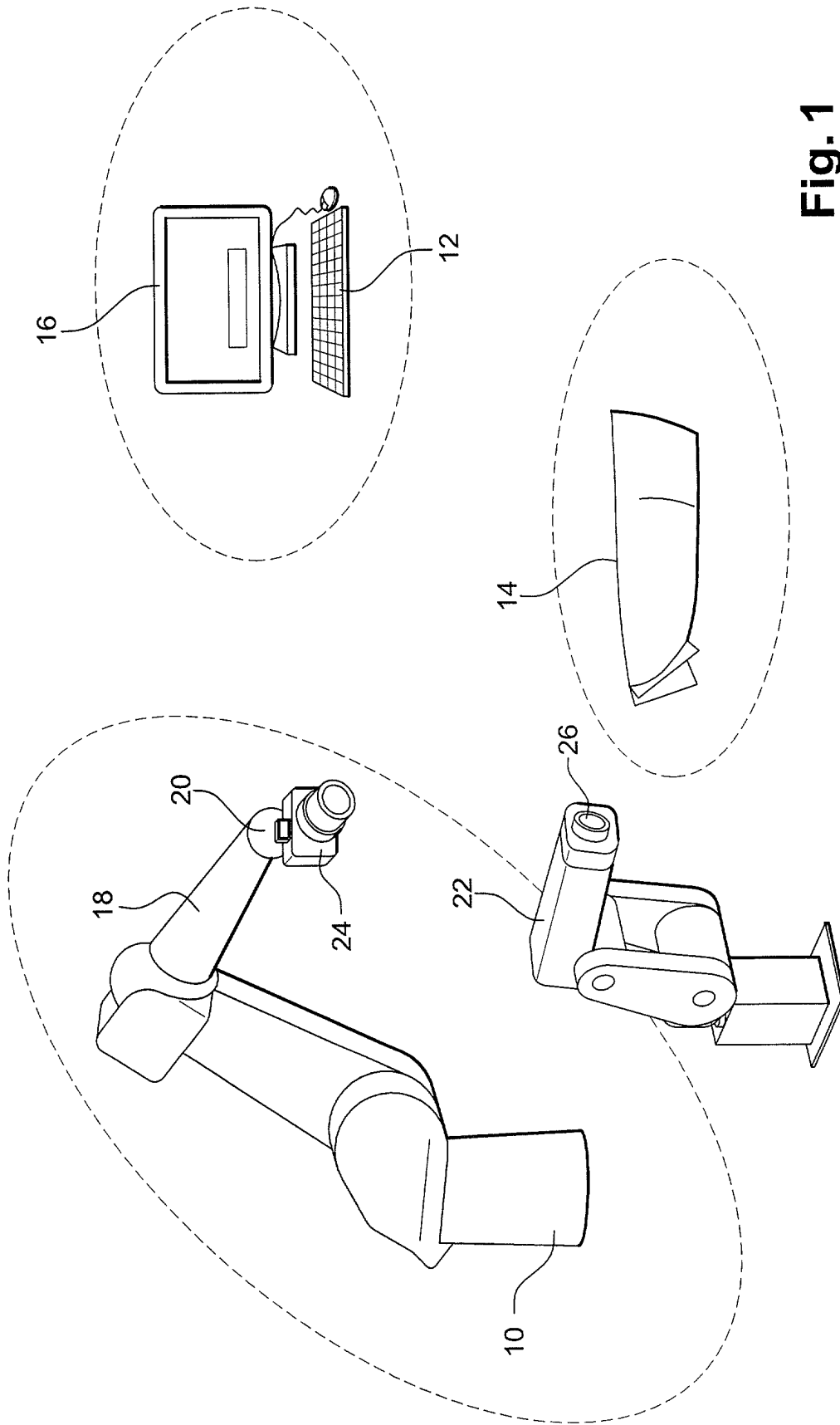
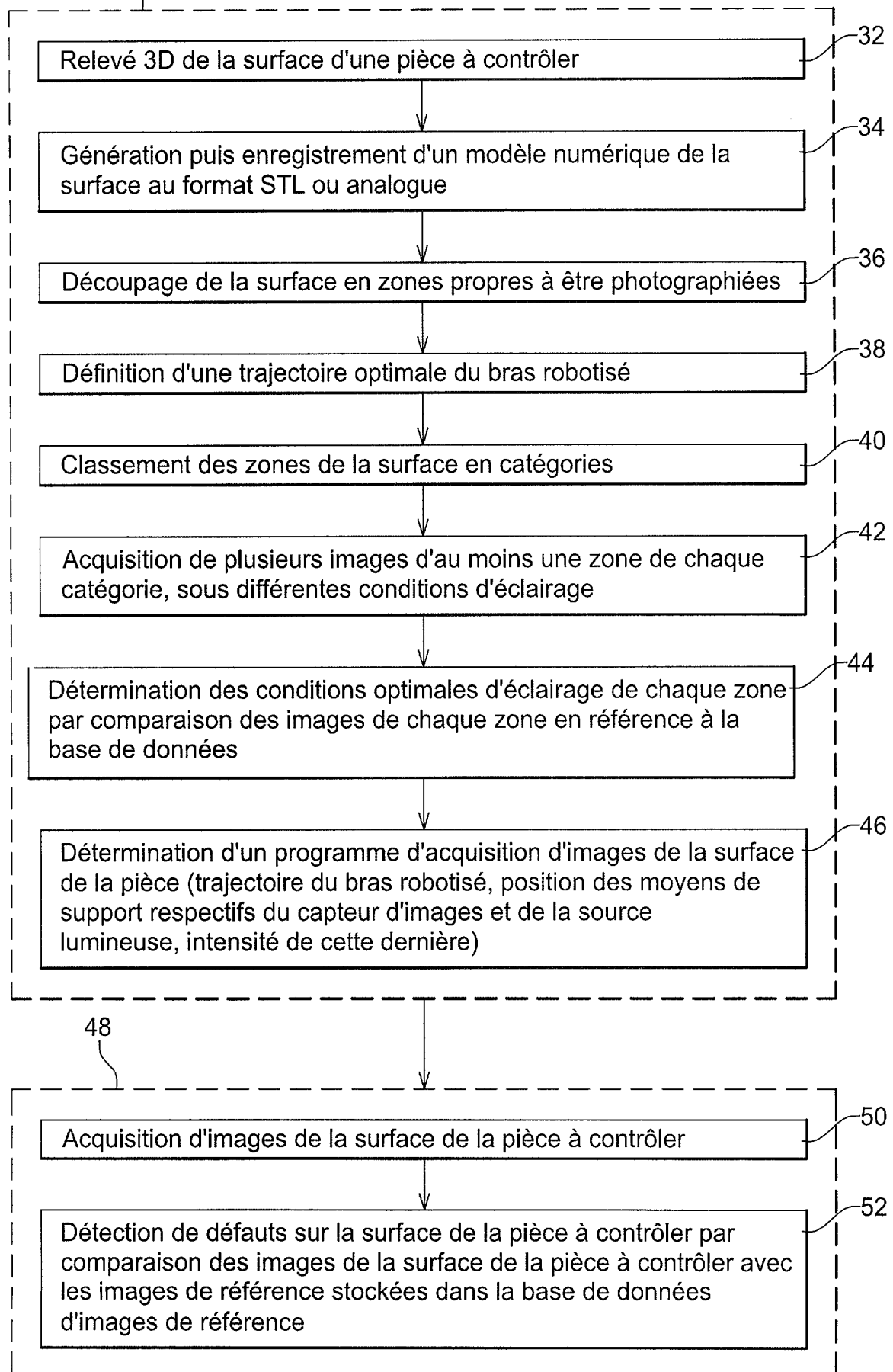


Fig. 1

30

2 / 3

Fig. 2



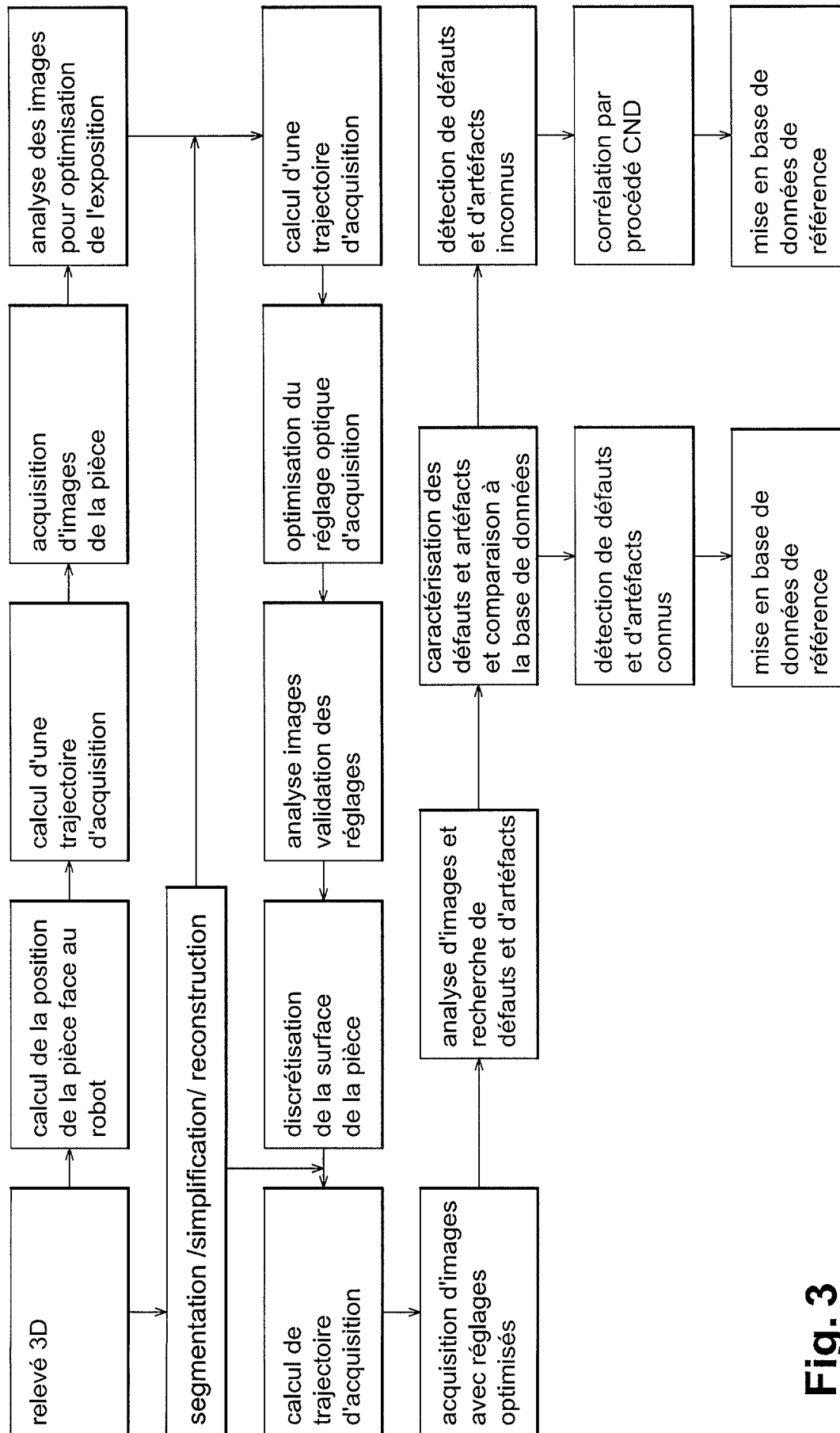


Fig. 3



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 717661
FR 0807460

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2007/122026 A1 (ERSUE ENIS [DE] ET AL) 31 mai 2007 (2007-05-31)	1-3,5-7	G01N21/95 G01B11/00
A	* abrégé * * alinéas [0004], [0005], [0009], [0017], [0019], [0027], [0028], [0031], [0035], [0037] * * figure 1 *	4,8	
A	----- EP 1 431 751 A2 (VOLKSWAGEN AG [DE]; UWE BRAUN GMBH [DE]) 23 juin 2004 (2004-06-23) * colonne 3, ligne 3 - ligne 30 * * colonne 4, ligne 3 - ligne 49 * * colonne 6, ligne 10 - ligne 31 * * colonne 7, ligne 43 - ligne 50 *	1,7	
A	----- US 5 963 328 A (YOSHIDA KIYOSHI [JP] ET AL) 5 octobre 1999 (1999-10-05) * colonne 15, ligne 62 - colonne 18, ligne 9 *	1,7	
A	----- US 2006/119864 A1 (LINDNER BJOERN [DE] ET AL LINDNER BJOERN [DE] ET AL) 8 juin 2006 (2006-06-08) * abrégé * * alinéas [0012], [0049], [0050], [0052], [0053], [0057] * ----- -/-	1,3	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01N G05B G06T
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
4 août 2009		D'Alessandro, Davide	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire 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 & : membre de la même famille, document correspondant			



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 717661
FR 0807460

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	GRABOWSKI H ET AL: "QUALITAETSPRUEFUNG VON WERKSTUECKEN MIT BILDVERARBEITENDEN SYSTEMEN. \NEUER ANSATZ MIT PRODUKTMODELLDATEN ALS BASIS" VDI Z, SPRINGER VDI VERLAG, DUSSELDORF, DE, vol. 134, no. 10, 1 octobre 1992 (1992-10-01), pages 128-132,135, XP000324019 ISSN: 0042-1766 * figure 3 * * page 131, colonne de gauche * * page 136, colonne de droite - page 137 *	1,6-7	
A	WO 00/63681 A2 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]; LANG PETER [DE]; SPINNLER KLAUS [DE]; S) 26 octobre 2000 (2000-10-26) * page 2, ligne 13 - ligne 34 * * page 7, ligne 16 - ligne 29 * * page 7, ligne 16 - ligne 29 * * page 13, ligne 19 - page 14, ligne 18 * * page 17, ligne 11 - ligne 21 * * page 21, ligne 17 - ligne 24 *	1-8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Date d'achèvement de la recherche			Examineur
4 août 2009			D'Alessandro, Davide
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire 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 & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0807460 FA 717661

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **04-08-2009**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2007122026	A1	31-05-2007	CA 2554641 A1	29-09-2005
			CN 1922473 A	28-02-2007
			DE 102004007829 A1	08-09-2005
			EP 1716409 A1	02-11-2006
			WO 2005090951 A1	29-09-2005
			JP 2007527993 T	04-10-2007
			KR 20060127174 A	11-12-2006

EP 1431751	A2	23-06-2004	DE 10261865 A1	15-07-2004

US 5963328	A	05-10-1999	AUCUN	

US 2006119864	A1	08-06-2006	AT 417245 T	15-12-2008
			WO 2006042535 A1	27-04-2006
			DE 102004052508 A1	27-04-2006
			EP 1805481 A1	11-07-2007

WO 0063681	A2	26-10-2000	AT 305607 T	15-10-2005
			DE 10081029 D2	31-01-2002
			EP 1173749 A2	23-01-2002
