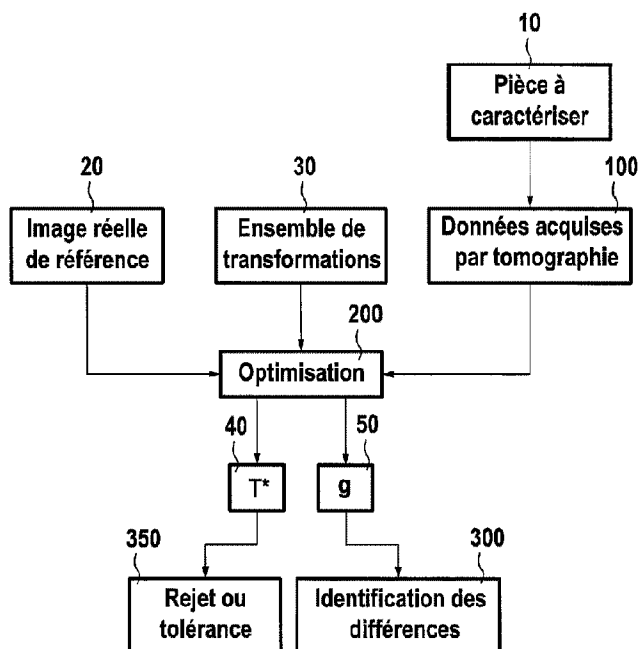




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2014/12/09
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2015/06/25
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2023/03/28
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2016/06/14
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2014/053229
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2015/092212
(30) Priorité/Priority: 2013/12/19 (FR1363095)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G01N 23/046* (2018.01)
(72) Inventeurs/Inventors:
SCHNEIDER, JULIEN, FR;
HILD, FRANCOIS, FR;
LECLERC, HUGO, FR;
ROUX, STEPHANE, FR
(73) Propriétaires/Owners:
ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE CACHAN, FR;
SNECMA, FR;
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE, FR
(74) Agent: LAVERY, DE BILLY, LLP

(54) Titre : PROCÉDE DE CARACTERISATION D'UNE PIECE
(54) Title: METHOD FOR CHARACTERISING A PART



(57) Abrégé/Abstract:

Procédé de caractérisation d'une pièce (10) comprenant une étape d'obtention d'une image de tomographie aux rayons X de la pièce, puis une étape de corrélation (200) de ladite image avec une référence (20), caractérisé en ce que l'étape de corrélation (200) comprend une recherche, dans un ensemble prédéfini (30) de transformations d'images de tomographie aux rayons X, d'une transformation (40) qui minimise la différence (50) entre l'image et la référence pour caractériser (300, 350) l'intérieur de ladite pièce (10).

(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 2015/092212 A1(43) Date de la publication internationale
25 juin 2015 (25.06.2015)**WIPO | PCT**(51) Classification internationale des brevets :
G01N 23/04 (2006.01) *G06T 7/00* (2006.01)
G06K 9/64 (2006.01)(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2014/053229(22) Date de dépôt international :
9 décembre 2014 (09.12.2014)

(25) Langue de dépôt : français

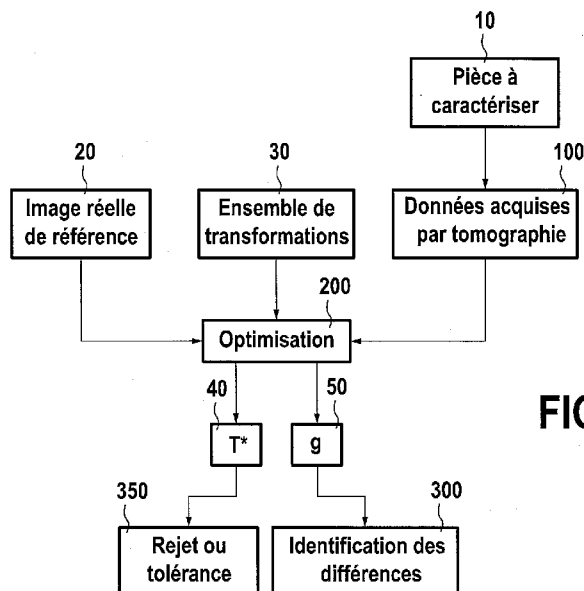
(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1363095 19 décembre 2013 (19.12.2013) FR(71) Déposants : SNECMA [FR/FR]; 2 boulevard du Général
Martial Valin, F-75015 Paris (FR). **CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE** [FR/FR];
3 Rue Michel Ange, F-75016 Paris (FR). **ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE CACHAN** [FR/FR]; 61 avenue
du Président Wilson, F-94235 Cachan (FR).(72) Inventeurs : **SCHNEIDER, Julien**; c/o Snecma Pi (AJI),
Rond-point René Ravaud-Réau, F-77550 Moissy-Cramayel
Cedex (FR). **HILD, François**; 49 avenue Sully Prud-
homme, F-92290 Chatenay Malabry (FR). **LECLERC,**
Hugo; 12 impasse Benoit Guichon, F-94230 Cachan (FR).
ROUX, Stéphane; 180 rue du Général Leclerc, F-93110
Rosny Sous Bois (FR).(74) Mandataires : **UNDERWOOD, Nicolas** et al.; Cabinet
Beau De Lomenie, 158 rue de l'Université, F-75340 Paris
Cedex 07 (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, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
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,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD FOR CHARACTERISING A PART

(54) Titre : PROCEDE DE CARACTERISATION D'UNE PIECE

**FIG.1**(57) **Abstract** : The invention relates to a method for
characterising a part (10), including a step of obtaining
an X-ray tomography image of the part, followed by a
step (200) of correlating said image with a reference
(20), *characterised in that* the correlation step (200)
includes searching, in a predefined set (30) of trans-
formations of X-ray tomography images, for a trans-
formation (40) that minimises the difference (50) between
the image and the reference in order to characterise
(300, 350) the inside of said part (10).(57) **Abrégé** : Procédé de caractérisation d'une pièce
(10) comprenant une étape d'obtention d'une image de
tomographie aux rayons X de la pièce, puis une étape
de corrélation (200) de ladite image avec une référence
(20), *caractérisé en ce que* l'étape de corrélation (200)
comprend une recherche, dans un ensemble prédéfini
(30) de transformations d'images de tomographie aux
rayons X, d'une transformation (40) qui minimise la
différence (50) entre l'image et la référence pour carac-
tériser (300, 350) l'intérieur de ladite pièce (10).

- 10 Part to be characterised
20 Actual reference image
30 Set of transformations
100 Data acquired by tomography
300 Identification of differences
350 Rejection or tolerance

WO 2015/092212 A1

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))

Procédé de caractérisation d'une pièce

5 Contexte technique

L'invention s'inscrit dans le domaine de la conception, de la caractérisation et du suivi de pièces pour l'industrie, notamment des pièces devant subir des sollicitations mécaniques importantes, comme par exemple des pièces de moteurs d'avions.

On connaît la technique de tomographie aux rayons X (CT pour « *Computed Tomography* »). Ce moyen expérimental exploite l'absorption différentielle des rayons X par différents matériaux pour reconstruire, par le calcul, à partir d'une série de radiographies, une image tridimensionnelle de la pièce étudiée. L'information contenue dans les images de tomographie est précieuse car elle concerne l'ensemble du volume de la pièce et donne accès non seulement à la microstructure de celle-ci
15 mais aussi potentiellement à ses défauts.

Cependant, cette richesse est aussi à l'origine de deux difficultés majeures. D'une part, l'acquisition de l'information finement résolue spatialement nécessite un nombre considérable de radiographies, d'où un temps d'acquisition des images importants, et la nécessité de disposer de moyens de stockage de données
20 importants. D'autre part, la recherche de défauts est elle-même une opération délicate et exigeante, difficile à automatiser.

On connaît aussi des techniques de comparaison d'images proches entre elles, connues sous les noms de techniques de corrélation d'images ou recalage d'images. Ces techniques consistent à mettre en coïncidence le mieux possible les deux images en déterminant pour ce faire une transformation appartenant à une classe choisie.
25 La différence résiduelle (ou « résidus ») entre les images après l'application de cette transformation met en évidence des changements (ou des défauts, suivant le contexte) qui ne sont pas effacés par la transformation.

Entre deux images, des modifications ont souvent lieu sous la forme de mouvements de corps rigides, et aussi sous la forme de grossissement ou de déformations. Ces
30 modifications peuvent constituer la classe de transformation choisie. Il est alors

possible de calculer les résidus pour la transformation optimale au sein de cette classe particulière.

Cette notion peut être formalisée de la manière suivante. On note $f_1(x)$ et $f_2(x)$ les valeurs de niveaux de gris pour tout point x de deux images. On introduit également

- 5 l'ensemble $\mathbf{T}$ des transformations (la classe de transformations), tel que pour toute transformation $T \in \mathbf{T}$, l'image f devient l'image transformée $T[f]$ (T est une fonctionnelle agissant sur l'ensemble de l'image f). Il est utile d'identifier la transformation T^* (transformation optimale) qui réalise le minimum

$$T^* = \operatorname{argmin}_{T \in \mathbf{T}} ||f_1(\mathbf{x}) - T[f_2(\mathbf{x})]||$$

- 10 Le résidu est une nouvelle image g définie comme suit

$$g(\mathbf{x}) = f_1(\mathbf{x}) - T^*[f_2(\mathbf{x})]$$

Par ailleurs, une classe générique de transformations est celle induite par l'ensemble des champs de déplacement continus, $u(x)$, qui est telle

$$T_u[f(\mathbf{x})] = f(\mathbf{x} + u(\mathbf{x}))$$

- 15 La différence topologique $\Delta(f_1, f_2)$ des deux images est le champ de résidu g obtenu lorsque la classe sur laquelle est effectuée l'optimisation est la classe des champs de déplacement continus.

Cependant, il est aussi possible, par exemple, d'altérer la brillance et le contraste d'une image par une transformation affine comme

- 20 $T_g[f(\mathbf{x})] = \alpha f(\mathbf{x}) + \beta$

On peut de plus combiner plusieurs transformations de ce type, contraindre les paramètres ou les champs intervenant à satisfaire à des contraintes spécifiques, ou leur donner plus de liberté. Par exemple les deux paramètres des transformations affines présentés ci-dessus (α et β) peuvent être calculés en fonction des

25 coordonnées du voxel concerné.

- Si quelques programmes informatiques commerciaux de corrélation d'images existent, il n'est pas courant que ceux-ci donnent accès à la transformation brute et complète T^* minimisant la différence entre les images, car les champs de déplacement ne sont souvent pas construits de manière globale, mais plutôt par
- 30 interpolation de déplacements locaux discrets. De plus les corrections de brillance et de contraste sont souvent inaccessibles. Dans la pratique, la transformation T^* n'est donc souvent pas exploitée, alors qu'on utilise la différence topologique par exemple

pour reconnaître un visage, un objet ou une forme spécifique, par exemple pour l'imagerie médicale.

Dans certaines utilisations, comme la reconnaissance automatique, on n'exploite du recalage d'image que l'association à une référence lorsque la norme du résidu est jugée faible. Enfin, le résidu ou la différence topologique, même si l'utilisateur du programme informatique peut être invité à les utiliser à l'écran, sont rarement produits en tant que résultats exportables de logiciels de corrélation d'images.

Définition de l'invention et avantages associés

Pour résoudre les difficultés évoquées ci-dessus, il est ici proposé un procédé de caractérisation d'une pièce comprenant une étape d'obtention d'une image de tomographie aux rayons X de la pièce, puis une étape de corrélation de ladite image avec une référence, **caractérisé en ce que** l'étape de corrélation comprend une recherche dans un ensemble prédéfini – ou classe - de transformations d'images de tomographie aux rayons X, d'une transformation qui minimise la différence entre ladite image et la référence pour caractériser l'intérieur de la pièce.

L'ensemble de transformations peut notamment, mais pas nécessairement, inclure les champs de déplacement continus, chaque champ étant éventuellement discrétisé. De préférence, le procédé utilise une paramétrisation continue dudit ensemble de transformations.

Les avantages de ce procédé ressortent de la discussion suivante. Il apparaît en effet que la paramétrisation de l'espace **T** pertinent est de beaucoup plus faible dimension que l'image elle-même.

Il est en effet, au moins en théorie, possible de superposer exactement deux images de tomographie d'un même objet après un mouvement de corps rigide à 6 degrés de liberté, l'application d'un facteur d'échelle à 1 degré de liberté, et un ajustement linéaire des niveaux de gris, à 2 degrés de liberté. Ainsi, pour corréler ces deux images, 9 inconnues sont à déterminer. Ce nombre 9 est la dimensionnalité de l'espace **T** et est à comparer à la complexité de la détermination d'une image entière, de l'ordre de 1 Gvoxel, soit 10^9 inconnues. Ainsi connaître la transformation T^* permet de faire une économie importante de données. Cela permet aussi d'obtenir directement la différence topologique $\Delta(f_1, f_2)$ et d'y repérer des défauts

incompatibles avec la classe de transformation **T**. Des transformations plus complexes que celles évoquées ci-dessus peuvent aussi être introduites.

Cette exploitation permet de fournir une détermination rapide de l'image 3D d'une pièce, grâce à la caractéristique présentée ci-avant et selon laquelle il est utilisé un

5 ensemble de transformations à appliquer à partir d'un ou plusieurs objets de référence, utilisant un nombre de radiographies plus faible que les méthodes habituelles. Ce gain en rapidité de l'acquisition implique un temps d'immobilisation du tomographe réduit. Cela se fait au prix d'une moindre redondance de l'information, puisque moins de radiographies sont effectuées, ainsi que d'une augmentation des
10 calculs nécessaires, mais ces deux aspects ne sont pas handicapants dans de nombreuses situations.

L'ensemble de transformations comprend par exemple au moins un ensemble des déplacements continus (avec ou sans changement d'échelle), un ensemble d'altérations de brillance et de contraste, ou un ensemble de changements d'échelle
15 (avec ou sans déplacement continu).

Dans un mode de réalisation, la référence comprend l'image d'une pièce étalon. On peut notamment, ainsi ou autrement, déterminer si l'exemplaire particulier de la pièce est tolérable, par exemple à l'aide d'une transformation identifiée à l'issue de la recherche. On précise que dans ce cas le caractère tolérable de la pièce peut être
20 formalisé en exprimant des conditions sur la transformation identifiée T^* .

Dans une variante, la référence comprend une image, qualifiée de virtuelle, de la pièce construite à partir d'un modèle de conception assistée par ordinateur. L'ensemble de transformations peut comprendre au moins les transformations correspondant à des modifications d'au moins un paramètre d'un modèle de la pièce.

25 Le procédé peut aussi, en combinaison ou non avec ces derniers aspects, comprendre une modification de la paramétrisation d'un modèle de conception assistée par ordinateur de la pièce à l'aide d'une transformation identifiée à l'issue de la recherche.

Dans une variante, la référence comprend une représentation explicite des frontières
30 de la pièce et de ses éventuels composants ou éléments. Ledit ensemble de transformations peut alors comprendre au moins une classe de transformations conservant la topologie. Si la pièce comporte plusieurs composants, la transformation

optimale identifiée T^* conduira à une segmentation de l'image conforme à la connaissance *a priori* de l'objet. La segmentation peut aussi être effectuée autrement, mais toujours à l'aide de la transformation identifiée.

Dans une variante, la référence comprend la représentation d'un motif élémentaire, par exemple un motif périodique modulé en phase.

Le procédé peut être mis en œuvre avec comme référence une image de tomographie aux rayons X de la pièce réalisée antérieurement, la pièce ayant, entre les réalisations des deux images, supporté une charge mécanique. La différence topologique permettra alors d'identifier des défauts (au sens défini précédemment comme non résorbables par la classe de transformations choisie) et induits par le chargement. On peut alors déterminer, ainsi ou autrement, si la nature du défaut et en particulier sa taille, sa forme ou sa localisation est tolérable vis-à-vis d'un cahier des charges fonctionnel, de règles métiers ou encore de contraintes normatives.

Le procédé peut notamment être mis en œuvre avec une pièce en matériau composite, ou une aube de turboréacteur pour avion, qui peut être justement en matériau composite à renfort fibreux, par exemple tissé.

Liste des figures

La présentation de l'invention va maintenant être poursuivie en relation avec les figures annexées.

La figure 1 présente un mode de réalisation de l'invention. Les figures 2 et 3 illustrent par des exemples ce mode de réalisation.

La figure 4 présente un deuxième mode de réalisation de l'invention. La figure 5 illustre ce mode de réalisation.

La figure 6 présente un troisième mode de réalisation de l'invention.

Description de modes de réalisation

Dans un mode de réalisation, représenté en **figure 1**, on utilise une image réelle de référence 20, comme celle d'une pièce servant d'étalon ou de jauge. On reconstruit une pièce 10, par exemple une pièce en matériau composite, dans une image brute de tomographie de la pièce 10, constituée à partir d'une quantité (nombre de projections) de données de tomographie 100 qui peut être faible. La reconstruction est faite à l'aide d'un ensemble de transformations 30 jugées réalistes. Le calcul est basé sur une étape de recherche et d'identification de la transformation T^*

(référence 40) dans l'ensemble 30. Cette identification est faite par recherche du minimum (optimisation 200) comme cela a été présenté en introduction. Simultanément, la différence topologique Δ associée (référence 50) est déterminée.

Dans une variante, on repère et identifie ensuite efficacement les différences de la pièce étudiée par rapport à la pièce étalon, à l'aide de la différence topologique Δ (référence 50), au cours d'une étape 300. Par exemple, comme présenté en **figure 2**, la comparaison des tomographies pour une pièce en matériau composite avant et après essais sans charge a permis de mettre en avant de manière très claire la présence de mésosfissures.

On peut aussi réaliser une corrélation entre deux échantillons différents et ainsi s'il s'agit de pièces en matériau composite, mettre en lumière la différence du point de vue du tissage entre les deux échantillons. Cela est représenté en **figure 3**.

On peut ainsi, de manière générale, effectuer des contrôles non destructifs (CND) sur les pièces en matériau composite, par exemple des aubes de turboréacteurs. La technique présentée permet des gains de temps pour le contrôle, les acquisitions et le stockage des données. Ainsi, par exemple, au cours d'une étape 350, on peut décider, sur la simple base de la transformation T^* , si la pièce doit être conservée ou rejetée. Dans un autre mode de réalisation, représenté en **figure 4**, on réalise une mise en correspondance de deux images, l'une réelle et l'autre qualifiée de virtuelle, par exemple une image 20b construite à partir du modèle CAO (conception assistée par ordinateur) de la pièce.

Dans ce cas, la paramétrisation 30b du modèle CAO peut constituer en elle-même une classe spécifique **T** de transformations. Ainsi, une exploitation des données de tomographie profitant de l'image du modèle CAO peut être conduite en écrivant l'image de tomographie directement dans un langage descripteur permettant un dialogue avec l'équipe de conception (CAO) de la pièce.

Le dialogue consiste alors à fournir sous la forme du modèle CAO une bonne prédétermination de la solution pour aider à la construction de l'image de tomographie (étape 200) à partir des données de tomographie. L'image ainsi construite permet en retour, par les paramètres de la transformation T^* identifiée, dans une étape 400, de corriger le modèle CAO pour qu'il soit le plus fidèle possible à la pièce effectivement réalisée.

Le procédé est mis en œuvre jusqu'à convergence ou stationnarité de l'algorithme utilisé, par exemple dans un contexte simple de niveaux de gris ajustés.

Les défauts d'orientation ou d'alignement peuvent en effet conditionner la réponse de la structure composite complète, et un ajustement initial tel que proposé est une bonne manière d'améliorer et valider un modèle CAO prenant en compte de telles imperfections.

On sait générer des modèles 3D discrétisés en voxels élémentaires ou représentés par un modèle paramétrique, ou de conception assistée par ordinateur (CAO), basés sur une connaissance *a priori* du réseau tissé d'un matériau composite à renfort fibreux. Il est donc possible d'effectuer une corrélation entre l'image d'une pièce et celle issue d'un modèle et de modifier les paramètres d'entrée du modèle, c'est-à-dire les directions des torons ainsi que leurs dimensions. A titre d'exemple, la **figure 5** présente une image issue de la tomographie et une image d'un modèle.

Dans une variante, si le cheminement des fils n'est pas inclus dans l'image de référence obtenue par un modèle CAO, on détermine les chemins des torons directement à partir de l'image de tomographie, par exemple en utilisant un algorithme de « *tracking* » (ou suivi), auquel on fournit les résultats de la corrélation avec l'image de référence obtenue par un modèle CAO.

Dans une variante représentée en **figure 6**, on effectue une segmentation des images. La segmentation 500 consiste à identifier des composants spécifiques à l'intérieur d'une image, par exemple des torons ou des fibres, ou des motifs élémentaires (e.g. motif périodique modulé en phase), éventuellement contenus dans une banque de données constituant un dictionnaire. Si l'on dispose de la représentation théorique (topologie recherchée 20c) de l'objet à identifier, on peut faire une corrélation d'images 3D entre cet objet et les données 100 obtenues par tomographie. Les transformations 30c utilisées sont faites à topologie imposée, et permettent de conserver la topologie de l'objet de référence de manière robuste.

On situe ainsi dans l'image, à l'aide de la transformation identifiée T^* , le composant défini dans l'image de référence, et déformé pour se conformer à l'image réelle.

Ainsi, si l'on cherche une courbe fermée, il suffit de partir d'une image de ligne fermée idéale comme un cercle parfait pour le laisser progressivement évoluer vers la ligne telle qu'elle est présente dans l'image du milieu.

Cette approche est plus robuste que des techniques habituelles de seuillage et segmentation qui ne préservent pas automatiquement la topologie correcte de l'objet recherché. Ainsi, avec ces techniques, on obtient des points manquants dans une courbe qui devrait être fermée, ou une courbe épaisse alors qu'elle devrait être fine. La segmentation telle que mise en œuvre selon le procédé décrit, c'est-à-dire de manière automatique en se fondant sur un élément topologique défini préalablement, permet de minimiser des étapes intermédiaires de filtrage des images où la partition entre bruit, biais et mesure n'est pas toujours claire, et donc où l'information est facilement dégradée par un tel filtrage.

REVENDICATIONS

1. Procédé mis en œuvre par ordinateur de caractérisation d'une pièce (10) comprenant une étape d'obtention, par une étape de tomographie aux rayons X de la pièce, d'une image (100) de tomographie aux rayons X de la pièce, puis une étape de corrélation (200) de ladite image avec une référence (20), **caractérisé en ce que** l'étape de corrélation (200) comprend une recherche, dans un ensemble prédéfini (30) de transformations d'images de tomographie aux rayons X, d'une transformation (40) qui minimise la différence (50) entre l'image et la référence pour caractériser (300, 350 ; 400 ; 500) l'intérieur de ladite pièce (10), dans lequel la référence (20) comprend l'image d'une pièce étalon ou une image de la pièce construite à partir d'un modèle de conception assistée par ordinateur.
2. Le procédé selon la revendication 1, utilisant une paramétrisation continue dudit ensemble (30) de transformations.
3. Le procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel ledit ensemble (30) de transformations comprend au moins un ensemble des déplacements continus, un ensemble d'altérations de brillance et de contraste, ou un ensemble de changements d'échelle.
4. Le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel on détermine (350) si la pièce (10) est tolérable à l'aide d'une transformation extraite (40).
5. Le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel ledit ensemble (30) de transformations comprend au moins les transformations correspondant à des modifications d'au moins un paramètre d'un modèle de la pièce.
6. Le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, comprenant une modification (400) de la paramétrisation du modèle de conception assistée par ordinateur de la pièce à l'aide d'une transformation identifiée à l'issue de la recherche.

7. Le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel ledit ensemble (30) de transformations comprend au moins une classe de transformations conservant la topologie de la référence (20).
- 5 8. Le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel la référence (20) comprend une représentation explicite des frontières d'un élément de la pièce.
9. Le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, comprenant une segmentation (500) de l'image à l'aide d'une transformation identifiée à l'issue de la recherche.
- 10 10. Le procédé quelconque selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel la référence (20) comprend une représentation d'un motif élémentaire.
11. Le procédé quelconque selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel la référence (20) comprend une image de tomographie aux rayons X de la pièce réalisée antérieurement, la pièce ayant, entre les réalisations des
- 15 deux images, supporté une charge mécanique.
12. Le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel la pièce (10) est une pièce en matériau composite.
13. Le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans lequel la pièce (10) est une aube de turboréacteur pour aéronef.
- 20 14. Le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, comprenant l'obtention de la différence topologique entre l'image et la référence.

1/3

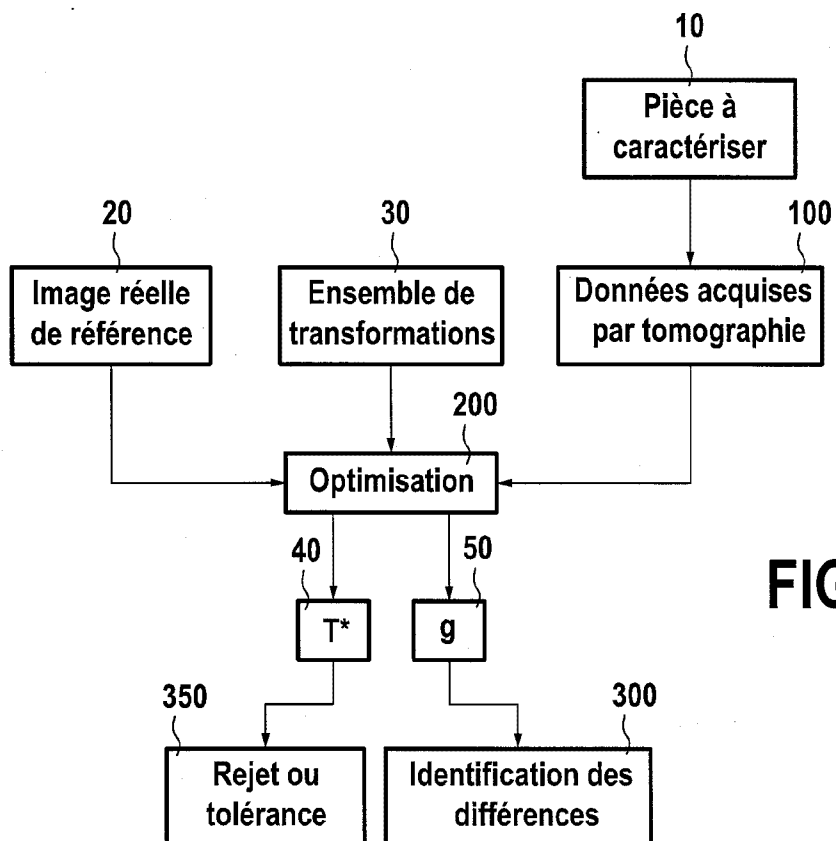


FIG.2

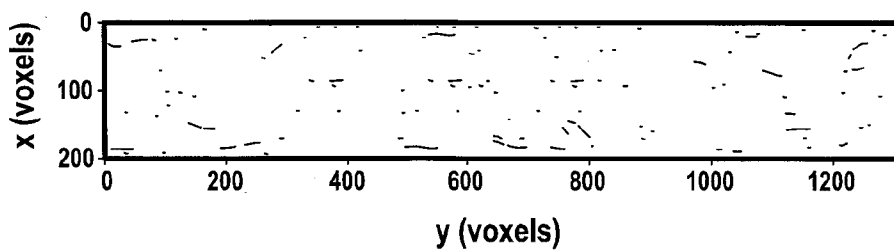


FIG.3

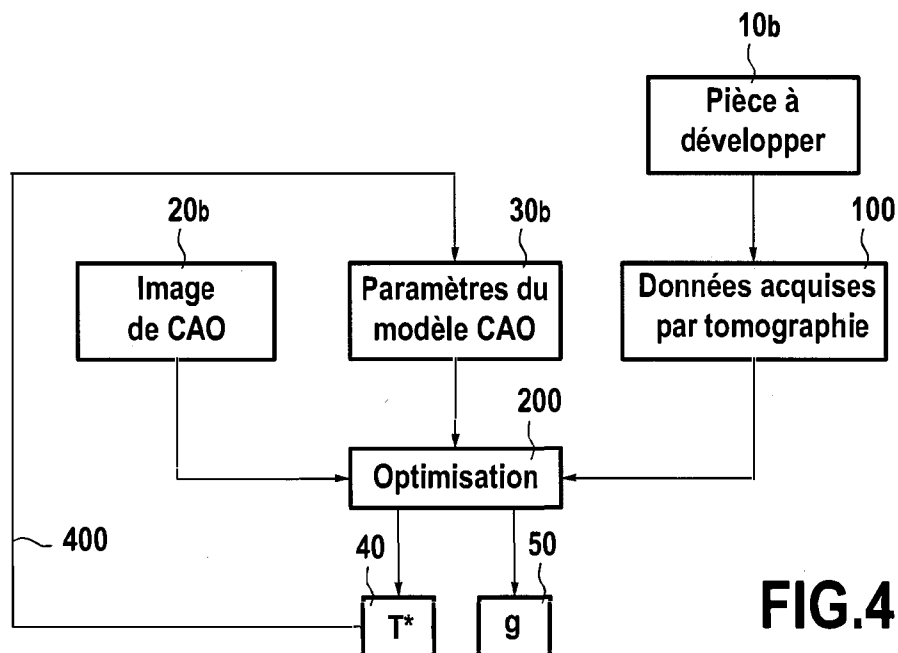
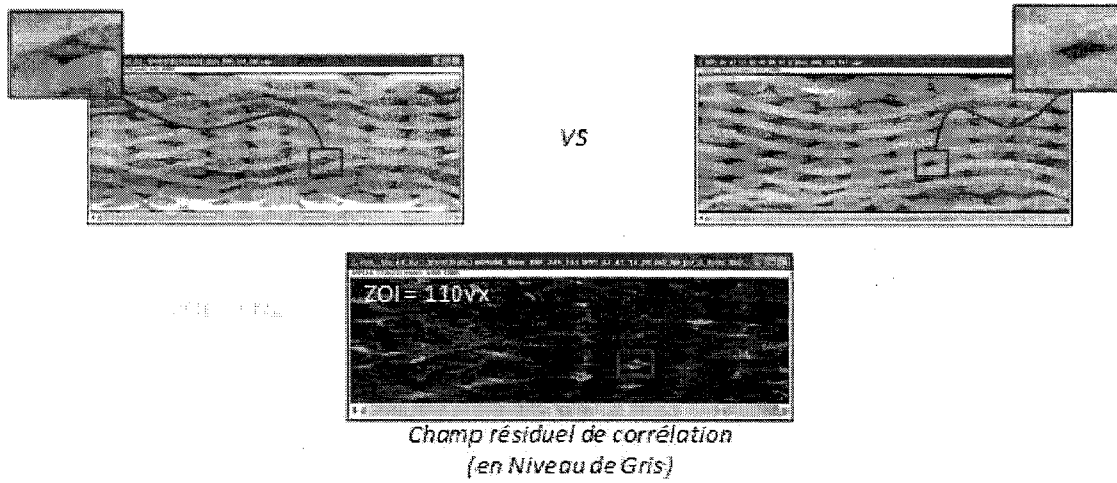


FIG.4

FIG.5

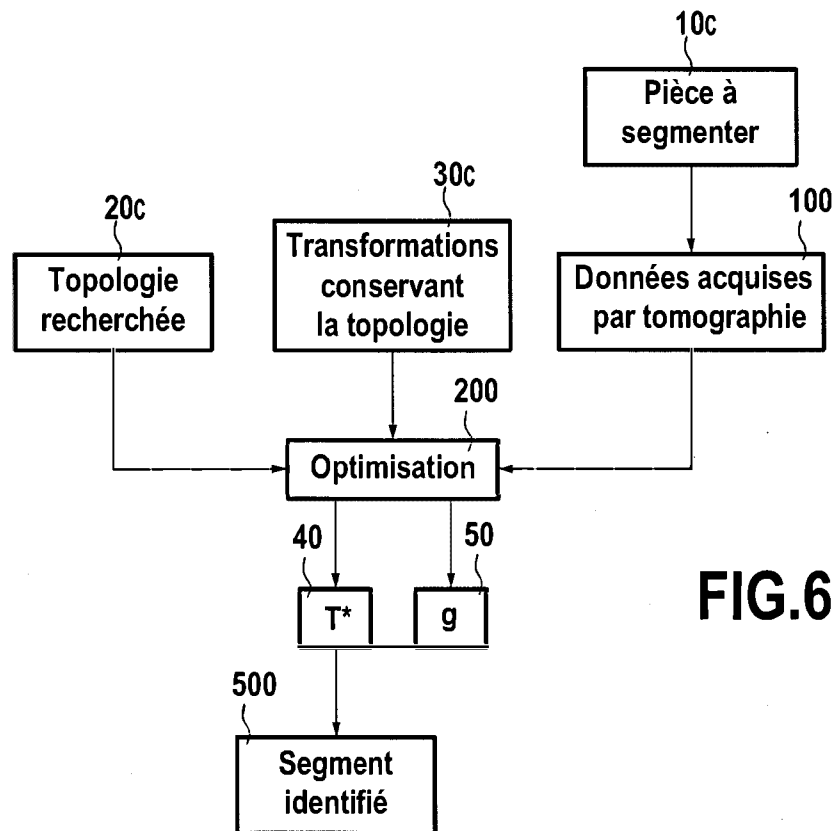
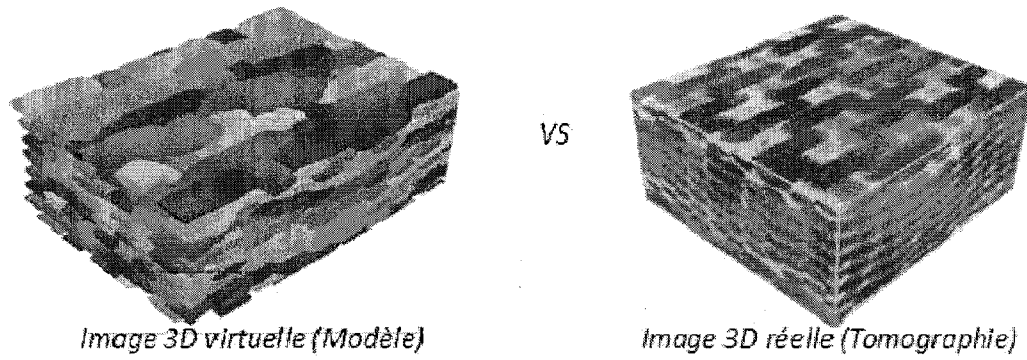


FIG.6

