

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①1 N° de publication : **3 103 880**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②1 N° d'enregistrement national : **19 13656**
⑤1 Int Cl⁸ : **F 22 B 37/00** (2019.12), G 06 T 7/00

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 Procédé de numérotation des tubes d'un alignement de tubes.

②2 Date de dépôt : 03.12.19.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 04.06.21 Bulletin 21/22.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 26.11.21 Bulletin 21/47.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *ENDEL SRA Société anonyme* —FR
et *ALPES INGENIERIE INFORMATIQUE Sté par
Actions Simplifiée* — FR.

⑦2 Inventeur(s) : HIGELIN Olivier, MERCIER Eric,
DOREY Yannick et CONTE Noël.

⑦3 Titulaire(s) : *ENDEL SRA Société anonyme, ALPES
INGENIERIE INFORMATIQUE Sté par Actions
Simplifiée.*

⑦4 Mandataire(s) : Cabinet GERMAIN & MAUREAU.

FR 3 103 880 - B1



Description

Titre de l'invention : Procédé de numérotation des tubes d'un alignement de tubes

- [0001] La présente invention concerne le domaine de l'inspection automatique d'un générateur de vapeur, et en particulier un procédé et un dispositif d'inspection automatique de tubes dans un générateur de vapeur, plus particulièrement dans l'échangeur de chaleur d'un générateur de vapeur.
- [0002] Comme cela est illustré sur la figure 1, l'échangeur de chaleur d'un générateur de vapeur se présente généralement, sous la forme d'un réservoir avec une enceinte 1, globalement cylindrique. L'enceinte 1 présente une paroi 5 cylindrique et un fond 6, appelé aussi plaque support ou tubulaire 6. Une pluralité de tubes 7 sont montés sur le fond 6, et sont maintenus à distance régulière les uns des autres. Les tubes ont une direction d'extension principale commune et transverse au plan formé par le fond 6. Les tubes sont alignés, parallèlement les uns aux autres, selon deux directions d'alignement transversales à ladite direction d'extension principale des tubes, de sorte que dans le plan formé par le fond 6, les pieds de chaque tube sont alignés selon les lignes et les colonnes d'une matrice 8. La surface du fond 6, entre les tubes, doit être régulièrement inspectée, de manière à repérer et positionner d'éventuelles anomalies, telles que des dépôts ou autres objets. Un positionnement précis des objets repérés est nécessaire pour programmer une intervention destinée à corriger le défaut éventuellement constaté. Les méthodes d'inspection connues dans l'état de la technique ne permettent pas de repérer et de positionner simplement et précisément des objets présents sur le fond 6 du générateur de vapeur, entre les pieds des tubes 7.
- [0003] L'invention a donc pour but de proposer une solution à tout ou partie de ces problèmes.
- [0004] A cet effet, la présente invention concerne un procédé de numérotation des tubes à l'intérieur d'un échangeur de chaleur d'un générateur de vapeur, ledit échangeur de chaleur comprenant une plaque support et une pluralité de tubes, chaque tube de la pluralité de tubes étant monté sur la plaque support transversalement à un plan formé par la plaque support, la pluralité de tubes formant au moins un alignement, le procédé comprenant les étapes suivantes :
- acquisition, par un dispositif mobile d'acquisition d'images, d'une suite d'images, une image d'une portion de chaque tube de l'au moins un alignement de tubes étant comprise dans au moins une image de la suite d'images, l'acquisition de la suite d'images étant réalisée au cours d'un déplacement du dispositif mobile le long de l'au moins un alignement de tubes ;

- traitement de la suite d'images acquises, par un moyen de traitement, pour reconnaître, et suivre chaque tube en l'identifiant dans la suite d'images acquises; - détermination d'une direction de déplacement du dispositif mobile;
- comptage ou décomptage, par le moyen de traitement, des tubes suivis et identifiés dans la suite d'images, en fonction de la direction de déplacement pour la détermination d'un numéro associé à chaque tube détecté de l'au moins un alignement de tubes.

- [0005] Selon ces dispositions, un numéro est associé à chaque tube d'un alignement, de manière automatisée, simple et précise, en déchargeant l'opérateur du comptage visuel, et fastidieux, des tubes croisés successivement au cours du déplacement du dispositif mobile.
- [0006] Selon ces dispositions, le numéro déterminé permet d'identifier chaque tube détecté sur la suite d'images, par son rang dans l'alignement, et de le positionner dans le plan de la plaque support par référence à une cartographie de la position dans ce plan des tubes de l'alignement de tubes, les tubes cartographiés étant repérés par leur rang dans l'alignement.
- [0007] Selon un mode de mise en œuvre, l'invention comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, seules ou en combinaison techniquement acceptable.
- [0008] Selon un mode de mise en œuvre, l'acquisition de la suite d'images est réalisée au cours d'un déplacement du dispositif mobile le long de l'au moins un alignement de tubes en commençant par un premier tube de l'au moins un alignement.
- [0009] Selon un mode de mise en œuvre, les numéros associés à chaque tube de l'au moins un alignement formant une suite croissante d'entiers compris entre 1 pour le premier tube de l'au moins un alignement et un nombre égal au nombre de tubes de l'au moins un alignement pour un dernier tube de l'au moins un alignement.
- [0010] Selon un mode de mise en œuvre, l'étape de traitement de la suite des images comprend les étapes suivantes :
- sélection d'une image précédente et sélection d'une image suivante acquise à la suite de ladite image précédente au cours de l'étape d'acquisition de la suite d'images, une image d'une portion d'un tube de l'au moins un alignement de tubes étant comprise dans l'image précédente de la suite d'images, et une image d'une portion d'un nouveau tube de l'au moins un alignement de tubes étant comprise dans l'image suivante de la suite d'images;
 - reconnaissance de la portion du tube dans l'image précédente sélectionnée et de la portion du nouveau tube dans l'image suivante de la suite d'images ;
 - suivi du tube, comprenant l'identification du nouveau tube de l'image suivante avec le tube de l'image précédente.
- [0011] Selon un mode de mise en œuvre, lorsque le nouveau tube est identifié audit tube de

l'image précédente, l'étape de suivi comprend l'affectation au nouveau tube d'un identifiant identique à un identifiant du tube de l'image précédente.

[0012] Selon un mode de mise en œuvre:

- la pluralité de tubes forme au moins un premier alignement et un deuxième alignement de tubes, les deux alignements étant parallèles entre eux, et

- au cours de l'étape d'acquisition le dispositif mobile se déplace entre le premier alignement et le deuxième alignement, et

- l'étape de reconnaissance de l'étape de traitement comprend la reconnaissance d'au moins deux portions de tubes dans l'image précédente et d'au moins deux portions de nouveaux tubes dans l'image suivante, et

- l'étape de traitement comprend une étape de séparation de l'au moins deux portions de tubes en une portion d'un premier tube du premier alignement et en une portion d'un deuxième tube du deuxième alignement, et de l'au moins deux portions de nouveaux tubes en une portion d'un premier nouveau tube du premier alignement et une portion d'un deuxième nouveau tube du deuxième alignement.

[0013] Selon un mode de mise en œuvre, l'étape de comptage ou décomptage comprend une étape de comptage ou décomptage des tubes du premier alignement, et une étape de comptage ou décomptage des tubes du deuxième alignement, et une étape de corrélation des numéros attribués aux tubes par les étapes de comptage ou décomptage, l'étape de corrélation comprenant les étapes suivantes:

- pour chaque image de la suite d'images, calcul d'un écart entre un premier numéro attribué au tube du premier alignement reconnu dans ladite image et un deuxième numéro attribué à un autre tube du deuxième alignement reconnu dans la dite image;

- si, pour au moins deux images de la suite d'images, l'écart n'est pas nul, alors pour chaque image de la suite d'images, attribuer au tube du premier alignement le numéro de l'autre tube du deuxième alignement, ou attribuer à l'autre tube du deuxième alignement le numéro du tube du premier alignement, en fonction d'une mesure statistique d'un niveau de confiance de la numérotation du premier alignement et de la numérotation du deuxième alignement.

[0014] Selon un mode de mise en œuvre, la mesure statistique du niveau de confiance de la numérotation d'un alignement est déterminée par un écart type calculé sur une pluralité de distances.

[0015] Selon un mode de mise en œuvre, chaque distance de la pluralité de distance est une distance mesurée pour un tube parmi une pluralité de tubes identifiés dans l'alignement de tubes, chaque distance mesurée pour un tube étant la distance parcourue par le dispositif mobile d'acquisition entre un premier instant d'acquisition d'une première image dans laquelle ledit tube est identifié une première fois et un deuxième instant d'acquisition d'une deuxième image dans laquelle ledit tube identifié n'est plus

présent.

- [0016] Selon un mode de mise en œuvre, chaque distance est mesurée en utilisant un algorithme de traitement d'images pour la détection de flux optique, de préférence un algorithme pyramidal de type Lucas-Kanade.
- [0017] Selon un mode de mise en œuvre, l'étape de reconnaissance de la portion du tube dans l'image précédente sélectionnée et de la portion du nouveau tube dans l'image suivante de la suite, comprend la définition d'un contour fermé entourant ladite portion du tube dans ladite image précédente et d'un nouveau contour fermé entourant ladite portion du nouveau tube dans ladite image suivante.
- [0018] Selon un mode de mise en œuvre, la définition du contour fermé est réalisée par un réseau de neurones entraîné.
- [0019] Selon un mode de mise en œuvre, le contour fermé est un rectangle.
- [0020] Selon un mode de mise en œuvre, l'étape de suivi comprend une étape de calcul et de classement d'un score de comparaison du nouveau contour fermé défini, au cours de l'étape de reconnaissance, autour de la portion du nouveau tube dans l'image suivante, avec le contour fermé défini, au cours de l'étape de reconnaissance, autour de la portion du tube dans l'image précédente, le nouveau tube de l'image suivante étant identifié au tube de l'image précédente lorsque le score de comparaison est supérieur à un seuil prédéterminé.
- [0021] Selon un mode de mise en œuvre, le score de comparaison est un score de recouvrement du nouveau contour et du contour lorsque les deux contours sont superposés après un recalage de l'image suivante et de l'image précédente.
- [0022] Selon un mode de mise en œuvre, une image d'une portion d'au moins deux tubes de l'au moins un alignement de tubes, sont comprises dans l'image précédente sélectionnée dans la suite d'images à l'étape de sélection, et une image d'une portion d'au moins deux nouveaux tubes de l'au moins un alignement de tubes, sont comprises dans l'image suivante de la suite d'images, et dans lequel l'étape de reconnaissance comprend la définition d'un contour fermé entourant ladite portion de chaque tube de l'au moins deux tubes dans ladite image précédente et d'un nouveau contour fermé entourant ladite portion de chaque nouveau tube de l'au moins deux nouveaux tubes dans ladite image suivante,
- et dans lequel l'étape de suivi comprend les étapes suivantes :
- établissement d'une liste précédente des contours fermés définis au cours de l'étape de reconnaissance dans l'image précédente, et d'une nouvelle liste des nouveaux contours fermés définis au cours de l'étape de reconnaissance dans l'image suivante ;
 - pour chaque contour fermé de la liste précédente :
 - création d'une liste de couples de contours, chaque couple de contours comprenant ledit contour fermé et un nouveau contour fermé de la nouvelle liste ;

- classer les couples de la liste de couples selon l'ordre du score de comparaison calculé pour chaque couple;
- parcourir la liste de couples selon l'ordre des scores calculés, et pour chaque couple de la liste de couples :
- si le score calculé pour ledit couple est supérieur à un seuil prédéterminé et si un identifiant du contour fermé du couple n'a pas encore été affecté à un autre nouveau contour fermé d'un autre couple de la liste des couples, affecter au nouveau contour fermé dudit couple l'identifiant dudit contour fermé dudit couple ;
- si le score calculé pour ledit couple est supérieur au seuil prédéterminé et si l'identifiant du contour fermé du couple a été affecté à un autre nouveau contour fermé d'un autre couple de la liste des couples, appliquer l'étape précédente au couple suivant dudit couple dans la liste de couples, et placer ledit couple dans une liste résiduelle, de sorte que la liste résiduelle comprend les couples dont le nouveau contour fermé n'a pas été identifié au cours des étapes précédentes;
- si la liste résiduelle n'est pas vide, pour chaque couple de la liste résiduelle affecter un nouvel identifiant au nouveau contour fermé dudit couple de la liste résiduelle.

[0023] Selon un mode de mise en œuvre, la détermination d'une direction de déplacement comprend les étapes suivantes :

- détermination d'au moins deux zones dans l'image précédente autour d'un point central de l'image précédente et d'au moins deux zones correspondantes dans l'image suivante autour d'un point central de l'image suivante ;
- détection d'une première pluralité de points d'accroches dans l'au moins deux zones de l'image précédente et d'une deuxième pluralité de points d'accroches dans l'au moins deux zones correspondantes dans l'image suivante ;
- mise en correspondance des points de la première pluralité avec les points de la deuxième pluralité, de sorte à créer une liste de couple de points d'accroche correspondants;
- pour chaque couple de points d'accroche correspondants, calcul d'un premier vecteur de déplacement entre les points correspondants, ledit vecteur de déplacement étant défini par une composante selon chaque axe d'un repère tridimensionnel ;
- pour chaque zone de l'au moins deux zones dans l'image précédente, calcul d'un deuxième vecteur de déplacement de ladite zone, en fonction des vecteurs de déplacement calculés pour les couples de points correspondants dont un points d'accroche appartient à ladite zone;
- combinaison des composantes des vecteurs de déplacement calculés pour chaque zone de l'au moins deux zones, pour obtenir un vecteur de déplacement du dispositif mobile entre l'image précédente et l'image suivante, et pour déterminer si le dispositif mobile avance ou recule entre l'image précédente et l'image suivante.

- [0024] Selon un mode de mise en œuvre, la détermination d'une direction de déplacement est réalisée sur la base d'un algorithme pyramidal de détection des flux optiques du type Lucas-Kanade.
- [0025] Selon un mode de mise en œuvre, l'étape de comptage ou décomptage, en fonction de la direction de déplacement, des tubes suivis et identifiés dans la suite d'images au cours de l'étape de traitement, comprend les étapes suivantes :
- pour chaque image de la suite d'images, création d'une liste des tubes identifiés dans ladite image, chaque tube de la liste étant associé au contour fermé défini pour ledit tube et ladite image dans l'étape de reconnaissance;
 - pour chaque contour fermé associé à chaque tube de la liste créée, calcul d'un coefficient, et classement des tubes de la liste dans un ordre des coefficients calculés précédemment ;
 - sélection du tube dans l'image, sur la base du classement, par exemple en sélectionnant le tube pour lequel le coefficient calculé est le plus important ;
 - si un numéro a été attribué audit tube, passer à l'image suivante et appliquer les étapes précédentes de l'étape de comptage ou décomptage à l'image suivante de la suite d'images ;
 - si le tube n'a pas été numéroté, attribuer audit tube un numéro fonction d'un dernier numéro, attribué dans une image précédente de ladite image dans la suite d'images, et du résultat de l'étape de détermination de la direction de déplacement.
- [0026] Selon un mode de mise en œuvre, si l'étape de détermination de la direction de déplacement du dispositif mobile détermine que le dispositif mobile avance entre une image précédente et ladite image, alors le numéro fonction du dernier numéro est égal au dernier numéro incrémenté d'une unité.
- [0027] Selon un mode de mise en œuvre, si l'étape de détermination de la direction de déplacement du dispositif mobile détermine que le dispositif mobile recule entre une image précédente et ladite image, alors le numéro fonction du dernier numéro est égal au dernier numéro diminué d'une unité.
- [0028] Selon un mode de mise en œuvre, le coefficient calculé est un rapport entre une surface commune et une surface totale, ladite surface commune étant une surface délimitée dans ladite image par une intersection d'une première surface délimitée par un contour fermé entourant une portion dudit tube tel que défini dans ladite image au cours de l'étape de reconnaissance et d'une deuxième surface délimitée par un contour fermé entourant une portion dudit tube, tel que défini au cours de l'étape de reconnaissance dans une image précédente de ladite image dans la suite d'images, ladite surface totale étant égale à la somme de ladite première surface et de ladite deuxième surface, diminuée de ladite surface commune.
- [0029] Selon un mode de mise en œuvre, pour le calcul dudit coefficient, ladite image

précédente et ladite image sont superposées.

- [0030] Selon un mode de mise en œuvre, ledit dernier numéro est le numéro attribué à un autre tube dans une image précédente de ladite image dans la suite d'images, ledit autre tube ayant été identifié audit tube au cours de l'étape de traitement.
- [0031] Selon un mode de mise en œuvre, une cartographie de l'au moins un alignement de tubes est mise à disposition, ladite cartographie associant à chaque tube de l'au moins un alignement un numéro de référence dudit tube, et dans lequel si le tube sélectionné dans l'image n'a pas été numéroté, alors le numéro attribué audit tube sélectionné est un numéro fonction du dernier numéro, attribué à un dernier tube identifié dans une image précédente de ladite image dans la suite d'images, et du résultat de l'étape de détermination de la direction de déplacement, et d'un numéro de référence associé dans la cartographie audit dernier tube ou à un tube suivant ledit dernier tube dans l'alignement.
- [0032] Selon un mode de mise en œuvre :
- [0033] - si la liste créée à l'étape de création des tubes identifiés dans ladite image est une liste vide, et si le dernier numéro attribué au dernier tube identifié dans une image précédente de ladite image dans la suite d'images est égal à un numéro de référence associé à un dernier tube de l'alignement dans la cartographie de l'alignement, alors passer à une image suivante de ladite image dans la suite d'images jusqu'à ce que la liste créée pour ladite image suivante, à l'étape de création des tubes identifiés dans ladite image, ne soit pas vide, et attribuer au tube sélectionné dans ladite image suivante, un numéro égal audit dernier numéro attribué audit dernier tube identifié.
- [0034] - si la liste créée à l'étape de création des tubes identifiés dans ladite image est une liste vide, et si le dernier numéro attribué au dernier tube identifié dans une image précédente de ladite image dans la suite d'images n'est pas égal au numéro de référence associé au dernier tube de l'alignement dans la cartographie de l'alignement, alors passer à une image suivante de ladite image dans la suite d'images jusqu'à ce que la liste créée pour ladite image suivante, à l'étape de création des tubes identifiés dans ladite image, ne soit pas vide, et attribuer au tube sélectionné dans ladite image suivante, un numéro égal au numéro de référence associé dans la cartographie de l'alignement au tube de l'alignement suivant ledit dernier tube identifié.
- [0035] L'invention concerne également un programme d'ordinateur comprenant une séquence d'instructions exécutables par un ordinateur, configurée pour mettre en œuvre les étapes du procédé selon l'un des mode de mise en œuvre décrit ci-avant, lorsque ladite séquence d'instructions est exécutée sur un ordinateur.
- [0036] L'invention concerne également un support configuré pour être lu par un ordinateur et comprenant un programme d'ordinateur selon l'aspect décrit ci-avant de l'invention.
- [0037] Pour sa bonne compréhension, un mode de réalisation et/ou de mise en oeuvre de

l'invention est décrit en référence aux dessins ci-annexés représentant, à titre d'exemple non limitatif, une forme de réalisation ou de mise en œuvre respectivement d'un dispositif et/ou d'un procédé selon l'invention. Les mêmes références sur les dessins désignent des éléments similaires ou des éléments dont les fonctions sont similaires.

- [0038] [fig.1] est une vue générale en perspective d'une partie basse d'un échangeur de chaleur.
- [0039] [fig.2] est un diagramme schématique des étapes du procédé selon l'invention.
- [0040] [fig.3] est une illustration de l'étape de reconnaissance des tubes selon l'invention.
- [0041] [fig.4] est un diagramme schématique des étapes de l'étape de suivi des tubes selon un mode de mise en œuvre de l'invention.
- [0042] [fig.5] est une illustration de l'utilisation d'un score de recouvrement selon un mode de mise en œuvre de l'invention.
- [0043] [fig.6] est un diagramme schématique des étapes du traitement de la suite d'images selon un mode de mise en œuvre de l'invention.
- [0044] [fig.7] est un diagramme schématique des étapes du comptage ou décomptage des tubes selon un mode de mise en œuvre de l'invention.
- [0045] Un mode de réalisation du procédé selon l'invention sera décrit en référence à un échangeur de chaleur 1 tel que représenté sur la figure 1 et tel qu'il a été décrit dans le préambule ci-avant. Le procédé a pour objet de repérer et de positionner de manière automatique, simple et précise, un défaut ou un objet présent, au pied des tubes 7 sur la plaque support 6. A cet effet, les tubes d'un alignement de tubes seront successivement inspectés, et un procédé de comptage des tubes sera mis en œuvre au cours de l'inspection pour permettre de déterminer le rang du tube au pied duquel l'objet ou le défaut sera éventuellement trouvé au cours de l'inspection. Ensuite, en ayant recours à une cartographie connue de la position des tubes de l'alignement considéré, il est facile de déterminer la position de l'objet ou du défaut qui se trouve au pied d'un tube de rang déterminé dans cet alignement.
- [0046] Un moyen mobile d'acquisition d'images est déplacé entre deux alignements de tube ou le long d'un alignement de tubes montés sur ladite plaque support 6 ; ledit moyen d'acquisition d'images est configuré pour, au cours de son déplacement, acquérir une suite d'images des tubes de chaque alignement de tubes. Un moyen de traitement des images est configuré pour détecter et compter les tubes apparaissant successivement sur les images de la suite d'images, et ainsi déterminer un rang de chaque tube dans l'alignement considéré.
- [0047] Lorsque l'alignement de tube comprend une suite de tubes espacés le long d'une ligne et que l'espacement entre deux tubes successifs de l'alignement est variable, alors le rang d'un tube ne permet pas, à lui seul, de déterminer la position du tube et il

devient alors nécessaire de recourir à une cartographie connue des positions des tubes, repérés par leur rang dans l'alignement cartographié.

- [0048] Comme indiqué dans le préambule, la figure 1 représente, au moins partiellement, l'intérieur d'un générateur de vapeur, de centrale nucléaire par exemple, dans lequel est placé un exemple de dispositif mobile d'acquisition d'images, tel que décrit dans la demande de brevet FR2961003. Ce dispositif comprend par exemple notamment un capteur optique porté à une extrémité d'une lance 3 déployée par un chariot 2 configuré pour être mobile autour de la paroi 5 de l'enceinte 1 et pour guider la lance 3 entre deux alignements parallèles de la matrice 8. La lance 3 comprend en outre des éléments de transmission des données vidéo acquises au fur et à mesure de son déploiement le long d'un ou deux alignement(s) de tubes 7.
- [0049] L'homme du métier comprendra que cet exemple de dispositif mobile d'acquisition d'images n'est pas limitatif.
- [0050] La figure 2 présente un organigramme schématique du procédé selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0051] Selon un mode de réalisation, le procédé 100 peut être mis en œuvre en temps réel au fur et à mesure de l'acquisition des images par le dispositif mobile, par un moyen de traitement porté par le dispositif mobile d'acquisition et de traitement des images acquises, ou par un moyen de traitement déporté. Selon un autre mode de réalisation, le procédé peut être mis en œuvre en temps différé, par un moyen de traitement porté par le dispositif mobile d'acquisition et de traitement des images acquises, ou par un moyen de traitement déporté.
- [0052] Le procédé 100 comprend les étapes suivantes :
- une étape d'acquisition 101, par le dispositif mobile d'acquisition d'images, d'une suite d'images, les images étant acquises pendant le déplacement du dispositif mobile le long d'un ou deux alignements de tubes 7, de telle sorte qu'une image d'une portion de chaque tube 7 de l'au moins un alignement de tubes est comprise dans au moins une image de la suite d'images ; l'acquisition 101 de la suite d'images commence par un premier tube de l'au moins un alignement;
 - une étape de traitement 102 de la suite d'images acquises, par le moyen de traitement, pour reconnaître et suivre chaque tube en l'identifiant dans la suite d'images acquises;
 - une étape de détermination 103 d'une direction de déplacement du dispositif mobile;
 - une étape de comptage ou décomptage 104, par le moyen de traitement, des tubes suivis et identifiés dans la suite d'images, en fonction de la direction de déplacement ; au cours de cette étape de comptage ou décomptage 104, un numéro est associé à chaque tube détecté dans chaque image de la suite d'images, les numéros associés à

chaque tube de l'au moins alignement formant une suite croissante d'entiers compris entre 1 pour le premier tube et un nombre égal au nombre de tubes de l'au moins un alignement pour un dernier tube de l'au moins un alignement.

[0053] Selon ces dispositions, un numéro est associé à chaque tube d'un alignement, de manière automatisée, simple et précise, en déchargeant l'opérateur du comptage visuel, et fastidieux, des tubes croisés successivement au cours du déplacement du dispositif mobile.

[0054] Le numéro ainsi déterminé permet d'identifier chaque tube détecté sur la suite d'images, par son rang le long de l'alignement considéré. Ainsi, si on dispose par ailleurs d'une cartographie de la position des tubes, ou des pieds de tube, dans le plan de la plaque support, et si chaque tube ou pied de tube est repéré dans ladite cartographie, par son rang le long de l'alignement considéré, il devient alors aisé de déterminer la position sur la plaque support, d'un tube ou d'un pied de tube observé sur les images de la suite d'images, en fonction de son rang dans l'alignement considéré et de la cartographie des positions des tubes de l'alignement considéré.

[0055] L'étape de traitement 102 de la suite des images va maintenant être décrite plus en détail, selon un exemple de réalisation illustré par le chronogramme schématique de la figure 6; l'étape de traitement 102 peut ainsi comprendre les étapes suivantes :

- une étape de sélection 1021 d'une image précédente 10, représentée à gauche sur la figure 3, et une étape de sélection 1021bis d'une image suivante (non représentée) acquise à la suite de ladite image précédente 10, au cours de l'étape d'acquisition 101 de la suite d'images; sur ladite image précédente 10, au moins une image 11, 12, 13, 14, 15 d'une portion d'un tube est présente, chacune desdites portions de tube appartenant à un tube qui lui-même appartient à un premier alignement de tubes ou à un deuxième alignement de tubes observés par le dispositif d'acquisition d'images au cours de son déplacement le long d'un ou en entre deux alignements de tubes ; de même, dans l'image suivante, non représentée sur la figure, acquise à la suite de l'image précédente dans la suite des images acquises, au moins une image d'une portion d'un nouveau tube de l'au moins un alignement de tubes est présente;

- vient ensuite, une étape de reconnaissance 1022 respectivement de la portion du tube dans l'image précédente sélectionnée et de la portion du nouveau tube dans l'image suivante de la suite d'images; ladite étape de reconnaissance, selon un exemple de mise en œuvre, comprend la définition d'un contour fermé 11', 12', 13', 14', 15' autour de chaque portion de tube 11, 12, 13, 14, 15 dans l'image considérée. Avantagusement le contour fermé 11', 12', 13', 14', 15' peut être un rectangle englobant chaque portion de tube 11, 12, 13, 14, 15 dans l'image considérée. Avantagusement encore, la définition du contour fermé 11', 12', 13', 14', 15' est réalisée par un réseau de neurone entraîné pour reconnaître dans chaque image de la suite d'images une

portion de tube 11, 12, 13, 14, 15 et pour déterminer un contour fermé 11', 12', 13', 14', 15', rectangulaire par exemple, englobant ladite portion de tube dans l'image considérée

- vient ensuite une étape de suivi 1023 du tube, comprenant l'identification du nouveau tube de l'image suivante avec le tube de l'image précédente, et, si le nouveau tube est identifié audit tube de l'image précédente, l'affectation au nouveau tube d'un identifiant identique à un identifiant du tube de l'image précédente. Selon un exemple de mise en œuvre, l'étape de suivi comprend une étape de calcul et de classement d'un score de comparaison 10233 du nouveau contour fermé défini, au cours de l'étape de reconnaissance 1022, autour de la portion du nouveau tube dans l'image suivante, avec le contour fermé 11', 12', 13', 14', 15' défini, au cours de l'étape de reconnaissance 1022, autour de la portion du tube 11, 12, 13, 14, 15 dans l'image précédente, le nouveau tube de l'image suivante étant identifié au tube de l'image précédente lorsque le score de comparaison est supérieur à un seuil prédéterminé.

[0056] Un exemple de mise en œuvre de l'étape de suivi 1023 va maintenant être décrit plus en détail, en référence à la figure 4. Selon cet exemple de mise en œuvre, l'étape de suivi 1023 comprend les étapes suivantes :

- établissement 10231 d'une liste précédente des contours fermés définis au cours de l'étape de reconnaissance 1022 dans l'image précédente, et d'une nouvelle liste des nouveaux contours fermés définis au cours de l'étape de reconnaissance 1022 dans l'image suivante ;

- pour chaque contour fermé de la liste précédente :

- création 10232 d'une liste de couples de contours, chaque couple de contours comprenant ledit contour fermé et un nouveau contour fermé de la nouvelle liste ;

- classer 10233 les couples de la liste de couples selon l'ordre du score de comparaison calculé pour chaque couple;

- parcourir 10234 la liste de couples selon l'ordre des scores calculés, et pour chaque couple de la liste de couples :

- si 10235 le score calculé pour ledit couple est supérieur à un seuil prédéterminé et si 10236 un identifiant du contour fermé du couple n'a pas encore été affecté à un autre nouveau contour fermé d'un autre couple de la liste des couples, affecter 10237 au nouveau contour fermé dudit couple l'identifiant dudit contour fermé dudit couple ;

- si 10235 le score calculé pour ledit couple est supérieur au seuil prédéterminé et si 10236 l'identifiant du contour fermé du couple a été affecté à un autre nouveau contour fermé d'un autre couple de la liste des couples, appliquer l'étape précédente 10235 au couple suivant dudit couple dans la liste de couples, et placer ledit couple dans une liste résiduelle, de sorte que la liste résiduelle comprend les couples dont le nouveau

contour fermé n'a pas été identifié au cours des étapes précédentes;

- si 10238 la liste résiduelle n'est pas vide, pour chaque couple de la liste résiduelle affecter un nouvel identifiant 10239 au nouveau contour fermé dudit couple de la liste résiduelle.

[0057] Selon un mode de mise en œuvre, le score de comparaison est un score de recouvrement du nouveau contour et du contour lorsque les images précédente et suivante sont superposée l'une sur l'autre et que les deux contours fermés présent dans chaque image se superposent partiellement, comme cela est illustré sur la figure 5; sur la figure 5 sont représentées différentes situations dans lesquelles les taux de recouvrement sont décroissants de la gauche vers la droite de la figure ; ainsi selon un exemple de mise en œuvre, si le taux de recouvrement du nouveau contour et du contour est supérieur à un seuil, alors le nouveau tube correspondant audit nouveau contour et le tube correspondant audit contour sont identifié.

[0058] L'étape de traitement 102 de la suite d'images, pour reconnaître, et suivre chaque tube en l'identifiant dans la suite d'images acquises, est suivi d'une étape de détermination d'une direction de déplacement 103 ; selon un exemple de mise en œuvre, on pourra utiliser pour la détermination de la direction de déplacement un algorithme connu de traitement des images, basé par exemple sur une détection de flux optique, basé par exemple sur un algorithme pyramidal de type Lucas-Kanade ; cette étape peut comprendre les étapes suivantes :

- détermination d'au moins deux zones dans l'image précédente autour d'un point central de l'image précédente et d'au moins deux zones correspondantes dans l'image suivante autour d'un point central de l'image suivante ;

- détection d'une première pluralité de points d'accroches dans l'au moins deux zones de l'image précédente et d'une deuxième pluralité de points d'accroches dans l'au moins deux zones correspondantes dans l'image suivante ;

- mise en correspondance des points de la première pluralité avec les points de la deuxième pluralité, de sorte à créer une liste de couple de points d'accroche correspondants;

- pour chaque couple de points d'accroche correspondants, calcul d'un premier vecteur de déplacement entre les points correspondants, ledit vecteur de déplacement étant défini par une composante selon chaque axe d'un repère tridimensionnel ; ledit repère comprend deux axes dans le plan de l'image précédente et un troisième axe perpendiculaire au plan de l'image, qui passe par un point de fuite au centre de l'image.

- pour chaque zone de l'au moins deux zones dans l'image précédente, calcul d'un deuxième vecteur de déplacement de ladite zone, en fonction des vecteurs de déplacement calculés pour les couples de points correspondants dont un point d'accroche appartient à ladite zone;

- combinaison, par exemple en calculant une moyenne, des composantes des vecteurs de déplacement calculés pour chaque zone de l'au moins deux zones.

[0059] Ainsi l'étape de détermination d'une direction de déplacement 103 permet de déterminer un vecteur de déplacement du dispositif mobile entre l'image précédente et l'image suivante, et de déterminer si le dispositif mobile avance ou recule entre l'image précédente et l'image suivante.

[0060] La détermination de la direction de déplacement 103 permet d'engager l'étape suivante de comptage ou de décomptage 104 des tubes suivis et identifiés dans la suite d'images, en fonction de la direction de déplacement déterminée. Ladite étape de comptage ou de décomptage 104 sera maintenant décrite en référence à la figure 7; elle comprend, selon un exemple de mise en œuvre, les étapes suivantes :

- pour chaque image de la suite d'images, création 1041 d'une liste des tubes identifiés dans ladite image, chaque tube de la liste étant associé au contour fermé défini pour ledit tube et ladite image dans l'étape de reconnaissance 103;
- pour chaque contour fermé associé à chaque tube de la liste des tubes créée, calcul d'un coefficient, et classement 1042 des tubes de la liste dans un ordre des coefficients calculés précédemment ;
- sélection 1043 du tube dans l'image, sur la base du classement, par exemple en sélectionnant le tube pour lequel le coefficient calculé est le plus important ;
- si 1044 un numéro a été attribué audit tube; passer à l'image suivante de la suite d'images et appliquer les étapes précédentes, décrites ci-avant, de l'étape de comptage ou de décomptage 104 ;
- si 1044 le tube n'a pas été numéroté :
- si 1045 l'étape de détermination 103 d'une direction de déplacement du dispositif mobile a déterminé que le dispositif mobile avance entre une image précédente et ladite image, alors attribuer 1046 audit tube un numéro égal à un dernier numéro incrémenté d'une unité, et
- si 1045 l'étape de détermination 103 d'une direction de déplacement du dispositif mobile détermine que le dispositif mobile recule entre une image précédente et ladite image, alors attribuer (1047) audit tube un numéro égal à un dernier numéro diminué d'une unité.

[0061] Selon un exemple de mise en œuvre, le coefficient calculé est un rapport entre une surface commune et une surface totale, ladite surface commune étant une surface délimitée dans ladite image par une intersection d'une première surface délimitée par un contour fermé entourant une portion dudit tube tel que défini dans ladite image au cours de l'étape de reconnaissance et d'une deuxième surface délimitée par un contour fermé entourant une portion dudit tube, tel que défini au cours de l'étape de reconnaissance dans une image précédente de ladite image dans la suite d'images, ladite

surface totale étant égale à la somme de ladite première surface et de ladite deuxième surface, diminuée de ladite surface commune.

- [0062] Selon un exemple de mise en œuvre, pour le calcul dudit coefficient, ladite image précédente et ladite image sont superposées.
- [0063] Selon un exemple de mise en œuvre, ledit dernier numéro est le numéro attribué à un autre tube dans une image précédente de ladite image dans la suite d'images, ledit autre tube ayant été identifié audit tube au cours de l'étape de traitement 102.
- [0064] Selon un exemple de mise en œuvre dans lequel le dispositif mobile d'acquisition des images est déplacé entre deux alignements parallèles de tubes, l'étape de reconnaissance 1022 conduit à la reconnaissance 1022 d'au moins deux portions de tubes dans l'image précédente et d'au moins deux portions de nouveaux tubes dans l'image suivante, et, selon un exemple de mise en œuvre, l'étape de traitement 102 comprend une étape de séparation 1024 de l'au moins deux portions de tubes en une portion d'un tube du premier alignement et une portion d'un tube du deuxième alignement, et de l'au moins deux portions de nouveaux tubes en une portion d'un nouveau tube du premier alignement et une portion d'un nouveau tube du deuxième alignement .
- [0065] Selon un exemple de mise en œuvre, ladite étape de séparation 1024 comprend une séparation de l'image précédente en une première portion de l'image précédente et une deuxième portion de l'image précédente, la première portion de l'image précédente et la deuxième portion de l'image précédente étant séparées par une bande centrale de l'image précédente, et la séparation de l'image suivante en une première portion de l'image suivante et une deuxième portion de l'image suivante, la première portion de l'image suivante et la deuxième portion de l'image suivante étant séparées par une bande centrale de l'image suivante ; une portion de tube de l'au moins deux portions de tube est alors définie comme une portion d'un tube du premier alignement ou du deuxième alignement selon qu'une zone centrale de ladite portion du tube est incluse dans la première portion de l'image précédente ou dans la deuxième portion de l'image suivante. De la même manière, une portion d'un nouveau tube de l'au moins deux portions de nouveaux tubes est définie comme une portion d'un nouveau tube du premier alignement ou du deuxième alignement selon qu'une zone centrale de ladite portion dudit nouveau tube est incluse dans la première portion de l'image suivante ou dans la deuxième portion de l'image suivante. Si la zone centrale de ladite portion du tube est incluse dans la bande centrale de l'image précédente, ladite portion du tube n'est pas traitée dans les étapes suivantes de comptage ou décomptage 104. Selon cet exemple de mise en œuvre, la bande centrale a une largeur égale à environ 1/8 ème de la largeur de l'image considérée.
- [0066] Selon cet exemple de mise en œuvre, l'étape de comptage ou décomptage 104, telle que décrite ci-dessus, comprend une étape de comptage ou décomptage 104' des tubes

du premier alignement, et une étape de comptage ou décomptage 104'' des tubes du deuxième alignement, et enfin une étape de corrélation 1025 des numéros attribués aux tubes par les étapes de comptage ou décomptage 104', 104'', l'étape de corrélation 1025 comprenant les étapes suivantes :

- pour chaque image de la suite d'images, calcul d'un écart entre un premier numéro attribué au tube du premier alignement reconnu dans ladite image et un deuxième numéro attribué à un autre tube du deuxième alignement reconnu dans la dite image ;
- si, pour au moins deux images de la suite d'images, l'écart n'est pas nul, alors pour chaque image de la suite d'images, attribuer au tube du premier alignement le numéro de l'autre tube du deuxième alignement, ou attribuer à l'autre tube du deuxième alignement le numéro du tube du premier alignement, en fonction d'une mesure statistique d'un niveau de confiance de la numérotation du premier alignement et de la numérotation du deuxième alignement.

[0067] Selon un exemple de mise en œuvre, la mesure statistique du niveau de confiance de la numérotation d'un alignement est déterminée par un écart type d'une pluralité de distances mesurées, chaque distance étant mesurée pour un tube parmi une pluralité de tubes identifiés dans l'alignement de tubes, chaque distance mesurée pour un tube étant la distance parcourue par le dispositif mobile d'acquisition entre un premier instant d'acquisition d'une première image dans laquelle ledit tube est identifié une première fois et un deuxième instant d'acquisition d'une deuxième image dans laquelle ledit tube identifié n'est plus présent. Selon un mode de mise en œuvre, la distance est mesurée en utilisant le même type d'algorithme de traitement d'images que pour la détermination de la direction de déplacement 103, en utilisant par exemple un algorithme de détection de flux optique, basé par exemple sur un algorithme pyramidal de type Lucas-Kanade.

[0068] La méthode peut en outre comprendre l'utilisation d'une cartographie des tubes, au cours de l'étape de comptage ou décomptage des tubes, pour déterminer qu'un tube identifié et numéroté est ou n'est pas un dernier tube de l'alignement de tubes, lorsque ledit tube n'est plus présent dans une image suivante ; et, lorsque ledit tube, identifié et numéroté, n'est pas le dernier tube de l'alignement, l'utilisation d'une cartographie des tubes permet également de déterminer le numéro à attribuer au tube suivant. Cette utilisation de la cartographie des tubes permet de traiter le cas où le dispositif mobile d'acquisition a dépassé le dernier tube d'un alignement et poursuit son déplacement en sens inverse le long du même alignement de tube, de sorte que le tube suivant qui apparaît dans la suite d'images après le dernier tube, sera à nouveau le dernier tube, auquel il conviendra donc d'attribuer le même numéro que le dernier numéro attribué audit dernier tube. L'utilisation de la cartographie des tubes va permettre en outre de traiter le cas où le dispositif mobile d'acquisition dépasse un tube qui n'est pas un

dernier tube, mais qui est suivi dans l'alignement par un « trou », c'est-à-dire par un espace sans tube. Un « trou », ou espace sans tube entre deux tubes successifs de l'alignement de tubes, peut en effet exister dans un alignement de tubes, et peut correspondre à un ou plusieurs tubes manquants dans l'alignement de tubes. L'étape de comptage ou décomptage 104 doit alors en tenir compte de manière à incrémenter le numéro du dernier tube d'un nombre égal au nombre de tubes manquants. La référence à la cartographie permet de connaître le nombre de tubes éventuellement manquants, dans l'alignement de tubes, après un tube identifié et numéroté, de sorte qu'il est possible de déterminer le numéro suivant qu'il faut attribuer, selon la cartographie, au tube suivant identifié dans la suite d'images.

[0069] Selon un exemple de mise en œuvre, dans lequel une cartographie de l'au moins un alignement de tubes est mise à disposition, ladite cartographie associant à chaque tube de l'au moins un alignement un numéro de référence dudit tube, et dans lequel, si il est vérifié (1044) que le tube sélectionné (1043) dans l'image n'a pas été numéroté, alors le numéro attribué (1046, 1047) audit tube sélectionné est un numéro fonction du dernier numéro, attribué à un dernier tube identifié dans une image précédente de ladite image dans la suite d'images, et du résultat de l'étape de détermination de la direction de déplacement, et d'un numéro de référence associé dans la cartographie audit dernier tube ou à un tube suivant ledit dernier tube dans l'alignement.

[0070] Ainsi, par exemple :

[0071] - si la liste créée à l'étape de création (1041) des tubes identifiés dans ladite image est une liste vide, et si le dernier numéro attribué au dernier tube identifié dans une image précédente de ladite image dans la suite d'images est égal à un numéro de référence associé à un dernier tube de l'alignement dans la cartographie de l'alignement, alors la méthode passe à une image suivante de ladite image dans la suite d'images jusqu'à ce que la liste créée pour ladite image suivante, à l'étape de création (1041) des tubes identifiés dans ladite image, ne soit pas vide ; la méthode attribue alors au tube sélectionné dans ladite image (1043) suivante, un numéro égal audit dernier numéro attribué audit dernier tube identifié.

[0072] - si la liste créée à l'étape de création (1041) des tubes identifiés dans ladite image est une liste vide, et si le dernier numéro attribué au dernier tube identifié dans une image précédente de ladite image dans la suite d'images n'est pas égal au numéro de référence associé au dernier tube de l'alignement dans la cartographie de l'alignement, alors la méthode passe à une image suivante de ladite image dans la suite d'images jusqu'à ce que la liste créée pour ladite image suivante, à l'étape de création (1041) des tubes identifiés dans ladite image, ne soit pas vide ; la méthode attribue alors au tube sélectionné dans ladite image (1043) suivante, un numéro égal au numéro de référence associé dans la cartographie de l'alignement au tube de l'alignement suivant ledit

dernier tube identifié.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé (100) de numérotation des tubes à l'intérieur d'un échangeur de chaleur (1) d'un générateur de vapeur, ledit échangeur de chaleur (1) comprenant une plaque support (6) et une pluralité de tubes (7), chaque tube de la pluralité de tubes (7) étant monté sur la plaque support (6) transversalement à un plan formé par la plaque support (6), la pluralité de tubes (7) formant au moins un alignement, le procédé (100) comprenant les étapes suivantes :
- acquisition (101), par un dispositif mobile d'acquisition d'images, d'une suite d'images, une image d'une portion (11, 12, 13, 14, 15) de chaque tube (7) de l'au moins un alignement de tubes étant comprise dans au moins une image de la suite d'images, l'acquisition (101) de la suite d'images étant réalisée au cours d'un déplacement du dispositif mobile le long de l'au moins un alignement de tubes ;
 - traitement (102) de la suite d'images acquises, par un moyen de traitement, pour reconnaître, et suivre chaque tube en l'identifiant dans la suite d'images acquises;
 - détermination (103) d'une direction de déplacement du dispositif mobile;
 - comptage ou décomptage (104), par le moyen de traitement, des tubes suivis et identifiés dans la suite d'images, en fonction de la direction de déplacement pour la détermination d'un numéro associé à chaque tube détecté de l'au moins un alignement de tubes.
- [Revendication 2] Procédé (100) selon la revendication 1, dans lequel l'étape de traitement (102) de la suite des images comprend les étapes suivantes :
- sélection (1021) d'une image précédente et sélection (1021bis) d'une image suivante acquise à la suite de ladite image précédente au cours de l'étape d'acquisition (101) de la suite d'images, une image d'une portion d'un tube (11, 12, 13, 14, 15) de l'au moins un alignement de tubes étant comprise dans l'image précédente de la suite d'images, et une image d'une portion d'un nouveau tube de l'au moins un alignement de tubes étant comprise dans l'image suivante de la suite d'images;
 - reconnaissance (1022) de la portion du tube dans l'image précédente sélectionnée et de la portion du nouveau tube dans l'image suivante de la suite d'images ;
 - suivi (1023) du tube, comprenant l'identification du nouveau tube de

- l'image suivante avec le tube de l'image précédente.
- [Revendication 3] Procédé (100) selon la revendication 2, dans lequel :
- la pluralité de tubes (7) forme au moins un premier alignement et un deuxième alignement de tubes, les deux alignements étant parallèles entre eux, et
 - au cours de l'étape d'acquisition (101) le dispositif mobile se déplace entre le premier alignement et le deuxième alignement, et
 - l'étape de reconnaissance (1022) de l'étape de traitement (102) comprend la reconnaissance (1022) d'au moins deux portions de tubes (11, 12, 13, 14, 15) dans l'image précédente et d'au moins deux portions de nouveaux tubes dans l'image suivante, et
 - l'étape de traitement (102) comprend une étape de séparation (1024) de l'au moins deux portions de tubes (11, 12, 13, 14, 15) en une portion d'un premier tube (11, 12) du premier alignement et en une portion d'un deuxième tube (13, 14, 15) du deuxième alignement, et de l'au moins deux portions de nouveaux tubes en une portion d'un premier nouveau tube du premier alignement et une portion d'un deuxième nouveau tube du deuxième alignement .
- [Revendication 4] Procédé (100) selon la revendication 3, dans lequel l'étape de comptage ou décomptage (104) comprend une étape de comptage ou décomptage (104') des tubes du premier alignement, et une étape de comptage ou décomptage (104'') des tubes du deuxième alignement, et une étape de corrélation (1025) des numéros attribués aux tubes par les étapes de comptage ou décomptage (104', 104''), l'étape de corrélation comprenant les étapes suivantes :
- pour chaque image de la suite d'images, calcul d'un écart entre un premier numéro attribué au tube du premier alignement reconnu dans ladite image et un deuxième numéro attribué à un autre tube du deuxième alignement reconnu dans la dite image ;
 - si, pour au moins deux images de la suite d'images, l'écart n'est pas nul, alors pour chaque image de la suite d'images, attribuer au tube du premier alignement le numéro de l'autre tube du deuxième alignement, ou attribuer à l'autre tube du deuxième alignement le numéro du tube du premier alignement, en fonction d'une mesure statistique d'un niveau de confiance de la numérotation du premier alignement et de la numérotation du deuxième alignement.
- [Revendication 5] Procédé (100) selon l'une des revendications 2 à 4, dans lequel l'étape de reconnaissance (1022) de la portion du tube (11, 12, 13, 14, 15) dans

l'image précédente sélectionnée et de la portion du nouveau tube dans l'image suivante de la suite, comprend la définition d'un contour fermé (11', 12', 13', 14', 15') entourant ladite portion du tube (11, 12, 13, 14, 15) dans ladite image précédente et d'un nouveau contour fermé entourant ladite portion du nouveau tube dans ladite image suivante.

[Revendication 6]

Procédé (100) selon la revendication 5, dans lequel l'étape de suivi (1023) comprend une étape de calcul et de classement d'un score de comparaison (10233) du nouveau contour fermé défini, au cours de l'étape de reconnaissance (1022), autour de la portion du nouveau tube dans l'image suivante, avec le contour fermé (11', 12', 13', 14', 15') défini, au cours de l'étape de reconnaissance (1022), autour de la portion du tube (11, 12, 13, 14, 15) dans l'image précédente, le nouveau tube de l'image suivante étant identifié au tube de l'image précédente lorsque le score de comparaison est supérieur à un seuil prédéterminé.

[Revendication 7]

Procédé (100) selon l'une des revendications 5 ou 6, dans lequel une image d'une portion (11, 12, 13, 14, 15) d'au moins deux tubes de l'au moins un alignement de tubes, sont comprises dans l'image précédente sélectionnée dans la suite d'images à l'étape de sélection (1021), et une image d'une portion d'au moins deux nouveaux tubes de l'au moins un alignement de tubes, sont comprises dans l'image suivante de la suite d'images, et dans lequel l'étape de reconnaissance (1022) comprend la définition d'un contour fermé (11', 12', 13', 14', 15') entourant ladite portion (11, 12, 13, 14, 15) de chaque tube de l'au moins deux tubes dans ladite image précédente et d'un nouveau contour fermé entourant ladite portion de chaque nouveau tube de l'au moins deux nouveaux tubes dans ladite image suivante,

et dans lequel l'étape de suivi (1023) comprend les étapes suivantes :

- établissement (10231) d'une liste précédente des contours fermés définis au cours de l'étape de reconnaissance (1022) dans l'image précédente, et d'une nouvelle liste des nouveaux contours fermés définis au cours de l'étape de reconnaissance (1022) dans l'image suivante ;
- pour chaque contour fermé de la liste précédente :
- création (10232) d'une liste de couples de contours, chaque couple de contours comprenant ledit contour fermé et un nouveau contour fermé de la nouvelle liste ;
- classer (10233) les couples de la liste de couples selon l'ordre du score de comparaison calculé pour chaque couple;
- parcourir (10234) la liste de couples selon l'ordre des scores calculés,

et pour chaque couple de la liste de couples :

- si (10235) le score calculé pour ledit couple est supérieur à un seuil prédéterminé et si (10236) un identifiant du contour fermé du couple n'a pas encore été affecté à un autre nouveau contour fermé d'un autre couple de la liste des couples, affecter (10237) au nouveau contour fermé dudit couple l'identifiant dudit contour fermé dudit couple ;
- si (10235) le score calculé pour ledit couple est supérieur au seuil prédéterminé et si (10236) l'identifiant du contour fermé du couple a été affecté à un autre nouveau contour fermé d'un autre couple de la liste des couples, appliquer l'étape précédente (10235) au couple suivant dudit couple dans la liste de couples, et placer ledit couple dans une liste résiduelle, de sorte que la liste résiduelle comprend les couples dont le nouveau contour fermé n'a pas été identifié au cours des étapes précédentes;
- si (10238) la liste résiduelle n'est pas vide, pour chaque couple de la liste résiduelle affecter un nouvel identifiant (10239) au nouveau contour fermé dudit couple de la liste résiduelle.

[Revendication 8]

Procédé (100) selon l'une des revendications 2 à 7, dans lequel la détermination d'une direction de déplacement comprend les étapes suivantes :

- détermination d'au moins deux zones dans l'image précédente autour d'un point central de l'image précédente et d'au moins deux zones correspondantes dans l'image suivante autour d'un point central de l'image suivante ;
- détection d'une première pluralité de points d'accroches dans l'au moins deux zones de l'image précédente et d'une deuxième pluralité de points d'accroches dans l'au moins deux zones correspondantes dans l'image suivante ;
- mise en correspondance des points de la première pluralité avec les points de la deuxième pluralité, de sorte à créer une liste de couple de points d'accroche correspondants;
- pour chaque couple de points d'accroche correspondants, calcul d'un premier vecteur de déplacement entre les points correspondants, ledit vecteur de déplacement étant défini par une composante selon chaque axe d'un repère tridimensionnel ;
- pour chaque zone de l'au moins deux zones dans l'image précédente, calcul d'un deuxième vecteur de déplacement de ladite zone, en fonction des vecteurs de déplacement calculés pour les couples de points

correspondants dont un points d'accroche appartient à ladite zone;
 - combinaison des composantes des vecteurs de déplacement calculés pour chaque zone de l'au moins deux zones, pour obtenir un vecteur de déplacement du dispositif mobile entre l'image précédente et l'image suivante, et pour déterminer si le dispositif mobile avance ou recule entre l'image précédente et l'image suivante.

[Revendication 9]

Procédé (100) selon l'une des revendications 5 à 8, dans lequel l'étape de comptage ou décomptage (104), en fonction de la direction de déplacement, des tubes suivis et identifiés dans la suite d'images au cours de l'étape de traitement (102), comprend les étapes suivantes :

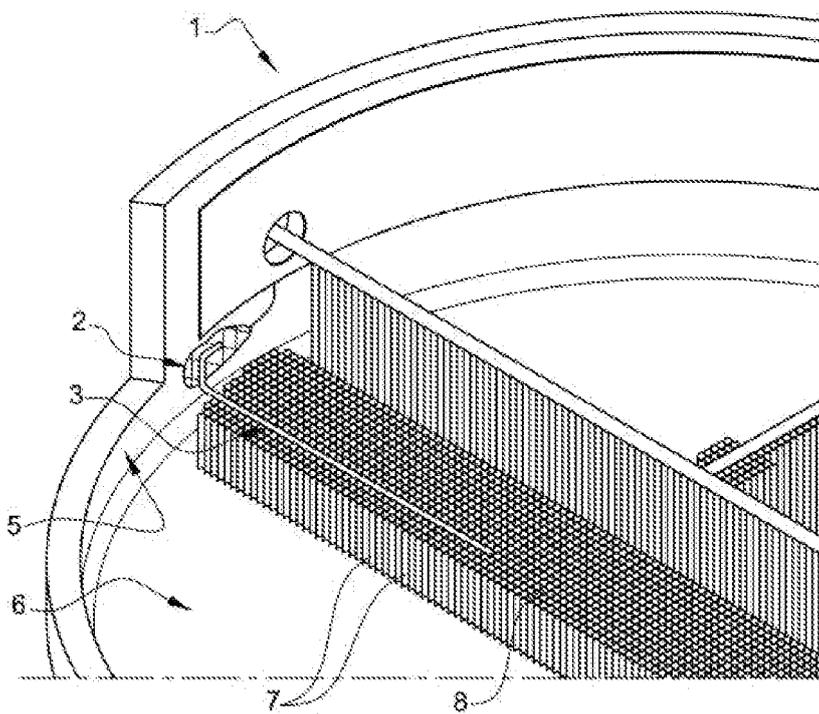
- pour chaque image de la suite d'images, création (1041) d'une liste des tubes identifiés dans ladite image, chaque tube de la liste étant associé au contour fermé défini pour ledit tube et ladite image dans l'étape de reconnaissance (103) ;
- pour chaque contour fermé associé à chaque tube de la liste créée, calcul d'un coefficient, et classement (1042) des tubes de la liste dans un ordre des coefficients calculés précédemment ;
- sélection (1043) du tube dans l'image, sur la base du classement, par exemple en sélectionnant le tube pour lequel le coefficient calculé est le plus important ;
- si (1044) un numéro a été attribué audit tube, passer à l'image suivante et appliquer les étapes précédentes de l'étape de comptage ou décomptage (104) à l'image suivante de la suite d'images ;
- si (1044) le tube n'a pas été numéroté, attribuer (1046, 1047) audit tube un numéro fonction d'un dernier numéro, attribué dans une image précédente de ladite image dans la suite d'images, et du résultat de l'étape de détermination de la direction de déplacement.

[Revendication 10]

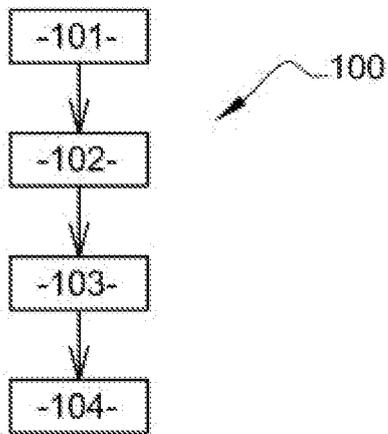
Procédé selon la revendication 9, dans lequel une cartographie de l'au moins un alignement de tubes est mise à disposition, ladite cartographie associant à chaque tube de l'au moins un alignement un numéro de référence dudit tube, et dans lequel si (1044) le tube sélectionné (1043) dans l'image n'a pas été numéroté, alors le numéro attribué (1046, 1047) audit tube sélectionné est un numéro fonction du dernier numéro, attribué à un dernier tube identifié dans une image précédente de ladite image dans la suite d'images, et du résultat de l'étape de détermination de la direction de déplacement, et d'un numéro de référence associé dans la cartographie audit dernier tube ou à un tube suivant ledit dernier tube dans l'alignement.

- [Revendication 11] Programme d'ordinateur comprenant une séquence d'instructions exécutables par un ordinateur, configurée pour mettre en œuvre les étapes du procédé (100) selon l'une des revendications 1 à 10, lorsque ladite séquence d'instructions est exécutée sur un ordinateur.
- [Revendication 12] Support configuré pour être lu par un ordinateur et comprenant un programme d'ordinateur selon la revendication précédente.

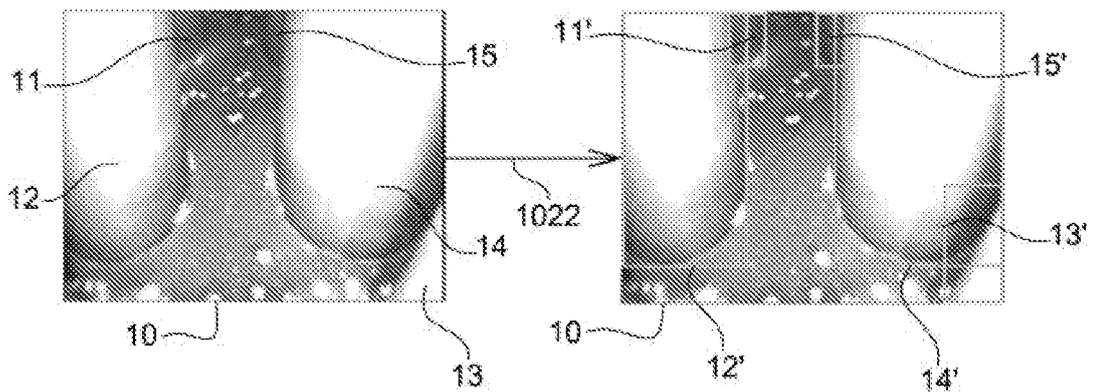
[Fig. 1]



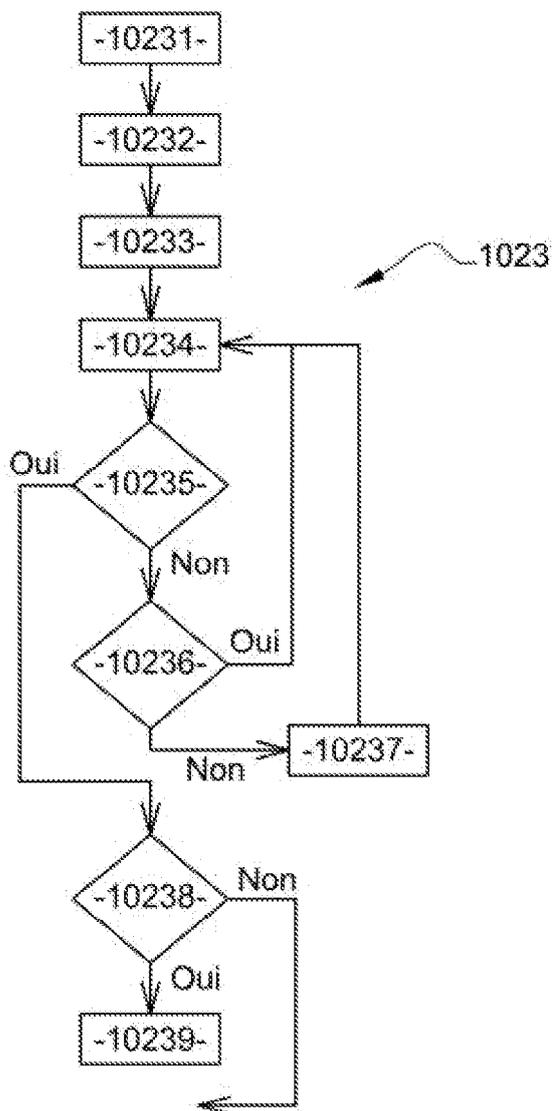
[Fig. 2]



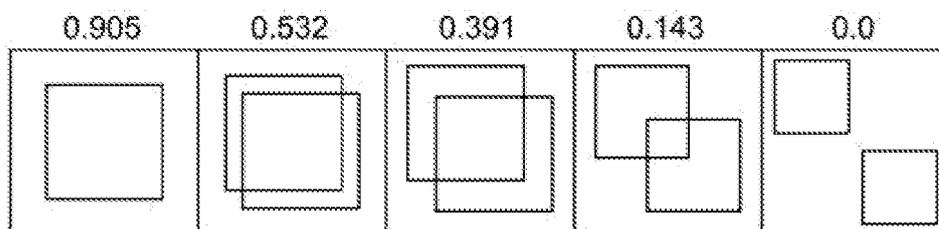
[Fig. 3]



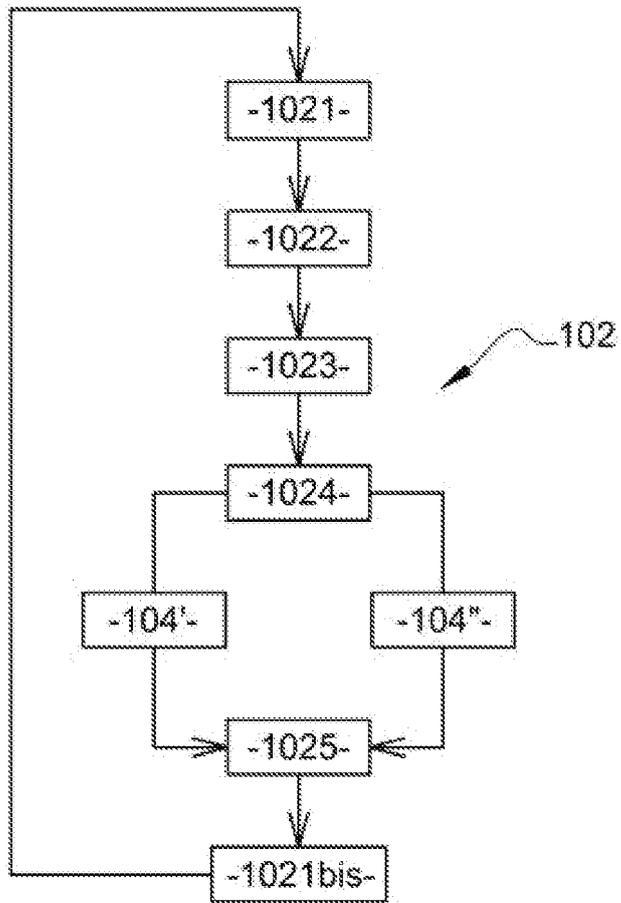
[Fig. 4]



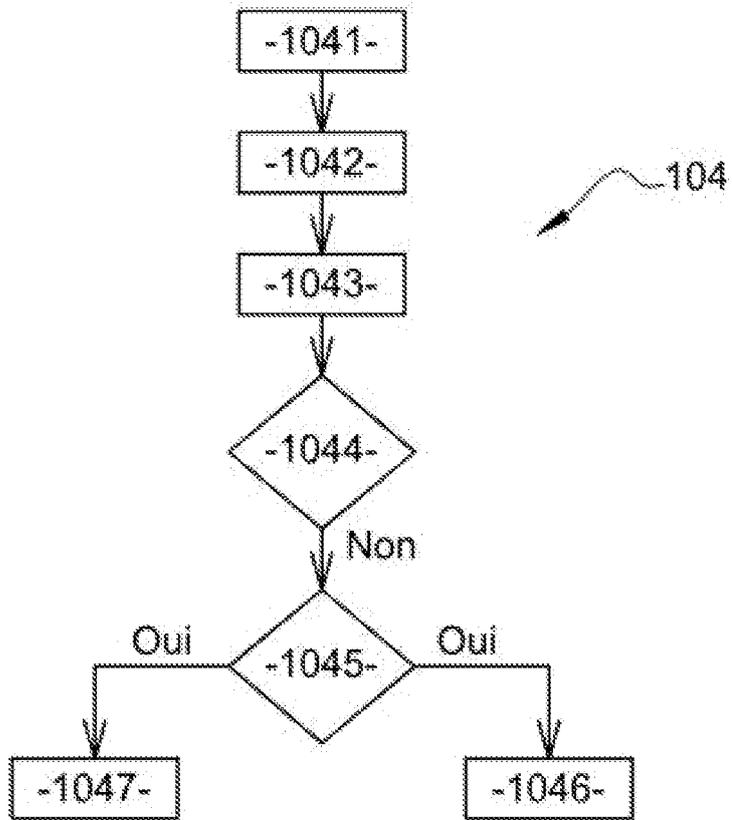
[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]



RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

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

NEANT

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

EP 0 137 405 A2 (WESTINGHOUSE ELECTRIC
CORP [US]) 17 avril 1985 (1985-04-17)

VALERY LUNIN ET AL: "Automated Data
Analysis in Eddy Current Inspection of
Steam Generator Tubes",
ECNDT 2006,
29 septembre 2006 (2006-09-29),
XP055237235,

CA 2 799 830 A1 (GEN ELECTRIC [US])
20 juin 2014 (2014-06-20)

US 2016/053990 A1 (CHATTOPADHYAY RITA [US]
ET AL) 25 février 2016 (2016-02-25)

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

NEANT