

(19)



(11)

**EP 3 336 478 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**31.10.2018 Bulletin 2018/44**

(51) Int Cl.:  
**F28G 1/16** (2006.01) **F28G 15/02** (2006.01)  
**F28G 15/04** (2006.01) **F28G 15/08** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **17203885.3**

(22) Date de dépôt: **27.11.2017**

(54) **PROCEDE DE GUIDAGE D'UN DISPOSITIF POUR LE NETTOYAGE A HAUTE PRESSION DES TUBES D'UN ECHANGEUR THERMIQUE**

VERFAHREN ZUR FÜHRUNG EINER VORRICHTUNG ZUM HOCHDRUCKREINIGEN VON LEITUNGEN EINES WÄRMETAUSCHERS

METHOD FOR GUIDING A DEVICE FOR HIGH-PRESSURE CLEANING OF THE PIPES OF A HEAT EXCHANGER

(84) Etats contractants désignés:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **19.12.2016 FR 1662766**

(43) Date de publication de la demande:  
**20.06.2018 Bulletin 2018/25**

(73) Titulaire: **Veolia environnement-VE 75008 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:  
• **MAITROT, Aude 92000 NANTERRE (FR)**

• **DUBOURG, Alexandre 78800 Houilles (FR)**

(74) Mandataire: **Novagraaf Technologies Bâtiment O2 2, rue Sarah Bernhardt CS90017 92665 Asnières-sur-Seine Cedex (FR)**

(56) Documents cités:  
**EP-A2- 0 162 309 US-A1- 2013 042 894**  
**US-A1- 2015 258 694 US-B1- 6 681 839**

**EP 3 336 478 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

**[0001]** La présente invention se rapporte de manière générale au guidage d'un dispositif de nettoyage à haute pression en vue du nettoyage de l'intérieur des tubes d'échangeurs thermiques.

**[0002]** Le nettoyage à haute pression des tubes d'un échangeur thermique est une opération périodique que l'on réalise typiquement dans le cadre de la maintenance de ce type d'installation. A l'heure actuelle, il s'agit d'une opération essentiellement manuelle ou semi-manuelle, un opérateur télé-opère, à l'aide d'une télécommande, une ou plusieurs cannes montées sur un portique mobile (appelé tringleuse).

**[0003]** Or, le nettoyage à haute pression des tubes d'un échangeur thermique est, de l'avis des opérateurs réalisant habituellement cette tâche, une tâche non seulement fatigante (en raison essentiellement de la position debout de l'opérateur et de l'influence des conditions extérieures), mais aussi fastidieuse (répétitivité, sur un grand nombre de tubes) et potentiellement néfaste pour la sécurité de l'opérateur.

**[0004]** En effet, afin de pouvoir visualiser le résultat des actions de positionnement de la tringleuse qu'il réalise, l'opérateur se place à grande proximité de l'échangeur (notamment à une distance comprise entre 1 et 5 m), ce qui l'expose à des brouillards d'eau potentiellement chargés des souillures issues des échangeurs (dont des hydrocarbures).

**[0005]** Enfin, les opérateurs manipulant via une canne (ou tringle) ou plus généralement une tringleuse (non solidaires de l'échangeur à nettoyer), des jets d'eau à très haute pression, il peut arriver que l'échangeur, en cours de nettoyage bouge à cause de la pression des jets, en particulier lorsqu'un tube est bouché, voire même que l'échangeur ou la tringleuse recule violemment (par un effet piston) ou que la canne se casse. Ceci ajoute un risque supplémentaire pour la sécurité de l'opérateur.

**[0006]** Il est d'ailleurs probable que la fatigue liée à ce type de tâche puisse aussi engendrer des erreurs potentielles et un ralentissement progressif de la tâche.

**[0007]** Par ailleurs, le positionnement des dispositifs de nettoyage est, à l'heure actuelle, réalisée aujourd'hui à l'oeil nu, ce qui n'est possible que dans les moments du nettoyage pendant lesquels l'opérateur reste capable de visualiser le résultat de ses actions de positionnement de la tringleuse, c'est-à-dire en se plaçant une distance de l'échangeur inférieure à 5 m. Cela n'est pas possible lorsqu'il y a beaucoup de projections ou lorsque les conditions climatiques ne sont pas bonnes ou lorsque l'opérateur est trop éloigné (intempéries notamment).

**[0008]** Ainsi, même si l'opération de nettoyage est réalisée sur des échangeurs préalablement préparés, il n'est pas optimal que le positionnement des dispositifs de nettoyage des tubes d'échangeurs thermiques soit uniquement basé sur une visualisation à l'oeil humain. Cela rend la détection des orifices des tubes et de la position relative des tringles par rapport à ces orifices à la fois trop

lente et trop aléatoire, pour atteindre une robustesse et une disponibilité de la mesure dans un large spectre de configurations.

**[0009]** A cet effet, le demandeur a mis au point un procédé de guidage d'un dispositif de nettoyage à haute pression en vue du nettoyage de l'intérieur des tubes d'un échangeur thermique, dans lequel l'oeil humain a été remplacé par un dispositif d'acquisition, permettant d'obtenir des images rendant possible la détection automatique des tubes à nettoyer avec possibilité de visualisation déportée.

**[0010]** Il est connu de l'homme du métier un dispositif de nettoyage de tubes d'échangeurs thermiques mettant en oeuvre une caméra. Ainsi, le brevet américain US 6,681,839 décrit un dispositif de nettoyage comprenant une lance qui est associée à un mécanisme de positionnement de la lance muni d'une caméra placée sur l'échangeur thermique. Un tel dispositif présente l'inconvénient d'être solidaire de l'échangeur, ce qui nécessite le recours à des tringles flexibles. En outre, un tel dispositif permet d'acquérir des images de la zone de positionnement des tringles uniquement dans le spectre visible : ce système est donc très dépendant des conditions extérieures (en termes d'éclairage, de projections, etc.).

**[0011]** Afin d'y remédier, le demandeur a donc mis au point un procédé de guidage dans lequel on dispose la caméra et son éclairage indépendamment de l'échangeur, à proximité du dispositif de nettoyage et non sur la plaque support de l'échangeur, pour aligner et corriger le dispositif de nettoyage avec les tubes de l'échangeur à nettoyer lors d'un déplacement relatif de l'un par rapport à l'autre.

**[0012]** Plus particulièrement, la présente invention a donc pour objet un procédé de guidage d'un dispositif de nettoyage à haute pression en vue du nettoyage de l'intérieur des tubes d'un échangeur thermique à faisceaux de tubes sensiblement rectilignes et qui n'est pas solidaire du dispositif de nettoyage (par exemple des tubes en U), dans lequel :

- lesdits tubes sont encastrés dans une plaque support sensiblement auxdits tubes, au niveau de leurs orifices d'entrée et de sortie, et
- ledit dispositif de nettoyage (par exemple une tringleuse) comprend au moins une canne rigide de nettoyage, et de préférence entre une et trois cannes, dont l'une des extrémités est guidée en translation par un support et est destinée à être introduite à l'intérieur desdits tubes pour les nettoyer, ladite canne étant disposée, de manière sensiblement horizontale, sur un charriot mobile en translation horizontalement selon un premier axe parallèle à l'axe de symétrie de ladite canne et selon un deuxième axe perpendiculaire audit axe de symétrie de ladite canne, et également mobile en translation verticalement selon un troisième axe perpendiculaire à l'axe de

symétrie de ladite canne ;

- un repère orthogonal de référence  $(x_0, y_0, z_0)$  direct et tridimensionnel étant associé à ladite plaque support, de manière que ses axes  $x_0$  et  $y_0$  soient contenus dans un plan vertical sensiblement parallèle à ladite plaque et son axe  $z_0$  soit sensiblement horizontal (et donc sensiblement parallèle aux axes de symétrie des tubes nettoyés) ;
- un repère orthogonal de comparaison  $(x_1, y_1, z_1)$  direct et tridimensionnel étant associé audit charriot (3), de manière que son axe  $z_1$  soit parallèle à l'axe de symétrie de ladite canne (11), la position du charriot lors d'un mouvement de translation vers ladite plaque support (22) étant définie par la côte  $z_1$  par rapport à une position initiale du charriot avant déplacement définie par la côte  $z_1=0$ .

**[0013]** Par dispositif de nettoyage à haute pression, on entend, au sens de la présente invention, un dispositif apte à envoyer des jets de liquide de nettoyage (notamment aqueux), à haute ou à très haute pression (pression notamment comprise entre 200 bars à 3000 bars, et plus précisément de l'ordre de 1000-1400 bars). Il s'agit typiquement d'une tringleuse telle qu'illustrée sur la figure 1, qui est utilisée classiquement pour le nettoyage à haute pression de tuyauteries, et notamment des tubes d'échangeurs thermiques.

**[0014]** Les repères orthogonaux de référence  $(x_0, y_0, z_0)$  et de comparaison  $(x_1, y_1, z_1)$ , associés respectivement à la plaque support et au charriot, sont des repères virtuels, pouvant être chacun matérialisés par un objet cible apte à émettre ou réfléchir de la lumière, facile à repérer dans l'espace, par exemple par une caméra.

**[0015]** Ainsi, on pourra avantageusement selon l'invention utiliser :

- un premier objet cible comprenant quatre points cibles lumineux émettant (points cibles actifs) ou étant aptes à réfléchir de la lumière (points cibles passifs), ce premier objet cible étant disposé sur la plaque support de manière que ses quatre points cibles constituent ledit repère orthogonal de référence  $(x_0, y_0, z_0)$ , et
- un deuxième objet cible comprenant quatre points cibles lumineux émettant (points cibles actifs) ou étant aptes à réfléchir de la lumière (points cibles passifs), ce deuxième objet cible étant disposé sur le charriot mobile de manière que ses quatre points cibles constituent ledit repère orthogonal de comparaison  $(x_1, y_1, z_1)$ .

**[0016]** Pour réaliser le procédé selon l'invention, on doit réaliser les étapes suivantes :

A. prise d'une image réelle, par une caméra, de la disposition des orifices d'entrée ou de sortie au niveau de la plaque support, la caméra étant déportée

par rapport au centre de la plaque support ;

B. envoi de ladite image réelle à un premier calculateur qui identifie la forme et la position desdits orifices selon le repère  $(x_0, y_0, z_0)$  ainsi que leur éventuelle obstruction ;

C. calibration du repère de comparaison  $(x_1, y_1, z_1)$  par rapport au repère de référence  $(x_0, y_0, z_0)$  pour permettre l'obtention en temps réel de la position de ladite lance par rapport aux orifices ;

D. à partir de ladite image réelle, calcul, par un calculateur, d'un parcours optimal de positionnement de la canne pour réaliser le nettoyage de l'ensemble des tubes dont les orifices présentent un premier marquage visuel, en fonction de leur disposition dans le repère  $(x_0, y_0, z_0)$ , du calibrage entre les repères de référence  $(x_0, y_0, z_0)$  et de comparaison  $(x_1, y_1, z_1)$  et du nombre de cannes de nettoyage que comporte ledit dispositif de nettoyage, ledit parcours optimal définissant par un ordre de succession des déplacements  $D_{ca}$  de la canne selon les axes  $x_1$  et  $y_1$  entre lesquelles au moins deux déplacements  $D_{ch}$  du chariot selon l'axe  $z_1$  ont lieu pour nettoyer les tubes représentés par leurs orifices comprenant le premier marquage sur une image augmentée ;

E. Affichage dudit parcours optimal proposé et de ladite image augmentée sur un écran de visualisation ;

F. Réalisation, par un opérateur et/ou par un automate piloté par un algorithme d'une étape de nettoyage  $E_{net}$  comprenant les sous-étapes :

- F1) déplacements  $D_{ca}$  de la canne selon les axes  $x_1$  et  $y_1$ , de manière que ladite canne soit disposée en face d'un tube à nettoyer représenté par son orifice comprenant le premier marquage sur l'image augmentée°;
- F2) un premier déplacement  $D_{ch}$  de la canne selon l'axe  $z_1$ , au travers dudit premier orifice pour nettoyer le tube ;
- F3) une fois ledit tube nettoyé, un deuxième déplacement  $D_{ch}$  selon l'axe  $z_1$  de ladite canne permettant le retrait hors dudit orifice ; puis

G. Répétition des étapes D à F jusqu'à réalisation de l'ensemble des étapes de nettoyage  $E_{net}$  prévues par le parcours optimal.

**[0017]** La première étape du procédé selon l'invention est l'étape A de prise d'une image réelle des orifices d'entrée ou de sortie au niveau de la plaque support. On utilise pour cela de préférence une caméra à haute résolution, par exemple une caméra numérique monochrome à 16 Méga Pixels (4096 x 4096).

**[0018]** On pourra avantageusement utiliser une caméra proche infra-rouge équipée d'un filtre optique, avec un éclairage émettant dans le proche infra-rouge.

**[0019]** La caméra doit être déportée par rapport au centre de la plaque support de manière à pouvoir pho-

tographier l'ensemble de la plaque support de manière à obtenir une image complète de la plaque support sans être gênée par le dispositif de nettoyage. Toutefois, il faut veiller à ce que le centre de la caméra ne soit pas trop éloigné du centre la plaque pour éviter tout problème de traitement d'image. Enfin, il peut être aussi intéressant pour de multiples raisons (projections d'eau, montage sur tête de nettoyage difficile...) de déplacer latéralement la caméra de sorte à ce qu'elle ne soit pas dans un plan parallèle à celui de la plaque. Dans ce cas, il faudra veiller nécessairement à ce que l'angle formé par l'axe optique de la caméra et l'axe orthogonal à plaque support permette à la caméra de filmer l'ensemble de la plaque. De préférence, cet angle pourra être compris entre 30° et 45°.

**[0020]** La deuxième étape du procédé selon l'invention est l'étape B d'envoi de l'image réelle à un premier calculateur qui identifie la forme et la position des orifices (selon le repère  $(x_0, y_0, z_0)$ ), ainsi que leur éventuelle obstruction. Cet envoi peut se faire par exemple par voie filaire ou par voie d'ondes radioélectriques.

**[0021]** Avant qu'un calculateur ne procède au calcul et à l'affichage du parcours optimal (respectivement étapes F et G), il est important que le repère de comparaison  $(x_1, y_1, z_1)$  associé au charriot soit calibré (étape E) par rapport au repère de référence  $(x_0, y_0, z_0)$  associé à ladite plaque support pour permettre l'obtention en temps réel de la position de la lance par rapport aux orifices. La phase de calibration consiste à venir positionner les cannes suivant les quatre points cardinaux par rapport à l'échangeur et capturer une mesure à chaque position. En entrant ensuite la géométrie des différents tubes, le système est auto-calibré et est capable de connaître la position que doit avoir le repère de comparaison  $(x_1, y_1, z_1)$  vis-à-vis du repère de référence  $(x_0, y_0, z_0)$ . La géométrie des différents tubes peut provenir d'informations saisies par l'opérateur à l'aide d'outils simples en utilisant une image par exemple et/ou de la détection automatique des tubes. Il est alors possible de projeter sur l'image réelle ou augmentée la position courante des cannes.

**[0022]** A partir de ladite image réelle, un calculateur calcule (étape D) un parcours optimal de positionnement de la canne pour le nettoyage des tubes dont les orifices présentent le premier marquage visuel, en fonction de leur disposition dans le repère  $(x_0, y_0, z_0)$ , du calibrage entre les repères de référence  $(x_0, y_0, z_0)$  et de comparaison  $(x_1, y_1, z_1)$  et du nombre de cannes de nettoyage que comporte ledit dispositif de nettoyage. Ce parcours optimal définit un ordre de succession des déplacements  $D_{ca}$  de la canne selon les axes  $x_1$  et  $y_1$  du repère de comparaison, entre lesquelles au moins deux déplacements  $D_{ch}$  du charriot selon l'axe  $z_1$  (en d'autres termes, au moins un aller-et retour par rapport au point de départ du charriot) ont lieu pour nettoyer les tubes marqués sur l'image augmentée.

**[0023]** Ce parcours optimal, ainsi que l'image augmentée avec les orifices marqués, sont affichés (étape E) sur un écran de visualisation.

**[0024]** Lors de l'étape F, la réalisation d'une étape de nettoyage  $E_{net}$  peut être réalisée par un opérateur (mode entièrement manuel) et/ou par un automate piloté par un algorithme (mode automatique ou semi-automatique) comme suit :

- F1) déplacements  $D_{ca}$  de la canne selon les axes  $x_1$  et  $y_1$ , de manière que la canne soit disposée en face d'un tube à nettoyer représenté par son orifice comprenant le premier marquage sur l'image augmentée ;
- F2) un premier déplacement  $D_{ch}$  de la canne selon l'axe  $z_1$ , au travers du premier orifice pour nettoyer le tube ;
- F3) une fois ledit tube nettoyé, un deuxième déplacement  $D_{ch}$  selon l'axe  $z_1$  de ladite canne permettant le retrait hors de l'orifice.

**[0025]** Les étapes D à F sont répétées (étapes G) jusqu'à réalisation de l'ensemble des étapes de nettoyage  $E_{net}$  prévues par le parcours optimal. Ces étapes ne doivent pas nécessairement être réalisées dans l'ordre prévu par le parcours optimal. Si les étapes de nettoyage ne sont pas réalisées dans l'ordre, le deuxième calculateur recalcule à chaque étape le parcours optimal.

**[0026]** Dans le cas d'un mode de nettoyage manuel, il est possible de ne pas suivre le parcours optimal. Ce n'est pas possible si le nettoyage est réalisé par un automate piloté par un algorithme. Ces modes sont expliqués ci-après.

**[0027]** Selon le mode de réalisation manuel, l'opérateur pilote la totalité des déplacements  $D_{ca}$  et  $D_{ch}$  de la canne au cours de l'étape de nettoyage  $E_{net}$ , en suivant ou non l'ordre de succession des déplacements  $D_{ca}$  de la canne 11 défini par ledit parcours optimal. Dans un tel mode de réalisation, l'ensemble des déplacements  $D_{ca}$  de la canne prévus par le parcours optimal est réalisé par l'opérateur, selon un ordre de succession qui peut être différent de celui que définit le parcours optimal. Dans ce cas (ordre de succession différent du parcours optimal), un calculateur pourra indiquer effectivement à l'opérateur la dérive en temps réel de la canne par rapport au parcours optimal. Bien évidemment, l'opérateur peut choisir de réaliser l'ensemble des déplacements  $D_{ca}$  de la canne selon l'ordre de succession défini par le parcours optimal.

**[0028]** En pratique, dans le mode manuel, l'opérateur positionne le repère orthogonal de comparaison  $(x_1, y_1, z_1)$  par rapport au repère orthogonal de référence  $(x_0, y_0, z_0)$ , de manière que ladite lance (11) soit disposée en face d'un orifice à nettoyer choisi par l'opérateur, en se basant sur l'image augmentée et en tenant compte ou non du parcours optimal proposé. Un calculateur (en l'occurrence celui qui indique à l'opérateur la dérive en temps réel de la canne par rapport au parcours optimal) vérifie en continu l'alignement du centre de l'orifice avec l'axe de symétrie de la canne. Tant que l'alignement n'est pas atteint, ce calculateur renvoie vers l'écran de visua-

lisation une information de non-alignement et l'opérateur peut corriger en permanence le positionnement et la vérification de l'alignement.

**[0029]** Selon le mode de réalisation semi-automatique, les déplacements  $D_{ca}$  de la canne selon les axes  $x_1$  et  $y_1$  sont réalisés par un automate piloté par un algorithme en suivant l'ordre défini par ledit parcours optimal, tandis qu'un opérateur effectue manuellement les déplacements  $D_{ch}$  de la canne selon l'axe  $z_1$ . Dans un tel mode de réalisation, l'automate piloté par algorithme doit attendre que l'opérateur réalise les déplacements  $D_{ch}$  avant de commencer les déplacements  $D_{ca}$  de l'étape de nettoyage suivant  $E_{net+1}$ .

**[0030]** Pour faciliter le positionnement manuel des lances en face des orifices, il est possible d'envisager un zoom numérique dans le flux d'images provenant de la caméra.

**[0031]** Pour les modes de réalisation manuel et semi-automatique, l'opérateur a besoin du parcours optimal affiché sur l'écran de visualisation.

**[0032]** Dans ce cas, il peut être avantageux que l'image réelle soit augmentée. Dans ce cas, il peut être avantageux que l'image réelle soit corrigée, de manière à fournir une image redressée avant d'être envoyée audit premier calculateur pour générer une image augmentée. Cette correction peut par exemple être réalisée par traitement d'image et à l'aide de marqueurs positionnés sur la plaque support. Une telle correction présente un intérêt lorsque l'image est prise avec un fort effet de perspective par une caméra déportée latéralement par rapport au centre de l'échangeur.

**[0033]** Une fois l'image redressée reçue par le premier calculateur, ce dernier, génère à partir de l'image réelle (étape B'), éventuellement préalablement redressée, une image augmentée comprenant un premier marquage visuel des orifices des tubes à nettoyer (orifices marqués). Cette image augmentée est ensuite envoyée à un deuxième calculateur (étape B''), qui calcule ensuite, lors de l'étape D le parcours optimal de positionnement à partir de ladite image réelle. Cet envoi peut également se faire par exemple par voie filaire ou par voie d'ondes radioélectriques.

**[0034]** De manière avantageuse, l'image augmentée générée à l'étape B') peut comprendre, outre le premier marquage visuel, un deuxième marquage visuel montrant les tubes ne devant pas être nettoyés. Il s'agit typiquement de tubes condamnés, par exemple par une pièce métallique ajoutée préalablement.

**[0035]** En mode automatique, il n'y a pas de besoin d'affichage du parcours optimal à l'opérateur.

**[0036]** Selon un troisième mode de réalisation du procédé selon l'invention, entièrement automatique, un automate piloté par un algorithme peut réaliser les déplacements ( $D_{ca}$ ) de la canne selon les axes  $x_1$  et  $y_1$  en suivant l'ordre défini par ledit parcours optimal, ainsi que les déplacements  $D_{ch}$  de la canne selon l'axe  $z_1$ . En mode automatique, il n'y a pas de besoin d'affichage du parcours optimal à l'opérateur, et donc il n'y a pas non plus

besoin de redressement.

**[0037]** En pratique, dans les modes automatique et semi-automatique, l'automate positionne le repère orthogonal de comparaison ( $x_1, y_1, z_1$ ) par rapport au repère orthogonal de référence ( $x_0, y_0, z_0$ ), de manière que la lance soit disposée en face d'un orifice marqué et défini par le parcours optimal défini par le deuxième calculateur

**[0038]** De manière avantageuse, le procédé selon l'invention peut en outre comprendre, après chaque étape G, une étape supplémentaire d'interaction de l'opérateur ou du deuxième calculateur avec l'image augmentée.

**[0039]** Par interaction, on entend, au sens de la présente invention, l'ajout d'informations optionnelles pouvant aider l'opérateur ou le deuxième calculateur, pour former une nouvelle image augmentée servant de référence lors de la réalisation d'une nouvelle étape G en vue de nettoyage d'un nouvel orifice. Ces informations optionnelles peuvent typiquement comprendre tout type d'information que souhaite capitaliser l'opérateur en charge du nettoyage des tubes et qui peuvent être compilables dans le procès-verbal de nettoyage à la fin de l'opération : par exemple, l'indication des trous condamnés, ou des trous dont le nettoyage n'a pas pu être réalisé correctement et qui nécessite un nettoyage avec une autre canne, ou encore l'historique des différentes étapes de nettoyage réalisées. La nouvelle image augmentée modifiée peut être stockée en vue de garantir la traçabilité du processus en représentant l'état initial de l'échangeur avant chaque traitement (étapes E à I).

**[0040]** D'autres avantages et particularités de la présente invention résulteront de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux figures annexées et aux exemples correspondants :

- Les figures 1A et 1B sont des photographies représentant un premier exemple d'échangeur thermique à nettoyer comprenant des tubes en U horizontaux encastrés et débouchant dans une plaque support verticale ;
- La figure 1C est une photographie représentant l'échangeur thermique des figures 1A et 1B et un premier exemple de dispositif de nettoyage tel que mis en oeuvre dans le procédé selon l'invention et consistant en une tringleuse munie d'une canne rigide de nettoyage ;
- Les figures 2A à 2C sont des représentations schématiques d'un deuxième exemple dispositif de nettoyage et d'un deuxième exemple d'échangeur thermique, dans lesquelles la caméra est disposée de manière déportée par rapport au centre de la plaque support en étant disposée au-dessus de la canne de nettoyage ;
- La figure 2D est une photographie du dispositif de nettoyage et de l'échangeur thermique des figures 1A à 1C, sur laquelle la caméra a été représentée schématiquement au-dessus de la canne de nettoyage, conformément à la disposition schématique des figures 2A à 2C ;

- La figure 2E est une photographie d'un troisième exemple de dispositif de nettoyage et d'un troisième exemple d'échangeur thermique, sur laquelle la caméra a été représentée schématiquement au-dessus de la canne de nettoyage, conformément à la disposition schématique des figures 2A à 2C ;
- Les figures 3A à 3C sont des représentations schématiques du deuxième dispositif de nettoyage et du deuxième échangeur thermique, sur lesquelles la caméra est disposée de manière déportée par rapport au centre de la plaque support en étant disposée latéralement par rapport à la plaque support de l'échangeur ;
- La figure 3D est une photographie de l'échangeur thermique et dispositif de nettoyage des figures 1A à 1C, sur laquelle la caméra a été représentée schématiquement latéralement par rapport au centre de la plaque support de l'échangeur, conformément à la disposition schématique des figures 3A à 3C ;
- La figure 3E est une photographie du troisième exemple de dispositif de nettoyage et du troisième exemple d'échangeur thermique, sur laquelle la caméra a été représentée schématiquement latéralement par rapport au centre de la plaque support de l'échangeur, conformément à la disposition schématique des figures 3A à 3C ;
- Les figures 4A et 4B sont des images augmentées générées par un ordinateur, conformément au procédé selon l'invention, montrant une plaque support avec des orifices munis d'un et deux marquages visuels, respectivement ;
- La figure 5A est une photographie du dispositif de nettoyage et de l'échangeur thermique des figures 1A à 1C et 3D, montrant une caméra (réelle et non schématique) positionnée latéralement à environ 1 m du centre de la plaque support, conformément à la disposition schématique des figures 3A à 3C ;
- La figure 5B est une photographie prise par la caméra de la figure 5A de la plaque support de l'échangeur thermique, tandis que la figure 5C montre cette même photographie une fois redressée ;
- La figure 6A représente schématiquement un objet cible à quatre points cibles lumineux ou réfléchissants destiné à être disposé sur la plaque support ou la canne, pour servir de repère orthogonal de référence ou de comparaison, respectivement ;
- La figure 6B est une simulation de ce que serait l'image acquise de l'échangeur thermique et du dispositif de nettoyage des figures 1A à 1C munis chacun de l'objet cible de la figure 6A, avec un éclairage dans le proche infrarouge à une longueur d'onde de 850 nm en utilisant un filtre spectral sur cette longue d'onde au niveau de la caméra.

**[0041]** Un exemple de mise en oeuvre du procédé selon l'invention est décrit ci-après à l'aide des figures 1A à 6B, sur lesquelles les éléments identiques sont identifiés par des références numériques identiques.

**[0042]** L'échangeur thermique 2, représenté sur les figures 1A à 1C, est un échangeur comprenant des tubes 21 en U horizontaux encastrés et débouchant dans une plaque support 22 verticale, au niveau de leurs orifices d'entrée 211 ou de sortie 212 (plus clairement visibles sur les figures 4A à 5C). En ce qui concerne plus particulièrement le dispositif de nettoyage 1 utilisé pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention, il consiste en une tringleuse 1 munie d'une canne 11 rigide de nettoyage, dont l'une des extrémités 111 est guidée en translation par un support 12 et destinée à être introduite à l'intérieur des tubes 21 de l'échangeur 2 pour les nettoyer. La canne 11 est disposée horizontalement sur un charriot 3 (visible sur les figures 1B et 1C), qui est mobile en translation horizontalement selon un premier axe parallèle à l'axe de symétrie de la canne 11, et selon un deuxième axe perpendiculaire à l'axe de symétrie de la canne 11, et mobile en translation verticalement selon un troisième axe perpendiculaire à l'axe de symétrie de la canne 11.

**[0043]** On associe virtuellement un repère orthogonal de référence  $(x_0, y_0, z_0)$  direct et tridimensionnel à la plaque support 22, de manière que ses axes  $x_0$  et  $y_0$  soient contenus dans le plan de plaque 22 (ou dans un plan qui lui est parallèle) et son axe  $z_0$  soit sensiblement horizontal. De même, on associe virtuellement un repère orthogonal de comparaison  $(x_1, y_1, z_1)$  direct et tridimensionnel au charriot 3, de manière que son axe  $z_1$  soit parallèle à l'axe de symétrie de ladite canne 11, comme illustré sur les figures 2A, 2B, 4B, 5A et 5B. La position du charriot lors d'un mouvement de translation vers la plaque support 22 est définie par la cote  $z_1$  par rapport à une position initiale du charriot avant déplacement définie par la cote  $z_1=0$ .

**[0044]** Outre la canne rigide 11 de nettoyage disposée sur le charriot 3, le dispositif de nettoyage selon l'invention comporte en outre les composants suivants :

- un éclairage IR pour minimiser la dépendance de la qualité des images aux conditions extérieures,
- une caméra 4 haute résolution, et
- une station de traitement informatique assurant l'interface entre la caméra 4 et un support pour la visualisation (écran ou tablette non représentée sur les figures), par exemple par voie filaire ou par voie d'ondes radioélectriques (via une connexion WIFI ou bluetooth notamment).

**[0045]** Ces composants sont choisis pour fonctionner en environnement extérieur.

**[0046]** Par ailleurs, pour s'affranchir de la lumière ambiante non maîtrisée, on utilisera avantageusement, un éclairage dédié et un filtrage spectral au niveau de la caméra (Ex NIR @ 850 nm) (non-visible à l'oeil nu, mais visible par la caméra), conduisant à l'obtention d'une image monochrome. On utilisera avantageusement une caméra numérique monochrome 16 Mpixel (4096x4096) permettant d'obtenir une image réelle avec une résolu-

tion spatiale inférieure à 1 mm/pixel.

**[0047]** Les figures 2A à 2C et 3A à 3C sont des représentations graphiques schématiques d'un deuxième exemple de dispositif de nettoyage et d'un deuxième exemple d'échangeur thermique, sur lesquelles la caméra est déportée par rapport au centre de la plaque support, en étant disposée au-dessus de la canne de nettoyage.

**[0048]** Ces représentations graphiques sont en fait des maquettes tridimensionnelles réalisées par le logiciel CAO « *SolidWorks* » illustrant la déportation de la caméra 4 par rapport au centre de l'échangeur thermique 2.

**[0049]** En particulier, les figures 2A à 2C montrent un mode de réalisation du procédé selon l'invention selon lequel la caméra 4 est déportée par rapport au centre de la plaque support en étant disposée au-dessus de la canne 11 de nettoyage. Dans une telle configuration, la position de la caméra 4 de nettoyage est fixe et protégée (des projections liquides et des déchets sortant des tubes 21 lors de leur nettoyage). En outre, la caméra 4 est centrée sur la plaque support 22, ce qui permet de réduire les effets de perspective et de réduire la sensibilité au soleil.

**[0050]** Les figures 3A à 3C montrent un mode de réalisation du procédé selon l'invention selon lequel la caméra 4 est déportée par rapport au centre de la plaque support en étant disposée latéralement par rapport au centre la plaque support de l'échangeur. Dans ce cas, il faudra veiller nécessairement à ce que l'angle formé par le plan de la caméra 4 et la plaque support 22 permette à la caméra 4 de filmer l'ensemble de la plaque 22, pour éviter l'inconvénient généré par une trop forte perspective.

**[0051]** Dans le cas d'un positionnement latéral de la caméra 4 à environ 1 m du centre de la plaque support, comme montré par la photographie de la figure 5A, l'image réelle 50 prise par cette caméra 4 montre un fort effet de perspective, comme montré par la figure 5B. Cet effet peut être corrigé de manière semi-automatique en recherchant des points caractéristiques connus, par exemple des points appartenant à un cercle et/ou des marqueurs physiques 5 positionnés par l'opérateur, comme illustré par la figure 5C : on obtient alors une image redressée 51.

**[0052]** Avec une visualisation redressée telle que montrée par la figure 5C il, est possible pour un opérateur :

- d'archiver l'image avant, pendant et après l'opération de nettoyage (traçabilité), et/ou
- d'annoter l'image pour indiquer par exemple les zones à ne pas traiter (tubes bouchés) et ou commentaires, et/ou
- d'aider au positionnement des tubes (à valider sur site par un essai), et/ou
- de suivre l'avancement des tubes traités (par exem-

ple à l'aide d'un tracé au doigt sur les tubes pendant qu'ils sont en cours de traitement, étant donné que pendant le nettoyage la caméra ne voit rien car le volet de protection est fermé).

**[0053]** A partir des images réelles haute résolution 50 ainsi obtenues (entre 0.5 et 1mm/pixel), éventuellement redressées 51, et avec l'utilisation de l'éclairage NIR assurant une certaine indépendance par rapport à l'ambiant, un premier calculateur génère des images monochromes haute résolution (images augmentées), utilisables pour la détection automatique des tubes et des bouchons.

**[0054]** Compte tenu de la grande disparité des échangeurs thermiques et sans connaissance de l'état de surface avant nettoyage (par exemple des trous obstrués avec un matériau plutôt clair), l'algorithme de recherche des tubes du procédé selon l'invention s'appuiera sur le fait que la lumière ne pénètre pas ou peu dans les tubes et donc le traitement recherchera des minimums locaux dans l'image.

**[0055]** Pour améliorer cette étape du procédé de l'invention, il est avantageux de coller des pastilles réfléchissantes 5 de taille connue (au moins 3) sur une face de l'échangeur (points coplanaires), comme illustré sur les figures 4A, 4B, 5B, 5C. Ces pastilles ont essentiellement trois fonctions, à savoir :

- délimiter une région circulaire 51 passant par trois pastilles, et assurant que la recherche des tubes soit réalisée à l'intérieur de cette région,
- permettre au système de s'auto-calibrer (intensité et calibration spatiale), et
- faciliter la correction perspective.

**[0056]** Les images augmentées 52 générées par le premier calculateur comprennent un premier marquage 210 visuel des orifices des tubes à nettoyer (orifices marqués) : sur la figure 4A, le contour des tubes à nettoyer est surligné d'un trait d'une première couleur. Les images augmentées 52 peuvent également comprendre, outre le premier marquage visuel, un deuxième marquage visuel 213 montrant les tubes ne devant pas être nettoyés : sur la figure 4B, le contour des tubes déjà nettoyés est surligné d'un trait de couleur différente.

**[0057]** Pour compléter le système de visualisation déportée précédemment décrit, et permettre le positionnement automatique de la tringleuse vis-à-vis des orifices des tubes 21, on pourra avantageusement utiliser des objets modèles dont la géométrie est connue, et dont on cherchera à détecter la position et l'orientation sur des images prises avec un éclairage de longueur d'onde connue (préférentiellement dans le proche infrarouge à 850 nm) et un filtre spectral sur cette longueur d'onde au niveau de la caméra.

**[0058]** Plus particulièrement, à titre d'objets modèles, on pourra avantageusement utiliser deux objets cibles lumineux 6, 7 :

- un premier objet cible 6 à quatre points cibles lumineux 61, 62, 63, 64 est disposé solidairement sur la plaque support 22 de manière que ses quatre points cibles 61, 62, 63, 64 constituent le repère orthogonal de référence  $(x_0, y_0, z_0)$ , et
- un deuxième objet cible 7 à quatre points cibles lumineux 71, 72, 73, 74 est disposé solidairement sur le charriot mobile 3 de manière que ses quatre points cibles 71, 72, 73, 74 constituent le repère orthogonal de comparaison  $(x_1, y_1, z_1)$ .

**[0059]** De tels objets cibles sont schématiquement représentés sur la figure 6A.

**[0060]** Ces objets 6, 7 sont composés de points cibles 61, 62, 63, 64, ou 71, 72, 73, 74, qui sont soit passifs (aptés à réfléchir de la lumière), soit actifs (émettant de la lumière, par exemple des LEDs).

**[0061]** Les points cibles 61, 62, 63, 64, 71, 72, 73, 74 réfléchissent la lumière provenant de la même direction que l'axe de vue de la caméra 4. Seule la lumière rétro-diffusée par les cibles 6, 7 est captée par la caméra 4.

**[0062]** Un éclairage de longueur d'onde connue (par exemple dans le proche infrarouge à 850nm) et un filtre spectral sur cette longueur d'onde au niveau de la caméra permettent de s'affranchir des changements d'ambiance lumineuse (par exemple les effets du soleil).

**[0063]** Un exemple d'image obtenue par un tel système est montré sur la figure 6B, montrant deux objets cibles 6, 7 contenant chacun 4 points cibles. Elle présente un caractère binaire assurant une très grande robustesse du traitement, quelle que soit la nature des objets visualisés.

**[0064]** En pratique, à l'aide de la caméra 4, un repérage et une mesure 3D de la position des 2 objets cibles 6, 7 sont réalisés (figure 6B). Ce qui donne, par différentes transformations géométriques, la position relative du chariot par rapport à l'échangeur (ou inversement).

**[0065]** Il est entendu, dans le cadre de la présente invention, qu'une même caméra peut être utilisée pour la détection des orifices des tubes et pour celle des objets cibles. Mais, il est également possible d'utiliser deux caméras distinctes.

**[0066]** Par un mécanisme de calibration et de construction du modèle initial, il est possible ensuite de construire un modèle 3D des positions des orifices 211, 212 des tubes 21 de l'échangeur 2 afin d'aider l'utilisateur ou l'automate dans le positionnement du dispositif de nettoyage par rapport à la plaque support 22 de l'échangeur 2.

### Positionnement et calibration

**[0067]** L'avantage de l'utilisation d'objets cibles 6, 7 est qu'il n'existe pas de forte contrainte pour le positionnement de la canne 11 à partir du moment où les deux objets cibles 6, 7 sont dans le champ de vue de la caméra.

**[0068]** Les objets cibles 6, 7 peuvent être protégés des éclaboussures par leurs positionnements. Ces objets

doivent simplement être solidaires des matériels (échangeur 2, ou charriot 3) sur lesquels ils sont positionnés.

**[0069]** Le déploiement d'un tel système est rapide (moins de 15 minutes). Si l'échangeur 2 bouge pendant le nettoyage, la caméra le repérera, fournira une alerte et pourra même lors d'un déplacement raisonnable (de quelques centimètres) procéder à une correction de l'alignement, que ce soit pour l'opérateur en mode manuel ou semi-automatique, ou pour le dispositif de calcul de la trajectoire des lances dans un mode complètement automatique (notion de recalibrage continu de l'alignement quel que soit le mouvement d'un élément par rapport à un autre).

**[0070]** En pratique, la phase de calibration consiste à venir positionner les tringles suivant les 4 points cardinaux par rapport à l'échangeur 2 et capturer une mesure à chaque position. En entrant ensuite la géométrie des différents tubes 21, le système est auto-calibré et est capable de connaître la position que doit avoir le modèle pour être en vis-à-vis des tubes 21. Cette géométrie peut provenir d'informations saisies par l'opérateur à l'aide d'outils simples en utilisant une image par exemple et/ou la détection automatique des tubes 21. Il est alors possible de projeter sur un maillage de tubes virtuels ou réels (image provenant de l'autre système) la position courante des tringles 1.

### Revendications

1. Procédé de guidage d'un dispositif de nettoyage (1) à haute pression en vue du nettoyage de l'intérieur des tubes (21) d'un échangeur thermique (2) à faisceaux de tubes (21) sensiblement rectilignes qui n'est pas solidaire du dispositif de nettoyage (1),

- lesdits tubes (21) étant encastrés dans une plaque support (22) sensiblement perpendiculaire auxdits tubes (21), au niveau de leurs orifices d'entrée (211) et de sortie (212), et

- ledit dispositif de nettoyage (1) comprenant au moins une canne rigide (11) de nettoyage, dont l'une des extrémités (111) est guidée en translation par un support (12) et est destinée à être introduite à l'intérieur desdits tubes (21) pour les nettoyer, ladite canne (11) étant disposée, de manière sensiblement horizontale, sur un charriot (3) mobile en translation horizontalement selon un premier axe parallèle à l'axe de symétrie de ladite canne (11) et selon un deuxième axe perpendiculaire audit axe de symétrie de ladite canne (11), et mobile en translation verticalement selon un troisième axe perpendiculaire à l'axe de symétrie de ladite canne (11) ;

- un repère orthogonal de référence  $(x_0, y_0, z_0)$  direct et tridimensionnel étant associé à ladite plaque support (22), de manière que ses axes  $x_0$  et  $y_0$  soient contenus dans un plan vertical

sensiblement parallèle à ladite plaque (22) et son axe  $z_0$  soit sensiblement horizontal ;

• un repère orthogonal de comparaison ( $x_1, y_1, z_1$ ) direct et tridimensionnel étant associé audit charriot (3), de manière que son axe  $z_1$  soit parallèle à l'axe de symétrie de ladite canne (11), la position du charriot lors d'un mouvement de translation vers ladite plaque support (22) étant définie par la côte  $z_1$  par rapport à une position initiale du charriot avant déplacement définie par la côte  $z_1=0$  ;

ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

A. prise d'une image réelle (50), par une caméra (4), de la disposition desdits orifices d'entrée (211) ou de sortie (212) au niveau de ladite plaque support (22), ladite caméra (4) étant déportée par rapport au centre de la plaque support (22) ;

B. envoi de ladite image réelle (50) à un premier ordinateur qui identifie la forme et la position desdits orifices (211, 212) selon le repère ( $x_0, y_0, z_0$ ) ainsi que leur éventuelle obstruction ;

C. calibration du repère de comparaison ( $x_1, y_1, z_1$ ) par rapport au repère de référence ( $x_0, y_0, z_0$ ) pour permettre l'obtention en temps réel de la position de ladite lance (11) par rapport aux orifices (211, 212) ;

D. à partir de ladite image réelle (50), calcul, par un ordinateur, d'un parcours optimal de positionnement de la canne (11) permettant le nettoyage de l'ensemble des tubes dont les orifices (211, 212) présentent un premier marquage visuel (210), en fonction de leur disposition dans le repère ( $x_0, y_0, z_0$ ), du calibrage entre les repères de référence ( $x_0, y_0, z_0$ ) et de comparaison ( $x_1, y_1, z_1$ ) et du nombre de cannes (11) de nettoyage que comporte ledit dispositif de nettoyage (1), ledit parcours optimal définissant un ordre de succession des déplacements ( $D_{ca}$ ) de la canne (11) selon les axes  $x_1$  et  $y_1$  entre lesquelles au moins deux déplacements ( $D_{ch}$ ) du chariot selon l'axe  $z_1$  ont lieu pour nettoyer les tubes (21) représentés par leurs orifices (211, 212) comprenant le premier marquage (210) sur une image augmentée (52) ;

E. Affichage dudit parcours optimal proposé et de ladite image augmentée (52) sur un écran de visualisation ;

F. Réalisation, par un opérateur et/ou par un automate piloté par un algorithme d'une étape de nettoyage  $E_{net}$  comprenant les sous-étapes :

a. F1) déplacements ( $D_{ca}$ ) de la canne (11) selon les axes  $x_1$  et  $y_1$ , de manière que ladite canne (11) soit disposée en face d'un tube (21) à nettoyer représenté par son ori-

fice (211, 212) comprenant le premier marquage (210) sur l'image augmentée (52) ;

b. F2) un premier déplacement  $D_{ch}$  de la canne (11) selon l'axe  $z_1$ , au travers dudit premier orifice (211, 212) pour nettoyer le tube (21) ;

c. F3) une fois ledit tube (21) nettoyé, un deuxième déplacement  $D_{ch}$  selon l'axe  $z_1$  de ladite canne (11) permettant le retrait hors dudit orifice (211, 212) ; puis

G. Répétition des étapes D à F jusqu'à réalisation de l'ensemble des étapes de nettoyage  $E_{net}$  prévues par le parcours optimal.

2. Procédé selon la revendication 1, selon lequel un opérateur pilote la totalité des déplacements ( $D_{ca}$ ) et ( $D_{ch}$ ) de la canne (11) au cours de l'étape de nettoyage  $E_{net}$ , en suivant ou non l'ordre de succession des déplacements ( $D_{ca}$ ) de la canne (11) défini par ledit parcours optimal.

3. Procédé selon la revendication 1, selon lequel :

- un automate piloté par un algorithme réalise les déplacements ( $D_{ca}$ ) de la canne (11) selon les axes  $x_1$  et  $y_1$  en suivant l'ordre défini par ledit parcours optimal,

- tandis qu'un opérateur réalise les déplacements  $D_{ch}$  de la canne (11) selon l'axe  $z_1$ ,

ledit automate piloté par algorithme attendant que l'opérateur réalise les déplacements  $D_{ch}$  avant de commencer les déplacements  $D_{ca}$  de l'étape de nettoyage suivant  $E_{net+1}$ .

4. Procédé selon la revendication 2 ou 3, comprenant en outre les étapes suivantes, entre les étapes B et C :

- B') génération par ledit premier ordinateur, à partir de l'image réelle (50), d'une image augmentée (52) comprenant un premier marquage visuel (210) des orifices (211, 212) des tubes (21) à nettoyer ;

- B") envoi de ladite image augmentée (52) à un deuxième ordinateur, qui calcule ensuite, lors de l'étape D le parcours optimal de positionnement à partir de ladite image réelle (52).

5. Procédé selon la revendication 4, selon lequel l'image augmentée (52) générée à l'étape B') comprend, outre le premier marquage visuel (210) des orifices (211, 212) des tubes (21) à nettoyer, un deuxième marquage visuel (213) des tubes (21) ne devant pas être nettoyés.

6. Procédé selon la revendication 4 ou 5, selon lequel

l'image réelle (50) est corrigée de manière à fournir une image redressée (51) avant d'être envoyée audit deuxième calculateur pour générer une image augmentée (52).

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, comprenant en outre, après chaque étape G, une étape supplémentaire d'interaction de l'opérateur ou du deuxième calculateur avec l'image augmentée (51). 5
8. Procédé selon la revendication 1, selon lequel un automate piloté par un algorithme réalise les déplacements ( $D_{ca}$ ) de la canne (11) selon les axes  $x_1$  et  $y_1$  en suivant l'ordre défini par ledit parcours optimal, ainsi que les déplacements Dch de la canne (11) selon l'axe  $z_1$ . 10
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, selon lequel l'image réelle (50) est prise par une caméra infrarouge ou proche infrarouge équipée d'un filtre optique, avec un éclairage infrarouge ou proche infrarouge. 20
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, selon lequel on utilise : 25
- un premier objet cible (6) comprenant quatre points cibles lumineux (61, 62, 63, 64) émettant ou étant aptes à réfléchir de la lumière, ledit premier objet cible (6) étant disposé sur la plaque support (22) de manière que ses quatre points cibles (61, 62, 63, 64) constituent ledit repère orthogonal de référence ( $x_0, y_0, z_0$ ), et 30
  - un deuxième objet cible (7) comprenant quatre points cibles lumineux (71, 72, 73, 74) émettant ou étant aptes à réfléchir de la lumière, ledit deuxième objet cible (7) étant disposé sur le charriot mobile (3) de manière que ses quatre points cibles (71, 72, 73, 74) constituent ledit repère orthogonal de comparaison ( $x_1, y_1, z_1$ ). 35

#### Patentansprüche 45

1. Verfahren zur Führung einer Hochdruck-Reinigungsvorrichtung (1) zwecks Reinigung des Inneren der Leitungen (21) eines Wärmetauschers (2) mit Bündeln von etwa geradlinigen Leitungen (21), der mit der Reinigungsvorrichtung (1) nicht fest verbunden ist, 50
- wobei die Leitungen (21) in eine im Bereich ihrer Eingangs- (211) und Ausgangsöffnungen (212) zu den Leitungen (21) etwa senkrechten Trägerplatte (22) eingebettet sind, und 55
  - wobei die Reinigungsvorrichtung (1) mindestens einen starren Reinigungsstab (11) umfasst,

von dem eines der Enden (111) von einem Halter (12) in Verschiebung geführt wird und bestimmt ist, in das Innere der Leitungen (21) eingeführt zu werden, um sie zu reinigen, wobei der Stab (11) etwa horizontal auf einem Schlitten (3) angeordnet ist, der in Verschiebung horizontal gemäß einer ersten Achse, die parallel zur Symmetrieachse des Stabs (11) ist, und gemäß einer zweiten Achse, die senkrecht zur Symmetrieachse des Stabs (11) ist, beweglich und in Verschiebung vertikal gemäß einer dritten Achse, die senkrecht zur Symmetrieachse des Stabs (11) ist, beweglich ist,

- wobei eine direkte und dreidimensionale orthogonale Referenzmarke ( $x_0, y_0, z_0$ ) der Trägerplatte (22) derart zugeordnet ist, dass ihre Achsen  $x_0$  und  $y_0$  in einer vertikalen Ebene, die etwa parallel zu der Platte (22) ist, enthalten sind, und ihre Achse  $z_0$  etwa horizontal ist,
- wobei eine direkte und dreidimensionale orthogonale Vergleichsmarke ( $x_1, y_1, z_1$ ) dem Schlitten (3) derart zugeordnet ist, dass ihre Achse  $z_1$  zur Symmetrieachse des Stabs (11) parallel ist, wobei die Position des Schlittens bei einer verschiebenden Bewegung in Richtung der Trägerplatte (22) von der Seite  $z_1$  in Bezug auf eine Ausgangsposition des Schlittens vor Verlagerung, definiert durch die Seite  $z_1=0$ , definiert ist,

wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- A. Aufnehmen eines realen Bildes (50) mit einer Kamera (4) der Anordnung der Eingangs- (211) oder Ausgangsöffnungen (212) im Bereich der Trägerplatte (22), wobei die Kamera (4) in Bezug auf das Zentrum der Trägerplatte (22) versetzt ist,
- B. Senden des realen Bildes (50) an einen ersten Rechner, der die Form und die Position der Öffnungen (211, 212) gemäß der Marke ( $x_0, y_0, z_0$ ) sowie ihrer eventuellen Verstopfung identifiziert,
- C. Kalibrieren der Vergleichsmarke ( $x_1, y_1, z_1$ ) in Bezug auf die Referenzmarke ( $x_0, y_0, z_0$ ), um das Erhalten in Echtzeit der Position der Lanze (11) in Bezug auf die Öffnungen (211, 212) zu erlauben,
- D. auf der Basis des realen Bildes (50), Berechnen, durch einen Rechner, einer optimalen Positionierungsstrecke des Stabs (11), welche die Reinigung aller Leitungen erlaubt, deren Öffnungen (211, 212) eine erste visuelle Markierung (210) aufweisen, in Abhängigkeit von ihrer Anordnung in der Marke ( $x_0, y_0, z_0$ ), der Kalibrierung zwischen den Referenz- ( $x_0, y_0, z_0$ ) und Vergleichsmarken ( $x_1, y_1, z_1$ ) und der Anzahl von Reinigungsstäben (11), die die Reinigungsvor-

richtung (1) aufweist, wobei die optimale Strecke eine Ablaufreihenfolge der Verlagerungen ( $D_{ca}$ ) des Stabs (11) gemäß den Achsen  $x_1$  und  $y_1$  definiert, zwischen denen mindestens zwei Verlagerungen ( $D_{ch}$ ) des Schlittens gemäß der Achse  $z_1$  stattfinden, um die Leitungen (21), die durch ihre Öffnungen (211, 212) dargestellt sind, umfassend die erste Markierung (210) auf einem aufgelösten Bild (52), zu reinigen,  
 E. Anzeigen der vorgeschlagenen optimalen Strecke und des aufgelösten Bildes (52) auf einem Visualisierungsbildschirm,  
 F. Durchführen, durch einen Bediener und/oder eine Automatik, gesteuert durch einen Algorithmus, eines Reinigungsschritts  $E_{net}$ , umfassend die folgenden Unterschritte:

- a. F1) Verlagerungen ( $D_{ca}$ ) des Stabs (11) gemäß den Achsen  $x_1$  und  $y_1$  derart, dass der Stab (11) gegenüber einer zu reinigenden Leitung (21) angeordnet ist, dargestellt durch ihre Öffnung (211, 212), umfassend die erste Markierung (210) auf dem aufgelösten Bild (52),
- b. F2) eine erste Verlagerung  $D_{ch}$  des Stabs (11) gemäß der Achse  $z_1$  durch die erste Öffnung (211, 212), um die Leitung (21) zu reinigen,
- c. F3) sobald die Leitung (21) gereinigt ist, eine zweite Verlagerung  $D_{ch}$  gemäß der Achse  $z_1$  des Stabs (11), die das Herausziehen aus der Öffnung (211, 212) erlaubt, dann

G. Wiederholen der Schritte D bis F bis zur Durchführung aller durch die optimale Strecke vorgesehenen Reinigungsschritte  $E_{net}$ .

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein Bediener die Gesamtheit der Verlagerungen ( $D_{ca}$ ) und ( $D_{ch}$ ) des Stabs (11) während des Reinigungsschritts  $E_{net}$  durch Absolvieren oder nicht der durch die optimale Strecke festgelegte Ablaufreihenfolge der Verlagerungen ( $D_{ca}$ ) des Stabs (11) steuert.
3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei:
  - eine von einem Algorithmus gesteuerte Automatik die Verlagerungen ( $D_{ca}$ ) des Stabs (11) gemäß den Achsen  $x_1$  und  $y_1$  gemäß der von der optimalen Strecke festgelegten Reihenfolge steuert,
  - wogegen ein Bediener die Verlagerungen  $D_{ch}$  des Stabs (11) gemäß der Achse  $z_1$  durchführt,

wobei die von dem Algorithmus gesteuerte Automatik wartet, dass der Bediener die Verlagerungen  $D_{ch}$  vor Beginn der Verlagerungen  $D_{ca}$  des Reinigungs-

schritts gemäß  $E_{net+1}$  durchführt.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, umfassend ferner die folgenden Schritte zwischen den Schritten B und C:
  - B') Erzeugen, durch den ersten Rechner, auf der Basis des realen Bildes (50), eines aufgelösten Bildes (52), umfassend eine erste visuelle Markierung (210) der Öffnungen (211, 212) der zu reinigenden Leitungen (21),
  - B'') Versenden des aufgelösten Bildes (52) an einen zweiten Rechner, der danach bei Schritt D die optimale Positionierstrecke auf der Basis des realen Bildes (52) berechnet.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das in Schritt B') erzeugte aufgelöste Bild (52) neben der ersten visuellen Markierung (210) der Öffnungen (211, 212) der zu reinigenden Leitungen (21) eine zweite visuelle Markierung (213) der Leitungen (21) umfasst, die nicht gereinigt werden müssen.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, wobei das reale Bild (50) derart korrigiert wird, dass vor dem Versand an den zweiten Rechner zur Erzeugung eines aufgelösten Bildes (52) ein korrigiertes Bild (51) bereitgestellt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, umfassend ferner nach jedem Schritt G einen zusätzlichen Interaktionsschritt des Bedieners oder des zweiten Rechners mit dem aufgelösten Bild (51).
8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine von einem Algorithmus gesteuerte Automatik die Verlagerungen ( $D_{ca}$ ) des Stabs (11) gemäß den Achsen  $x_1$  und  $y_1$  bei Einhaltung der von der optimalen Strecke festgelegten Reihenfolge sowie die Verlagerungen  $D_{ch}$  des Stabs (11) gemäß der Achse  $z_1$  durchführt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das reale Bild (50) von einer Infrarot- oder Nahinfrarot-Kamera, die mit einem optischen Filter ausgestattet ist, mit einer Infrarot- oder Nahinfrarot-Beleuchtung aufgenommen wird.
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei verwendet wird:
  - ein erstes Zielobjekt (6), umfassend vier Lichtzielobjekte (61, 62, 63, 64), die Licht senden oder imstande sind zu reflektieren, wobei das erste Zielobjekt (6) auf der Trägerplatte (22) derart angeordnet ist, dass seine vier Zielobjekte (61, 62, 63, 64) die orthogonale Referenzmarke ( $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$ ) bilden, und
  - ein zweites Zielobjekt (7), umfassend vier

Lichtzielpunkte (71, 72, 73, 74), die Licht senden oder imstande sind zu reflektieren, wobei das zweite Zielobjekt (7) auf dem beweglichen Schlitten (3) derart angeordnet ist, dass seine vier Zielpunkte (71, 72, 73, 74) die orthogonale Vergleichsmarke ( $x_1, y_1, z_1$ ) bilden.

## Claims

1. Method of guidance for a high-pressure cleaning device (1) to clean the inside of tubes (21) of a heat exchanger (2) with substantially straight tube bundles (21) that is not fixed to the cleaning device (1);

- said tubes (21) being embedded in a support plate (22) approximately perpendicular to said tubes (21) at their inlet (211) and outlet (212) orifices, and
- said cleaning device (1) comprising at least one rigid cleaning rod (11), one of the ends (111) of which is guided in translation by a support (12) and is intended to be introduced inside said tubes (21) to clean them, said rod (11) being arranged approximately horizontal, on a carriage (3) free to move in translation, horizontally along a first axis parallel to the axis of symmetry of said rod (11) and along a second axis perpendicular to said axis of symmetry of said rod (11), and free to move in vertical translation along a third axis perpendicular to the axis of symmetry of said rod (11);
- a direct and three-dimensional orthogonal reference coordinate system ( $x_0, y_0, z_0$ ) being associated with said support plate (22), such that its  $x_0$  and  $y_0$  axes are contained in a vertical plane approximately parallel to said plate (22) and its  $z_0$  axis is approximately horizontal;
- a direct and three-dimensional orthogonal comparison coordinate system ( $x_1, y_1, z_1$ ) being associated with said carriage (3), such that its  $z_1$  axis is parallel to the axis of symmetry of said rod (11), the position of the carriage during a translation movement towards said support plate (22) being defined by the dimension  $z_1$  related to an initial position of the carriage before displacement defined by elevation  $z_1 = 0$ ;

said method including the following steps:

- A. take a real picture (50) using a camera (4), of the arrangement of said inlet (211) or outlet (212) orifices at said support plate (22), said camera (4) being offset from the centre of the support plate (22);
- B. send said real picture (50) to a first computer that identifies the shape and position of said orifices (211, 212) in the ( $x_0, y_0, z_0$ ) coordinate

system, and whether they are obstructed;

C. calibrate the comparison coordinate system ( $x_1, y_1, z_1$ ) relative to the reference coordinate system ( $x_0, y_0, z_0$ ) to obtain the position of said lance (11) relative to the orifices (211, 212) in real time;

D. starting from said real picture (50), use a computer to calculate an optimum positioning path for the rod (11) to enable cleaning of all the tubes for which the orifices (211, 212) have a first visual mark (210), as a function of their arrangement in the ( $x_0, y_0, z_0$ ) coordinate system, the calibration between the reference coordinate system ( $x_0, y_0, z_0$ ) and the comparison coordinate system ( $x_1, y_1, z_1$ ) and the number of cleaning rods (11) included in said cleaning device (1), said optimum path defining an order of succession of the displacements ( $D_{ca}$ ) of the rod (11) along the  $x_1$  and  $y_1$  axes between which at least two displacements ( $D_{ch}$ ) of the carriage take place along the  $z_1$  axis to clean the tubes (21) represented by their orifices (211, 212) comprising the first mark (210) on an enhanced picture (52);

E. Display said proposed optimum path and said enhanced picture (52) on a display screen;

F. Get an operator and/or a logic controller controlled by an algorithm to perform a cleaning step  $E_{net}$  comprising the following sub-steps

- a. F1) displacements ( $D_{ca}$ ) of the rod (11) along the  $x_1$  and  $y_1$  axes such that said rod (11) is arranged facing a tube (21) to be cleaned represented by its orifice (211, 212) comprising the first marking (210) on the enhanced picture (52);
- b. F2) a first displacement  $D_{ch}$  of the rod (11) along the  $z_1$  axis, through said first orifice (211, 212) to clean the tube (21);
- c. F3) once said tube (21) has been cleaned, a second displacement  $D_{ch}$  along the  $z_1$  axis of said rod (11) to withdraw outside said orifice (211, 212); then

G. Repeat steps D to F until all cleaning steps  $E_{net}$  included in the optimum path have been completed.

2. Method according to claim 1, in which an operator controls all displacements ( $D_{ca}$ ) and ( $D_{ch}$ ) of the rod (11) during the cleaning step  $E_{net}$ , following or not following the succession of displacements of the rod (11) defined by said optimum path.

3. Method according to claim 1, in which:

- a logic controller controlled by an algorithm makes the displacements ( $D_{ca}$ ) of the rod (11)

- along the  $x_1$  and  $y_1$  axes following the order defined by said optimum path,  
 - while an operator makes displacements  $D_{ch}$  of the rod (11) along the  $z_1$  axis,
- said logic controller controlled by the algorithm waiting for the operator to make the displacements  $D_{ch}$  before starting the displacements  $D_{ch}$  for the next cleaning step  $E_{net+1}$ .
4. Method according to claim 2 or 3, also comprising the following steps between steps B and C:
- B') generation by said first computer of an enhanced picture (52) from the real picture (50), comprising first visual marking (210) of orifices (211, 212) of tubes (21) to be cleaned;
  - B") send said enhanced picture (52) to a second computer that then calculates the optimum positioning path during step D, starting from said real picture (52) .
5. Method according to claim 4, in which the enhanced image (52) generated in step B') comprises a second visual marking (213) of the tubes (21) that are not to be cleaned, in addition to the first visual marking (210) of the orifices (211, 212) of tubes (21) to be cleaned.
6. Method according to claim 4 or 5, in which the real picture (50) is corrected so as to provide a straightened picture (51) between being sent to said second computer to generate an enhanced image (52).
7. Method according to any one of claims 4 to 6, also comprising, after each step G, an additional interaction step by the operator or by the second computer with the enhanced image (51).
8. Method according to claim 1, in which a logic controller controlled by an algorithm makes displacements ( $D_{ca}$ ) of the rod (11) along the  $x_1$  and  $y_1$  axes following the order defined by said optimum path, and displacements  $D_{ch}$  of the rod (11) along the  $z_1$  axis.
9. Method according to any one of claims 1 to 7, in which the real picture (50) is taken by an infrared or near infrared camera fitted with an optical filter, under infrared or near infrared lighting.
10. Method according to one of the previous claims, in which the following are used
- a first target object (6) comprising four light target points (61, 62, 63, 64) emitting or being capable of reflecting light, said first target object (6) being arranged on the support plate (22)

such that its four target points (61, 62, 63, 64) form said reference orthogonal coordinate system ( $x_0, y_0, z_0$ ), and

- a second target object (7) comprising four light target points (71, 72, 73, 74) emitting or being capable of reflecting light, said second target object (7) being arranged on the mobile carriage (3) such that its four target points (71, 72, 73, 74) form said comparison orthogonal coordinate system ( $x_1, y_1, z_1$ ).

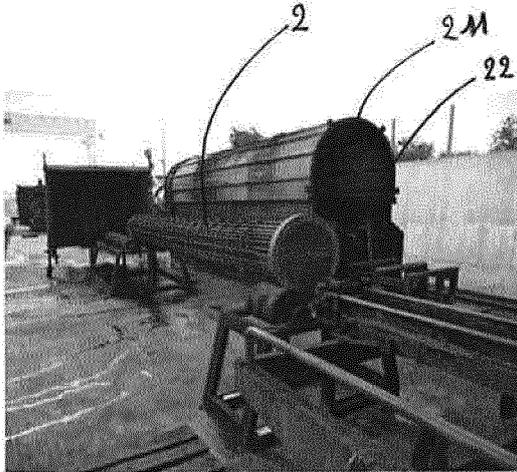


FIG. 1A

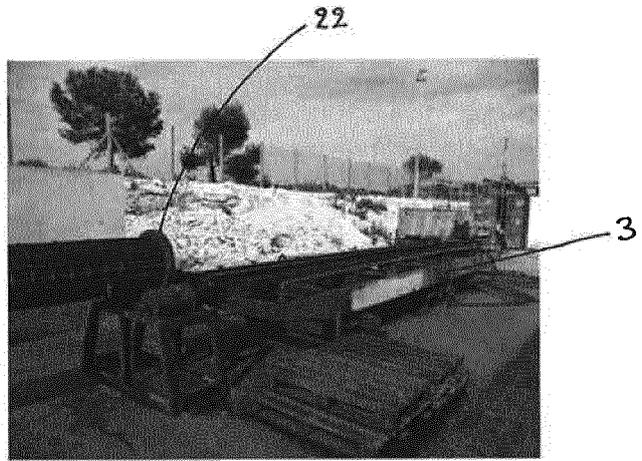


FIG. 1B

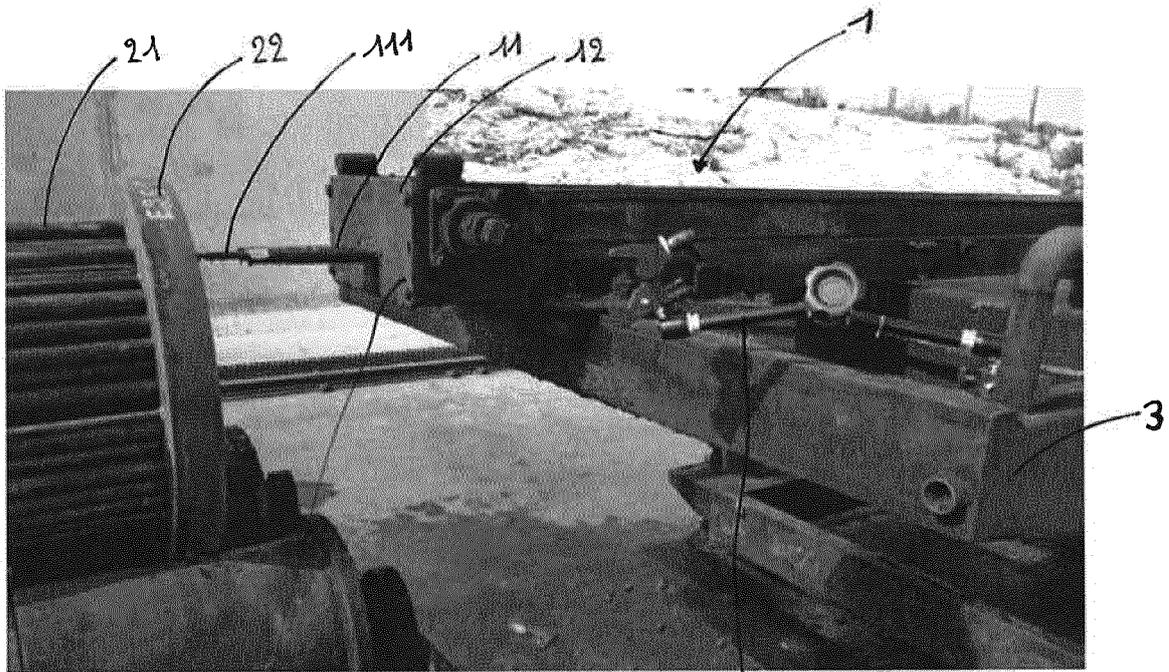


FIG. 1C

110

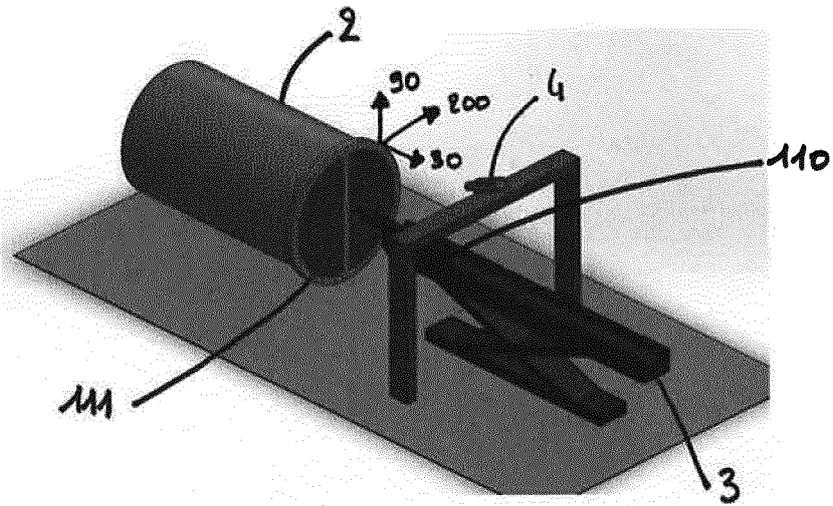


FIG. 2A

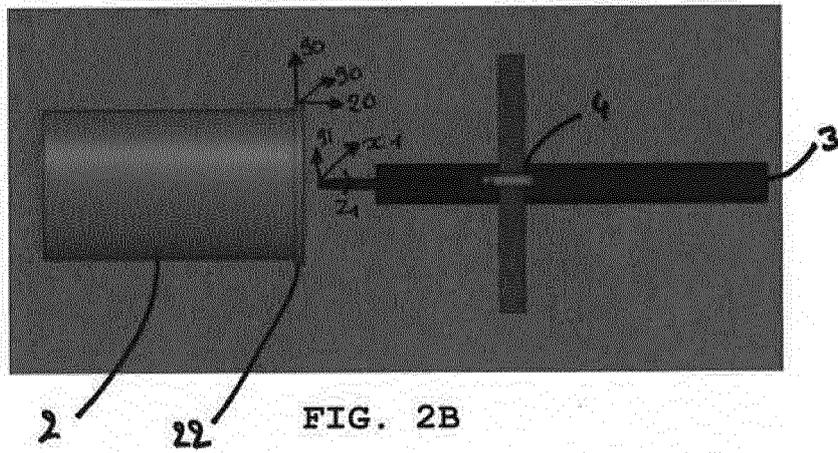


FIG. 2B

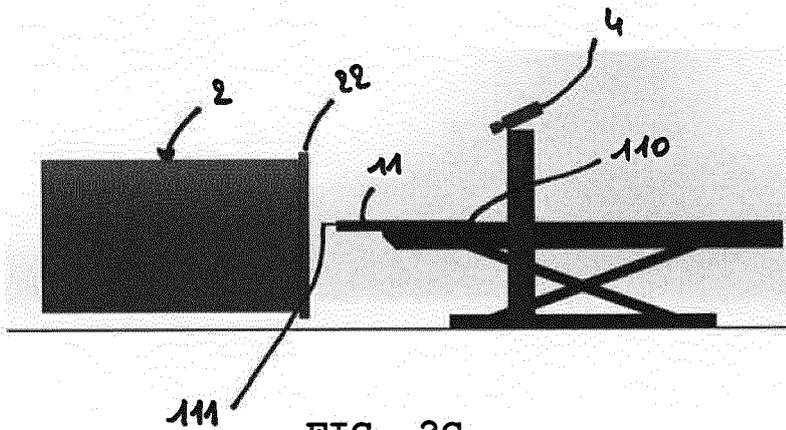


FIG. 2C

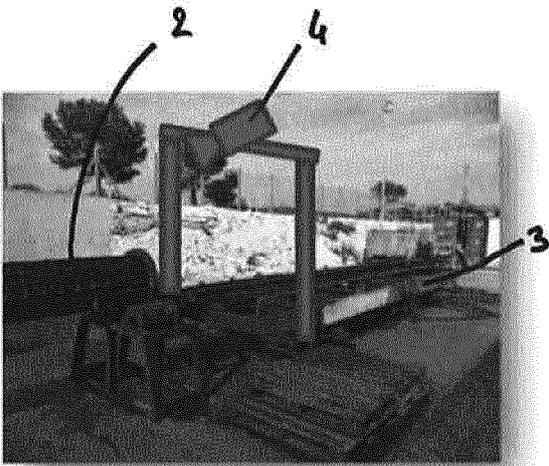


FIG. 2D

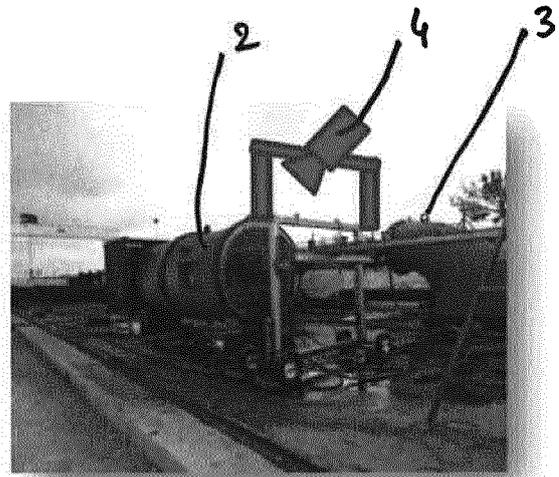


FIG. 2E

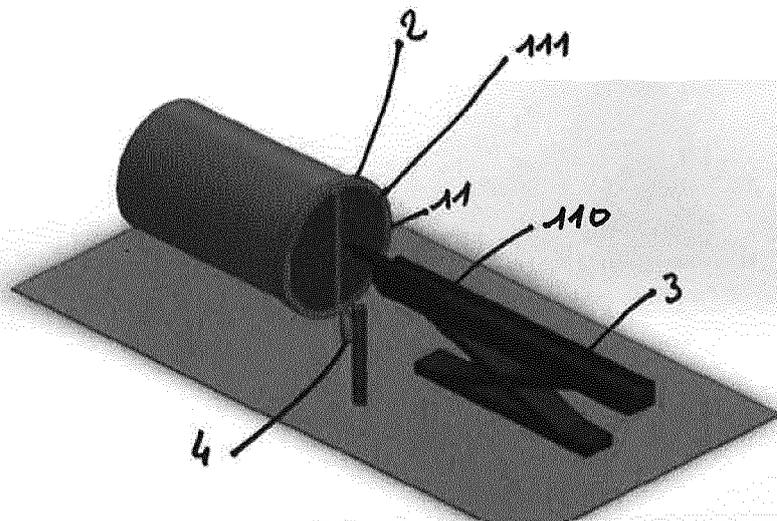
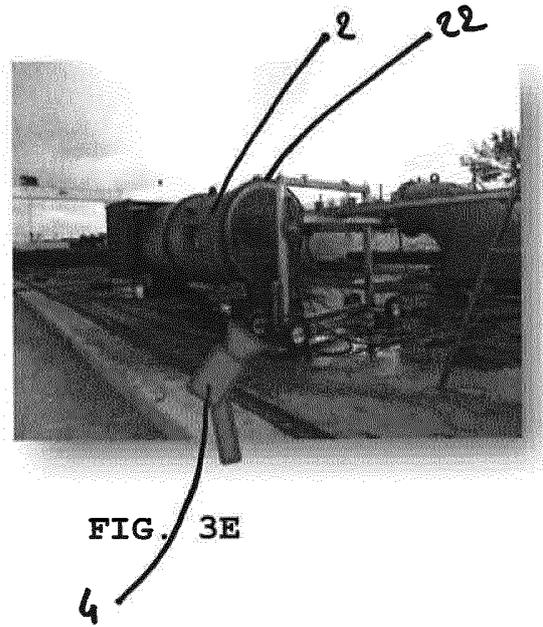
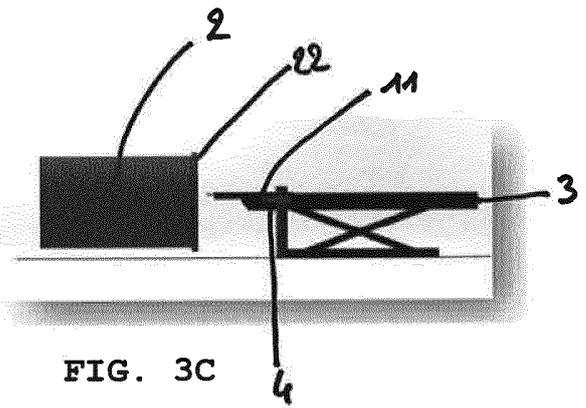
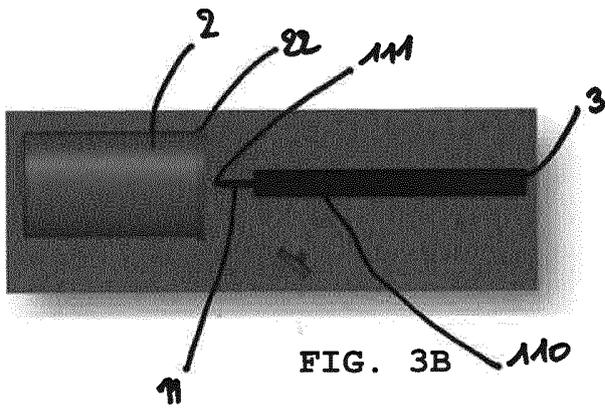


FIG. 3A



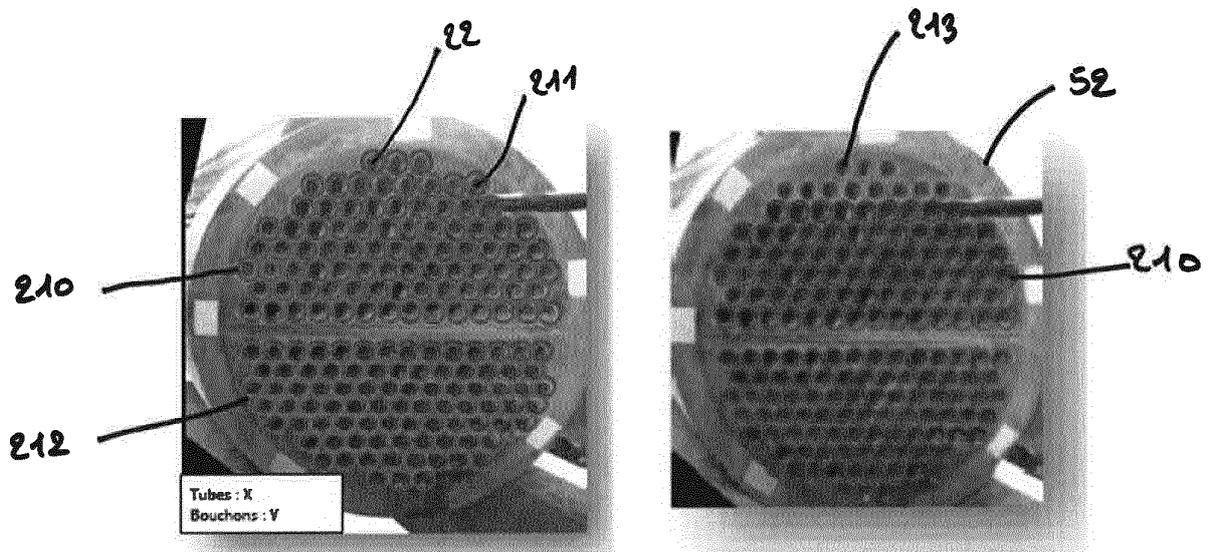


FIG. 4A

FIG. 4B

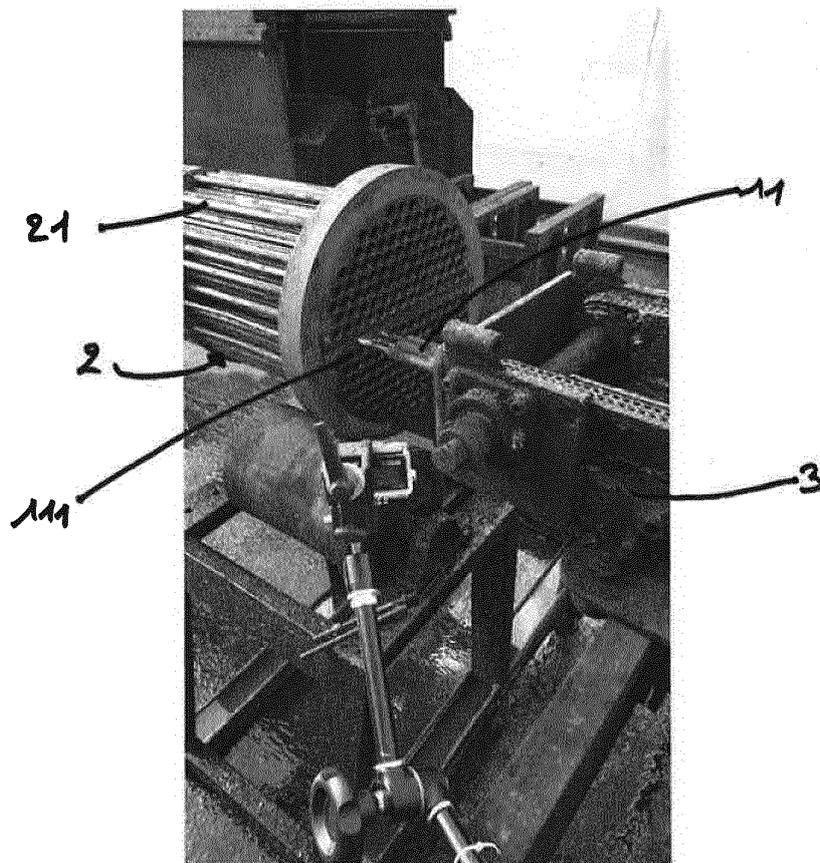


FIG. 5A

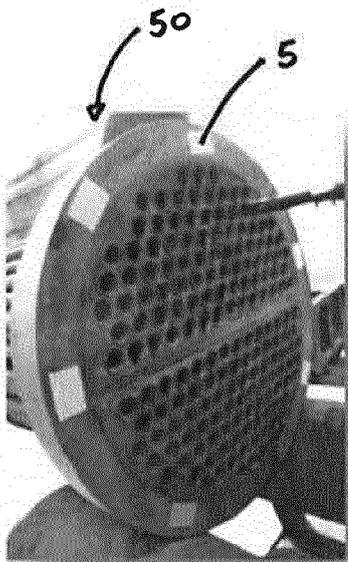


FIG. 5B

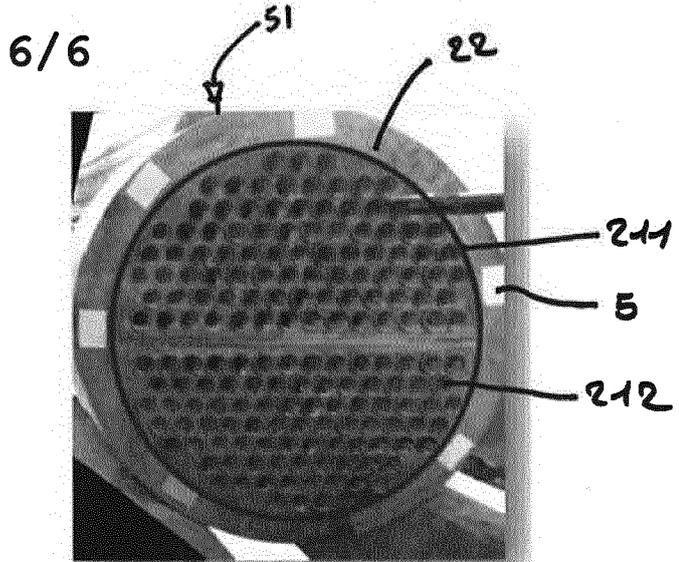


FIG. 5C

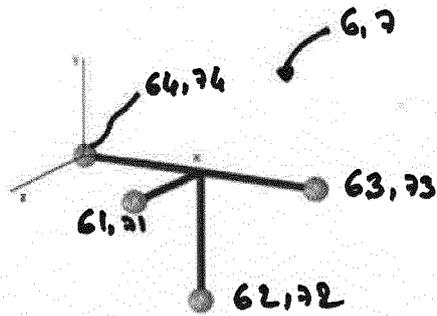


FIG. 6A

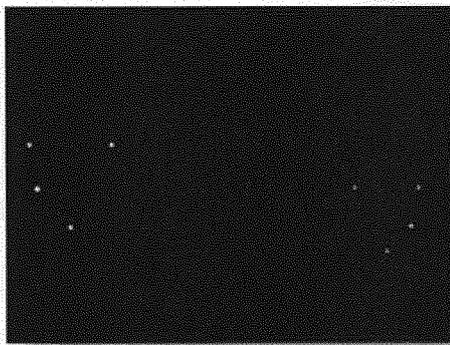


FIG. 6B

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

**Documents brevets cités dans la description**

- US 6681839 B [0010]