

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
29 octobre 2020 (29.10.2020)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2020/217036 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G06T 7/60 (2017.01) *G06T 7/62* (2017.01)
G06T 7/00 (2017.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2020/050712

(22) Date de dépôt international :
24 avril 2020 (24.04.2020)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1904491 26 avril 2019 (26.04.2019) FR

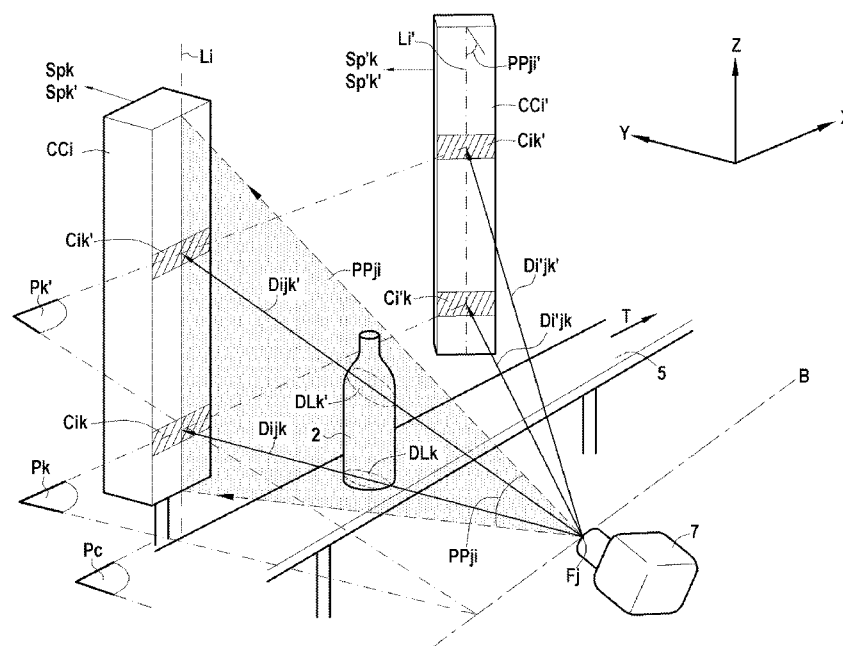
(71) Déposant : **TIAMA** [FR/FR] ; 1 CHEMIN DES PLAT-
TES, ZONE ARTISANALE DES PLATTES, 69390
VOURLES (FR).

(72) Inventeurs : **COLLE, Olivier** ; 53 Rue de la Bussière,
69600 OULLINS (FR). **CANCE, Benoit** ; 14 Route du
Viala, 48220 PONT DE MONTVERT (FR). **COSNEAU,**
Laurent ; 16 chemin de la Chauchère, Le Clos du Levant,
69510 SOUCIEU-EN-JARREST (FR). **DESBAT, Laurent**
; 12 Rue du Capitaine Lanvin Lespiau, 38000 GRENOBLE
(FR). **MAITRE, Emmanuel** ; 700 Avenue Centrale, 38401
SAINT MARTIN D'HERES (FR). **SZAFRAN, Nicolas** ;
28 Rue Jean Jaurès, 38610 GIERES (FR).

(74) Mandataire : **PUTET, Gilles** et al. ; Cabinet Beau de Lo-
ménie, 51 Avenue Jean Jaurès, BP 7073, 69301 LYON CE-
DEX 07 (FR).

(54) Title: METHOD AND INSTALLATION FOR THE IN-LINE DIMENSIONAL CONTROL OF MANUFACTURED OBJECTS

(54) Titre : PROCEDE ET INSTALLATION DE CONTROLE DIMENSIONNEL EN LIGNE D'OBJETS MANUFACTURES



[Fig. 2]

(57) Abstract: The invention relates to a method and installation for automatically measuring linear dimensions of manufactured objects (2) of a run comprising: - arranging at least one X-ray focal point (Fj) on a given base line parallel to the rectilinear trajectory of movement of the objects and providing one or more image sensors (Ci); - acquiring, for each object over the course of its movement, a set of one-dimensional images comprising, for a number (NK) of distinct sectional planes (Pk) containing the base line, a number (NP) of said images obtained in at least three different directions of projection (Dijk) in the sectional plane; - for each object, and for each distinct sectional plane (Pk), determining, on the basis of the obtained images, a delineation of the object in the sectional plane (Pk) in question.

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

Publiée:

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

(57) **Abbrégé** : L'invention concerne un procédé et une installation de mesure automatique de dimensions linéaires d'objets manufacturés (2) d'une série comprenant : - la disposition, d'au moins un foyer (Fj) de rayons X, sur une même droite de base parallèle à la trajectoire rectiligne de déplacement des objets et d'un ou plusieurs capteurs d'images (Ci); - l'acquisition, pour chaque objet au cours de son déplacement, d'un ensemble d'images unidimensionnelles comprenant, pour un nombre (NK) de plans de section (Pk) distincts contenant la droite de base, un nombre (NP) des dites images obtenues selon au moins trois directions de projection (Dijk) différentes dans le plan de section; - pour chaque objet, et pour chaque plan de section (Pk) distinct, la détermination, à partir des images obtenues, d'une délimitation de l'objet dans le plan de section (Pk) considéré.

Description

Titre de l'invention : PROCEDE ET INSTALLATION DE CONTROLE DIMENSIONNEL EN LIGNE D'OBJETS MANUFACTURES

Domaine Technique

[0001] L'invention concerne le domaine du contrôle dimensionnel par rayons X, d'objets manufacturés formant une série d'objets.

[0002] L'objet de l'invention vise plus particulièrement à obtenir la mesure, par rayons X, de dimensions linéaires, c'est-à-dire des longueurs prises sur des objets manufacturés au sens général, tels que par exemple sur des récipients, des pièces moulées ou usinées, des pièces mécaniques, des emballages, des éléments de carrosserie.

Technique antérieure

[0003] L'art antérieur connaît diverses techniques permettant le contrôle dimensionnel d'objets par rayons X. Sont également connus des systèmes d'inspection de bagages, qui ne visent pas à mesurer les dimensions d'objets connus mais à détecter des objets prohibés ou des quantités de matériaux prohibés se présentant dans des dispositions, formes et quantités pratiquement aléatoires.

[0004] Il est ainsi connu les systèmes à rotation axiale dont fait partie la tomographie assistée par ordinateur ou CT (« computed tomography »). Cette méthode classique est décrite dans l'article de « Computed tomography for dimensional metrology » de J.P.Kruth(1) & all, dans CIRP Annals.

[0005] Volume 60, Issue 2, 2011, Pages 821-842 et mise en œuvre par exemple, par les appareils de tomographie commercialisés par les sociétés Werth Messtechnik ou General Electric. Cette méthode consiste à positionner entre un tube générateur de rayons X et un capteur d'images à rayons X matriciel ou linéaire, un objet sur un plateau tournant autour d'un axe vertical. Un très grand nombre (au moins 100 et souvent plus de 600) images radiographiques 2D des objets sont acquises durant la rotation. Si le capteur d'images est matriciel, le faisceau est conique. Si le capteur d'images est linéaire, le faisceau est avantageusement confiné en éventail (« fan beam ») dans un plan orthogonal à l'axe de rotation et

la rotation s'accompagne d'une translation selon l'axe vertical de la rotation, pour un balayage complet de type hélicoïdal. Cette technique peut fournir des mesures tridimensionnelles de grande précision. Cependant, le temps d'acquisition nécessite au moins une minute pour les systèmes les plus rapides, auquel s'ajoutent les temps de chargement et de déchargement des objets de sorte que 10 à 30 objets sont inspectés au maximum par heure.

[0006] Une autre solution dite à portique rotatif est proposée par exemple par l'appareil connu sous la dénomination commerciale « speed|scan CT 64 » de la General Electric Company. De même que certains scanners 3D pour des bagages, ce concept de solution est semblable aux tomographes d'imagerie médicale du point de vue des mouvements relatifs entre source, objet et capteur d'images. En effet les objets manufacturés ou les bagages, disposés sur un convoyeur, sont en translation dans l'appareil. Ils traversent un plan de projection orthogonal à la direction de déplacement. Dans un portique circulaire contenant ledit plan, on fait tourner autour de l'axe central de déplacement, une source de rayons X et un capteur d'images généralement incurvé, opposé à la source, pour obtenir, tranche par tranche ou par scan hélicoïdal, les projections nécessaires à la reconstruction 3D par un algorithme mettant en œuvre par exemple la méthode de « projection arrière filtrée » ou la méthode ART. L'objectif de ces appareils est de permettre l'acquisition d'un très grand nombre de projections à chaque tour du portique, par exemple 100, voire 700 à 1 000 images par tranche. La reconstruction 3D des objets est faite par exemple tranche par tranche. Ayant en effet déterminé l'atténuation en tout point de la tranche, en concaténant les tranches obtenues pendant le déplacement de l'objet, on obtient une valeur d'atténuation en tout élément de volume de l'objet.

[0007] Si ces appareils à rotation d'axe vertical ou à portique rotatif sont très précis grâce au grand nombre d'images fournies, ces appareils sont coûteux et lents et sont en pratique réservés au contrôle hors ligne car ils ne sont pas adaptés au contrôle dimensionnel en ligne pour des cadences pouvant atteindre et dépasser 600 articles par minute avec des défilements de 1m/s.

[0008] La demande de brevet DE 10 2014 103137 décrit un procédé pour déterminer des caractéristiques géométriques sur une pièce à usiner à l'aide d'un système de détecteurs tomодensitométriques, constitué d'une source de rayons X, d'un

détecteur plan et d'un axe mécanique pour faire tourner la pièce ou pour faire tourner la source de rayons X et le détecteur.

[0009] Le procédé acquiert des images radiographiques lors de la rotation et assure une représentation de la surface en utilisant un modèle de la surface. Un tel procédé évite la mise en œuvre d'étapes de reconstruction des données de volume pour réduire le temps de calcul. Une telle technique ne permet pas de mesurer des pièces fabriquées à haute cadence car elle nécessite le chargement des pièces sur un plateau tournant puis une rotation sur au moins 180° puis son déchargement pour le contrôle d'une autre pièce.

[0010] Pour pallier les inconvénients du tube et capteur d'images embarqués sur un portique tournant, le brevet US 8 971 484 décrit un système d'inspection de bagages dans lequel le système tournant est remplacé par un réseau de sources de rayons X multifaisceaux stationnaires actionnées successivement pour créer un déplacement virtuel des sources de rayons X permettant de fournir un grand nombre d'images radiographiques avec des angles différents de projection. Par rapport aux systèmes à rotation physique limités à 4 tours par seconde, le nombre de « rotations virtuelles » est porté à 40 révolutions par seconde. Cette technique qui est mise en œuvre par l'appareil connu sous la dénomination commerciale Rapiscan RTT de la société Rapiscan Systems, est apte à contrôler 1 200 bagages par heure, en réalisant des dizaines de milliers d'image 2D des bagages, en considérant que la rotation virtuelle fournit environ 40 angles de projection différents.

[0011] Cette technique s'avère très coûteuse en raison du prix élevé pour les multisources à rayons X et de la puissance de calcul nécessaire au traitement d'un volume très important de données. De plus, les cadences de contrôle sont encore limitées et ne sont pas adaptées au contrôle en ligne.

[0012] Les brevets US 7 319 737 et US 7 221 732 proposent de contrôler des bagages par une technique appelée laminographie digitale ou tomosynthèse. Les bagages traversent une succession de plans de projections coniques appelés « fan beam » et contenant chacun une paire de capteurs d'images linéaires disposés en L. Ces techniques visent à rechercher des armes ou des explosifs dans les bagages qui contiennent des objets de forme et matériaux très divers,

en visualisant leurs positions 3D dans le bagage et en évaluant par exemple le volume de produit suspect. Il est fréquent d'utiliser une technologie multi spectrale afin de déterminer également le numéro atomique de la matière. Ces systèmes cherchent donc à déterminer une valeur d'atténuation en tout point d'un bagage. En revanche, ces systèmes ne sont pas aptes à déterminer à haute cadence et avec précision, des dimensions d'objets manufacturés dans le but d'un contrôle de qualité.

[0013] La demande de brevet JP S60 260807 propose de mesurer l'épaisseur des parois d'un tube se déplaçant en translation selon l'axe du tube, à l'aide de mesures par rayons X issus d'un ou de plusieurs foyers à chacun desquels sont associés des capteurs. Les foyers et les capteurs sont positionnés pour réaliser des projections radiographiques selon un plan orthogonal à la direction de déplacement du tube. Les projections radiographiques sont donc coplanaires dans un plan de projection qui est orthogonal à l'axe de symétrie du tube. La direction de ces projections radiographiques fait un angle droit (90°) par rapport à la direction de déplacement. Cette technique ne permet pas de connaître complètement les surfaces interne et externe du tube. Le procédé décrit par cette demande de brevet permet de mesurer uniquement l'épaisseur cumulée des deux parois du tube dans la direction de projection, sans reconstruction d'un modèle tridimensionnel d'un tube qui permettrait de réaliser des mesures précises dans les autres directions.

[0014] De même, le brevet US 5 864 600 décrit un procédé pour déterminer le niveau de remplissage d'un récipient à l'aide d'une source de rayons X et d'un capteur disposés transversalement de part et d'autre du convoyeur de transport des récipients. Ce système ne permet pas d'effectuer des mesures pour une surface orientée non transversalement car ce document ne prévoit pas une modélisation tridimensionnelle des récipients.

[0015] La demande de brevet US 2009/0262891 décrit un système pour détecter par rayons X, des objets placés dans des bagages déplacés en translation par un convoyeur. Ce système comporte des tubes générateurs pulsés ou un capteur ayant une grande dimension parallèlement au sens de défilement. Ce document prévoit une méthode de reconstruction de l'objet qui ne donne pas satisfaction car l'absence de projections dans la direction de déplacement ne permet pas la

mesure de dimensions dans la direction orthogonale au sens de déplacement. Le manque de projections radiographiques dans un secteur angulaire ne permet pas de réaliser un modèle numérique adapté pour assurer des mesures précises.

[0016] La demande de brevet DE 197 56 697 décrit un dispositif présentant les mêmes inconvénients que la demande de brevet US 2009/0262891.

[0017] La demande de brevet WO 2010/092368 décrit un dispositif de visualisation d'un objet se déplaçant en translation par rayons X à l'aide d'une source de radiation et de trois capteurs linéaires.

[0018] La demande de brevet US 2010/220910 décrit une méthode de détection d'anomalies d'un objet en réalisant un modèle 3D de référence représentant un objet idéal. Le procédé vise ensuite à comparer une image 2D acquise d'un objet réel à l'image 2D correspondante au modèle de référence pour en déduire une anomalie. Cette méthode ne permet pas de réaliser des mesures précises d'un objet et ne permet de contrôler un objet qu'uniquement dans les images 2D réalisées donc uniquement les directions orthogonales aux directions de projection.

[0019] Le document WO2018014138 décrit une méthode pour effectuer l'inspection d'un article manufacturé. Le procédé consiste à acquérir une séquence d'images radiographiques de l'article; déterminer une position tridimensionnelle de l'enveloppe de l'article pour chacune des images radiographiques acquises; et effectuer une boucle de correction de modèle tridimensionnel détaillé sous forme de réseau de mailles, qui comprend, de manière itérative: la génération d'une image radiographique simulée pour chaque position déterminée de l'article; et comparer les images radiographiques simulées et les images radiographiques acquises et générer un résultat de correspondance. Si le résultat de l'appariement est indicatif d'une discordance, le procédé comprend l'identification et des différences entre les images radiographiques simulées et les images radiographiques acquises et la détermination de leur cause en terme de densité de matériau ou de géométrie tridimensionnelle; corriger l'une parmi une géométrie et une densité de matériau d'une région d'intérêt du modèle tridimensionnel détaillé de l'article sur la base de chacune des différences identifiées et caractérisées; et effectuer une nouvelle itération. Ce document

travaille donc sur la base d'une boucle de correction de modèle tridimensionnelle, c'est-à-dire mettant en œuvre des formes géométriques 3D, ce qui nécessite des calculs importants. De plus, ce document enseigne qu'il est nécessaire de mettre en œuvre, pour permettre cette boucle de correction de modèle tridimensionnelle, au moins environ 25 images radiographiques et de préférence environs 100 images radiographiques définissant une séquence continue d'images, chaque image fournissant un angle de vision unique de l'article.

[0020] La publication de KRUTH JP et al, "*Computed tomography for dimensional metrology* », CIRP ANNALS, vol . 60, no. 2, 31 décembre 2011, pages 821-842, ISSN: 0007-8506, DOI:10.1016/J.CIRP.2011.05.0 dresse un panorama de la technique de tomographie par rayons X appliquée à la métrologie dimensionnelle. Ce document indique notamment que le principe de base de cette technologie implique que la reconstruction mathématique des images projetées conduit à un modèle de voxel 3D, et implique un post-traitement des données du voxel, pour la détection des bords de la pièce (segmentation) et pour la mesure dimensionnelle. Ce document indique aussi que le principe de base de cette technologie implique la rotation de l'objet autour de son axe.

[0021] Le document US 2009/262891 décrit un système qui ne fait pas des reconstructions géométriques mais de l'imagerie standard, ce qui nécessite un échantillonnage angulaire important et donc de nombreux composants capteurs unitaires dans la direction de la trajectoire de l'objet. Ceci nécessite donc des détecteurs plans contenant une forte densité de « photo sites » selon des lignes orientées dans la direction de la trajectoire de l'objet. En d'autres termes, le système de reconstruction 3D par des algorithmes de rétroprojection filtrée est très exigeant en termes de nombre total de composants capteurs unitaires, puisqu'il faut de nombreux composants capteurs unitaires dans la direction de la trajectoire de l'objet.

[0022] L'objet de l'invention vise à remédier aux inconvénients de l'art antérieur en proposant un procédé peu coûteux à mettre en œuvre et permettant le contrôle dimensionnel précis par rayons X, d'objets manufacturés défilant en translation à haute cadence. Notamment, le procédé vise à permettre un tel contrôle avec des volumes de calcul réduits, permettant l'atteinte de ces hautes cadences avec un matériel dont le coût reste raisonnable.

[0023] Il est connu en tomographie que l'absence de projections radiographiques autour d'une direction donnée empêche la reconstruction des surfaces parallèles à cette direction, créant le phénomène de « frontière manquante », ce qui interdit pour un contrôle dimensionnel, la mesure de dimensions orthogonales aux projections radiographiques manquantes.

[0024] Un autre objet de l'invention vise donc à proposer un procédé permettant de réaliser des mesures précises sur des objets déplacés en translation, éventuellement en construisant un modèle numérique tridimensionnel précis et complet, alors que les projections radiographiques sont en nombre limité et ne peuvent pas être acquises autour de la direction de convoyage des objets.

Exposé de l'invention

[0025] L'invention concerne un procédé de mesure automatique de dimensions linéaires d'objets manufacturés d'une série comprenant :

- le choix d'une série d'objets manufacturés dans laquelle chacun desdits objets est constitué d'une ou plusieurs parties distinctes, le nombre de parties étant connu et chaque partie étant constituée d'un matériau avec un coefficient d'atténuation connu et uniforme en tout point de la partie de l'objet ;
- le transport, au moyen d'un dispositif de transport, des objets dans une direction de déplacement selon une trajectoire rectiligne dans un plan de convoyage, ces objets engendrant un volume de convoyage au cours de leur déplacement ;
- la disposition, hors du volume de convoyage,
 - d'au moins un foyer d'un tube générateur de rayons X, chaque foyer étant agencé sur une même droite de base parallèle à la direction de déplacement selon la trajectoire rectiligne, et
 - un ou plusieurs capteurs d'images exposés et sensibles chacun aux rayons X issus d'un foyer associé, ces rayons X ayant traversés au moins la région à inspecter produisant sur chaque capteur d'images une projection radiographique de la région à inspecter selon une direction de projection ;
- l'acquisition, à l'aide du ou des capteurs d'images (Ci, Cik), pour chaque objet au cours de son déplacement, d'un ensemble d'images unidimensionnelles radiographiques de traitement, chaque image unidimensionnelle radiographique

de traitement comprenant une projection d'une section de l'objet selon un plan de section (P_k) contenant la droite de base, l'ensemble comprenant

- des dites images unidimensionnelles radiographiques de traitement pour un nombre (NK) de plans de section (P_k) distincts contenant la droite de base ;

- pour chaque plan de section (P_k) distinct, un nombre (NP) des dites images unidimensionnelles radiographiques de traitement (Sp_k) de la région à inspecter, obtenues selon au moins trois directions de projection (D_{ijk}) différentes dans le plan de section;

- pour chaque objet à mesurer, et pour chaque plan de section (P_k) distinct, la détermination, à l'aide du système informatique, d'une délinéation de l'objet dans le plan de section (P_k) considéré, à partir des dites images unidimensionnelles radiographiques de traitement (Sp_k) de la région à inspecter, obtenues selon les au moins trois directions de projection (D_{ijk}) différentes dans le plan de section,

- et la détermination, pour un objet à mesurer, à partir des délinéations de l'objet dans chaque plan de section distinct, d'au moins une mesure de dimension linéaire de la région à inspecter de l'objet à mesurer.

[0026] D'autres caractéristiques d'un procédé selon l'invention, qui sont optionnelles mais qui peuvent être combinées entre elles, sont développées dans les paragraphes qui suivent.

[0027] Une délinéation de l'objet peut comprendre ou être formée par une courbe ou un ensemble de courbes qui représentent l'intersection, avec le plan de section, des surfaces frontières de l'objet.

[0028] La courbe ou chaque de courbe de la délinéation de l'objet peut être une courbe plane modélisée par un système paramétrique.

[0029] La détermination d'une délinéation de l'objet dans le plan de section peut comprendre un algorithme d'ajustement de courbe partant d'une délinéation a priori de l'objet dans le plan de section.

[0030] La détermination d'une délinéation de l'objet dans le plan de section peut comprendre un algorithme d'ajustement de courbe de type régression non linéaire.

[0031] La détermination d'une délinéation de l'objet dans le plan de section peut comprendre un algorithme d'ajustement de courbe itératif comprenant :

- la prise en compte d'une délinéation a priori de l'objet dans le plan de section en tant que délinéation calculée de premier rang d'itération ;
- puis itérativement,
 - le calcul, à partir de la délinéation calculée d'un rang d'itération donné de l'objet dans le plan de section, d'un nombre au moins égal à trois d'images unidimensionnelles radiographiques simulées de la région à inspecter, calculées dans le plan de section selon les au moins trois directions de projection différentes qui ont été utilisées pour l'acquisition des images unidimensionnelles radiographiques de traitement dans le plan de section,
 - la comparaison des images unidimensionnelles radiographiques simulées aux images unidimensionnelles radiographiques de traitement,
 - en fonction de la comparaison, la modification de la délinéation calculée en une délinéation calculée de rang d'itération supérieur, jusqu'à ce que la comparaison des images unidimensionnelles radiographiques simulées aux images unidimensionnelles radiographiques de traitement atteigne un critère d'optimisation prédéfini.

[0032] Le procédé peut comporter :

- l'acquisition, à l'aide des capteurs d'images, pour chaque objet au cours de son déplacement, d'un nombre au moins égal à trois d'images radiographiques bidimensionnelles de la région à inspecter, obtenues chacune selon une direction de projection différente,
- l'extraction, dans les images radiographiques bidimensionnelles, des images unidimensionnelles radiographiques de traitement pour former l'ensemble d'images unidimensionnelles radiographiques.

[0033] Une image unidimensionnelle radiographique de traitement d'un objet peut être formée par échantillonnage d'une image ponctuelle acquise à l'aide d'un capteur d'images ponctuel, pendant une durée de balayage correspondant à la durée du déplacement de l'objet entre le foyer et le capteur d'images ponctuel, au cours de son déplacement.

[0034] Le procédé peut comprendre la construction, pour un objet à mesurer, à l'aide du système informatique et à partir des délinéations de l'objet dans chacun des

plans de section distincts, d'un modèle géométrique numérique tridimensionnel de la région à inspecter comprenant :

- des points tridimensionnels de l'espace appartenant chacun à une surface frontière de la région à inspecter de l'objet ;
- et/ou au moins une surface tridimensionnelle de la région à inspecter.

[0035] La détermination, pour un objet à mesurer, à partir des délinéations de l'objet dans chaque plan de section distinct, d'au moins une mesure de dimension linéaire de la région à inspecter de l'objet à mesurer peut comprendre la détermination de la distance entre au moins deux points tridimensionnels du modèle géométrique numérique tridimensionnel de la région à inspecter.

[0036] Le procédé peut comprendre la fourniture au système informatique, pour chaque plan de section, d'une délinéation a priori de l'objet dans le plan de section.

[0037] Les délinéations a priori peuvent être obtenues par :

- un modèle numérique de conception par ordinateur des objets de la série ;
- et / ou à partir de la mesure d'un ou de plusieurs d'objets de la même série par un dispositif de mesure ;
- et / ou à partir de valeurs saisies et/ou de dessins réalisés et/ou de formes sélectionnées par un opérateur sur une interface homme machine d'un système informatique.

[0038] Le procédé peut comprendre la fourniture au système informatique d'un modèle géométrique tridimensionnel a priori de la région à inspecter de la série, lequel peut être obtenu par :

- un modèle numérique de conception par ordinateur des objets de la série ;
- et / ou un modèle numérique géométrique obtenu à partir de la mesure d'un ou de plusieurs d'objets de la même série par un dispositif de mesure ;
- et / ou un modèle numérique géométrique généré par un système informatique à partir de valeurs saisies et/ou de dessins réalisés et/ou de formes

sélectionnées par un opérateur sur une interface homme machine du système informatique.

[0039] Le procédé peut comprendre la disposition du ou des foyers dans le plan de convoyage.

[0040] Le procédé peut comprendre l'acquisition, à l'aide du ou des capteurs d'images, pour un objet de la série au cours de son déplacement, et pour chaque plan de section considéré de l'objet, d'au moins deux images unidimensionnelles radiographiques de traitement de la région inspectée correspondant à des directions de projection définissant, dans le plan de section considéré, un angle utile supérieur ou égal à 45° et inférieur ou égal à 90° et, avantageusement supérieur ou égal à 60° et inférieur ou égal à 90° .

[0041] Le procédé peut comprendre l'acquisition, à l'aide du ou des capteurs d'images, pour un objet de la série au cours de son déplacement, et pour chaque plan de section considéré de l'objet, d'au moins une image radiographique de la région inspectée correspondant à une direction de projection ayant, ramenée en projection dans le plan de convoyage, un angle d'ouverture avec la direction de déplacement compris entre 10° et 60° .

[0042] Le procédé peut comprendre l'acquisition, à l'aide du ou des capteurs d'image, pour chaque objet de la série au cours de son déplacement, d'aucune image radiographique de la région inspectée correspondant à une direction de projection ayant un angle d'ouverture avec la direction de déplacement inférieur à 10° .

[0043] Le procédé peut comprendre la réalisation et l'acquisition des projections radiographiques de la région inspectée d'un objet de manière que les rayons X issus du ou des foyers et atteignant les capteurs d'images ne traversent pas d'autre objet.

[0044] Le procédé peut comprendre l'acquisition, pour chaque objet de la série au cours de son déplacement et pour chaque plan de section, des images unidimensionnelles radiographiques de traitement issues d'entre trois et quarante projections radiographiques de la région à inspecter de directions de projection différentes, de préférence issues d'entre quatre et quinze projections radiographiques de la région à inspecter de directions de projection différentes.

[0045] Dans certains modes de réalisation, les capteurs d'images peuvent faire partie d'au moins trois composants capteurs physiques qui sont chacun de type linéaire, comportant chacun un réseau linéaire d'éléments sensibles aux rayons X distribués selon une droite de support, laquelle définit avec un foyer un plan de projection contenant la direction de projection, ces capteurs d'images étant disposés de manière que :

- au moins m éléments sensibles de chacun de ces composants capteurs physiques reçoivent la projection radiographique de la région à inspecter par le faisceau de rayons X issu d'un foyer;
- les plans de projection pour les différents composants capteurs physiques sont distincts entre eux et non parallèles au plan de convoyage;
- on acquiert à l'aide de chacun des au moins trois composants capteurs physiques linéaires, à chaque déplacement incrémental de chaque objet selon la trajectoire, des images unidimensionnelles radiographiques de la région à inspecter selon un nombre choisi afin que pour chaque objet, l'ensemble de la région à inspecter se trouve représentée complètement dans l'ensemble des images unidimensionnelles radiographiques ;
- on analyse, pour chaque objet, les au moins trois ensembles d'images unidimensionnelles radiographiques de la région à inspecter.

[0046] L'invention concerne par ailleurs une installation de mesure automatique de dimensions linéaires d'au moins une région à inspecter d'objets manufacturés d'une série, l'installation comportant :

- un dispositif de transport des objets dans une direction matérialisée par un vecteur de déplacement, selon une trajectoire rectiligne dans un plan de convoyage, les objets parcourant un volume de convoyage étendu dans la direction de déplacement ;
- au moins un foyer d'un tube générateur de rayons X situé en dehors du volume traversé, et créant un faisceau divergent de rayons X dirigé pour traverser au moins une région à inspecter de l'objet, chaque foyer étant agencé sur une même droite de base parallèle à la direction de déplacement selon une trajectoire rectiligne ;
- des capteurs d'images, situés en dehors du volume de convoyage, de manière à recevoir des rayons X issus d'un foyer associé, le ou les foyers et les

capteurs d'images étant disposés de manière que chaque capteur d'images reçoive la projection radiographique de la région à inspecter par les rayons issus du foyer lorsque l'objet traverse ces rayons, les directions de projection de ces projections radiographiques étant différentes entre elles ;

- un système d'acquisition relié aux capteurs d'images, de manière à acquérir pour chaque objet au cours de son déplacement, un ensemble d'images unidimensionnelles radiographiques de traitement, l'ensemble comprenant :

- des images unidimensionnelles radiographiques de traitement pour un nombre de plans de section distincts contenant la droite de base ;
- pour chaque plan de section distinct, un nombre d'images unidimensionnelles radiographiques de traitement de la région à inspecter, obtenues selon au moins trois directions de projection différentes dans le plan de section ;

- un système informatique configuré pour :

- pour chaque plan de section distinct, déterminer une délinéation de l'objet dans le plan de section considéré, à partir des au moins trois images unidimensionnelles radiographiques de traitement.

[0047] D'autres caractéristiques d'une installation selon l'invention, qui sont optionnelles mais qui peuvent être combinées entre elles, sont développées dans les paragraphes qui suivent.

[0048] L'installation peut comporter au moins deux foyers de production de rayons X, positionnés séparément en deux positions distinctes sur la même droite de base parallèle à la direction de déplacement selon la trajectoire rectiligne, et au moins trois capteurs d'images, sensibles aux rayons X et positionnés de manière que :

- chaque foyer émet son faisceau à travers au moins la région à inspecter pour atteindre au moins un capteur associé ;
- chaque capteur est associé à un foyer et reçoit les rayons X issus dudit foyer après avoir traversé la région à inspecter.

[0049] L'installation peut comporter au moins un foyer duquel est issu un faisceau de rayons X divergent d'ouverture supérieure ou égale à 90° ou au moins deux foyers desquels sont issus des faisceaux de rayons X divergents dont la somme des ouvertures est supérieure ou égale à 90° .

[0050] L'installation peut comporter au moins un foyer disposé dans le plan de convoyage.

[0051] Au moins un foyer et deux capteurs d'images peuvent être disposés de manière que les directions de projection de la région inspectée qu'ils reçoivent possèdent entre elles un angle utile supérieur ou égal à 45° et inférieur ou égal à 90° et, avantageusement supérieur ou égal à 60° et inférieur ou égal à 90° .

[0052] Au moins un foyer et un capteur d'images peuvent être disposés de manière que, lorsqu'un objet traverse le champ des capteurs, la direction de projection de la région inspectée sur le capteur d'images fait un angle d'ouverture avec la direction de déplacement compris entre 10° et 60° .

[0053] Aucun foyer d'un tube générateur de rayons X n'étant situé dans le volume traversé, et aucun capteur d'images n'étant situé dans le volume de convoyage, la direction de projection de la région inspectée sur le capteur d'images ne fait jamais un angle d'ouverture avec la direction de déplacement inférieur à 10° .

[0054] Les capteurs d'images et les foyers sont disposés de sorte que les rayons X issus du ou des foyers et atteignant les capteurs d'images et traversant la région d'un objet ne traversent pas d'autre objet à la fois.

[0055] L'installation peut comporter entre un et quatre foyers, issus d'un ou de plusieurs tubes générateurs de rayons X.

[0056] Le nombre et la disposition des capteurs d'images et des foyers associés, sont tels que, pour chaque objet de la série au cours de son déplacement, les projections radiographiques de la région à inspecter sur les capteurs d'images présentent entre trois et quarante directions de projection différentes, de préférence entre quatre et quinze directions de projection différentes.

[0057] Les capteurs d'images peuvent faire partie de composants capteurs physiques de type linéaire comportant chacun un réseau linéaire d'éléments sensibles aux rayons X distribués selon une droite de support, laquelle définit avec un foyer associé un plan de projection contenant la direction de projection, ces capteurs d'images étant disposés de manière que :

- au moins m éléments sensibles de chacun de ces composants capteurs physiques reçoivent la projection radiographique de la région à

inspecter par le faisceau de rayons X issu du foyer associé ;

- les plans de projection pour les différents capteurs sont distincts entre eux et non parallèles au plan de convoyage.

[0058] Dans certains modes de réalisation, au moins trois capteurs d'images linéaires ont leurs droites de support parallèles entre elles.

[0059] Dans certains modes de réalisation, au moins trois composants capteurs physiques linéaires ont leurs droites de support orthogonales au plan de convoyage.

Brève description des dessins

[0060] **[Fig. 1]** La **Figure 1** est une vue schématique de dessus montrant une installation permettant la mesure, par rayons X, de dimensions sur des objets défilant en ligne.

[0061] **[Fig. 2]** La **Figure 2** est une vue schématique en perspective de côté montrant une partie de l'installation permettant la mesure, par rayons X, de dimensions sur un objet.

[0062] **[Fig. 3]** La **Figure 3** est une vue schématique en perspective montrant de manière plus générale une installation du type de celles des **Figs. 1 et 2**

[0063] **[Fig. 4]** La **Figure 4** est une vue schématique en perspective montrant le volume traversé ou engendré par les objets au cours de leur déplacement linéaire.

[0064] **[Fig. 5]** La **Figure 5** est une vue schématique de dessus montrant un exemple de réalisation d'une installation conforme à l'invention comportant deux foyers générateurs de rayons X.

[0065] **[Fig. 6]** La **Figure 6** est une vue schématique en élévation transversale de l'installation illustrée à la **Fig. 5**.

[0066] **[Fig. 7]** La **Figure 7** est une vue schématique explicitant la définition de l'angle utile entre deux directions de projection.

[0067] **[Fig. 8]** La **Figure 8** est une vue schématique explicitant la définition de l'angle utile entre deux directions de projection.

[0068] **[Fig. 9]** La **Figure 9** est une vue schématique en perspective montrant un autre exemple de positionnement de capteurs d'images par rapport au déplacement des objets à inspecter.

[0069] **[Fig. 10]** La **Figure 10** est une vue schématique d'un autre exemple de réalisation d'une installation conforme à l'invention, mettant en œuvre des capteurs d'images matriciels.

[0070] **[Fig. 11]** La **Figure 11** est une vue d'une matrice d'éléments sensibles aux rayons X sur laquelle apparaît deux zones distinctes correspondant à deux capteurs d'images matricielles.

[0071] **[Fig. 12]** La **Figure 12** est un organigramme d'une méthode de détermination d'une délinéation dans un plan de section.

[0072] **[Fig. 13]** La **Figure 13** est un organigramme d'une méthode selon l'invention.

Description des modes de réalisation

[0073] En préliminaire, quelques définitions des termes utilisés dans le cadre de l'invention sont données ci-après.

[0074] Un foyer **F_j** d'un tube générateur de rayons X est une source de rayons X ponctuelle, de préférence un « micro foyer », de diamètre par exemple entre 0.01 mm et 1 mm, créant un faisceau divergent de rayons X. Il est possible d'utiliser tout type de source de rayons X ponctuelle ou quasi ponctuelle.

[0075] Un élément sensible d'un capteur d'images pour rayons X est un élément sensible aux rayons X, autrement dit une surface élémentaire, de dimension par exemple 0,2 x 0,2 mm ou 0,02 x 0,02 mm, convertissant les rayons X qu'elle reçoit en un signal électrique. Généralement, un élément sensible d'un capteur d'images pour rayons X comprend un scintillateur convertit les rayons X en lumière visible puis un capteur photo-électrique convertit la lumière visible en signal électrique. Des techniques de conversion directe des rayons X en signal électrique existent également. Un pixel désigne une valeur élémentaire d'un point d'une image échantillonnée, caractérisé par exemple par son niveau de gris entre 0 et une valeur maximale. Par exemple pour une image numérique 12 bits, un pixel prend des valeurs numériques entre 0 et 4 095.

[0076] Un système de lecture ou d'acquisition d'images radiographiques comporte une ou plusieurs surfaces sensibles aux rayons X, c'est-à-dire des surfaces comprenant un ou plusieurs éléments sensibles convertissant les rayons X en un signal électrique pour être transmis à un système d'analyse, mis en œuvre classiquement par un ordinateur, et désigné par système informatique **SI** dans la suite de la description. Les signaux issus d'un ensemble d'éléments sensibles appartenant à une même zone de surface sensible, acquis par le dispositif d'acquisition et transmis ensemble au système informatique, constituent une image radiographique. Pour être analysées par le système informatique, les images radiographiques sont de préférence converties en images radiographiques numériques, soit au plus près de la surface sensible, par exemple dans un circuit électronique intégré à un composant capteur physique comportant la zone sensible, soit à distance, par exemple au plus près du système informatique **SI**, voire par le système informatique **SI**.

[0077] Le système informatique **SI**, dont un exemple illustré de manière symbolique à la **Fig. 3**, peut être réalisé sous la forme d'au moins un ordinateur standard, comportant donc au moins un microprocesseur, une ou plusieurs unités de mémoire électronique et une ou plusieurs interfaces d'affichage (écran, projecteur, affichage holographique...), de saisie (clavier, souris, pavé tactile, écran tactile, ...), et / ou de communication (USB, Ethernet®, Wi-Fi®, Bluetooth®, Zigbee®, ...). Le système informatique peut comprendre un réseau informatique partageant des données avec un ou plusieurs autres ordinateurs du réseau, ou avec d'autres réseaux, par exemple par un protocole internet ou Ethernet®. En plus de son évidente liaison aux capteurs d'images, le système informatique peut être relié à des capteurs donnant des informations d'état de l'installation, et / ou à des actionneurs de l'installation (convoyeurs, éjecteurs, ...). Le système informatique peut avantageusement être relié au(x) tube(s) à rayons X, pour en acquérir des données de fonctionnement, et / ou pour en assurer le contrôle. Le système informatique met en œuvre un ou plusieurs logiciels, stockés(s) et / ou exécuté(s) en local ou à distance, y compris sur un ou plusieurs serveurs informatiques distants. Ce ou ces logiciel(s) comprennent de préférence un ou plusieurs logiciel(s) programmés pour mettre en œuvre la méthode selon l'invention.

[0078] Les faisceaux de rayons X issus d'un foyer **F_j** traversent au moins une région inspectée, et forment sur une surface sensible, la projection radiographique de la région inspectée, qu'on appelle parfois l'image radiante et qui contient l'information d'atténuation des rayons X par le matériau traversé.

[0079] On appelle capteur d'images **C_i**, **C_{ik}** une zone de surface sensible aux rayons X qui reçoit la projection radiographique de la région inspectée. Un capteur d'images **C_i**, **C_{ik}** est exposé aux rayons X issus d'un foyer **F_j** associé. Le capteur d'images convertit cette projection radiographique en une image radiographique de la région inspectée.

[0080] Lorsque la zone de surface sensible correspondant à un capteur d'images **C_i** contient une seule ligne d'éléments photosensibles distribués selon un segment de droite de support, l'image radiographique acquise en un temps d'intégration (aussi appelé temps d'acquisition) du capteur est linéaire, donc unidimensionnelle, composée d'une ligne de pixels formant un tableau de valeurs à une dimension. Le capteur d'images **C_{ik}** est alors dit capteur linéaire. Une zone de surface sensible contenant une seule ligne d'éléments sensibles, qui constitue un capteur d'images linéaire, comporte donc un réseau linéaire d'éléments sensibles distribués selon un segment de droite de support. Selon cette définition, une colonne, ou une ligne, ou quelconque ensemble d'éléments sensibles alignés (y compris selon une diagonale ou autre ligne inclinée) appartenant à une surface sensible matricielle, est considérée comme un capteur d'images linéaire. Plusieurs zones de surface sensibles d'une même surface et contenant chacune une seule ligne d'éléments sensibles, les lignes des différentes zones étant différentes, constituent donc plusieurs capteurs d'images linéaire.

[0081] Lorsque la zone de surface sensible correspondant à un capteur d'images **C_i** contient une matrice bidimensionnelles d'éléments photosensibles, l'image radiographique acquise en un temps d'intégration du capteur est matricielle, donc bidimensionnelle, composée d'une matrice de pixels formant un tableau de valeurs à deux dimensions. Le capteur d'images **C_i** est alors dit capteur bidimensionnel ou capteur matriciel.

[0082] Lorsque la zone de surface sensible correspondant à un capteur d'images **Cik** contient un seul élément photosensible, l'image radiographique acquise en un temps d'intégration du capteur est dite ponctuelle, composée d'un pixel ayant une unique valeur, Le capteur d'images **Cik** est alors dit capteur ponctuel.

[0083] Dans le cadre de la présente invention un capteur d'images **Ci**, **Cik** peut correspondre à un composant capteur physique **CC1**, **CC2**,..., **CCnmax**, à une partie d'un composant capteur physique **CC1**, **CC2**,..., **CCnmax**, ou à l'assemblage de plusieurs composants capteurs physiques ou parties de composants capteurs physiques. Un composant capteur physique est un composant comportant un ou plusieurs éléments sensibles, solidaires s'ils sont plusieurs, et comportant, pour tous ses éléments sensibles, une interface de connexion commune avec un système informatique. L'interface de connexion commune peut être analogique ou numérique. L'interface de connexion commune fait généralement partie d'un circuit électronique intégré du composant capteur physique. Dans un composant capteur physique **CC1**, **CC2**,..., **CCnmax** comportant plusieurs éléments sensibles **Cik**, les éléments sensibles sont agencés selon une ligne ou selon une surface fixe, non modifiable, généralement plane, mais parfois courbe. Lorsque le composant capteur physique **CC1**, **CC2**,..., **CCnmax** contient une ligne d'éléments photosensibles, il est dit linéaire. Lorsque le composant capteur physique contient une matrice bidimensionnelle d'éléments photosensibles, il est dit bidimensionnel ou matriciel. Lorsque le composant capteur physique contient un unique élément photosensible, il est dit ponctuel.

[0084] Dans le cadre de la présente invention, on comprend donc qu'un capteur d'image **Ci**, **Cik** est un ensemble d'un ou plusieurs éléments sensibles **Cik** convertissant les rayons X en un signal électrique, les éléments sensibles étant des éléments physiques. Cet ensemble d'éléments sensibles physiques peut correspondre à un composant capteur physique **CC1**, **CC2**,..., **CCnmax**, ou pas.

[0085] Dans l'invention, on pourra distinguer les images radiographiques acquises par un composant capteur physique **CC1**, **CC2**,..., **CCnmax**, et les images radiographiques de traitement utilisées par le système informatique pour le calcul des délinéations, lesquelles peuvent correspondre à une image radiographique acquise par un composant capteur physique, à une partie d'une image

radiographique acquise par un composant capteur physique, ou à l'assemblage de plusieurs images ou parties d'images radiographiques acquises par un ou plusieurs composants capteurs physiques. Notamment, une image unidimensionnelle radiographique de traitement d'un objet peut être formée par échantillonnage d'une image ponctuelle acquise à l'aide d'un élément sensible **C_{ik}** donné, unique, pendant une durée de balayage correspondant à la durée du déplacement de l'objet entre le foyer et l'élément sensible, au cours de son déplacement. Cet élément sensible **C_{ik}** peut correspondre à un composant capteur physique ponctuel, ou appartenir à un composant capteur physique linéaire ou à un composant capteur physique bidimensionnel ou matriciel. De même, une image bidimensionnelle radiographique de traitement d'un objet peut être formée par échantillonnage d'une image linéaire acquise à l'aide d'un capteur d'images linéaire **C_{ik}**, pendant une durée de balayage correspondant à la durée du déplacement de l'objet entre le foyer et le capteur linéaire, au cours de son déplacement. Ce capteur d'images linéaire **C_{ik}** peut correspondre à un composant capteur physique linéaire ou appartenir à un composant capteur physique bidimensionnel ou matriciel. Une image formée par échantillonnage correspond à la juxtaposition de plusieurs images acquises successivement dans le temps, Pour une image radiographique, la direction de projection **D_{ji}**, **D_{jik}** est la direction orientée ou le vecteur, partant du foyer **F_j** pour passer par le centre du capteur d'images **C_i**, **C_{ik}** mis en œuvre pour acquérir l'image, c'est à dire par le centre d'une zone sensible aux rayons X qui reçoit la projection radiographique de la région inspectée au moment de l'acquisition durant le déplacement de l'objet entre le foyer et le capteur d'images. Pour un couple capteur d'images-foyer associé, la direction de projection est le vecteur issu du foyer atteignant le milieu du capteur d'images. Le positionnement des capteurs d'images est tel que la surface sensible n'est pas parallèle à la direction de projection. Il peut être avantageux dans certains cas que la surface sensible du capteur d'images soit orthogonale à la direction de projection définie avec le foyer associé. Mais ce n'est pas obligatoire, par exemple si une surface sensible d'un même composant capteur physique contient plusieurs zones sensibles formant chacune un capteur d'images et qui coopèrent pour chaque prise d'image, chacune avec un foyer différent, donc selon des directions de projection différentes.

[0086] Pour une image unidimensionnelle radiographique de traitement d'un objet qui serait formée par échantillonnage d'une image ponctuelle acquise à l'aide d'un élément sensible **Cik** pendant une durée de balayage correspondant à la durée du déplacement de l'objet entre le foyer et l'élément sensible, au cours de son déplacement, la direction de projection **Djik** correspond donc à la direction orientée partant du foyer **Fj** pour passer par le centre de l'élément sensible mis en œuvre.

[0087] Pour une image unidimensionnelle radiographique de traitement d'un objet, acquise à l'aide d'un capteur d'images linéaire **Cik** pendant un unique temps d'intégration du capteur, la direction de projection correspond donc à la direction orientée partant du foyer **Fj** pour passer par le centre du capteur d'images linéaire **Cik** mis en œuvre. La direction de projection **Djik** associée à l'image radiographique linéaire de traitement obtenue est donc la direction partant du foyer et passant par le milieu du segment de droite de support du capteur d'images linéaire **Cik**, à l'instant de l'acquisition de l'image correspondant au temps d'intégration de ce capteur d'images linéaire **Cik**.

[0088] Pour une image bidimensionnelle radiographique de traitement d'un objet formée par échantillonnage d'une image linéaire, l'image linéaire étant acquise à l'aide d'un capteur d'images linéaire **CCi** pendant une durée de balayage correspondant à la durée du déplacement de l'objet entre le foyer et le capteur d'image linéaire, au cours de son déplacement, la direction de projection **Dji** correspond donc à la direction orientée partant du foyer **Fj** pour passer par le centre du capteur d'images linéaire mis en œuvre.

[0089] Pour une image bidimensionnelle radiographique d'un objet, acquise à l'aide d'un capteur d'images bidimensionnel **Ci**, **CCi** pendant un unique temps d'intégration du capteur, la direction de projection **Dji** correspond donc à la direction orientée partant du foyer **Fj** pour passer par le centre du capteur d'images bidimensionnel mis en œuvre.

[0090] Les directions de projection **Dji**, **Djik** de projections radiographiques sont considérées comme étant différentes si les directions de projection **Dji**, **Djik** prises deux à deux font entre elles un angle minimum au moins égal à 3 degrés d'angle, de préférence au moins égal à 5 degrés d'angle.

[0091] Une zone de surface sensible qui contient une matrice d'éléments sensibles constitue un capteur d'images matriciel ou bidimensionnel, qui comporte un réseau matriciel d'éléments sensibles aux rayons X, distribués selon une matrice. Comme illustré à la **Fig. 10**, selon cette définition, une zone de surface sensible matricielle **C1**, **C1'**, qui appartient à une plus grande surface sensible **Ss**, est aussi un capteur d'images matriciel. Dans cet exemple de la **Fig. 10**, la surface sensible **Ss** correspond à la surface sensible d'un composant capteur physique **CC1** matriciel. Plusieurs zones de surface sensible matricielles **C1**, **C1'** d'une même surface peuvent, dans certains cas, être traitées séparément par le dispositif d'acquisition. Dans tous les cas, elles constituent donc plusieurs capteurs d'images matriciels fournissant des images radiographiques matricielles différentes respectivement **M1**, **M1'** (**Fig. 12**). La direction **D11**, **D11'** de projection associée à l'image radiographique matricielle respectivement **M1**, **M1'** est la direction partant du foyer **F1** et passant par le milieu de la zone **C1**, **C1'** de surface sensible matricielle, à l'instant de l'acquisition de l'image. Il est possible donc que les capteurs d'images **C1**, **C1'** soient des régions non disjointes, éventuellement activées successivement dans le temps.

[0092] Bien entendu, l'homme du métier peut utiliser une technologie de composant capteur physique matriciel basé sur un amplificateur de brillance ou bien une « caméra à reprise d'écran » dans laquelle une plaque de scintillateur reçoit l'image radiante, la convertit en lumière visible, l'image visible à l'arrière du scintillateur étant photographiée par une caméra sensible dans le domaine d'émission du scintillateur, généralement le domaine visible, et munie si besoin d'un objectif.

[0093] L'invention s'applique à des séries d'objets manufacturés composés d'un ou plusieurs matériau(x), tels que des objets obtenus par usinage, moulage, soufflage, frittage, injection, extrusion, ou assemblage d'objets obtenus par ces types de procédés, chacun des dits objets étant constitué d'une ou plusieurs parties distinctes, le nombre de parties étant connu et chaque partie étant constituée d'un matériau dont le coefficient d'atténuation μ est connu et uniforme, c'est-à-dire ayant la même valeur en tout point de la partie considérée d'une région à inspecter de l'objet et de préférence constant dans le temps et identique pour les objets de la série.

[0094] Dans certains modes de réalisation, par exemple des pièces mécaniques de fonderie d'acier ou d'aluminium, des bouteilles en verre, des emballages en plastique, il peut s'agir d'objets dit mono-matériau. Dans ce cas, le coefficient d'atténuation μ est connu et uniforme, c'est-à-dire ayant la même valeur en tout point d'une région à inspecter de l'objet. Toutefois l'invention peut être mise en œuvre pour des objets multi-matériaux. Dans certains cas, les différents matériaux ont un coefficient d'atténuation égal, si bien que la subdivision de l'objet en différentes parties peut être ignorée et l'objet peut être considéré comme s'il était un objet mono-matériau, pourvu que le coefficient d'atténuation soit uniforme, au sens d'uniforme sur l'ensemble de la région inspectée.

[0095] Toutefois, l'invention peut aussi être mise en œuvre pour la mesure de dimensions linéaires pour des objets multi-matériaux. Un tel objet est donc considéré comme constitué d'un assemblage de volumes homogènes en composition, chaque volume homogène en composition étant considéré comme une partie de l'objet. Ces volumes, ou parties de l'objet, sont délimités par des surfaces fermées. Pour l'invention, il sera considéré que le nombre de ces parties est connu, au moins pour la région à inspecter de l'objet. Ce nombre est dénombrable pour la région inspectée, de préférence peu élevé, par exemple inférieur à 50, de préférence inférieur à 20, plus préférentiellement inférieur à 10, ceci afin de limiter l'importance des calculs et de préserver la convergence en cas d'utilisation d'une méthode d'ajustement itérative.

[0096] De préférence, la topologie de ces parties de l'objet est connue, à savoir en particulier les dispositions relatives de connexité (existence de surface communes, situations d'inclusion ou d'exclusion des différentes parties entre elles, juxtapositions et positions relatives, existence de surface communes, etc...). Ceci revient à dire que l'on peut considérer qu'un rayon X traversant l'objet a traversé un nombre fini de volumes présentant des coefficients d'atténuation différents mais connus, donc que le trajet est décomposable en segments, chaque segment joignant deux points appartenant à des surfaces frontières d'une partie de l'objet, en parcourant une région d'atténuation constante, même si la longueur de ces segments n'est pas connue a priori. L'atténuation de chaque rayon X ne dépend que de la longueur des segments successifs traversés et de l'atténuation pour chaque segment. En conséquence,

l'information de chaque point d'image radiographique est reliée directement aux dimensions réelles de la région inspectée dont la structure est connue. Par ailleurs, la géométrie de l'objet, et notamment la géométrie de ses différentes parties, peut être décrite informatiquement a priori (avant la mesure) par une représentation constituée d'un ensemble de surfaces fermées, que l'on peut appeler surfaces frontières de l'objet. Les surfaces frontières d'un objet sont les surfaces d'interface. On peut ainsi avoir une ou plusieurs surfaces frontières externes de l'objet, qui sont chacune une interface entre l'air environnant et le matériau d'une partie de l'objet. On peut aussi avoir une ou plusieurs surfaces frontières internes de l'objet, qui sont chacune une interface entre les deux matériaux de deux parties juxtaposées de l'objet. Dans le cas d'un objet creux comportant une cavité intérieure délimitée par une surface intérieure de l'objet, la surface intérieure est une surface frontière externe de l'objet car elle est l'interface entre le matériau de l'objet et l'air environnant, même dans le cas d'une cavité fermée dans laquelle l'air environnant serait emprisonné.

[0097] Il est à noter que le coefficient d'atténuation μ d'un matériau est en toute rigueur une propriété spectrale $\mu(\lambda)$ selon la longueur d'onde λ ou l'énergie des rayons X. Cette caractéristique n'est pas nécessairement prise en compte dans la mesure où la source de rayons X ayant une composition spectrale émise propre, il est possible de considérer que l'atténuation μ est une caractéristique du matériau pour le spectre de la source choisie. L'homme du métier saura par ailleurs réaliser l'invention en utilisant toute méthode de prise en compte de l'atténuation spectrale ou de durcissement des faisceaux.

[0098] Bien entendu, des variations locales et/ou temporelles du coefficient d'atténuation μ de faible amplitude n'empêchent pas la mise en œuvre du procédé, mais pourraient éventuellement, selon leur amplitude, causer des pertes légères ou sensibles de précision dans les mesures réalisées par l'installation. On considère donc que de telles variations, faibles, dues par exemple à des variations de composition des objets, des variations dans des paramètres du procédé de fabrication, des modifications des conditions environnementales, ou encore des changements dans le fonctionnement des sources de rayons X, sont possibles tout en considérant comme vérifiées l'unicité et la constance de l'atténuation du matériau dans chaque partie de l'objet. En

revanche, l'invention ne s'applique pas à des parties hétérogènes d'objets telles que des conglomerats de granulométrie grossière, des mortiers avec galets dès lors que les grains hétérogènes et atténuations sont plus gros que la résolution des images. L'invention ne s'applique pas à des contrôles d'objets de forme et contenu inconnus à l'avance, comme des bagages. Pour les mêmes raisons, l'invention ne s'applique pas à l'imagerie médicale ou biologique en générale, sauf pour des objets répondant aux critères.

[0099] L'atténuation de l'air peut être considérée négligeable devant celle du ou des matériau(x). Dans ce cas, l'atténuation d'un faisceau de rayons X traversant l'objet ne dépendra que, d'une part, de ladite atténuation uniforme pour le spectre de rayons X émis, et, d'autre part, de l'épaisseur cumulée de matériau traversée. Alternativement, il est considéré que l'épaisseur d'air traversé est grande et uniforme pour tous les rayons, elle peut donc être considérée comme connue. L'atténuation due à l'air peut être soustraite de l'atténuation totale mesurée. Ainsi, on peut par exemple considérer que le niveau de gris dans chaque image radiographique, éventuellement corrigé, dépend uniquement et directement de l'épaisseur de matériau traversée cumulée totale. Il est alors possible de déterminer avec précision des surfaces frontières qui sont les transitions entre l'air et la matière.

[0100] L'analyse numérique des images radiographiques d'un objet permet donc de connaître la position relative dans l'espace d'un certain nombre de points des surfaces frontières de l'objet.

[0101] L'analyse numérique des images radiographiques de chaque objet permet éventuellement de construire un modèle géométrique numérique tridimensionnel de chaque objet, désigné par modèle géométrique numérique dans la suite de la description. Eventuellement, ce modèle géométrique numérique peut être simplement un empilement de modèles géométriques numériques bidimensionnels. La réalisation d'un modèle géométrique numérique est la façon - en termes mathématique, graphique et de structure de données - dont des objets tridimensionnels sont représentés et manipulés sous forme numérique dans une mémoire d'un système informatique. Il est à considérer que l'invention, dans certains de ces modes de réalisation, permet de déterminer autant de modèles géométriques numériques tridimensionnels qu'il y a d'objets

radiographiés, et qu'il peut y avoir autant d'objets radiographiés que le nombre d'objets qui défilent sur le système de transport. En effet, une caractéristique de l'invention est qu'elle permet, si nécessaire, d'effectuer une mesure sur chacun des objets circulant dans l'installation, y compris à haute cadence.

[0102] Il est possible d'obtenir un modèle surfacique directement à partir des images radiographiques c'est-à-dire sans passer par le calcul d'un modèle volumique.

[0103] Dans les modélisations surfaciques, un objet est défini par au moins une surface tridimensionnelle, notamment une surface tridimensionnelle orientée fermée, correspondant à la surface frontière externe entre la matière de l'objet et l'environnement extérieur (généralement l'air), ce qui permet d'appréhender les notions d'intérieur et d'extérieur de l'objet. Différentes modélisations sont possibles pour de telles surfaces : surfaces implicites, surfaces paramétrées (parties de plan, B-spline, NURBS, ...), éventuellement limitées par un réseau de courbes. Une modélisation simple est le maillage triangulaire, pouvant être vu comme surface limite d'un volume formé de tétraèdres.

[0104] Une section d'un objet tridimensionnel, c'est-à-dire l'intersection de l'objet avec un plan de section, permet de définir une délinéation de l'objet dans le plan de section. La section des surfaces tridimensionnelles de l'objet, donc de ses surfaces frontières, déterminent une ou plusieurs courbes bidimensionnelles dans le plan de section qui, considérées ensembles, forment la délinéation de l'objet dans le plan de section. La connaissance de ces courbes bidimensionnelles dans une succession de plans de coupe permet la reconstruction des surfaces tridimensionnelles, avec une précision qui dépend bien entendu du nombre de plans de section.

[0105] Afin d'opérer des mesures de dimensions linéaires telles que des longueurs, il existe plusieurs approches.

[0106] Dans une méthode, dite surfacique, il est possible de calculer un segment dont les extrémités sont les intersections d'une droite avec la surface frontière matière/air d'un modèle surfacique. Enfin, une méthode mixte consiste à transformer le modèle volumique en modèle surfacique, puis à appliquer la deuxième méthode.

[0107] Une troisième méthode consiste à déterminer, dans un plan de coupe, la distance entre deux points d'une ou de deux courbes bidimensionnelles, toute courbe étant une frontière entre la matière et l'air.

[0108] Un point tridimensionnel est un point dont sont connues les coordonnées dans l'espace tridimensionnel, dans un repère quelconque.

[0109] Ces trois méthodes précédentes sont des exemples de détermination d'une distance entre deux points tridimensionnels, pour déterminer une mesure de dimension linéaire.

[0110] Un objectif de l'invention est de réaliser des mesures plus complètes que celles rendues possibles par de simples images radiographiques bidimensionnelles. En effet, il est aisé à l'aide d'un capteur d'images matricielles d'obtenir une image radiographique bidimensionnelle correspondant à une projection de la région inspectée et de mesurer des dimensions dans un plan orthogonal à la direction de projection dit « plan projeté ». De même, il est aisé à l'aide d'un capteur d'images linéaires d'obtenir une image radiographique bidimensionnelle correspondant à une projection de la région inspectée obtenue par juxtaposition des lignes d'image successives acquises durant le déplacement dans la direction de déplacement, et de mesurer des dimensions dans un plan projeté, qui est parallèle à la direction de déplacement. En revanche, selon l'invention, on peut mesurer des dimensions linéaires selon des directions qui ne sont ni contenues dans les plans projetés, ni parallèles aux plans projetés. Le procédé selon l'invention peut en effet comporter, lors du traitement d'une combinaison des images radiographiques selon au moins trois directions de projection différentes, la reconstruction et la mesure des dimensions selon pratiquement toutes les directions. Ceci est possible par toute méthode permettant la détermination de points tridimensionnels dans l'espace appartenant à une surface frontière incluse dans la région à inspecter de l'objet. La reconstruction d'un modèle tridimensionnel de la région à inspecter, de type surfacique ou volumique ou à base de plans de coupe, est une méthode possible. En effet, on peut, indirectement, à partir d'un modèle volumique tridimensionnel de la région à inspecter, et préférentiellement à partir d'un modèle surfacique tridimensionnel de la région à inspecter, éventuellement en déterminant des coupes du modèle tridimensionnel de la région, déterminer au

moins deux points tridimensionnels, voire de préférence des nuages de points tridimensionnels, répartis selon des directions non mesurables à partir des seules les images radiographiques bidimensionnelles.

[0111] Un modèle géométrique numérique est donc composé d'éléments géométriques tels que points, segments, courbes, surfaces, calculés à partir des projections radiographiques, en considérant pour calculer chaque élément, l'atténuation d'au moins certains rayons X ayant traversés ce point sur l'objet réel, dans le but que le modèle géométrique numérique soit une représentation fidèle de la géométrie de l'objet réel, incluant des déformations par rapport à un objet idéal. Autrement dit, les coordonnées des éléments géométriques sont déterminées en considérant que lesdites coordonnées ont modifié les projections radiographiques, même lorsque ces éléments géométriques ne sont distinguables dans aucune des projections radiographiques 2D. Les mesures de dimensions sur le modèle géométrique numérique donnent donc des informations sur les dimensions de chaque objet modélisé, à partir d'éléments géométriques non distinguables dans aucune des projections radiographiques.

[0112] En conséquence, un avantage du procédé selon l'invention est qu'il permet de déterminer, pour chaque objet, un modèle géométrique numérique constitué d'au moins deux points tridimensionnels, chacun de ces deux points appartenant à une surface frontière de la région à inspecter et ce même si ces deux points ne sont pas situés dans un plan orthogonal à une direction de projection **D_{ji}**, **D_{jik}**, ni dans un plan parallèle à la direction de déplacement.

[0113] Bien entendu, l'intérêt de la méthode est non seulement de fournir des mesures dans des directions hors d'un plan orthogonal à une direction de projection **D_{ji}**, **D_{jik}**, et hors d'un plan parallèle à la direction de déplacement, mais également de fournir un grand nombre de mesures distribuées dans la région inspectée, donc des dimensions dans de nombreuses directions, entre de multiples paires de points. De préférence, un modèle géométrique numérique est constitué :

- d'au moins deux points tridimensionnels de l'espace chacun appartenant à une surface frontière de la région à inspecter et non situés dans un plan orthogonal à une direction de projection **D_{ji}**, **D_{jik}**, et non situés dans un plan parallèle à la direction **T** de déplacement ;

- et/ ou d'au moins une surface tridimensionnelle de la région à inspecter, contenant des points n'appartenant pas à un plan orthogonal à une direction de projection **Dji**, **Djik**, et n'appartenant pas à un plan parallèle à la direction **T** de déplacement ;

- et/ou d'au moins une section de la région à inspecter, selon un plan différent d'un plan orthogonal à une direction de projection **Dji**, **Djik** et différente d'un plan parallèle à la direction de déplacement.

[0114] Un modèle géométrique dit « a priori » est un modèle numérique géométrique de la série d'objets, pouvant servir d'initialisation pour un logiciel de reconstruction afin de construire un modèle géométrique numérique de l'objet. Son rôle est alors principalement de fournir, au système informatique, des informations sur la forme, la géométrie et les dimensions de l'objet et / ou des différentes parties de l'objet à modéliser par le calcul, ces informations étant cependant insuffisamment précises pour permettre une mesure de l'objet avec la précision requis pour la mesure.

[0115] Grace à ces informations il devient notamment possible :

- de ne pas modéliser, à partir des images radiographiques, l'atténuation dans des régions de l'espace d'images vides de matériau a priori car l'atténuation y est considérée comme nulle ;

et / ou

- de ne modéliser à partir des images radiographiques, que les surfaces sur lesquelles les mesures de dimensions sont à faire;

et / ou

- de ne déterminer que des écarts entre les surfaces modélisées à partir des images radiographiques et des surfaces idéales théoriques.

[0116] Dans le cas d'objets mono-matériau, la connaissance du modèle géométrique a priori permet également de ne pas déterminer, à partir des images radiographiques, de valeurs d'atténuation dans des régions de l'espace de l'image contenant de la matière selon le modèle a priori car elle est connue comme celle du matériau de fabrication de l'objet.

[0117] Toutefois il faut comprendre que selon l'invention, aucune mesure d'un objet n'est déduite d'une mesure sur le modèle géométrique a priori, puisque ce

modèle est connu indépendamment dudit objet et représente un idéal théorique non réel.

[0118] Tel que cela ressort des dessins et plus précisément des **Figs. 1 et 2**, l'objet de l'invention concerne une installation **1** permettant la mise en œuvre d'un procédé pour réaliser de manière automatique, des mesures de dimensions linéaires sur des objets manufacturés **2** se déplaçant en défilement à haute cadence. L'invention concerne un contrôle dit « en ligne » d'une série d'objets manufacturés, les objets d'une série étant supposés identiques, après une étape de transformation ou de fabrication, afin de contrôler la qualité des objets ou du procédé de transformation ou de fabrication. Les objets sont supposés identiques dans la mesure où aucune action volontaire n'est entreprise pour qu'ils diffèrent. Cependant, il est bien connu que, dans une série, tous les objets ne sont pas identiques, par la faute d'aléas dans la transformation ou fabrication.

[0119] Le procédé fonctionne pour une cadence de défilement d'un flux d'objets **2**. Idéalement, l'installation **1** est capable de traiter la production à la cadence de production, par exemple à plus de 100 objets par minute, de préférence plus de 300 objets par minute, et par exemple à une cadence d'au moins 600 objets par minute.

[0120] Toutefois, la durée de calcul peut excéder l'intervalle entre deux objets. De même, les temps d'exposition, aussi appelés temps d'intégration, des capteurs d'images et de lecture peuvent être trop longs. Si le flux le plus rapide ne peut pas être traité par une seule installation conforme à l'invention, alors plusieurs installations peuvent être mises en œuvre en parallèle contrôlant chacune une partie de la production. Ainsi il est possible de diviser le flux de production en deux ou trois flux parallèles inspectés par deux ou trois installations selon l'invention. Evidemment, l'intérêt économique de l'invention est accru si le nombre de flux et donc d'installations selon l'invention reste faible.

[0121] L'invention apporte une amélioration considérable grâce à la mesure d'objets en défilement, en évitant le balayage hélicoïdal et le balayage sur plateau qui ne sont pas adaptés aux cadences de production car ces deux modalités, impliquant une rotation relative des objets par rapport aux foyers et/ou aux capteurs, créent

une « rupture du défilement » ou un déplacement très lent des objets au sein de l'installation.

[0122] Le procédé selon l'invention assure la mesure, de préférence sur chaque objet **2**, d'au moins une et de manière générale de plusieurs dimensions linéaires, c'est à dire des longueurs. Une dimension linéaire est en effet une longueur mesurée le long d'une ligne. Cette ligne selon laquelle est mesurée la dimension linéaire peut être une ligne rectiligne, ou une ligne non rectiligne, par exemple une ligne courbe quelconque, une ligne circulaire, une ligne brisée, etc.... Cette ligne peut être une ligne plate, contenue dans un plan, ou une ligne tridimensionnelle qui n'est pas comprise dans un plan. Une longueur est une mesure exprimée en unités de longueur, par exemple en pouces ou en mètres. Une dimension linéaire d'un objet manufacturé est par exemple un diamètre, une épaisseur, une hauteur, une longueur, une largeur, une profondeur, une distance, coordonnée en tant que distance d'un point par rapport à une origine, un périmètre de l'objet manufacturé. Au moins une mesure linéaire de la région inspectée est la distance entre au moins deux points tridimensionnels chacun appartenant à une surface frontière, notamment une surface frontière externe, de la région à inspecter et situés dans un plan, y compris un plan non orthogonal à une direction de projection **Dji, Djik**.

[0123] Selon l'invention, les objets **2** sont des objets supposés identiques, aux variations dimensionnelles près, formant une série d'objets. Autrement dit, une série est composée d'objets théoriquement identiques lorsqu'ils sont conformes. Le contrôle dimensionnel consiste à mesurer des dimensions réelles et à les comparer aux dimensions exigées. A priori, tout objet d'une série est proche d'un objet de référence idéal possédant les dimensions exigées mais s'en écarte par des variations dimensionnelles.

[0124] Selon une caractéristique avantageuse de réalisation, au moins une région de l'objet **2** est choisie pour être inspectée de manière à pouvoir réaliser des mesures de dimensions dans cette région de l'objet, correspondant à une caractéristique dimensionnelle de la région à inspecter. Au moins la région de l'objet dans laquelle la ou les dimensions linéaires sont à mesurer est inspectée par les rayons X. Ainsi, la région inspectée peut correspondre à la totalité de l'objet ou à une ou plusieurs régions de cet objet.

[0125] Comme indiqué, tous les objets **2** d'une série sont constitués d'une seule partie, ou de plusieurs parties distinctes, chaque partie étant constituée par un matériau possédant un coefficient d'atténuation uniforme en tout point de la partie considérée de l'objet.

[0126] Selon une variante avantageuse de l'invention, pour chaque partie de la région à inspecter, ce coefficient est connu par le système informatique. Le procédé peut prévoir un moyen de mise à disposition pour le système informatique de la valeur du coefficient d'atténuation du matériau. Cette valeur peut être spectrale, au sens d'une valeur qui est une propriété du matériau, qui définit l'interaction de ce matériau avec un rayonnement et qui dépend de la longueur d'onde du rayonnement. Cette valeur peut être non spectrale, au sens d'indépendante de la longueur d'onde du rayonnement. Cette valeur peut être rendue dépendante des réglages des sources de rayons X. La mise à disposition est possible par différents dispositifs de saisie, communication et mémoire. Par exemple, le dispositif de mise à disposition pour le système informatique, de la valeur du coefficient d'atténuation du matériau est une mémoire de masse, un réseau informatique filaire ou hertzien ou une interface homme/machine.

[0127] L'installation **1** comporte également un dispositif **5** de transport des objets **2** dans un plan de convoyage **PC**, c'est-à-dire selon une trajectoire plane, avec une direction matérialisée par un vecteur **T** de déplacement. De préférence, la trajectoire est rectiligne, dans les limites habituellement admises pour la rectitude d'une ligne de convoyage. Classiquement, le dispositif de transport **5** est un convoyeur à bande transporteuse ou à chaînes assurant une translation linéaire des objets **2** qui y sont déposés. Ainsi, les objets **2** d'une même série sont en mouvement essentiellement de translation dans le plan de convoyage **PC**. Tel que cela ressort plus précisément des **Fig. 1** et **2**, on prend, pour la commodité de cette description, la convention selon laquelle la direction de déplacement des objets **2** s'établit selon un axe horizontal **X** d'un repère **X, Y, Z** comportant un axe vertical **Z** perpendiculaire à l'axe horizontal **X** et un axe transversal **Y** perpendiculaire à l'axe vertical **Z** et à l'axe horizontal **X**, et **X** et **Y** étant dans un plan parallèle au plan de convoyage **PC** qui est de préférence, mais non nécessairement, horizontal.

- [0128] La position des objets considérée dans un repère mobile orthonormé en translation selon la direction **T**, est fixe durant leur déplacement et l'acquisition des images radiographiques. Cette position fixe implique notamment une absence de rotation de l'objet dans un repère mobile orthonormé en translation selon la direction **T**, notamment par exemple une absence de rotation de l'objet autour d'un éventuel axe de symétrie de l'objet. Par exemple, les objets sont déposés sur le tapis de convoyeur, en appui stable, éventuellement sur un plan de pose propre comme le fond d'un récipient ou les pieds d'un siège.
- [0129] Dans une variante de l'invention, il est possible de prévoir un support pour les objets **2**. Dans ce cas, ce support est fixe dans le repère mobile orthonormé, en translation selon la direction **T**, et il maintient l'objet également fixe dans le repère mobile orthonormé en translation selon la direction **T**. Pour que le support n'influence pas les mesures, selon une première variante il est exclu de la région inspectée pour ne pas apparaître en superposition de la région inspectée dans les projections. Selon une seconde variante, son coefficient d'atténuation est négligeable relativement à celui des objets et peut être assimilé à l'air ou à une atténuation nulle. Selon une troisième variante moins avantageuse, la géométrie du support, ainsi que sa position dans le repère mobile, sont précisément connues et répétables pour la série d'objets et son coefficient d'atténuation est connu précisément et stable, et préférablement identique à celui des objets de la série d'objets, pour que le support soit pris en compte dans la reconstruction et isolé du modèle géométrique de l'objet.
- [0130] La position des objets étant stable (durant le défilement et l'acquisition des radiographies), il reste préférable que cette position dans le repère mobile orthonormé en translation selon la direction **T**, soit également la même pour chaque objet d'une série d'objets.
- [0131] Si ce n'est pas le cas, il est alors possible, selon une variante de l'invention, de mettre en œuvre un moyen de détermination de la position de chaque objet dans le repère mobile orthonormé en translation selon la direction **T** par rapport à un repère commun de l'installation, cette position étant prise en compte, par exemple par les moyens de calcul de la délinéation l'objet selon des plans de sections qui seront décrits plus loin. Cette étape préliminaire consiste à déterminer la position de chaque objet. Elle pourra comprendre la mise en

correspondance, dans un repère virtuel, des images acquises avec des délinéations a priori de l'objet, lesquelles peuvent être par exemple dérivées d'un modèle géométrique a priori. Cela revient dans tous les cas à déterminer les délinéations des objets, et éventuellement un modèle 3D des objets qui en serait tiré, dans le repère mobile orthonormé en translation selon la direction **T**.

[0132] On comprend en revanche que, si la position des objets est stable dans le repère mobile orthonormé en translation selon la direction **T** durant le défilement et l'acquisition des radiographies, il n'est pas nécessaire de déterminer la position de chaque objet par rapport à un repère commun de l'installation.

[0133] Tel que cela ressort plus précisément de la **Fig. 4**, au cours de leur déplacement en translation, les objets **2** génèrent ou traversent un volume dit de convoyage **Vt**. Le plan **PS** est le plan sécant du volume de convoyage **Vt**, orthogonal au plan de convoyage **PC** et parallèle à la direction de déplacement **T**. Par exemple, le plan **PS** peut être un plan médian qui sépare le volume de convoyage **Vt** en deux sous-volumes égaux. Le plan sécant **PS** est un plan vertical dans la mesure dans le cas où le plan de convoyage est horizontal.

[0134] L'installation **1** comporte également comme illustré aux **Figs. 1 et 2**, au moins un foyer **Fj** (avec j variant de 1 à NF) d'un tube **7** générateur de rayons X créant un faisceau divergent de rayons X dirigé pour traverser le volume de convoyage **Vt** et plus précisément traverser au moins la région à inspecter de l'objet **2**. Dans les variantes dans lesquelles l'installation comporte plusieurs foyers **Fj**, comme illustré aux **Figs. 5 et 6**, tous les foyers qui seront utilisés pour la méthode selon l'invention seront agencés sur la même droite de base **B**, parallèle à la direction **T** de déplacement selon la trajectoire rectiligne. Cela n'empêche pas la présence éventuelle d'un ou plusieurs foyers auxiliaires (non représentés) qui pourraient servir à l'acquisition d'autres images.

[0135] L'installation **1** comporte également des capteurs d'images **Ci**, **Cik** (avec i variant de 1 à N et N pouvant, dans certains cas, être supérieur ou égal à 3) sensibles aux rayons X et situés de manière à être exposés aux rayons X issus d'un foyer **Fj** et ayant traversés le volume de convoyage **Vt** et plus précisément, au moins la région à inspecter de l'objet **2**. Bien entendu, le ou les tubes **7** et les capteurs d'images **Ci**, **Cik** sont situés en dehors du volume de convoyage **Vt**

pour permettre le libre déplacement des objets dans ce volume. Classiquement, les tubes **7** générateurs de rayons X et les capteurs d'images **Ci**, **Cik** sont placés dans une enceinte étanche aux rayons X.

[0136] Dans certains modes de réalisation, un capteur d'images **Ci**, **Cik** est associé à un unique foyer **Fj** dans le sens que, dans la mise en œuvre de la méthode, ce capteur d'images **Ci** est prévu pour que les images qu'il délivre et qui sont prises en compte dans la méthode ne sont formées que de rayons issus du foyer **Fj** associé. Par exemple, l'installation peut être prévue pour que seuls des rayons issus d'un foyer donné puisse atteindre le capteur d'images associé, par exemple par la disposition de masques absorbants de manière adéquate. Selon un autre exemple, qui peut être combiné au précédent, il peut être prévu que l'acquisition d'images par un capteur d'image soit déclenchée uniquement lorsque seul le foyer associé unique est activé.

[0137] Cependant, dans certains modes de réalisation, plusieurs capteurs d'images peuvent être associés un même foyer **Fj**, et / ou plusieurs Foyers **Fj** peuvent être associés à un même capteur d'images. Dans un mode de réalisation préféré, plusieurs capteurs d'images sont associés à un même foyer **Fj**.

[0138] Comme indiqué plus haut, un capteur d'images **Ci**, **Cik** correspond à un composant capteur physique **CC1**, **CC2**, ..., **CCnmax**, ..., à une partie d'un composant capteur physique ou l'assemblage de plusieurs parties d'un ou plusieurs composant capteur physique.

[0139] Les faisceaux de rayons X issus d'un foyer **Fj** traversent au moins la région inspectée, et forment, sur un capteur d'images, une projection radiographique de la région inspectée, selon une direction de projection **Dji**, **Djik** (**Fig. 1** et **2**). La direction de projection **Dji**, **Djik** est la direction orientée du vecteur partant du foyer **Fj** pour passer par le centre du capteur d'images **Ci**, **Cik** mis en œuvre pour l'acquisition. Le ou les foyers **Fj** et les capteurs d'images **Ci**, **Cik** sont disposés de manière que chaque capteur d'images reçoive la projection radiographique de la région à inspecter selon la direction de projection.

[0140] L'installation **1** comporte également un système d'acquisition relié aux capteurs d'images **Ci**, **Cik**, de manière à acquérir, pour chaque objet **2** au cours de son déplacement, un ensemble d'images unidimensionnelles radiographiques

de traitement de l'objet, dans lequel chaque image unidimensionnelle radiographique de traitement comprend une projection d'une section de l'objet selon un plan de section **P_k** contenant la droite de base **B**. Plus précisément, cet ensemble d'images comprend :

- de telles images unidimensionnelles radiographiques de traitement pour un nombre **NK** de plans de section **P_k** distincts contenant la droite de base ;
- pour chaque plan de section **P_k** distinct, un nombre **NP** de telles images unidimensionnelles radiographiques de traitement **Sp_k, Sp'_k, Sp''_k, ...,** de la région à inspecter, obtenues selon au moins trois direction de projection **Dj_{ik}** différentes dans le plan de section **P_k**.

[0141] Cet ensemble d'images comporte donc, pour chaque plan de section **P_k** dans une pluralité de plans de section contenant la droite de base, au moins trois images unidimensionnelles radiographiques de traitement **Sp_k** de la région à inspecter de l'objet, qui sont obtenues chacune selon une direction de projection **Dj_{ik}** différente dans le plan de section **P_k**.

[0142] Sur la **Fig. 2**, on a illustré la trace de plusieurs plans de section **P_k, P'_k** distincts, contenant la droite de base **B** et contenant donc le foyer **F_j**. On note que, dans des modes de réalisation comportant plusieurs foyers **F_j** distincts, puisque ces foyers sont placés sur la même droite de base **B**, un plan de section donné **P_k, P'_k, P''_k, ...**, contient tous les foyers **F_j**. On note que les plans de sections distincts **P_k, P'_k, ...**, sont par définition non parallèles entre eux, mais agencés en éventail autour de la droite de base **B**. La droite de base **B** est donc l'intersection de tous les plans de section **P_k**, constituant ensemble une famille de plans.

[0143] Un plan de section **P_k** est donc défini par la droite de base **B**, et par au moins un élément sensible **Ci_k, Ci'_k, Ci''_k, ...**, d'un capteur d'image, contenu dans ce plan de section **P_k**. et / ou, comme dans l'exemple de la **Fig. 9**, par un capteur d'image linéaire **Ci_k, Ci'_k, Ci''_k, ...**, contenu dans ce plan de section **P_k**. Dans le cas d'un capteur linéaire, il peut être orienté parallèlement à la droite de base **B**, ou être orienté selon une direction qui coupe la droite de base **B**. La droite de base **B** étant fixe pour l'installation, le plan de section **P_k** est donc associé à cet élément sensible **Ci_k** contenu dans le plan de section **P_k**, ou à ce capteur d'image linéaire **Ci_k** contenu dans le plan de section **P_k**. Pour au moins certains

des plans de section **Pk**, le plan de section est donc susceptible de couper l'objet **2**.

[0144] L'intersection d'un plan de section **Pk** avec l'objet **2** définit une section de l'objet **2**. Comme vu plus haut, chaque plan de section **Pk** définit, à son intersection avec l'objet, une délinéation de l'objet **2** dans le plan de section, la délinéation étant formée par une ou plusieurs courbes bidimensionnelles, considérées ensemble dans le plan de section.

[0145] On remarque qu'il n'existe qu'un seul plan de section **Pk** qui soit parallèle au plan de convoyage **PC**. On a vu plus haut que le plan de convoyage est considéré, au moins dans certains modes de réalisation, comme étant horizontal. Dans certaines applications de l'invention, la série d'objets peut être une série de récipients, notamment de bouteilles, tout particulièrement de bouteilles en verre. Pour ces récipients, on constate généralement qu'ils ont un axe central selon lequel leur forme générale est allongée, cet axe central pouvant être, pour certaines bouteilles, un axe de symétrie, voire un axe de symétrie de révolution. Habituellement, de tels objets sont transportés avec leur axe central en position verticale. Il s'ensuit que les différents plans de section **Pk** coupent chacun l'objet en formant un angle différent avec l'axe central de l'objet. Dans le cadre d'un objet qui aurait principalement une enveloppe ou surface externe de forme cylindrique de révolution, les plans de section **Pk** coupent alors l'objet de telle sorte que le contour externe de l'objet apparaît sous la forme d'une courbe elliptique.

[0146] Le plan de section **Pk** définit par ailleurs une projection de cette section de l'objet sur un élément sensible **Cik** associé contenu dans le plan **Pk**, ou sur un capteur d'image linéaire **Cik** orienté parallèlement à la droite de base **B** et contenu dans le plan **Pk**.

[0147] En fonctionnement, l'élément sensible **Cik** qui est intersecté par le plan **Pk**, ou le capteur d'image linéaire **Cik** qui est intersecté par le plan **Pk**, permet d'obtenir une image unidimensionnelle radiographique **Spk** d'une projection de cette section selon ce plan de section.

[0148] Dans les deux cas, qu'elle soit acquise directement par un capteur d'images linéaire, ou acquise indirectement par échantillonnage avec un unique élément

sensible, cette image unidimensionnelle radiographique sera utilisée pour le traitement selon l'invention et sera donc qualifiée d'image unidimensionnelle radiographique de traitement.

[0149] Dans le cas illustré dans les exemples des **Fig. 2, 3 et 5** où un unique élément sensible **Cik** est mis en œuvre pour acquérir cette image unidimensionnelle radiographique de traitement, il est nécessaire de la former par échantillonnage d'une image ponctuelle acquise à l'aide d'un élément sensible **Cik**, pendant une durée de balayage correspondant à la durée du déplacement de l'objet entre le foyer et l'élément sensible **Cik**, au cours de son déplacement, donc par juxtaposition de plusieurs images acquises successivement dans le temps, pendant la durée de balayage, par l'élément sensible **Cik** mis en œuvre, lequel forme un capteur d'images ponctuel,. On note qu'alors, chaque image acquise successivement dans le temps par le capteur d'images ponctuel **Cik** mis en œuvre est un pixel de l'image unidimensionnelle radiographique de traitement. Le temps entre deux images ponctuelles, acquises successivement par le capteur d'images ponctuel **Cik** mis en œuvre, correspond à un déplacement incrémental de l'objet le long de la trajectoire de déplacement. La durée de balayage correspond donc au temps nécessaire pour que l'intégralité de la section de l'objet par le plan de section **Pk** soit passée au travers de la ligne qui supporte la direction de projection. On note aussi que, dans ce cas, chaque pixel est obtenu avec une direction de projection rigoureusement identique, correspondant à la direction du vecteur joignant le foyer **Fj** à l'élément sensible **Cik**, puisque tous les pixels de l'image radiographique de traitement sont obtenus par le même élément sensible **Cik**, avec seulement un décalage dans le temps.

[0150] Dans le cas illustré à la **Fig. 9** où un capteur d'images linéaire **Cik** est mis en œuvre pour acquérir cette image unidimensionnelle radiographique de traitement, elle peut être acquise en un seul temps d'acquisition ou temps d'intégration du capteur. L'image unidimensionnelle radiographique linéaire de traitement correspond alors l'acquisition simultanée de plusieurs images ponctuelles délivrées chacune par un élément sensible appartenant à un ensemble d'éléments sensibles alignés consécutivement sur une droite contenue dans le plan de section **Pk**. On note alors que, dans ce cas, chaque pixel de

l'image radiographique de traitement correspond à un élément sensible différent, et il s'ensuit que chaque pixel est obtenu avec une projection correspondant à la direction du vecteur joignant le foyer **Fj** à l'élément sensible spécifique à ce pixel. Cependant, par convention, on considère que la direction de projection radiographique pour cette image unidimensionnelle radiographique de traitement est celle qui joint le foyer **Fj** au centre du capteur d'images linéaire est mis en œuvre pour acquérir cette image unidimensionnelle radiographique de traitement. On considère donc ici une direction de projection **Djik** qui est fait une direction moyenne de projection pour l'image unidimensionnelle radiographique de traitement.

[0151] Chaque pixel de l'image unidimensionnelle radiographique de traitement **Spk** est constitué d'une valeur représentative du signal recueilli par l'élément sensible correspondant pendant le temps d'intégration de ce pixel. La valeur de ce signal dépend donc de l'intensité du rayon X reçu, donc dépend de l'atténuation cumulée subie par le rayon X entre le foyer **Fj** et l'élément sensible correspondant. Ceci dépend de l'épaisseur et du coefficient du matériau ou de chacune des couches de matériaux qui ont été traversées par le rayon X entre le foyer **Fj** et l'élément sensible correspondant. Chaque image unidimensionnelle radiographique de traitement **Spk** de la région à inspecter peut donc être représentée par un ensemble de ces valeurs, numériques ou analogiques, pour l'ensemble de la section de l'objet par le plan de section correspondant, cet ensemble de valeur ayant été acquis en un seul temps d'acquisition d'un capteur linéaire ou en des temps d'acquisition successifs d'un capteur d'images ponctuel.

[0152] L'invention prévoit que, pour chaque objet à mesurer, et pour chaque plan de section **Pk** distinct, on détermine la délinéation de l'objet dans le plan de section **Pk** considéré. Cette détermination, dans chaque plan de section, est effectuée sur la base d'un nombre d'images unidimensionnelles radiographiques de traitement de la région à inspecter, obtenues selon au moins trois direction de projection **Djik** différentes dans le plan de section, donc sur la base d'au moins trois images unidimensionnelles radiographiques de traitement **Spk** de cette section de la région à inspecter de l'objet, de préférence entre 3 et 40, plus préférentiellement entre 8 et 15, qui sont obtenues chacune selon une direction de projection **Djik** différente dans le plan de section.

[0153] On note que cela doit être répété pour chaque plan de section qui intercepte la région à inspecter de l'objet. Ainsi cela doit être répété pour NK plans de section Pk.

[0154] Aussi, dans les exemples des **Fig. 1 à 3**, on prévoit d'utiliser des composants capteurs physiques qui sont linéaires (seuls deux de ces capteurs composants capteurs physiques linéaires sont illustrés sur la **Fig. 2**). Dans ces exemples, chaque composant capteur physique **CC1**, **CC2**, ..., **CCnmax** comporte un réseau linéaire d'éléments sensibles aux rayons X, distribués selon une droite de support **Ln** définissant avec le foyer associé **Fj**, un plan de projection **PPji** (**Fig. 2**). Dans l'exemple, les composants capteur physiques linéaires ont leurs droites de support **Ln** parallèles entre elles et orthogonales au plan de convoyage **PC**. Dans l'exemple de la **Fig. 1**, ils sont au nombre de huit composants capteur physiques linéaires. Ces composants capteur physiques **CCi** sont disposés de manière qu'au moins m éléments sensibles **Cik** de chacun de ces composants capteur physiques reçoivent une projection radiographique de la région à inspecter de l'objet par le faisceau de rayons X issu du foyer **Fj** lors du déplacement de l'objet entre le foyer **Fj** et le capteur. Dans chaque plan de section **Pk**, chaque composant capteur physique linéaire **CCi** comporte un unique élément sensible **Cik**. Les éléments sensibles **Cik** de chaque composant capteur physique linéaire **CCi** sont donc chacun susceptibles d'acquérir, par échantillonnage pendant une durée de balayage correspondant à la durée du déplacement de l'objet entre le foyer et l'élément sensible, donc par juxtaposition de plusieurs images acquises successivement dans le temps, une image unidimensionnelle radiographique de traitement **Spk**. On comprend que, dans un plan de section **Pk** donné, chaque élément sensible présent dans ce plan appartient à un composant capteur physique linéaire différent, et définit, avec le foyer **Fj**, une direction de projection différente, et qu'on obtient des images unidimensionnelles radiographiques de traitement **Spk** selon des directions de projection **Djik** différentes, en l'occurrence selon autant de directions de projection différentes qu'il y a d'éléments sensibles dans le plan de section **Pk**. Comme indiqué plus haut, les composants capteur physiques linéaires sont disposés de préférence de telle sorte qu'ils définissent des directions de projection différentes **Dji**, **Djik** faisant entre elles, prises deux à deux, un angle

minimum au moins égal à 3 degrés d'angle, de préférence au moins égal à 5 degrés d'angle dans le plan de section **Pk**, ceci dans chaque plan de section **Pk** mis en œuvre.

[0155] Dans l'exemple de la **Fig. 5**, on retrouve le même principe, mais avec deux foyers **F1** et **F2**, alignés sur la droite de base **B**, dont chacun est associé à plusieurs, en l'occurrence cinq composants capteurs physiques linéaires ayant leurs droites de support **Li** parallèles entre elles et orthogonales au plan de convoyage **PC**. Ainsi, on obtient pour chaque plan de section **Pk**, par échantillonnage, pour chaque composant capteur physique linéaire, de l'image ponctuelle acquise par l'élément sensible **Cik** du composant capteur physique linéaire qui est compris dans le plan section considéré, 10 images unidimensionnelles radiographiques de traitement **Spk** selon 10 directions de projection **Dji** différentes.

[0156] Dans l'exemple des **Figs. 9 à 10**, on prévoit d'utiliser des composants capteurs physiques qui sont matriciels, ou bidimensionnels. Dans cet exemple, ils sont au nombre trois. Dans cet exemple, chaque composant capteur physique **CC1**, **CC2**, **CC3** comporte un réseau matriciel d'éléments sensibles aux rayons X, distribués selon un plan de support. Dans l'exemple, les composants capteur physiques matriciels **CC1**, **CC2**, **CC3** ont leurs plans de support qui ne sont pas parallèles entre eux. En effet, dans cet exemple, chaque composant capteur physique matriciel **CC1**, **CC2**, **CC3** est disposé de manière que son plan de support est orthogonal à la direction de projection définie par le foyer **Fj** et le centre du composant capteur physique matriciel **CC1**, **CC2**, **CC3**. Cependant, les composants capteur physiques matriciels **CC1**, **CC2**, **CC3**, ou au moins certains d'entre eux, pourraient être parallèles l'un à l'autre. Dans cet exemple, leurs plans de support respectifs sont perpendiculaires au plan de convoyage **PC**. Pour chaque composant capteur physique matriciel **CC1**, **CC2**, **CC3**, au moins **m** lignes d'éléments sensibles **Cik** reçoivent une projection radiographique de la région à inspecter de l'objet par le faisceau de rayons X issu du foyer **Fj** lorsque l'objet se trouve entre le foyer **Fj** et le capteur. Dans chaque plan de section **Pk**, chaque composant capteur physique matriciel **CCi** comporte une ligne d'éléments sensibles qui forme un capteur d'images linéaire **Cik**. Les éléments sensibles de ce capteur d'images linéaire **Cik** sont donc susceptibles, ensemble,

d'acquérir une image unidimensionnelle radiographique de traitement **Spk** en un seul temps d'acquisition ou temps d'intégration du capteur. Généralement, les éléments sensibles sur un composant capteur matriciel sont disposés selon un arrangement matriciel, avec un alignement vertical (colonnes) et horizontal (lignes) des éléments sensibles. Dans le cas où un composant capteur matriciel **CCi** constitue un plan non parallèle à la droite de base **B**, l'intersection des plans **Pk** avec le plan du composant capteur matriciel **CCi** est une droite non alignée avec l'arrangement physique des pixels. Dans ce cas, le capteur d'images linéaire **Cik** est un sous-ensemble d'éléments sensibles qui ne suit pas l'alignement horizontal ou vertical de l'arrangement du composant capteur matriciel. L'image linéaire correspondant au capteur d'images linéaire **Cik**, qui est donc une partie du composant capteur matriciel **CCi** peut être obtenue en combinant les valeurs délivrées par les éléments sensibles coupés par une droite virtuelle, représentant le capteur d'images linéaire **Cik**, éventuellement en prenant en compte également les pixels fournis par les éléments sensibles voisins. Par exemple, il est connu de l'homme du métier d'utiliser dans la combinaison des pixels des interpolations et rééchantillonnages.

[0157] On comprend que, dans un plan de section **Pk** donné, chaque ligne d'élément sensible forme un capteur d'images linéaire **Cik** dans un composant capteur physique matriciel et définit, avec le foyer **Fj**, une direction de projection différente, et qu'on obtient des images unidimensionnelles radiographiques de traitement **Spk** selon des directions de projection **Djik** différentes, en l'occurrence selon autant de directions de projection différentes qu'il y a de composants capteurs physiques matriciels **CCi**.

[0158] A partir des délinéations de l'objet dans chaque plan de section distinct, elles-mêmes obtenues chacune à partir d'images radiographiques de traitement selon au moins trois directions de projection différentes dans ce plan de section, on peut déterminer, pour l'objet à mesurer, au moins une mesure de dimension linéaire de la région à inspecter de l'objet à mesurer. Par exemple une telle mesure de dimension linéaire de la région à inspecter de l'objet à mesurer peut être déterminée comme étant la distance entre au moins deux points tridimensionnels appartenant chacun à une surface frontière de la région à inspecter. Pour cela, le système d'acquisition est relié à un système informatique,

dont un exemple non limitatif est représenté de manière symbolique à la **Fig. 3**, mais qui peut être de tous types connus en soi. Selon une caractéristique avantageuse de réalisation, le système informatique enregistre à l'aide des capteurs d'image **Ci**, **Cik**, pour chaque objet de la série au cours de son déplacement, des images radiographiques issues d'un nombre déterminé de projections radiographiques de la région à inspecter selon des directions de projection différentes.

[0159] On a vu que la délinéation de l'objet comprend une courbe ou un ensemble de courbes qui représentent l'intersection, avec le plan de section **Pk**, des surfaces frontières de l'objet. Dans une telle délinéation, la courbe ou chaque courbe de la délinéation est une courbe plane qui peut être modélisée par un système paramétrique, notamment un système d'une ou plusieurs équations paramétriques. La courbe ou chacune des courbes de la délinéation est de préférence modélisée par un nombre fixe de paramètres. Une telle courbe de délinéation peut par exemple être une courbe polygonale. Dans ce cas, les coordonnées des sommets du polygone peuvent jouer le rôle de paramètres.

[0160] Parmi les méthodes possibles pour la détermination d'une délinéation de l'objet dans le plan de section, il est possible de mettre en œuvre un algorithme d'ajustement de courbe partant d'une délinéation a priori de l'objet dans le plan de section.

[0161] Un tel algorithme peut être un algorithme itératif, notamment un algorithme de régression non-linéaire.

[0162] Comme illustré à la **Fig. 12**, un algorithme itératif **100** susceptible d'être utilisé peut ainsi mettre en œuvre itérativement, une étape de simulation **110**, une étape de comparaison **120** et une étape **130** de réduction d'erreur par ajustement d'un ou plusieurs paramètres dans le système paramétrique.

[0163] Un tel algorithme peut avantageusement, en tant qu'étape initiale **101**, prendre en compte **101** une délinéation a priori **DLk1** de l'objet dans le plan de section **Pk** en tant que délinéation calculée de premier rang d'itération. Une telle délinéation a priori **DLk1** revient à définir, dans un plan de section donné, une courbe initiale ou un ensemble de courbes initiales, de préférence suffisamment proche(s) de la délinéation attendue, qui n'est cependant pas connue. De

préférence, une délinéation initiale permettra de déterminer le nombre et l'ordre des matériaux qui sont coupés par un nombre de rayons X émis par le foyer **F_j**, contenus dans le plan de section considéré, et recueillis par le capteur d'images après avoir traversé l'objet. Cette délinéation a priori **DL_{k1}** peut être tirée d'un modèle géométrique a priori de l'objet, et / ou de la mesure d'un ou de plusieurs objets de la même série par un dispositif de mesure, et / ou de valeurs saisies et/ou de dessins réalisés et/ou de formes sélectionnées par un opérateur sur une interface homme machine d'un système informatique. Dans le cas d'une série d'objets cylindriques creux ne comprenant qu'un seul matériau et ayant un axe central théorique perpendiculaire au plan de convoyage, la délinéation dans un plan de section peut être constituée d'une courbe initiale intérieure et d'une courbe initiale extérieure, de préférence des courbes fermées, par exemple de type cercle ou ellipse, ou de type courbe polygonale. De telles courbes seront particulièrement efficaces pour des objets de révolution autour de l'axe central théorique. Elles pourront toutefois aussi être utilisées avec des résultats satisfaisants pour des objets dont la section par un plan perpendiculaire à l'axe central théorique est de type prismatique.

[0164] Un algorithme itératif pourra alors mettre en œuvre itérativement les étapes suivantes.

[0165] Une étape itérée pourra être une étape **110** de simulation qui implique le calcul **SIM**, à partir de la délinéation calculée **DL_{kr}** d'un rang *r* d'itération donné de l'objet dans le plan de section, d'un nombre NP au moins égal à trois d'images unidimensionnelles radiographiques simulées **SSp_{kr}**, **SSp'_{kr}**, **SSp''_{kr}** de la région à inspecter, calculées chacune dans le plan de section **P_k** selon une des directions de projection **Dj_{ik}** différentes qui ont été utilisées pour l'acquisition des images unidimensionnelles radiographiques de traitement **Sp_k**, **Sp'_k**, **Sp''_k** dans le plan de section.

[0166] Ici, on considère donc une des images unidimensionnelles radiographiques de traitement **Sp_k**, **Sp'_k**, **Sp''_k**, donc une image pour laquelle des valeurs réelles du signal image sont connues, telles que recueillies par le capteur d'images. Cette image correspond nécessairement à une direction de projection donnée **Dj_{ik}**, donc à un foyer **F_j** donné et un capteur d'image linéaire **C_{ik}** donné. Le principe est de calculer, à chaque rang d'itération donné de l'itération, une

estimation **SSpkr**, **SSp'kr**, **SSp''kr** des valeurs représentatives du signal qui serait recueilli par ce même capteur pour un faisceau de rayons X émis par le même foyer **Fj** mais après avoir traversé un objet qui aurait pour délinéation la délinéation calculée **DLkr** de rang d'itération **r** donné. Lors de la première itération, on peut utiliser la délinéation calculée de premier rang d'itération **DLk1**, à savoir la délinéation initiale. Pour les itérations suivantes, on utilise la délinéation calculée lors de l'itération précédente.

[0167] A chaque itération, ce calcul est effectué pour le nombre d'images unidimensionnelles radiographiques de traitement qui sont prises en compte par la méthode dans ce plan de section, à savoir au moins trois, par exemple entre trois et quarante, au sens de trois à quarante, bornes comprises, plus préférentiellement entre quatre et quinze, au sens de quatre à quinze, bornes comprises.

[0168] De la sorte, il est alors possible d'effectuer, à chaque itération, la comparaison 120 des images unidimensionnelles radiographiques simulées **SSpkr**, **SSp'kr**, **SSp''kr** aux images unidimensionnelles radiographiques de traitement **Spk**, **Sp'k**, **Sp''k**. Cette comparaison peut être réalisée, par exemple pour chaque image unidimensionnelle radiographique simulée sous la forme d'une fonction de comparaison **COMP**, par exemple une fonction des différences des valeurs de signal de l'image unidimensionnelle radiographique simulée **SSpk** par rapport aux valeurs de l'image linéaire radiographique de traitement **Spk** correspondant à la même projection radiographique. Cette fonction des différences peut être une fonction de différence de pixel à pixel. Cette comparaison peut par exemple être opérée, en considérant ensemble plusieurs ou toutes les images unidimensionnelles radiographiques simulées **SSpkr**, **SSp'kr**, **SSp''kr** avec les images unidimensionnelles radiographiques de traitement **Spk**, **Sp'k**, **Sp''k** associées, Cette comparaison peut par exemple comprendre le calcul d'une valeur de comparaison **COMPVAL**, qui peut être une valeur d'erreur, par exemple une valeur d'erreur quadratique.

[0169] On note que cet algorithme itératif travaille sur des images linéaires radiographiques de traitement dans un plan de section **Pk** donné, donc sur des images qui appartiennent à un même plan. Les calculs mis en œuvre dans l'algorithme itératif portent donc sur des données appartenant à un même plan

déterminé **P_k**, correspondant à des entités bidimensionnelles planes que sont les délinéations. Cela simplifie considérablement les calculs par rapport à un algorithme itératif qui porterait sur des données correspondant à des entités tridimensionnelles.

[0170] En fonction de la comparaison, l'algorithme itératif peut alors prévoir, par exemple à chaque itération avant la dernière, la modification **130** de la délinéation calculée ayant le rang d'itération r considéré en une nouvelle délinéation calculée **DL_{k(r+1)}** de rang d'itération supérieur ($r+1$), qui sera utilisée pour l'itération suivante, donc de rang d'itération supérieur. La modification mise en œuvre peut être une fonction de modification **MOD**, laquelle peut prendre en compte la délinéation **D_{ikr}** courante, la valeur de comparaison **COMPVAL** calculée par la fonction de comparaison **COMP** à l'étape de comparaison **120**, et /ou éventuellement d'autres calculs faits dans les itérations précédentes afin de diminuer la valeur de cette fonction **COMPVAL** à l'itération suivante selon le principe des méthodes de descente en optimisation. Une fonction de modification pouvant être utilisée est par exemple une méthode des moindres carrés, par exemple une méthode des moindres carrés linéaires.

[0171] Les étapes ci-dessus peuvent en effet être réitérées jusqu'à ce qu'à ce que, pour une dernière itération, la comparaison atteigne un critère d'optimisation **CRIT** prédéfini. L'atteinte de ce critère d'optimisation prédéfini peut être vérifiée lors d'une étape de vérification **125**. On peut par exemple vérifier si une fonction de vérification retourne une valeur définie. On peut vérifier un ou différents critères, comme la valeur de la fonction **COMP** par rapport à une valeur seuil, le nombre r d'itération par rapport à un nombre seuil maximal, etc.... Cette vérification peut être basée sur la valeur de comparaison **COMPVAL**, par exemple en vérifiant qu'elle a atteint ou dépassé une valeur d'erreur quadratique prédéfinie.

[0172] Typiquement, pour chaque plan de section, le nombre de directions de projection **D_{ji}**, **D_{jik}** différentes est compris entre trois et quarante, au sens de trois à quarante, bornes comprises, et de préférence entre quatre et quinze, au sens de quatre à quinze, bornes comprises. Aussi, selon une variante avantageuse de réalisation, l'installation **1** comporte, dans un plan de section donné, entre trois et quarante capteurs d'images **C_i**, au sens de trois à quarante,

bornes comprises. Selon une variante préférée de réalisation, l'installation **1** comporte, dans un plan de section donné, entre quatre et quinze capteurs d'images **Ci**, au sens de quatre à quinze, bornes comprises.

[0173] Comme cela sera expliqué en détail dans la suite de la description, le système informatique est programmé pour analyser, pour chaque objet, les au moins trois images unidimensionnelles radiographiques issues, dans chaque plan de sections des au moins trois projections radiographiques de directions différentes, de manière à connaître la géométrie tridimensionnelle de l'objet.

[0174] Dans certains cas, on pourra ainsi choisir de construire un modèle géométrique numérique de chaque objet mesuré. Ce modèle géométrique numérique peut être réalisé de toute manière appropriée, avec un degré de précision dépendant de la précision nécessaire pour la mesure de distance souhaitée. Ainsi, le modèle géométrique numérique peut être constitué par au moins deux points tridimensionnels chacun appartenant à une surface frontière de la région à inspecter de l'objet et non situés dans un plan orthogonal à une direction de projection **Dji**, **Djik**, et non situés dans un parallèle à la direction de déplacement T. Les au moins deux points peuvent appartenir à deux surfaces frontières différentes, par exemple pour mesurer une épaisseur ou un entrefer.

[0175] Le modèle géométrique numérique peut aussi être constitué d'une, ou de préférences de plusieurs sections de la région à inspecter, chaque section étant selon un plan différent d'un plan orthogonal à une direction de projection **Dji**, **Djik**. Ce plan de section peut être un des plans de section **Pk** mise en œuvre pour l'acquisition des images ou être un plan encore différent. Par ailleurs, le modèle géométrique numérique peut être constitué par au moins une surface tridimensionnelle de la région à inspecter, différente d'un plan orthogonal à une direction de projection **Dji**, **Djik** et différente d'un plan parallèle à la direction de déplacement T.

[0176] Selon les méthodes décrites ci-dessus, on obtient ainsi, pour chaque objet mesuré, la délinéation de l'objet dans toute une série de plan de section **Pk** contenant la droite de base **B**, donc dans des plans en éventail autour de cette droite de base. Chaque délinéation peut être rendue sous la forme d'un système paramétrique, par exemple rendue sous la forme d'un ensemble de points et/ ou

de segments, notamment d'en ensemble de points et/ou segments appartenant à des surfaces frontières externes de l'objet. L'ensemble des délinéations ainsi obtenu peut être considéré comme un modèle géométrique de l'objet, obtenu par mesure. En variante, un modèle géométrique de l'objet peut être construit à partir de cet ensemble de délinéations, par exemple par des méthodes d'interpolation. Ainsi, les délinéations dans les plans P_k peuvent être fusionnées en courbes 3D (frontières), par exemple pour obtenir un modèle type STL. Ensuite, il est possible de recouper le modèle surfacique 3D ainsi obtenu par des plans de coupe qui correspondent à des plans dans lesquelles les mesures sont faites.

[0177] En résumé, les méthodes ci-dessus permettent la construction, pour un objet à mesurer, à l'aide du système informatique et à partir des délinéations de l'objet dans chacun des plans de section P_k distinct, d'un modèle géométrique numérique tridimensionnel de la région à inspecter comprenant :

- des points tridimensionnels de l'espace appartenant chacun à une surface frontière de la région à inspecter de l'objet ;
- et / ou au moins une surface tridimensionnelle de la région à inspecter.

[0178] Dans les cas où on met en œuvre la détermination d'un modèle géométrique tridimensionnel, on peut déterminer une mesure de dimension linéaire de la région à inspecter de l'objet à mesurer en déterminant la distance entre au moins deux points tridimensionnels du modèle géométrique numérique tridimensionnel de la région à inspecter.

[0179] Bien entendu, l'invention permet de construire un modèle géométrique numérique avec un grand nombre de points tridimensionnels ou des nuages de points tridimensionnels.

[0180] Le modèle géométrique numérique est construit en utilisant le coefficient d'atténuation du ou des matériaux des objets de la série.

[0181] Dans certains modes de réalisation de l'invention, on a vu que les délinéations dans chaque plan de section, et donc éventuellement un modèle géométrique numérique, peuvent être construits en utilisant un modèle géométrique a priori de la région à inspecter pour la série d'objets. En d'autres termes, dans un tel cas, le système informatique utilise pour construire le modèle géométrique numérique de chaque objet, d'une part, un modèle géométrique a

priori de la région à inspecter pour la série d'objets, et, d'autre part, le coefficient d'atténuation du matériau ou les différents coefficients d'atténuation des différentes parties de chaque objet de la série.

[0182] Ainsi, le système informatique prend en compte le ou les coefficients d'atténuation du ou des matériaux des objets en cours d'inspection pour cette opération de calcul. Avantageusement, l'installation **1** comporte un dispositif de mise à disposition pour le système informatique, du ou des coefficients d'atténuation du ou des matériaux des objets d'une série.

[0183] Ce dispositif de mise à disposition peut être réalisé par une mémoire de masse, une interface homme machine ou par un réseau informatique filaire ou hertzien.

[0184] De même, dans certains modes de réalisation, le système informatique dispose d'un modèle géométrique dit a priori de la région à inspecter pour effectuer cette opération de calcul. Ainsi, l'installation **1** peut comporter un dispositif de mise à disposition pour le système informatique, d'un modèle géométrique a priori de la région à inspecter pour la série d'objets.

[0185] Le dispositif de mise à disposition pour le système informatique, d'un modèle géométrique a priori de la région à inspecter est par exemple une mémoire de masse, un réseau informatique filaire ou hertzien ou une interface homme machine.

[0186] Comme indiqué dans la partie définition, le modèle géométrique a priori est un modèle numérique de la série d'objets, qu'on peut positionner dans un référentiel lié au dispositif, et qui peut servir d'initialisation pour un procédé de détermination des délinéations de l'objet dans chaque plan de section **Pk**.

[0187] En l'absence de la connaissance du modèle géométrique a priori, la reconstruction peut être extrêmement coûteuse en calcul, car pour chaque point de l'espace 3D doit être calculée son atténuation. La mise en œuvre d'un modèle géométrique a priori permet ainsi de réaliser des mesures de dimensions linéaires sur des objets, avec une bonne précision, en un temps très court et à faible coût.

- [0188] Selon une première variante, le modèle géométrique a priori est obtenu par le modèle numérique de conception par ordinateur des objets de la série, réalisé lors de la conception (CAO 3D) des objets. Dans ce cas, il est mis à disposition du système informatique par différents moyens possibles, tels qu'une connexion à travers un réseau informatique, à une base de données contenant plusieurs modèles CAO correspondant aux diverses séries d'objets susceptibles d'être mesurées en production, une sélection par l'opérateur dans une base de données interne à l'installation, etc.
- [0189] Selon une deuxième variante, le modèle géométrique a priori est obtenu d'un modèle numérique géométrique construit à partir de la mesure d'un ou de plusieurs objets de la même série par un dispositif de mesure, par exemple par une machine à mesurer par palpeur ou un appareil de tomographie axiale dont il est rappelé la lenteur par rapport à l'invention. Le modèle géométrique a priori peut être construit par une fusion de mesures de plusieurs objets manufacturés de la même série.
- [0190] Selon une troisième variante, le modèle géométrique a priori est un modèle numérique géométrique généré par le système informatique à partir de valeurs saisies et/ou de dessins réalisés et/ou de formes sélectionnées par un opérateur sur l'interface homme-machine du système.
- [0191] Par exemple, pour fournir le modèle géométrique a priori dans le cas d'un écrou à six pans extérieurs type normalisé M13, avec un trou fileté, la manière suivante est suffisante. L'opérateur saisit sur un clavier le nombre et la hauteur des pans, le diamètre et le pas de filetage, le système étant configuré pour inspecter des écrous métriques. Aucune cote précise supplémentaire n'est renseignée. Dans un autre exemple, pour l'inspection d'un récipient mono-matériau en verre ou en matière polymère synthétique tel qu'un polyéthylène ou un polyester, l'opérateur donne uniquement comme information que l'objet est un cylindre fermé au fond, surmonté d'un cône, deux diamètres, deux hauteurs et une épaisseur suffisent pour que le système informatique connaisse un modèle géométrique a priori de l'objet à inspecter. Selon un autre exemple, le système informatique peut, par ses interfaces, recevoir des descriptions techniques du modèle a priori comme un nombre, des diamètres, des profondeurs et des positions de divers alésages présents dans une surface qui feraient partie de la

région à inspecter d'un objet plus grand. La description peut être géométrique par exemple si le système informatique reçoit le nombre et l'allure générale des surfaces frontières permettant de le décrire, le nombre de cavités, le nombre de faces ou de côtés d'un polyèdre. En résumé, il faut comprendre que le modèle géométrique a priori doit au minimum contenir suffisamment d'informations techniques, géométriques, topologiques et/ou numériques, pour renseigner le système informatique sur la structure 3D de l'objet, le degré de détail et de précision de ces informations pouvant être très faible sans pénaliser la précision recherchée pour les mesures linéaires.

[0192] Un des avantages offert par une détermination d'un modèle géométrique est qu'il est possible de déterminer, par le même système informatique ou par un autre système auquel ce modèle serait fourni, pour chaque objet de la série, à partir du modèle géométrique numérique de la région à inspecter correspondant audit objet de la série, au moins une mesure linéaire de la région à inspecter selon une direction quelconque, donc non nécessairement contenue dans un plan orthogonal à une direction de projection, ni nécessairement contenue dans un plan parallèle à la direction de déplacement.

[0193] Au moins une dimension, et généralement plusieurs dimensions sont contrôlées sur les objets **2**. L'objectif est généralement de comparer les mesures obtenues sur les objets avec des valeurs exigées, par exemple définies par un service qualité. Ces mesures de dimensions ou les écarts de ces mesures par rapport aux valeurs exigées peuvent être affichées, enregistrées, etc. Elles peuvent aussi servir à prendre des décisions de conformité des objets qui peuvent être triés automatiquement.

[0194] Les mesures peuvent être issues des mesures du modèle géométrique numérique de la région inspectée établi pour chaque objet. Par exemple, la région inspectée peut comporter un alésage. Dans le modèle géométrique numérique, il est possible de déterminer des mesures de diamètre ou de profondeur de l'alésage, en calculant sur le modèle géométrique numérique les distances entre des éléments de surface diamétralement opposés. Lorsque l'objet est mono-matériau, la détermination de la position des éléments de surface peut être plus précise avec un minimum de calculs.

[0195] Un autre moyen de déterminer des mesures de diamètre ou profondeur de l'alésage est la comparaison du modèle géométrique numérique de la région inspectée avec un modèle géométrique de référence ou théorique.

[0196] Le modèle géométrique de référence est un modèle idéal de la série des objets inspectés. Pour réaliser un contrôle dimensionnel, on peut comparer le modèle géométrique numérique de la région inspectée avec le modèle géométrique de référence, par un algorithme comprenant la mise en correspondance des modèles, puis la mesure des écarts entre les modèles. Le modèle géométrique de référence peut être issu de la CAO.

[0197] Il est ainsi possible de procéder à une opération de mise en correspondance du modèle géométrique numérique de la région inspectée avec le modèle géométrique de référence, puis de déterminer des écarts de dimension en mesurant des distances entre des éléments de surface appartenant au modèle de référence et des éléments de surface appartenant au modèle géométrique numérique. Dans l'exemple de la mesure de l'alésage, il est possible de positionner de manière virtuelle, un cylindre de diamètre maximum s'inscrivant dans la surface interne modélisée de l'alésage, et de même un cylindre de diamètre minimum contenant ladite surface interne modélisée, et de considérer comme mesures du diamètre de l'alésage dans la région inspectée, le diamètre de l'un et/ou l'autre des cylindres inscrit et exinscrit. Ce type d'analyse est également possible pour vérifier des diamètres internes dans un goulot de bouteilles en verre obtenues par les procédés du pressé-soufflé ou du soufflé-soufflé, ou en plastique.

[0198] Selon une variante de l'invention, le modèle géométrique de référence et le modèle géométrique a priori sont le même modèle géométrique.

[0199] Selon une autre variante de l'invention, le modèle géométrique a priori est moins précis, moins complet et/ou est différent du modèle géométrique de référence.

[0200] Pour procéder à de telles mesures, l'installation comporte avantageusement, un dispositif de mise à disposition pour le système informatique, de valeurs de dimensions linéaires, et/ou de tolérances sur ces dimensions, et/ou de modèles géométriques de référence.

- [0201] Selon une caractéristique avantageuse de réalisation, le système informatique est relié à un dispositif d'affichage des valeurs de mesures linéaires de la région à inspecter et/ou des écarts dimensionnels par rapport à des valeurs de référence, et/ou des écarts entre le modèle géométrique numérique de la région inspectée et un modèle géométrique de référence. Par exemple pour un écrou sont affichés des mesures telles qu'une profondeur de filet, un pas moyen de filet, un rayon de fond de filet moyen, une hauteur, un diamètre intérieur minimal ou maximal, une planéité d'une ou plusieurs de ses faces externes. Pour un récipient en verre ou en plastique, le système affichera la hauteur totale et par exemple le diamètre minimal et le diamètre maximal de la partie cylindrique à une hauteur prédéfinie par le réglage des côtes à vérifier. Les côtes peuvent être affichées avec des couleurs différentes en fonction de leurs conformités ou non.
- [0202] Selon une caractéristique avantageuse de réalisation, le système informatique est relié à un dispositif de tri des objets en fonction de la mesure linéaire de la région à inspecter. Ainsi, ce dispositif de tri peut, par exemple à l'aide d'un éjecteur, éjecter du dispositif de transport les objets considérés comme défectueux en considération des dimensions linéaires mesurées.
- [0203] Selon une caractéristique avantageuse de réalisation, le système informatique peut être relié à un dispositif de marquage des objets en fonction de la mesure linéaire de la région à inspecter. Ce dispositif de marquage peut inscrire par exemple, les dimensions linéaires mesurées ou l'état conforme ou défectueux de l'objet.
- [0204] Les positions relatives des foyers **F_j** et des capteurs **C_i**, **C_{ik}** dans un repère fixe **X,Y,Z** de l'installation sont connues du système informatique. Cette position peut être obtenue par hypothèse ou par étalonnage. L'étalonnage consiste par exemple à placer ou convoier dans l'installation un calibre usiné avec précision.
- [0205] Bien entendu, les positions relatives des foyers **F_j** et des capteurs d'images **C_i**, **C_{ik}** sont diverses en étant rappelé que les foyers **F_j** et les capteurs d'images **C_i**, **C_{ik}** sont positionnés en dehors du volume de convoyage **V_t**.
- [0206] Selon une variante de réalisation, l'installation **1** comporte un seul foyer **F_j** = **F₁** disposé selon un côté du volume de convoyage **V_t** et une série de composants capteurs physiques linéaires **CC₁**, **CC₂**, **CC_{nmax}**, disposés avec

leur ligne support perpendiculaire au plan de convoyage et comportant chacun des capteurs d'images pour une multitude de plans de section, disposés selon le côté opposé du volume de convoyage **Vt** pour recevoir les rayons provenant du foyer **F1** et ayant traversés la région à inspecter. Dans cet exemple, le foyer présente une ouverture **Of** qui est mesurée dans au moins un plan quelconque, comme par exemple le plan X,Y dans la **Fig. 1**, qui est supérieure ou égale à 120° . Cette ouverture **Of** est considérée en sortie de foyer, dans le cas où l'installation comprend entre le foyer et le volume **Vt**, ou entre le volume **Vt** et les capteurs d'images, des écrans de limitation des faisceaux aux seuls faisceaux utiles, dans le but de réduire du diffusé.

[0207] Selon une autre variante de réalisation, au moins deux foyers **Fj** (**F1** et **F2**) de production de rayons X, sont positionnés séparément en deux positions distinctes selon une droite de base **B** parallèle à la trajectoire rectiligne des objets, et au moins trois composants capteurs physiques comportant chacun, pour une multitude de plans de section, des capteurs d'images sensibles aux rayons X, sont placés de manière que chaque foyer est associé, dans chaque plan de section à au moins un capteur d'images, et que chaque capteur d'images est associé à un foyer et reçoit les rayons X issus dudit foyer et traversant la région à inspecter. Dans cet exemple, chaque foyer présente une ouverture supérieure ou égale à 60° de sorte que la somme des ouvertures des deux foyers est supérieure ou égale à 120° .

[0208] Dans l'exemple de réalisation illustré aux **Fig. 5** et **6**, l'installation **1** comporte deux foyers **F1**, **F2**, alignés sur une droite de base **B** parallèle à la trajectoire des objets **2**. Les deux foyers **F1**, **F2** sont associés chacun à un tube **7** générateur distinct. L'installation **1** comporte aussi cinq composants capteurs physiques linéaires **CC11**, **CC12**, **CC13**, **CC14** et **CC15** qui sont disposés avec leur ligne support perpendiculaire au plan de convoyage et qui comportent chacun, pour une multitude de plans de section, des capteurs d'images sensibles chacun aux rayons X issus du premier foyer associé **F1**. L'installation **1** comporte aussi cinq composants capteurs physiques linéaires **CC21**, **CC22**, **CC23**, **CC24** et **CC25** qui sont disposés avec leur ligne support perpendiculaire au plan de convoyage et qui comportent chacun, pour une multitude de plans de section, des capteurs d'images sensibles chacun aux rayons X issus du deuxième foyer associé **F2**.

[0209] Selon cet exemple de réalisation, il est à noter qu'un foyer (**F1** et **F2** dans l'exemple) duquel est issu un faisceau de rayons X divergent est positionné d'un côté du plan sécant **PS** de sorte que son faisceau traverse le plan sécant **PS** et la région à inspecter, tandis qu'au moins un capteur d'images **Ci** associé audit foyer **Fj** pour recevoir les rayons X issus dudit foyer **Fj** est disposé du côté opposé par rapport au plan sécant **PS**. (Dans l'exemple, ce sont les cinq capteurs d'images **C11**, **C12**, **C13**, **C14** et **C15** sensibles chacun aux rayons X issus du foyer associé **F1** et les cinq capteurs d'images **C21**, **C22**, **C23**, **C24** et **C25** sensibles chacun aux rayons X issus du foyer associé **F2**).

[0210] Selon une variante avantageuse de réalisation, le ou les foyers **Fj** est / sont disposé(s) dans le plan de convoyage **PC**. De préférence, ces foyers coopèrent avec des capteurs d'images associés situés à leur opposé par rapport au plan sécant **PS**. Ainsi dans le cas d'un transport des objets disposés sur un convoyeur plan, cette disposition permet que dans les images radiographiques, les projections des objets ne soient pas superposées à la projection du convoyeur. Ainsi, dans le modèle géométrique numérique des objets, la partie de l'objet en contact avec le convoyeur peut être déterminée précisément.

[0211] Selon une caractéristique avantageuse de réalisation, la disposition des capteurs d'images **Ci** et des foyers est telle que les rayons X issus du ou des foyers **Fj** et atteignant les capteurs d'images **Ci** traversent uniquement une région à inspecter à la fois. En d'autres termes, les rayons X ne traversent qu'un seul objet à la fois. Il est à noter que l'installation peut comporter un système pour contrôler l'espacement entre les objets successifs en défilement.

[0212] Un objet de l'invention est d'obtenir un procédé non seulement rapide, mais également peu coûteux, apte à calculer une géométrie tridimensionnelle de chaque objet transporté sur la ligne avec la précision nécessaire à un contrôle dimensionnel. L'invention vise à réduire le nombre d'images nécessaires à la reconstruction au nombre minimum permettant d'atteindre la précision dimensionnelle voulue. Par exemple, l'invention permet avec neuf projections et un nombre limité d'images de la région inspectée, de mesurer avec une précision de +/- 0,05 mm le diamètre interne d'un cylindre entre 10 et 120 mm. Avantageusement, l'installation conforme à l'invention comporte entre un et quatre foyers **Fj** et de préférence un ou deux foyers **Fj** et de préférence un

nombre de capteurs d'images permettant d'acquérir, dans chaque plan de section, des projections radiographiques selon entre quatre et quinze directions de projection différentes.

[0213] Selon l'invention, il convient de disposer les capteurs d'images et le ou les foyers afin que la combinaison des au moins trois directions de projections optimise la détermination de la délinéation de la région inspectée des objets transportés sur la ligne, dans chacun d'une multitude de plans de section comprenant une droite de base **B** parallèle à la trajectoire **T** rectiligne des objets, en considérant qu'il faut laisser le volume traversé **Vt** libre pour la circulation des objets. Les règles ci-après sont avantageusement mises en œuvre dans le cadre de l'invention, ces règles étant valables pour des capteurs d'images linéaires ou matricielles.

[0214] Dans ce qui suit, un angle est une valeur absolue. Les **Fig. 7** et **8** illustrent deux directions de projection **Dji** et **D'ji** qui sont aussi des vecteurs. On considère ici deux directions de projection **Dji** et **D'ji** qui sont contenues dans un même plan de section **Pk**. Ces Figures font apparaître l'angle α entre ces deux directions de projection soit $\alpha = (\widehat{D_{1j}, D'_{1j}})$ et s l'angle complémentaire à l'angle α , soit $s = 180^\circ - \alpha$. Par définition, l'angle utile α entre deux directions de projection différentes **Dji** et **D'ji** dans leur plan de section **Pk** est le plus petit des angles α et s , soit $\alpha = \text{Min}(\alpha, s)$. Ainsi, l'angle utile α est le plus petit des angles formés par les deux droites portant les directions de projection **Dji**, **D'ji**.

[0215] Selon une variante avantageuse de l'invention, on acquiert pour chaque objet et pour chaque plan de section **Pk**, parmi les au moins trois images radiographiques issues de projections radiographiques selon au moins trois directions de projection différentes, au moins deux images issues de deux projections radiographiques selon deux directions différentes **Dji** et **D'ji** faisant entre elles un angle utile α supérieur ou égal à 45° et inférieur ou égal à 90° . Selon une variante avantageuse de réalisation, on acquiert pour chaque objet et pour chaque plan de section, parmi les au moins trois images radiographiques issues de projections radiographiques selon directions différentes, au moins deux images issues de deux projections radiographiques selon deux directions

différentes faisant entre elles un angle utile α supérieur ou égal à 60° et inférieur ou égal à 90° .

[0216] Pour ce faire, l'installation **1** selon l'invention comporte au moins un foyer et deux capteurs d'images disposés de manière que les directions de projection de la région inspectée qu'ils reçoivent possèdent entre elles un angle utile α supérieur ou égal à 45° et inférieur ou égal à 90° et, avantageusement supérieur ou égal à 60° et inférieur ou égal à 90° .

[0217] Par exemple comme illustré à la **Fig. 5**, l'angle utile α entre les directions **D15** et **D11**, et entre les directions **D13** et **D25** sont supérieurs à 45° . Bien évidemment il doit être compris qu'au moins un angle utile est supérieur ou égal à 45° et inférieur ou égal à 90° et avantageusement qu'au moins un angle utile est supérieur ou égal à 60° et inférieur ou égal à 90° et les autres angles utiles entre deux directions **D_{ji}**, **D'_{ji}** sont quelconques. L'homme du métier à partir de cette règle saura rechercher une disposition qui offre une distribution la plus complète possible des directions de projections de la région inspectée.

[0218] Dans un cas particulier, on peut prévoir que les foyers sont dans le plan de convoyage **PC**, et que les composants capteurs physiques sont positionnés pour que le plan de convoyage **PC** soit un des plans de section **Pk**. Alors, dans le plan de section **Pk** correspondant au plan de convoyage **PC**, cette condition s'applique, à savoir qu'on acquiert pour chaque objet et pour le plan de section **Pk** horizontal confondu avec le plan de convoyage **PC**, parmi les au moins trois images radiographiques issues de projections radiographiques selon directions différentes, au moins deux images issues de deux projections radiographiques selon deux directions différentes faisant entre elles un angle utile α supérieur ou égal à 60° et inférieur ou égal à 90° .

[0219] De préférence, l'angle utile α entre deux directions de projection **Dijk** consécutives dans un plan de section **Pk** donné est identique pour toutes les directions de projection **Dijk** consécutives mises en œuvre pour acquérir les images unidimensionnelles de traitement dans le plan de section **Pk** donné. Autrement dit, les directions de projection **Dijk** mises en œuvre pour acquérir les au moins trois images unidimensionnelles de traitement dans un plan de section **Pk** donné sont espacées angulairement de manière régulière dans le plan de

section **Pk** donné. De préférence, les directions de projection mises en œuvre pour acquérir les au moins trois images unidimensionnelles de traitement dans un plan de section **Pk** donné sont réparties angulairement dans le plan de section **Pk** de manière à couvrir l'amplitude angulaire, mesurée dans ce plan de section **Pk**, couverte par l'ouverture **Of** du ou des foyers **Fj**, de préférence de manière à couvrir au moins 50% de cette amplitude angulaire, de préférence au moins 75% de cette amplitude.

[0220] Selon une autre caractéristique avantageuse, pour chaque objet, le système informatique acquiert au moins une image radiographique de la région inspectée correspondant à une direction de projection faisant, en projection orthogonale sur le plan de convoyage **PC**, un angle d'ouverture β déterminé avec la direction de déplacement **T**.

[0221] Comme illustré sur la **Fig. 9**, il est considéré l'angle p entre une direction de projection (vecteur **Dji**), ramenée en projection orthogonale sur le plan de convoyage **PC**, et la trajectoire des objets (vecteur **T**), soit l'angle $p = (\mathbf{Dji}, \mathbf{T})$ c'est-à-dire $p = (\mathbf{D11}, \mathbf{T})$ et $p = (\mathbf{D12}, \mathbf{T})$ dans l'exemple illustré à la **Fig. 9**. L'angle q complémentaire à l'angle p est tel que $q = 180^\circ - p$. Par définition, l'angle d'ouverture β entre une direction de projection **Dji**, ramenée en projection orthogonale sur le plan de convoyage **PC**, et la trajectoire **T** est le plus petit des angles p et q , à savoir $\beta = \text{Min}(p, q)$. Ainsi, l'angle d'ouverture β est le plus petit des angles formés par les deux droites portant l'une la direction de projection **Dji** ramenée en projection orthogonale sur le plan de convoyage **PC**, et l'autre la trajectoire **T**.

[0222] Selon une autre caractéristique avantageuse, pour chaque objet, le système informatique acquiert au moins une image radiographique de la région inspectée correspondant à une direction de projection **Dji**, **Djik** ayant avec la direction de déplacement **T**, un angle d'ouverture β compris entre 10° et 60° . En d'autres termes, l'installation selon l'invention comporte au moins un foyer et un capteur d'images **Ci** disposés de manière que, lorsqu'un objet traverse le champ des capteurs d'images, la direction de projection **Dji**, **Djik** de la région inspectée sur le capteur d'images **Ci** fait un angle d'ouverture β avec la direction de déplacement **T** compris entre 10° et 60° .

[0223] En d'autres termes, la configuration de l'installation **1** est optimisée pour réduire son encombrement dans la direction de déplacement tout en conservant un volume traversé **Vt** adapté aux objets et une bonne qualité de reconstruction.

[0224] En raison du volume traversé **Vt**, l'installation ne produit pas de projection autour de la direction de déplacement **T**. Le volume traversé **Vt** impose un angle d'ouverture minimum β min. Par exemple, l'angle d'ouverture minimum β min = 10° . Il n'y a aucun capteur disposé de manière à fournir une projection d'angle d'ouverture β inférieur à 10° .

[0225] Il faut déduire de ce qui précède que la répartition des angles de projections pour chaque objet n'est pas nécessairement uniforme.

[0226] Comme illustré à la **Fig. 9**, la répartition des angles de projection peut présenter une lacune, qu'on appelle une région d'angle mort, de deux fois $2 \times 10^\circ$ soit 20° , au lieu d'avoir une couverture complète sur 180° .

[0227] Par exemple, comme illustré à la **Fig. 9**, une installation selon l'invention comporte au moins un foyer **F1** et deux composants capteurs physiques CC1, CC2, ici parmi trois et par exemple bidimensionnels, qui comportent chacun, pour une multitudes de plans de section **Pk**, des capteurs d'images **C1k**, **C2k**, **C3k**, pour lesquels les directions de projections **D11**, **D12**, ramenées en projection orthogonale sur le plan de convoyage **PC**, définissent avec la direction de déplacement **T**, un angle d'ouverture β compris entre 10° et 60° correspondant respectivement aux angles p et q. De même, l'installation illustrée à la **Fig. 5**, comporte un capteur d'images **CC11** associé au foyer **F1** et dont la direction de projection **D11** fait un angle d'ouverture β compris entre 10° et 60° par rapport à la direction de déplacement **T**.

[0228] Les composants capteurs physiques qui forment les capteurs d'images **Ci** sont généralement du type matriciel ou linéaire.

[0229] Selon une variante préférée de réalisation, l'installation **1** comporte des composants capteurs physiques linéaires. Selon cette variante préférée, chaque composants capteurs physiques **CCi**, **CCi'** comporte un réseau linéaire d'éléments sensibles aux rayons X, distribués selon une droite de support **Li**, **Li'** définissant avec le foyer associé **Fj**, un plan de projection **PPji**, **PPji'** contenant la direction de projection **Dji** (**Fig. 2**). Ces composants capteurs physiques **Ci** sont

disposés de manière qu'au moins m éléments sensibles de chacun de ces capteurs d'images reçoivent la projection radiographique de la région à inspecter par le faisceau de rayons X issu du foyer **Fj** associé, avec les plans de projection **PPji** pour les différents composants capteurs physiques qui sont distincts entre eux et non parallèles au plan de convoyage **PC**. Le nombre m d'éléments sensibles de chaque composant capteurs physique linéaire est supérieur à 128 de préférence supérieure à 512. La distance entre éléments sensibles voisins (appelée « pas » ou « pitch » en anglais) et/ou la dimension des éléments sensibles est de préférence inférieure à 800 μm . La fréquence de lecture des lignes d'images est de préférence supérieure à 100Hz, avantageusement supérieure à 1kHz. Bien entendu ces paramètres sont adaptés en fonction de la taille des objets, la précision recherchée et la vitesse de défilement. Ainsi, on peut obtenir, en disposant convenablement les composants capteurs physiques, des plans **Pk** espacés verticalement de la valeur du pitch, l'espacement étant mesuré au niveau des capteurs. Il est possible que le nombre de plans de sections **Pk** atteigne 128, voire 512, voire davantage.

[0230] Selon une caractéristique avantageuse de réalisation, au moins trois composants capteurs physiques **Ci** linéaires ont leurs droites de support L_i parallèles entre elles.

[0231] Selon une autre caractéristique avantageuse de réalisation, au moins trois composants capteurs physiques **Ci** linéaires ont leurs droites de support L_i orthogonales au plan de convoyage **PC**.

[0232] Selon une variante, un foyer **Fj** est positionné afin que son faisceau traverse la région inspectée puis le plan de convoyage **PC**. De plus, au moins un composant capteur physique **Ci** linéaire associé est positionné opposé au foyer **Fj** par rapport au plan de convoyage **PC** et de manière que sa droite support L_i soit parallèle au plan de convoyage **PC**.

[0233] Selon ces variantes de réalisation avec des composants capteurs physiques linéaires, le système d'acquisition acquiert à l'aide de chacun des au moins trois composants capteurs physiques **Ci**, à chaque déplacement incrémental de chaque objet sur la trajectoire, des images linéaires radiographiques de la région à inspecter selon un nombre choisi afin que pour chaque objet, l'ensemble de la

région à inspecter se trouve représentée complètement dans l'ensemble des images linéaires radiographiques. Ainsi, lors du déplacement d'un objet, chaque capteur d'images est apte à acquérir des images radiographiques linéaires de sorte que l'ensemble de la région à inspecter de l'objet se trouve représenté complètement dans l'ensemble des images linéaires radiographiques obtenues à partir dudit capteur d'images. Ainsi, pour chaque objet, il est obtenu au moins trois ensembles d'images linéaires radiographiques de la région à inspecter qui sont ensuite analysées. Il est possible de constituer des images radiographiques matricielles de la région inspectée, par juxtaposition des ensembles d'images linéaires radiographiques. Mais la reconstruction du modèle géométrique et la mesure ne l'imposent pas nécessairement.

[0234] Il est à noter que compte tenu du volume traversé **V_t**, aucune projection radiographique n'est acquise dans la région d'angle mort ($\beta < \pm 10^\circ$) située de part et d'autre de la direction de déplacement **T**. Le procédé selon l'invention permet, malgré l'absence de projections radiographiques dans cet intervalle d'angles, de reconstruire, par exemple grâce au modèle géométrique a priori, un modèle géométrique numérique précis et complet de l'objet. Il est ainsi possible de réaliser des mesures de dimension linéaire sur tout le modèle géométrique numérique et en particulier selon des directions non orthogonales aux directions de projection possibles, y compris des mesures de dimension linéaire selon des directions de mesure orthogonales aux directions de projections manquantes correspondant à la région d'angle mort située de part et d'autre de la direction de déplacement **T**. En effet, sans le procédé selon l'invention, par exemple avec les méthodes destinées à la tomographie axiale « complètes » traditionnelles, dans le cas où aucune projection radiographique n'est acquise selon les directions d'un angle mort, alors le modèle reconstruit présente également dans un secteur angulaire orthogonal à l'angle mort, des erreurs de reconstruction rendant impossible de déterminer une surface précisément et donc rendant impossible tout mesure de dimension linéaire d'un objet, même mono-matériau.

[0235] Ainsi, comme illustré aux **Fig. 10** et **11**, selon l'invention aucune projection n'est possible dans un angle mort valant par exemple 20° ($\beta_{\min} = 10^\circ$). Selon l'art antérieur, aucune mesure précise ne pourrait être faite dans la direction **A**, qui n'est orthogonale à aucune des directions de projection. La direction **A** n'est

proche de l'orthogonale d'aucune des directions de projection à au moins 10° près, au sens qu'elle présente, en projection orthogonale sur le plan de convoyage **PC**, un écart angulaire d'au moins 10 degrés d'angle avec n'importe laquelle des directions de projection. Avec la reconstruction à partir de modèles a priori de la série d'objets et de l'atténuation constante et uniforme, la mesure du diamètre intérieur selon la direction **A** (distance **a1**) et la mesure de la distance entre les deux pans extérieurs perpendiculaires à la direction **A** (distance **a2**) sont justes et précises. Autrement dit la géométrie tridimensionnelle déterminée pour la région à inspecter ne présente pas de frontières manquantes ou flous dans la direction **A**.

[0236] Bien entendu, le nombre de foyers, le nombre de capteurs d'images associés à chaque foyer, et leurs dispositions relatives sont choisis de toute manière appropriée en fonction du degré de précision de mesure souhaité, de la forme des objets et de leur espacement sur le convoyeur.

[0237] En résumé, comme illustré schématiquement à la **Fig. 13**, le procédé de l'invention prévoit :

- le transport des objets (TRANS OBJ),
- pendant ce transport, l'acquisition (ACQUIMAGE), à l'aide du ou des capteurs d'images **Ci**, **Cik**, pour chaque objet au cours de son déplacement, d'un ensemble d'images unidimensionnelles radiographiques de traitement, comprenant :
 - des images unidimensionnelles radiographiques de traitement pour un nombre **NK** de plans de section **Pk** distincts contenant la droite de base ;
 - pour chaque plan de section **Pk** distinct, un nombre **NP** d'images unidimensionnelles radiographiques de traitement **Spk** de la région à inspecter, obtenues selon au moins trois directions de projection **Dijk** différentes dans le plan de section;
- pour chaque objet à mesurer, et pour chaque plan de section **Pk** distinct, la détermination (CALC DLk), à l'aide du système informatique, d'une délinéation de l'objet **DLk** dans le plan de section **Pk** considéré, à partir des au moins trois images unidimensionnelles radiographiques de traitement **Spk** de la région à inspecter, obtenues selon les au moins trois directions de projection **Dijk** différentes dans le plan de section,

- et la détermination (MES), pour un objet à mesurer, à partir des délinéations de l'objet dans chaque plan de section distinct, d'au moins une mesure de dimension linéaire de la région à inspecter de l'objet à mesurer.

[0238] La méthode permet le traitement informatique en temps réel des images pour créer un modèle tridimensionnel afin de mesurer des objets en défilement rapide en production. La disposition et le mouvement de translation, permettent de travailler dans les plans de section Pk. Il est possible d'utiliser des algorithmes de reconstruction dans les plans de section Pk qui manipulent informatiquement des géométries bidimensionnelles, ce qui est informatiquement beaucoup plus rapide que de manipuler des données tridimensionnelles. Il est ainsi possible de manipuler informatiquement des courbes paramétriques, ce qui est bien plus rapide que de manipuler des éléments de volumes élémentaires d'un modèle volumique. La méthode peut prendre en compte des informations a priori des objets, pour encore limiter la puissance de calcul informatique nécessaire à la mise en œuvre. La méthode proposée permet des reconstructions sans la zone d'erreur dite « missing edge » dans la direction orthogonale au déplacement, malgré l'absence d'image de directions projections proches de la direction de déplacement.

[0239] Grâce à la géométrie d'acquisition proposée par la méthode, le problème de la reconstruction 3D de l'objet à partir des données radiographiques acquises, est découplé en NK problèmes de reconstructions de coupes 2D obliques de l'objet, ce qui limite la puissance de calcul informatique nécessaire à la mise en œuvre. En effet, le problème de reconstruction 3D à partir de A acquisitions sur C capteurs linéaires produit $A \times C \times NK$ données et permettrait d'estimer de l'ordre de $A \times C \times NK$ voxels dans une approche algébrique, par la résolution d'un système linéaire de l'ordre de $A \times C \times NK$ par $A \times C \times NK$. Le coût d'une telle opération est de l'ordre de $(A \times C \times NK)^3$ par une méthode de type Gauss et $iter3D \times (A + C + NK) \times A \times C \times NK$ pour une méthode itérative exploitant le caractère creux de la matrice, avec $iter3D$ itérations.

[0240] Dans une approche découplée en NK problèmes de reconstructions de sections 2D obliques de l'objet, on devrait résoudre NK systèmes linéaires de l'ordre de $A \times C$ par $A \times C$ soit un coût de l'ordre de $NK \times (A \times C)^3$ par une méthode de type Gauss (on gagne un facteur NK^2) et $iter2D \times (A + C) \times A \times C \times NK$ avec ici en

général $\text{iter2D} < \text{iter3D}$ et bien sûr $(A+C) < (A+C+NK)$. La méthode nécessite donc beaucoup moins de calculs, et donc moins de puissance informatique. Ce gain en complexité se retrouve dans le fait qu'il est possible de reconstruire dans chaque coupe 2D des courbes ce qui est beaucoup plus simple que de reconstruire une surface en 3D : le volume de données en mémoire locale est inférieur, et la complexité de la gestion des courbes est très inférieure à celle des surfaces.

[0241] On note que, du fait que la trajectoire des objets est une translation, et du fait que chacun des plans de sections contient la droite de base et est par conséquent parallèle à la trajectoire des objets, chacun des plans de section **P_k** est invariant par rapport à l'objet au cours de la translation. Ainsi, toutes les images unidimensionnelles radiographiques de traitement **S_{pk}** de la région à inspecter obtenues dans un même plan de section **P_k** sont des images unidimensionnelles radiographiques de la même coupe de l'objet, donc de la même délinéation de l'objet. On voit donc que la géométrie d'acquisition proposée par la méthode permet de travailler directement sur des données appartenant à un même plan, ce qui simplifie considérablement les calculs.

[0242] Il est à noter que dans une fabrication industrielle en série, il est possible que plusieurs séries soient présentes en même temps sur une même ligne de fabrication ou de contrôle. Dans ce cas, l'installation comporte un système d'indication au système informatique de la série à laquelle appartient chacun des objets afin de mettre en œuvre le procédé de l'invention à tous les objets d'une même série. En effet l'installation selon l'invention peut être employée pour inspecter un flux d'objets manufacturés composé de plusieurs séries d'objets différentes, par exemple une première série et une deuxième série. Les séries peuvent différer par la forme des objets ou par le coefficient d'atténuation propre ou bien les deux. Dans ce cas, il faut munir l'installation d'un moyen pour mettre à disposition du système informatique, un modèle géométrie a priori de chaque série d'objets, un coefficient d'atténuation de chaque série d'objets et il faut prévoir un moyen d'associer dans le système informatique, les images radiographiques de chaque objet avec la série à laquelle il appartient.

Revendications

[Revendication 1] Procédé de mesure automatique de dimensions linéaires d'objets manufacturés (**2**) d'une série comprenant :

- le choix d'une série d'objets (**2**) manufacturés dans laquelle chacun desdits objets est constitué d'une ou plusieurs parties distinctes, le nombre de parties étant connu et chaque partie étant constituée d'un matériau avec un coefficient d'atténuation connu et uniforme en tout point de la partie de l'objet ;

- le transport, au moyen d'un dispositif de transport, des objets dans une direction (**T**) de déplacement selon une trajectoire rectiligne dans un plan de convoyage (**PC**), ces objets engendrant un volume de convoyage (**Vt**) au cours de leur déplacement ;

- la disposition, hors du volume de convoyage (**Vt**),

- d'au moins un foyer (**Fj**) d'un tube générateur de rayons X, chaque foyer étant agencé sur une même droite de base parallèle à la direction (**T**) de déplacement selon la trajectoire rectiligne et

- un ou plusieurs capteurs d'images (**Ci**) exposés et sensibles chacun aux rayons X issus d'un foyer associé (**Fj**), ces rayons X ayant traversés au moins la région à inspecter produisant sur chaque capteur d'images une projection radiographique de la région à inspecter selon une direction de projection (**Dji, Djik**) ;

- l'acquisition, à l'aide du ou des capteurs d'images (**Ci, Cik**), pour chaque objet au cours de son déplacement, d'un ensemble d'images unidimensionnelles radiographiques de traitement, chaque image unidimensionnelle radiographique de traitement comprenant une projection d'une section de l'objet selon un plan de section (**Pk**) contenant la droite de base, l'ensemble comprenant :

- des dites images unidimensionnelles radiographiques de traitement pour un nombre (**NK**) de plans de section (**Pk**) distincts contenant la droite de base ;

- pour chaque plan de section (**Pk**) distinct, un nombre (NP) des dites images unidimensionnelles radiographiques de traitement (**Spk**) de

la région à inspecter, obtenues selon au moins trois directions de projection (**Dijk**) différentes dans le plan de section;

- pour chaque objet à mesurer, et pour chaque plan de section (**Pk**) distinct, la détermination, à l'aide du système informatique, d'une délinéation de l'objet dans le plan de section (**Pk**) considéré, à partir des images unidimensionnelles radiographiques de traitement (**Spk**) de la région à inspecter, obtenues selon les au moins trois directions de projection (**Dijk**) différentes dans le plan de section,

- et la détermination, pour un objet à mesurer, à partir des délinéations de l'objet dans chaque plan de section distinct, d'au moins une mesure de dimension linéaire de la région à inspecter de l'objet à mesurer.

[Revendication 2] Procédé selon la revendication **1**, caractérisé en ce qu'une délinéation de l'objet comprend une courbe ou un ensemble de courbes qui représentent l'intersection, avec le plan de section, des surfaces frontières de l'objet.

[Revendication 3] Procédé selon la revendication **2**, caractérisé en ce que la courbe ou chaque de courbe de la délinéation de l'objet est une courbe plane modélisée par un système paramétrique.

[Revendication 4] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la détermination d'une délinéation de l'objet dans le plan de section comprend un algorithme d'ajustement de courbe partant d'une délinéation a priori de l'objet dans le plan de section.

[Revendication 5] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la détermination d'une délinéation de l'objet dans le plan de section comprend un algorithme d'ajustement de courbe de type régression non linéaire.

[Revendication 6] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la détermination d'une délinéation de l'objet dans le plan de section comprend un algorithme d'ajustement de courbe itératif comprenant :

- la prise en compte d'une délinéation a priori de l'objet dans le plan de section en tant que délinéation calculée de premier rang d'itération ;

- puis itérativement,
 - le calcul, à partir de la délinéation calculée d'un rang d'itération donné de l'objet dans le plan de section, d'un nombre (**NP**) au moins égal à trois d'images unidimensionnelles radiographiques simulées (**SSpk**) de la région à inspecter, calculées dans le plan de section selon les au moins trois directions de projection (**Dijk**) différentes qui ont été utilisées pour l'acquisition des images unidimensionnelles radiographiques de traitement (**Spk**) dans le plan de section,
 - la comparaison des images unidimensionnelles radiographiques simulées (**SSpk**) aux images unidimensionnelles radiographiques de traitement (**Spk**),
 - en fonction de la comparaison, la modification de la délinéation calculée en une délinéation calculée de rang d'itération supérieur, jusqu'à ce que la comparaison des images unidimensionnelles radiographiques simulées (**SSpk**) aux images unidimensionnelles radiographiques de traitement (**Spk**) atteigne un critère d'optimisation prédéfini.

[Revendication 7] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte :

- l'acquisition, à l'aide des capteurs d'images (**Ci, Cik**), pour chaque objet au cours de son déplacement, d'un nombre (**NP**) au moins égal à trois d'images radiographiques bidimensionnelles (**Ri**) de la région à inspecter, obtenues chacune selon une direction de projection (**Dji**) différente,
- l'extraction, dans les images radiographiques bidimensionnelles (**Ri**), des images unidimensionnelles radiographiques de traitement (**Spk**) pour former l'ensemble d'images unidimensionnelles radiographiques.

[Revendication 8] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'une image unidimensionnelle radiographique de traitement (**Spk**) d'un objet est formée par échantillonnage d'une image ponctuelle acquise à l'aide d'un capteur d'images ponctuel (**Cik**), pendant une durée de balayage correspondant à la durée du déplacement de l'objet entre le foyer et le capteur d'images ponctuel (**Cik**).

[Revendication 9] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend la construction, pour un objet à mesurer, à l'aide du système informatique et à partir des délinéations de l'objet dans chacun des plans de section (**Pk**) distincts, d'un modèle géométrique numérique tridimensionnel de la région à inspecter comprenant :

- des points tridimensionnels de l'espace appartenant chacun à une surface frontière de la région à inspecter de l'objet ;
- et/ou au moins une surface tridimensionnelle de la région à inspecter.

[Revendication 10] Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que la détermination, pour un objet à mesurer, à partir des délinéations de l'objet dans chaque plan de section distinct, d'au moins une mesure de dimension linéaire de la région à inspecter de l'objet à mesurer comprend la détermination de la distance entre au moins deux points tridimensionnels du modèle géométrique numérique tridimensionnel de la région à inspecter.

[Revendication 11] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend la fourniture au système informatique, pour chaque plan de section, d'une délinéation a priori de l'objet dans le plan de section.

[Revendication 12] Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que les délinéations a priori sont obtenues par :

- un modèle numérique de conception par ordinateur des objets de la série ;
- et / ou à partir de la mesure d'un ou de plusieurs d'objets de la même série par un dispositif de mesure ;
- et / ou à partir de valeurs saisies et/ou de dessins réalisés et/ou de formes sélectionnées par un opérateur sur une interface homme machine d'un système informatique.

[Revendication 13] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend la fourniture au système informatique d'un modèle géométrique tridimensionnel a priori de la région à inspecter de la série, lequel est obtenu par :

- un modèle numérique de conception par ordinateur des objets de la série ;
- et / ou un modèle numérique géométrique obtenu à partir de la mesure d'un

ou de plusieurs d'objets de la même série par un dispositif de mesure ;
- et /ou un modèle numérique géométrique généré par un système informatique à partir de valeurs saisies et/ou de dessins réalisés et/ou de formes sélectionnées par un opérateur sur une interface homme machine du système informatique.

[Revendication 14] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend la disposition du ou des foyers dans le plan de convoyage (**PC**).

[Revendication 15] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en qu'il comprend l'acquisition, à l'aide du ou des capteurs d'images (**Ci**, **Cik**), pour un objet de la série au cours de son déplacement, et pour chaque plan de section (**Pk**) considéré de l'objet, d'au moins deux images unidimensionnelles radiographiques de traitement de la région inspectée correspondant à des directions de projection (**Djik**) définissant, dans le plan de section considéré, un angle utile (α) supérieur ou égal à 45° et inférieur ou égal à 90° et, avantageusement supérieur ou égal à 60° et inférieur ou égal à 90°.

[Revendication 16] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en qu'il comprend l'acquisition, à l'aide du ou des capteurs d'images (**Ci**, **Cik**), pour un objet de la série au cours de son déplacement, et pour chaque plan de section (**Pk**) considéré de l'objet, d'au moins une image radiographique de la région inspectée correspondant à une direction de projection (**Djik**) ayant, ramenée en projection dans le plan de convoyage (**PC**), un angle d'ouverture (β) avec la direction de déplacement (**T**) compris entre 10° et 60°.

[Revendication 17] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en qu'il ne comprend l'acquisition, à l'aide du ou des capteurs d'image (**Ci**, **Cik**), pour chaque objet de la série au cours de son déplacement, d'aucune image radiographique de la région inspectée correspondant à une direction de projection (**Dji**, **Djik**) ayant un angle d'ouverture (β) avec la direction de déplacement (**T**) inférieur à 10°.

[Revendication 18] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en qu'il comprend la réalisation et l'acquisition des projections radiographiques de la région inspectée d'un objet de manière que les rayons X issus du ou des foyers et atteignant les capteurs d'images (**Ci**) ne traversent pas d'autre objet.

[Revendication 19] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en qu'il comprend l'acquisition, pour chaque objet de la série au cours de son déplacement et pour chaque plan de section, des images unidimensionnelles radiographiques de traitement issues d'entre trois et quarante projections radiographiques de la région à inspecter de directions de projection différentes, de préférence issues d'entre quatre et quinze projections radiographiques de la région à inspecter de directions de projection différentes.

[Revendication 20] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que :

- les capteurs d'images (**Ci**) font partie d'au moins trois composants capteurs physiques (**CCi**) qui sont chacun de type linéaire, comportant chacun un réseau linéaire d'éléments sensibles aux rayons X distribués selon une droite de support (**Li**), laquelle définit avec un foyer (**Fj**) un plan de projection (**PPji**) contenant la direction de projection (**Dji, Djik**), ces capteurs d'images étant disposés de manière que :

- au moins m éléments sensibles de chacun de ces composants capteurs physiques reçoivent la projection radiographique de la région à inspecter par le faisceau de rayons X issu d'un foyer (**Fj**);

- les plans de projection (**PPji**) pour les différents composants capteurs physiques sont distincts entre eux et non parallèles au plan de convoyage (**PC**) ;

- on acquiert à l'aide de chacun des au moins trois composants capteurs physiques (**Ci**) linéaires, à chaque déplacement incrémental de chaque objet selon la trajectoire (**T**), des images unidimensionnelles radiographiques de la région à inspecter selon un nombre choisi afin que pour chaque objet, l'ensemble de la région à inspecter se trouve représentée

complètement dans l'ensemble des images unidimensionnelles radiographiques ;

- on analyse, pour chaque objet, les au moins trois ensembles d'images unidimensionnelles radiographiques de la région à inspecter.

[Revendication 21] Installation de mesure automatique de dimensions linéaires d'au moins une région à inspecter d'objets manufacturés d'une série, l'installation comportant :

- un dispositif de transport des objets dans une direction matérialisée par un vecteur (**T**) de déplacement, selon une trajectoire rectiligne dans un plan de convoyage (**PC**), les objets parcourant un volume de convoyage (**Vt**) étendu dans la direction de déplacement (**T**) ;

- au moins un foyer (**Fj**) d'un tube générateur de rayons X situé en dehors du volume traversé (**Vt**), et créant un faisceau divergent de rayons X dirigé pour traverser au moins une région à inspecter de l'objet, chaque foyer étant agencé sur une même droite de base parallèle à la direction (**T**) de déplacement selon une trajectoire rectiligne ;

- des capteurs d'images (**Ci**, **Cik**), situés en dehors du volume de convoyage (**Vt**), de manière à recevoir des rayons X issus d'un foyer (**Fj**) associé, le ou les foyers (**Fj**) et les capteurs d'images (**Ci**) étant disposés de manière que chaque capteur d'images reçoive la projection radiographique de la région à inspecter par les rayons issus du foyer (**Fj**) lorsque l'objet traverse ces rayons, les directions de projection de ces projections radiographiques étant différentes entre elles ;

- un système d'acquisition relié aux capteurs d'images (**Ci**, **Cik**), de manière à acquérir pour chaque objet au cours de son déplacement, un ensemble d'images unidimensionnelles radiographiques de traitement, l'ensemble comprenant :

▪ des dites images unidimensionnelles radiographiques de traitement pour un nombre (**NK**) de plans de section (**Pk**) distincts contenant la droite de base ;

▪ pour chaque plan de section (**Pk**) distinct, un nombre (**NP**) des dites images unidimensionnelles radiographiques de traitement (**Spk**) de

la région à inspecter, obtenues selon au moins trois directions de projection (**Dijk**) différentes dans le plan de section;

- un système informatique configuré pour :

▪ pour chaque plan de section (**Pk**) distinct, déterminer une délinéation de l'objet dans le plan de section (**Pk**) considéré, à partir des dites images unidimensionnelles radiographiques de traitement (**Spk**) obtenues selon les au moins trois directions de projection (**Dijk**) différentes dans le plan de section.

[Revendication 22] Installation selon la revendication **21**, caractérisée en ce qu'elle comporte au moins deux foyers (**F1**, **F2**) de production de rayons X, positionnés séparément en deux positions distinctes sur la même droite de base parallèle à la direction (**T**) de déplacement selon la trajectoire rectiligne, et au moins trois capteurs d'images (**Ci**), sensibles aux rayons X et positionnés de manière que :

- chaque foyer émet son faisceau à travers au moins la région à inspecter pour atteindre au moins un capteur (**Ci**, **Cik**) associé ;

- chaque capteur (**Ci**) est associé à un foyer et reçoit les rayons X issus dudit foyer après avoir traversé la région à inspecter.

[Revendication 23] Installation selon l'une des revendications **21** ou **22**, caractérisée en ce qu'elle comporte au moins un foyer duquel est issu un faisceau de rayons X divergent d'ouverture supérieure ou égale à 90° ou au moins deux foyers desquels sont issus des faisceaux de rayons X divergents dont la somme des ouvertures est supérieure ou égale à 90°.

[Revendication 24] Installation selon l'une des revendications **21** à **23**, caractérisée en ce qu'elle comporte au moins un foyer disposé dans le plan de convoyage (**PC**).

[Revendication 25] Installation selon l'une des revendications **22**, éventuellement prise en combinaison avec l'une et/ou l'autre des revendications **23** et **24**, caractérisée en ce qu'au moins un foyer et deux capteurs d'images sont disposés de manière que les directions de projection de la région inspectée qu'ils reçoivent possèdent entre elles un angle utile (α)

supérieur ou égal à 45° et inférieur ou égal à 90° et, avantageusement supérieur ou égal à 60° et inférieur ou égal à 90° .

[Revendication 26] Installation selon l'une des revendications **21** à **25**, caractérisée en ce qu'au moins un foyer et un capteur d'images (**Ci**) sont disposés de manière que, lorsqu'un objet traverse le champ des capteurs, la direction de projection (**Dji, Djik**) de la région inspectée sur le capteur d'images (**Cik, Ci**) fait un angle d'ouverture (β) avec la direction de déplacement (T) compris entre 10° et 60° .

[Revendication 27] Installation selon l'une des revendications **21** à **26**, caractérisée en ce que, aucun foyer (**Fj**) d'un tube générateur de rayons X n'étant situé dans le volume traversé (**Vt**), et aucun capteurs d'images (**Ci**) n'étant situé dans le volume de convoyage (**Vt**), la direction de projection (**Dji, Djik**) de la région inspectée sur le capteur d'images (**Ci**) ne fait jamais un angle d'ouverture (β) avec la direction de déplacement (**T**) inférieur à 10° .

[Revendication 28] Installation selon l'une des revendications **21** à **27**, caractérisée en ce que les capteurs d'images (**Ci**) et les foyers (**Fj**) sont disposés de sorte que les rayons X issus du ou des foyers et atteignant les capteurs d'images (**Cik, Ci**) et traversant la région d'un objet ne traversent pas d'autre objet à la fois.

[Revendication 29] Installation selon l'une des revendications **21** à **28**, caractérisée en qu'elle comporte entre un et quatre foyers (**Fj**), issus d'un ou de plusieurs tubes générateurs de rayons X.

[Revendication 30] Installation selon l'une des revendications **21** à **29**, caractérisée en que le nombre et la disposition des capteurs d'images (**Cik**) et des foyers associés, sont tels que, pour chaque objet de la série au cours de son déplacement, les projections radiographiques de la région à inspecter sur les capteurs d'images présentent entre trois et quarante directions de projection différentes, de préférence entre quatre et quinze directions de projection différentes.

[Revendication 31] Installation selon l'une des revendications **21** à **30**, caractérisée en que les capteurs d'images (**Ci**) font partie de composants capteurs physiques (**CCi**) de type linéaire comportant chacun un réseau

linéaire d'éléments sensibles aux rayons X distribués selon une droite de support (**Li**), laquelle définit avec un foyer associé (**Fj**) un plan de projection (**PPji**) contenant la direction de projection (**Dji, Djik**), ces capteurs d'images étant disposés de manière que :

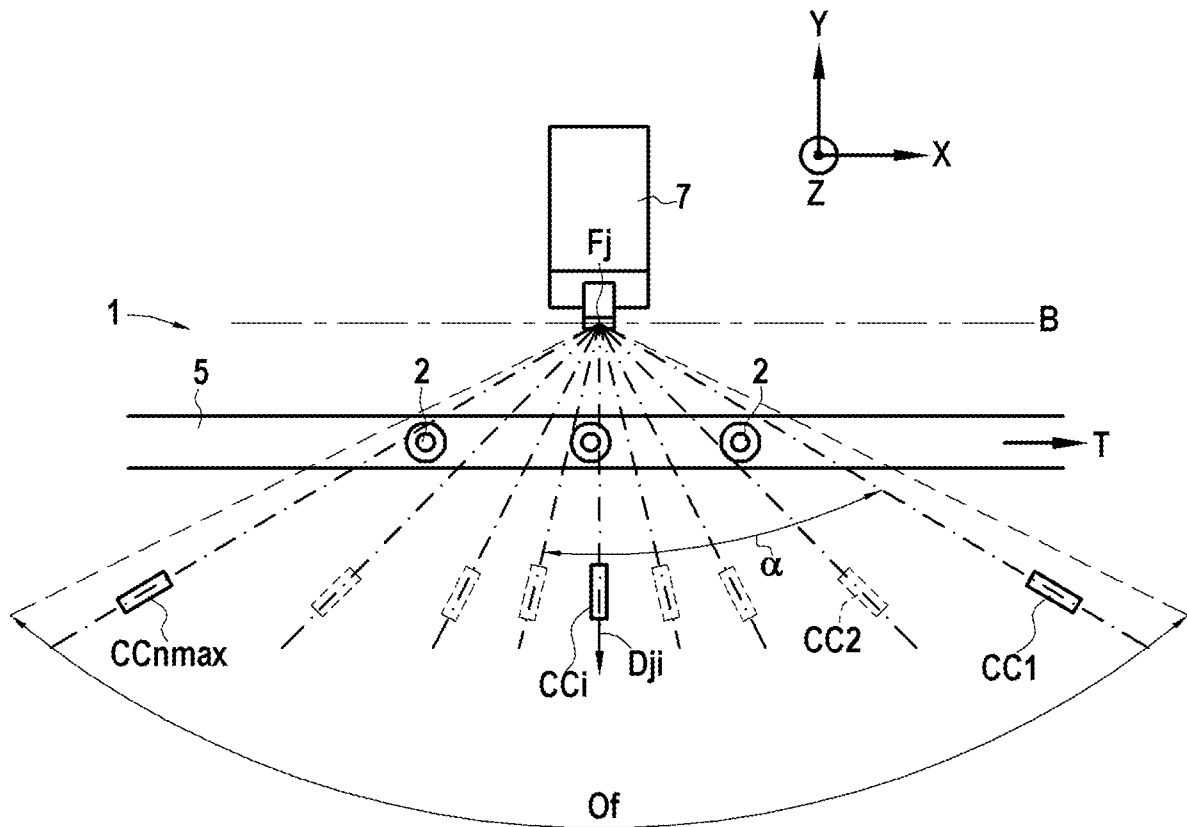
- au moins m éléments sensibles de chacun de ces composants capteurs physiques (**CCi**) reçoivent la projection radiographique de la région à inspecter par le faisceau de rayons X issu du foyer (**Fj**) associé ;
- les plans de projection (**PPji**) pour les différents capteurs sont distincts entre eux et non parallèles au plan de convoyage (**PC**).

[Revendication 32] Installation selon la revendication **31**, caractérisée en qu'au moins trois capteurs d'images (**Ci**) linéaires ont leurs droites de support (**Li**) parallèles entre elles.

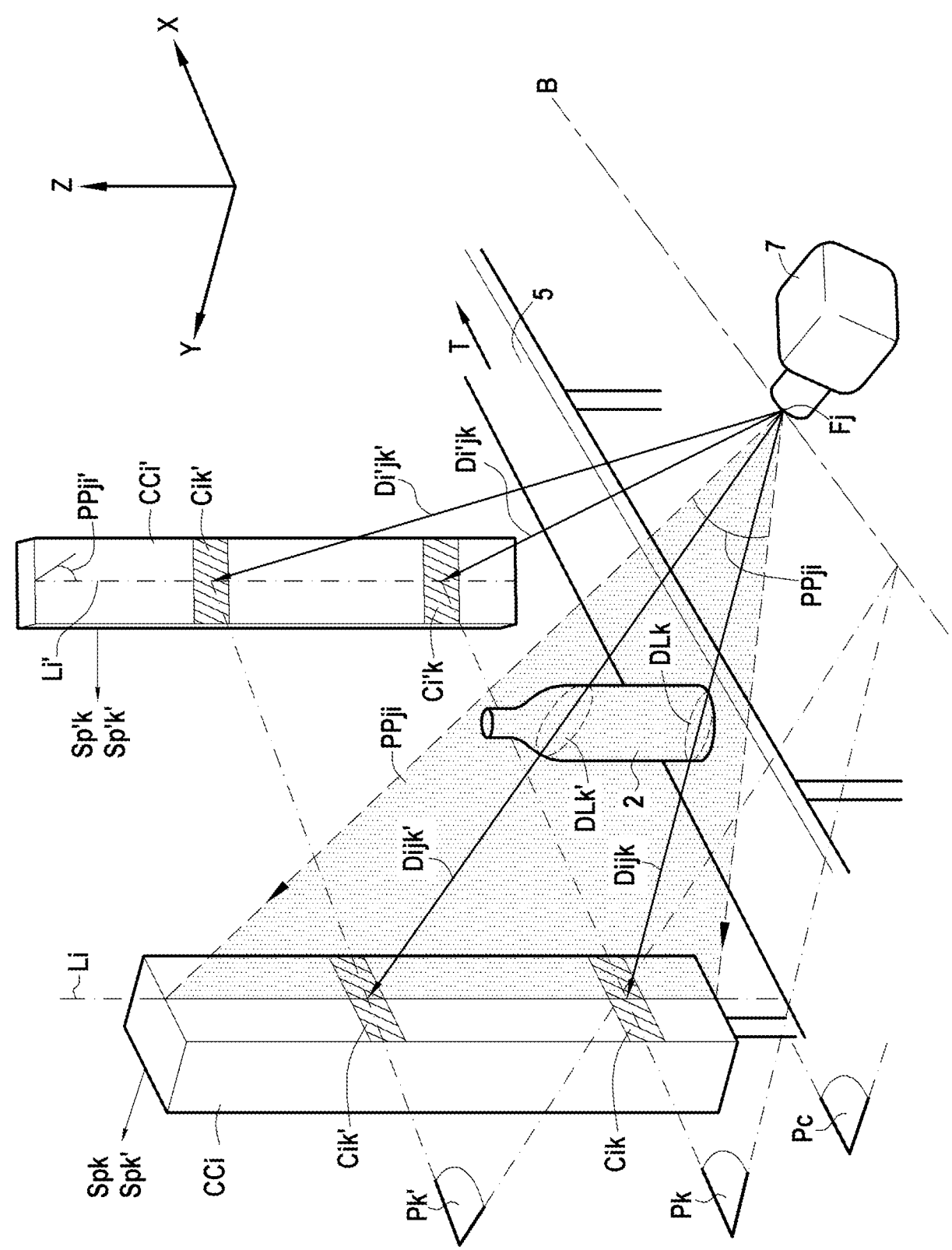
[Revendication 33] Installation selon l'une des revendications **31** et **32**, caractérisée en que au moins trois composants capteurs physiques (**CCi**) linéaires ont leurs droites de support (**Li**) orthogonales au plan de convoyage (**PC**).

⋮

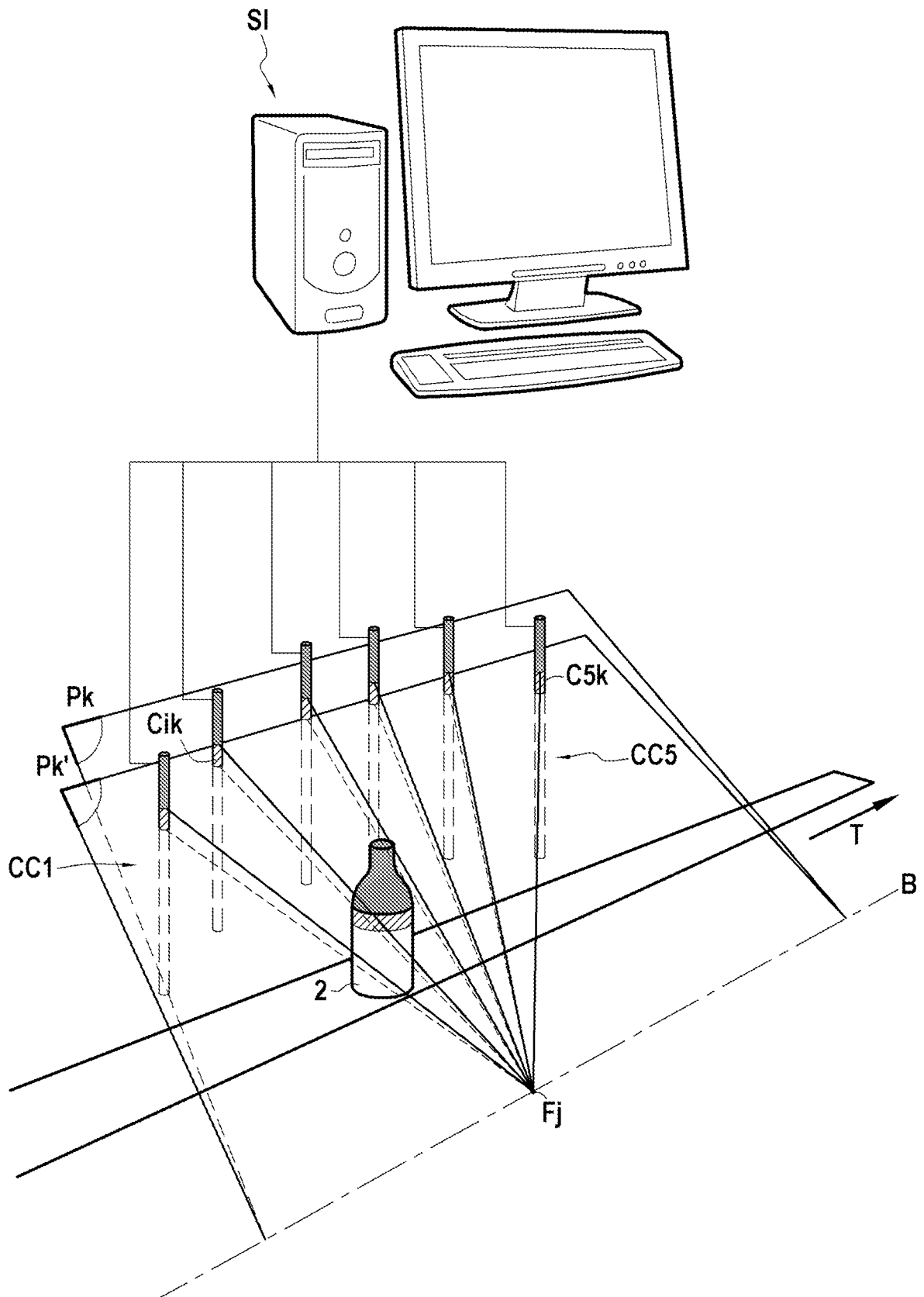
[Fig. 1]



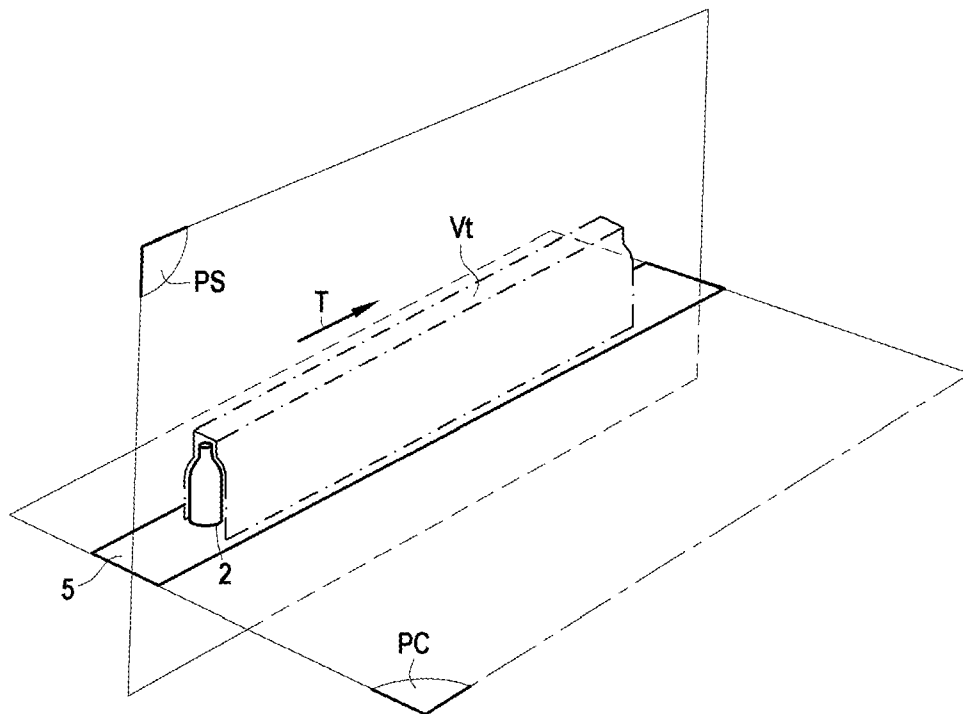
[Fig. 2]



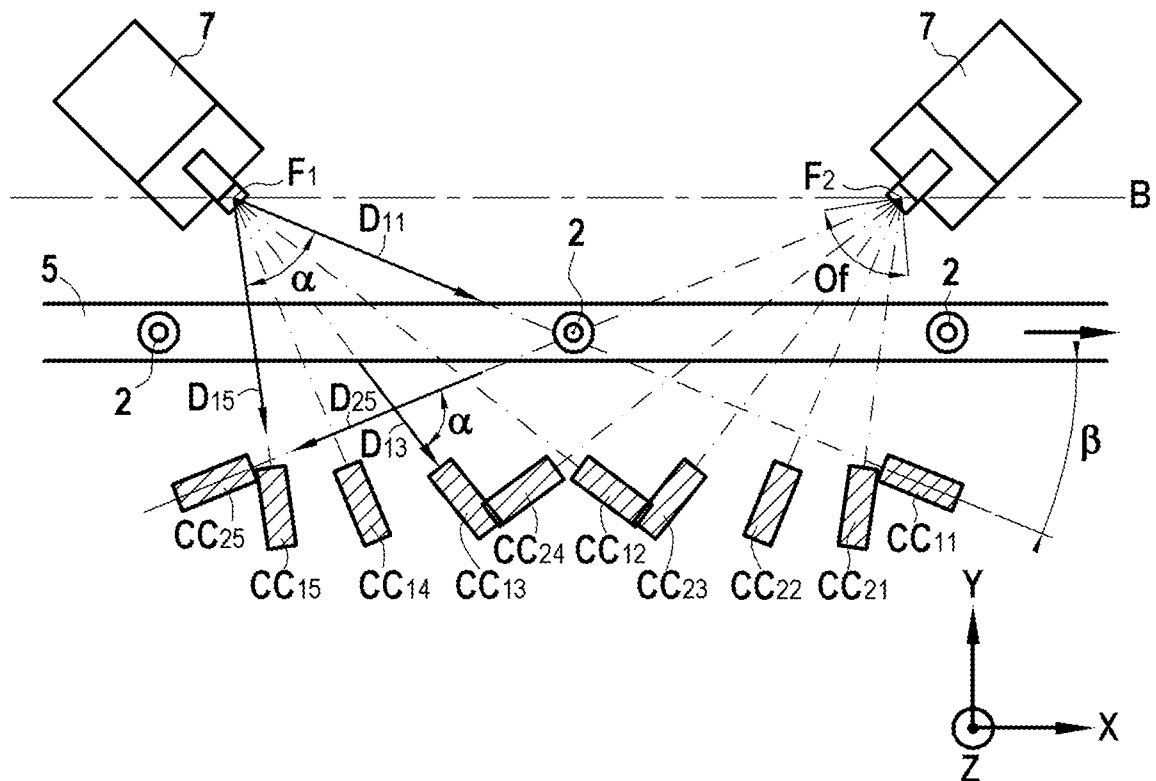
[Fig. 3]



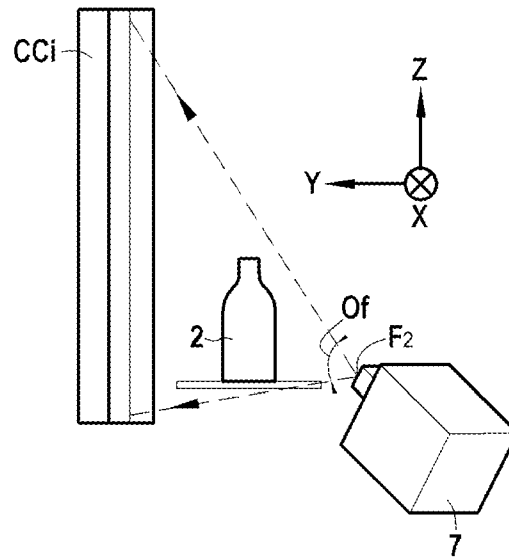
[Fig. 4]



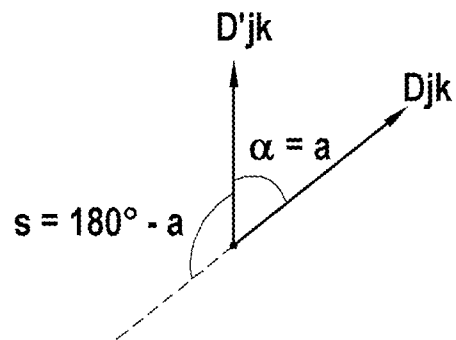
[Fig. 5]



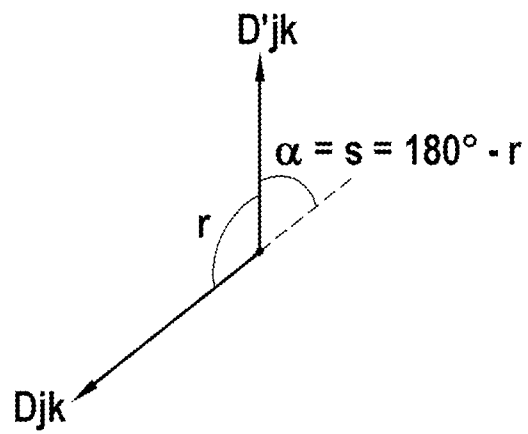
[Fig. 6]



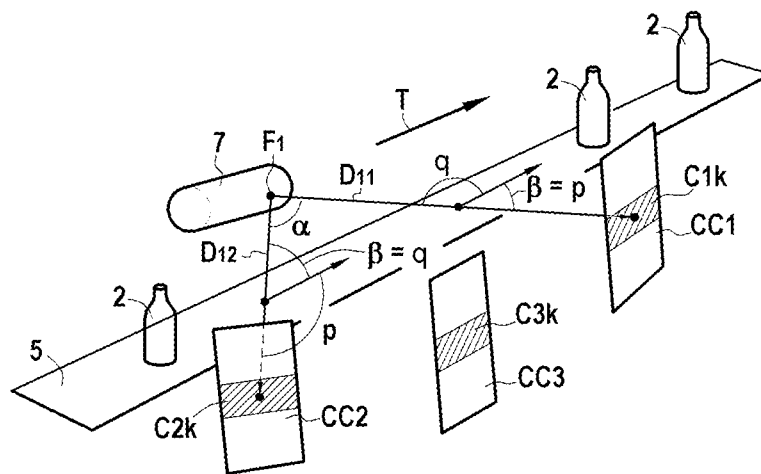
[Fig. 7]



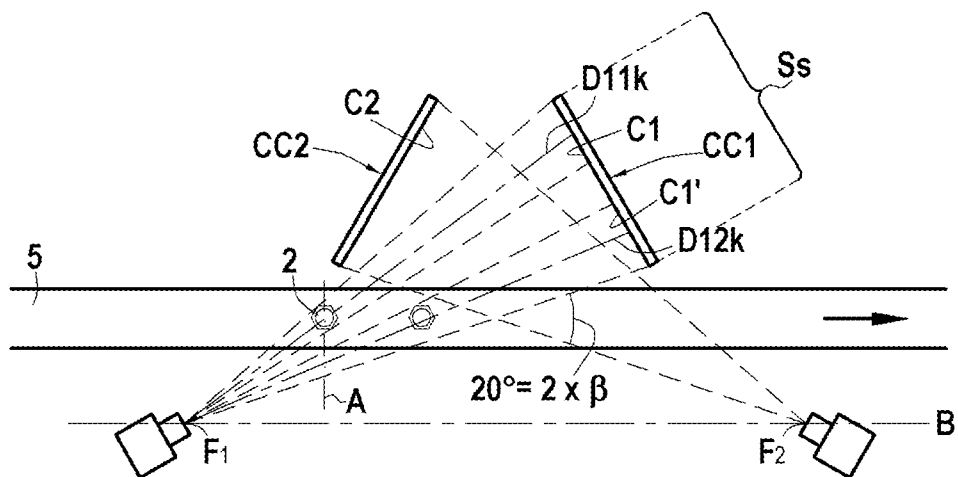
[Fig. 8]



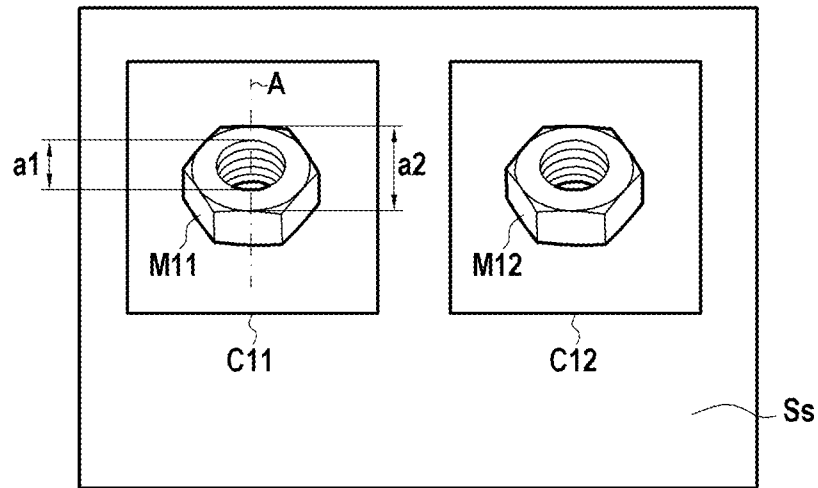
[Fig. 9]



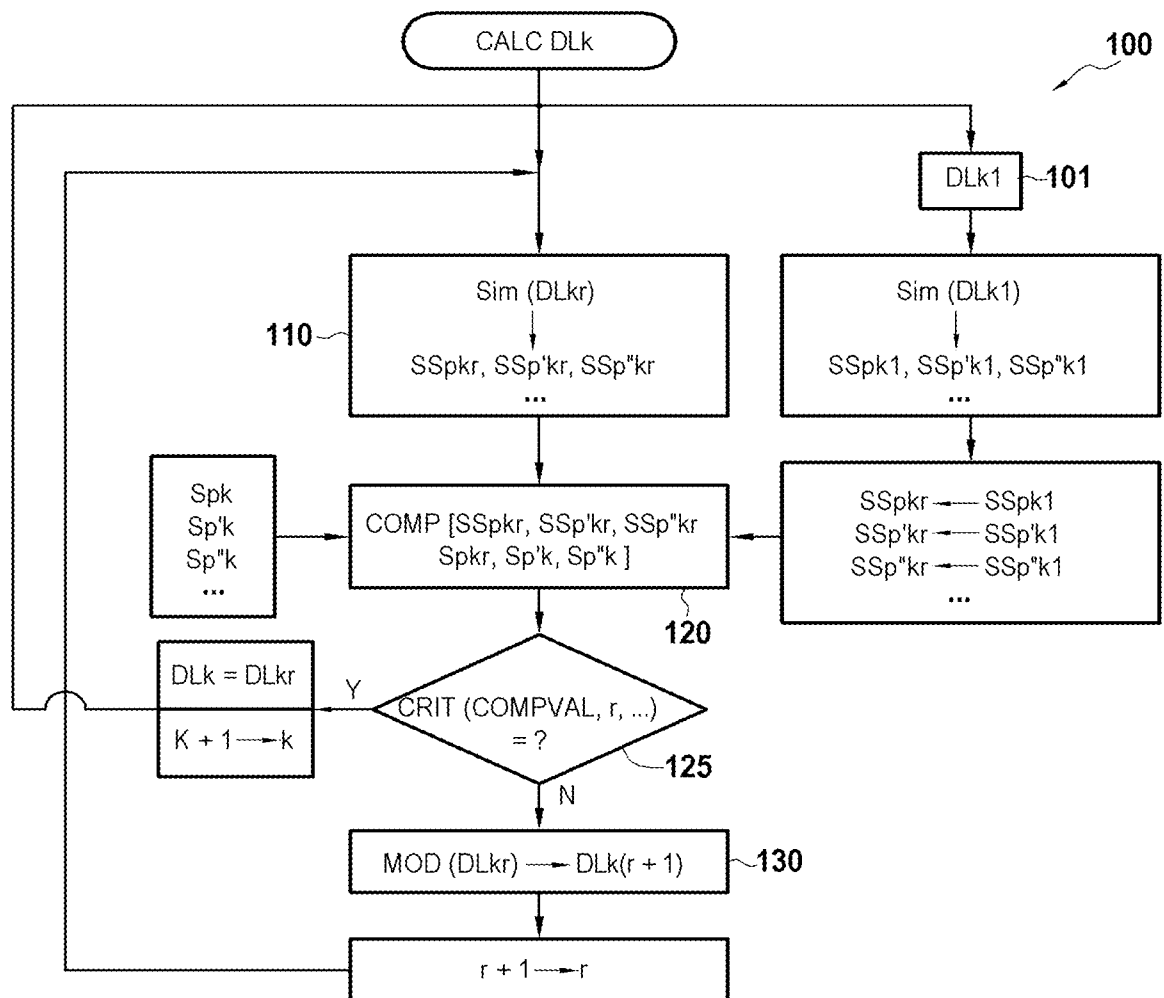
[Fig. 10]



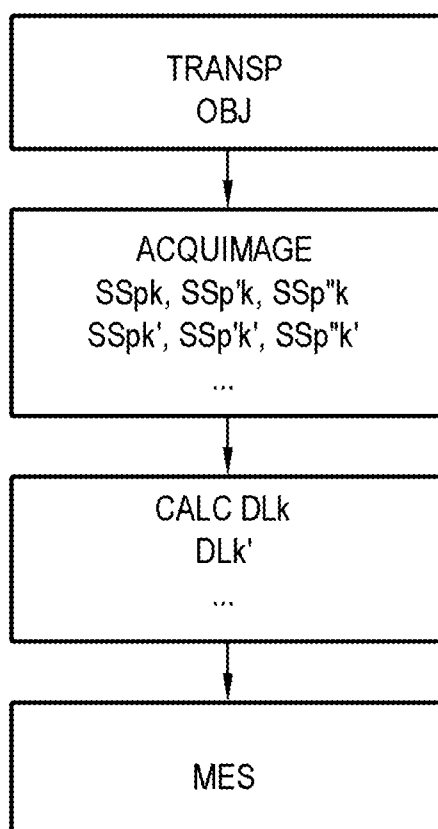
[Fig. 11]



[Fig. 12]



[Fig. 13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2020/050712

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER*G06T 7/60*(2017.01)i; *G06T 7/00*(2017.01)i; *G06T 7/62*(2017.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06T

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2018014138 A1 (LYNX INSPECTION INC [CA]) 25 January 2018 (2018-01-25)	1-6,9-13,21
Y	abstract	7,14-20,22-33
A	paragraphs [0048], [0078], [0080]; figures 1,3	8
A	KRUTH J P ET AL. "Computed tomography for dimensional metrology" <i>CIRP ANNALS</i> , Vol. 60, No. 2, 31 December 2011 (2011-12-31), pages 821-842, [retrieved on 2011-06-03] DOI: 10.1016/J.CIRP.2011.05.006 ISSN: 0007-8506, XP028262022 the whole document	1-33
Y	US 2009262891 A1 (ZHANG LI [CN] ET AL) 22 October 2009 (2009-10-22)	7,14-20,22-33
A	cited in the application paragraphs [0035], [0036]; figures 2-5	1-6,8-13,21



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 June 2020

Date of mailing of the international search report

10 July 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Tillier, Christophe

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/FR2020/050712

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2018014138	A1	25 January 2018	CA	3031397	A1	25 January 2018
				EP	3488233	A1	29 May 2019
				US	2020184617	A1	11 June 2020
				WO	2018014138	A1	25 January 2018
US	2009262891	A1	22 October 2009	CN	101561405	A	21 October 2009
				DE	102009018137	A1	29 October 2009
				DE	102009061763	A1	18 February 2016
				EP	2273257	A1	12 January 2011
				PL	2273257	T3	29 March 2019
				US	2009262891	A1	22 October 2009
				WO	2009127118	A1	22 October 2009

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2020/050712

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G06T7/60 G06T7/00 G06T7/62 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G06T		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 2018/014138 A1 (LYNX INSPECTION INC [CA]) 25 janvier 2018 (2018-01-25)	1-6,
Y	abrégé	9-13, 21
A	alinéas [0048], [0078], [0080]; figures 1,3	7, 14-20,
	-----	22-33
A	KRUTH J P ET AL: "Computed tomography for dimensional metrology", CIRC ANNALS, vol. 60, no. 2, 31 décembre 2011 (2011-12-31), pages 821-842, XP028262022, ISSN: 0007-8506, DOI: 10.1016/J.CIRC.2011.05.006 [extrait le 2011-06-03] le document en entier ----- -/-	8 1-33
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 24 juin 2020		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 10/07/2020
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Tillier, Christophe

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 2009/262891 A1 (ZHANG LI [CN] ET AL) 22 octobre 2009 (2009-10-22) cité dans la demande	7,14-20, 22-33
A	alinéas [0035], [0036]; figures 2-5 -----	1-6, 8-13,21

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2020/050712

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2018014138	A1	25-01-2018	CA 3031397 A1	25-01-2018
			EP 3488233 A1	29-05-2019
			US 2020184617 A1	11-06-2020
			WO 2018014138 A1	25-01-2018

US 2009262891	A1	22-10-2009	CN 101561405 A	21-10-2009
			DE 102009018137 A1	29-10-2009
			DE 102009061763 A1	18-02-2016
			EP 2273257 A1	12-01-2011
			PL 2273257 T3	29-03-2019
			US 2009262891 A1	22-10-2009
			WO 2009127118 A1	22-10-2009
