

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 29.12.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 05.07.24 Bulletin 24/27.

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

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : TIAMA Société par actions simplifiée
— FR.

72 Inventeur(s) : COLLE Olivier, GIELLY Maxime et
PASQUIER Corinne.

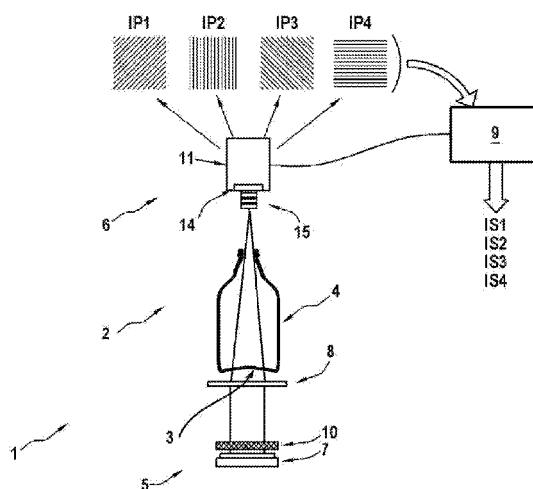
73 Titulaire(s) : TIAMA Société par actions simplifiée.

74 Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

54 Dispositif et procédé d'analyse d'un relief d'inspection d'une paroi d'un récipient en verre.

57 Dispositif d'analyse (1) en lumière traversante d'un relief d'un secteur d'inspection d'une paroi (3, 4) d'un récipient (2) en verre, le dispositif (1) comprenant une source de lumière (5) pour illuminer en transmission tout le secteur d'inspection, la source de lumière étant apte à émettre un faisceau global comprenant plusieurs faisceaux spécifiques, les faisceaux spécifiques présentant chacun un spectre angulaire différent, et une propriété de polarisation différente, un dispositif d'acquisition d'images (6) apte à détecter la propriété de polarisation spécifique d'au moins un faisceau spécifique, afin d'acquérir n images primaires, avec $n \geq 2$, chaque image primaire (IP1, ..., IPn) étant réalisée au moyen d'une combinaison de faisceaux spécifiques différents reçus du faisceau global par le dispositif d'acquisition et sélectionnés en fonction de leur propriété de polarisation, une unité de traitement des N images primaires pour analyser un relief d'une paroi (3, 4) du récipient.

Figure pour l'abrégé : Fig. 1.



Description

Titre de l'invention : Dispositif et procédé d'analyse d'un relief d'inspection d'une paroi d'un récipient en verre

- [0001] La présente invention a trait au domaine technique de l'inspection des récipients en verre.
- [0002] Plus particulièrement, l'invention concerne un dispositif et un procédé d'analyse optique d'un récipient en verre, en vue d'analyser des reliefs présents au sein d'un secteur d'inspection du récipient.
- [0003] Typiquement, un récipient en verre comprend des parois latérales et une paroi de fond. Les parois latérales et/ou de fond présentent en général des reliefs.
- [0004] Une première catégorie de reliefs comprend des reliefs volontairement formés par moulage sur la surface du verre du récipient, lors de leur formage dans les moules finisseurs de la machine de fabrication. De tels reliefs sont par exemple en saillie de la surface, et sont dénommés moulures. De telles moulures sont par exemple une information à décoder, tel qu'un code relatif à un numéro intégrant deux chiffres à sept segments ou une distribution de perles, généralement organisée en anneau, et dont la présence et la position de chacune encodent le numéro de moule.
- [0005] D'autres reliefs connus relevant également de la première catégorie sont formés par enlèvement de matière en surface du verre du récipient, et sont dénommés gravures. De telles gravures sont par exemple des codes-barres, par exemple des codes Datamatrix gravés par laser sur le récipient en sortie de four, tel que décrit dans les documents EP 2114840 B1, ou bien JP H09128578.
- [0006] D'autres reliefs connus relevant de la première catégorie sont par exemple des inscriptions à destination de l'utilisateur final du récipient, comme des inscriptions décoratives ou informatives liées au contenu du récipient.
- [0007] Il est recherché que les gravures et moulures soient bien rendues. Une gravure ou une moulure bien rendue est telle que la surface formée a pris exactement la forme du relief voulu. Dans le cas de moulures, cela signifie par exemple que la surface de verre a pris la forme donnée par le moule. Dans le cas d'une gravure par laser, cela signifie par exemple que les points formés présentent la profondeur voulue.
- [0008] Une deuxième catégorie de reliefs consiste en des reliefs non prévus ou accidentels, qui sont en réalité des défauts de fabrication. De tels reliefs accidentels apparaissent généralement dans la paroi de fond du récipient, et se caractérisent généralement par une petite projection de verre présentant une forme de pointe allant vers l'intérieur du récipient en verre. Un exemple de ce type de défaut appelé « tiré poinçon » ou « spike », situé dans la paroi de fond du récipient final, provient d'une adhérence du

verre au poinçon venant former l'ébauche dans un moule ébaucheur. Une telle ébauche est réalisée au premier stade du formage des récipients dans une machine en procédé pressé-soufflé, qui est le procédé préféré pour fabriquer les récipients de large ouverture comme des pots de conserve en verre.

- [0009] Dans toute la suite du présent texte, le mot « relief » fait référence à un relief appartenant à la première ou à la deuxième catégorie présentée ci-dessus.
- [0010] La détection des reliefs revêt une grande importance dans le procédé de fabrication du verre. En effet, dans le cas de reliefs appartenant à la première catégorie, il est recherché à connaître les informations liées aux codes, et ceux-ci doivent pouvoir être visibles lors d'une inspection. Les informations relevées peuvent en effet être utilisées à des fins de traçabilité.
- [0011] Dans le cas de reliefs décoratifs, il faut pouvoir s'assurer de la bonne réalisation des reliefs.
- [0012] Pour des reliefs relevant de la deuxième catégorie, autrement dit des défauts, ceux-ci doivent pouvoir être identifiés de la manière la plus précise possible.
- [0013] A cette fin, la détection de reliefs est actuellement effectuée en utilisant leurs propriétés de réfraction de la lumière. En effet, les propriétés de réfraction entre une paroi latérale et/ou de fond du récipient dépourvue de relief, et une paroi latérale et/ou de fond avec relief sont différentes.
- [0014] Pour cela, il est utilisé un dispositif comprenant une source de lumière destinée à être projetée sur la partie de récipient à inspecter, et une caméra permettant de constituer une image. Les reliefs se matérialisent sur une telle image en apparaissant de manière plus sombre que le reste de l'image. Par le biais d'algorithmes dédiés, par exemple des algorithmes de segmentation, les valeurs de pixels constituant l'image acquise sont comparées avec les pixels voisins de cette image.
- [0015] Afin de permettre une détection juste des reliefs, c'est-à-dire une détection correspondant bien au relief présent sur le récipient, l'image acquise par la caméra doit présenter un contraste optimum des reliefs.
- [0016] En effet, si le contraste est trop faible, alors les reliefs peu importants pourront potentiellement ne pas être détectés, faisant courir le risque de laisser passer des récipients non conformes du fait de la présence d'un défaut de reliefs, ou bien de rendre illisible des reliefs volontairement formés sur la paroi latérale ou de fond du récipient. Si le contraste est trop important, alors des zones sombres correspondant à des reliefs dits parasites, c'est-à-dire ne correspondant pas à un relief qui devrait être détecté, apparaissent.
- [0017] Pour faire face à un tel problème, il a été proposé de réaliser des images à partir d'un dispositif qui crée un contraste sur les reliefs, et permet un niveau de contraste réglable. En pratique, à partir d'échantillons tests, le dispositif de réglage (ou mo-

dulation) du contraste est ajusté permettant ainsi une calibration du contraste selon les paramètres d'inspection ou bien le type de récipient à détecter. A noter que le réglage du contraste une fois effectué est figé pour toute la production en cours. Il peut être ensuite modifié à façon en modifiant le dispositif de réglage.

[0018] Il est donc nécessaire de pouvoir régler facilement le contraste de l'image acquise lors d'une inspection de relief.

[0019] Le document US 4 606 634 propose un dispositif permettant de renforcer le contraste d'apparition des reliefs dans une image tout en adaptant le dispositif aux caractéristiques physiques et optiques de l'objet et ainsi de régler ledit contraste. Plus particulièrement, un tel document décrit une source de lumière présentant une surface émettrice diffuse dont la distribution spatiale d'intensité a une étendue et une forme prédéterminée. Une telle étendue et forme est contrôlable par un masque. Dans le sens de parcours de la lumière, sont disposés une lentille convergente, le récipient et une caméra.

[0020] La lentille convergente permet l'illumination de l'ensemble du secteur à inspecter avec en tout point du secteur des faisceaux présentant une étendue de spectre angulaire, c'est-à-dire un angle entre les rayons extrêmes dudit faisceau, constant. Par souci de simplification, dans toute la suite du présent texte, l'expression « spectre angulaire » fait référence à « étendue de spectre angulaire ».

[0021] En faisant varier l'étendue et la forme du masque, il a été constaté que le spectre angulaire évolue. De la sorte, il peut être constaté que dans l'image formée dans la caméra, des zones en reliefs présentant une pente supérieure à une valeur dépendant de l'ouverture du masque s'éteignent, et apparaissent donc noires. Plus l'ouverture du masque est petite, plus les reliefs faibles sont noircis. Par relief fort on entend un relief dont la pente locale est forte par rapport à une surface de faible courbure. Autrement dit, le contraste obtenu pour des reliefs dans les images dépend directement de l'ouverture du masque. Le contraste obtenu pour des reliefs dans les images dépend également de la focale et de l'ouverture de l'objectif de la caméra, mais dans un but de simplification ces paramètres ne sont pas discutés dans la suite.

[0022] De manière industrielle, un tel principe est utilisé dans des dispositifs d'inspection de récipients, le masque étant un diaphragme ajustable par un opérateur.

[0023] Plus particulièrement, au moment du calibrage du dispositif d'inspection, l'ouverture du diaphragme est réglée en fonction du type de reliefs à détecter. Plus les reliefs sont marqués (par exemple dans le cas de gravures fortement rendues), plus le diaphragme sera ouvert. Dans une telle situation, les reliefs peu marqués ne sont pas lisibles.

[0024] Afin de permettre la lecture de reliefs moins marqués, l'ouverture est diminuée, mais du bruit apparaît sur l'image, faisant apparaître des zones sombres alors que les zones correspondantes sur le récipient ne contiennent pas de reliefs à détecter.

- [0025] Aussi, un compromis de réglage du diaphragme doit être trouvé afin de déterminer la bonne ouverture de diaphragme.
- [0026] Un tel compromis est difficile à déterminer, puisqu'il varie en fonction des conditions d'inspection, par exemple de la source, du type de récipient à inspecter, des conditions thermiques etc.
- [0027] En outre, dans le cas d'une série de récipients d'une même production présentant des reliefs à détecter, par exemple des moulures encodant une information, l'on est en présence d'un mélange de récipients portant des moulures faiblement marquées et des moulures fortement marquées. Dans une telle situation, il est très délicat de trouver un compromis de réglage du diaphragme.
- [0028] De surcroît, pour un réglage donné, le risque d'erreurs de décodage sur les récipients portant des moulures faiblement marquées reste malgré tout possible car une partie du code ne sera pas détecté et/ou pour les récipients portant des moulures fortement marquées, les ombres parasites peuvent impacter l'analyse des images et le résultat final peut être alors erroné.
- [0029] Le réglage du diaphragme est de plus un processus long, nécessitant l'intervention d'un opérateur, et est donc très contraignant dans une approche industrielle, c'est-à-dire pour l'inspection dans des grandes séries de récipients.
- [0030] Enfin, le réglage du diaphragme impose un arrêt de la production, puisqu'au cours d'une telle opération, aucune détection ne peut être faite, ce qui a un impact négatif quant à la disponibilité générale de la chaîne de fabrication de récipient en verre.
- [0031] L'invention vise à répondre aux inconvénients précités.
- [0032] Un premier objet est de proposer un dispositif d'analyse en lumière traversante d'un relief d'un secteur d'inspection d'une paroi d'un récipient en verre permettant d'améliorer le taux de détection des reliefs à détecter.
- [0033] Un deuxième objet est de proposer un tel dispositif permettant de régler la source de manière non mécanique, et adaptés à tout type de récipient en verre.
- [0034] Un troisième objet est de proposer un tel dispositif pouvant être mis en œuvre à coût réduit.
- [0035] Un quatrième objet est de proposer une méthode d'analyse en lumière traversante d'un relief d'un secteur d'inspection utilisant le dispositif présenté ci-dessus.
- [0036] Il est proposé selon un premier aspect, un dispositif d'analyse en lumière traversante d'un relief d'un secteur d'inspection d'une paroi d'un récipient en verre, le dispositif comprenant une source de lumière pour illuminer en transmission tout le secteur d'inspection, la source de lumière étant apte à émettre un faisceau global comprenant plusieurs faisceaux spécifiques, les faisceaux spécifiques présentant chacun un spectre angulaire différent, et une propriété de polarisation différente, un dispositif d'acquisition d'images apte à détecter la propriété de polarisation spécifique d'au

moins un faisceau spécifique, afin d'acquérir n images primaires, avec $n \geq 2$, chaque image primaire étant réalisée au moyen d'une combinaison de faisceaux spécifiques différents reçus du faisceau global par le dispositif d'acquisition et sélectionnés en fonction de leur propriété de polarisation, une unité de traitement des n images primaires pour analyser un relief d'une paroi d'un récipient en verre.

[0037] Diverses caractéristiques complémentaires peuvent être prévues seules ou en combinaison :

- la source de lumière comprend une surface émettrice intégrant p zones lumineuses avec $p \geq 2$, comprenant une zone centrale, et au moins une zone périphérique, les zones lumineuses émettant chacune un faisceau spécifique, chaque faisceau ayant une propriété de polarisation propre et distincte des autres faisceaux, une lentille de projection optique de la surface émettrice, de manière que chaque point du secteur inspecté soit traversé par un faisceau lumineux dont l'étendue du spectre angulaire dépend de l'étendue de la surface émettrice émettant ledit faisceau, le dispositif d'acquisition intègre un capteur photo-électrique d'image apte à détecter la propriété de polarisation des faisceaux spécifiques provenant de la source de lumière.
- la propriété de polarisation est la direction de polarisation ou un déphasage entre les deux composantes orthogonales du vecteur champ électrique des ondes lumineuses composant le faisceau global
- le dispositif d'acquisition est apte à acquérir des images primaires de manière que lors de l'acquisition des n images primaires, le dispositif d'acquisition constitue $n-1$ images primaires en excluant la lumière ayant la propriété de polarisation d'une des zones lumineuse associées, toute ou une partie du flux lumineux émis par chacune des zones lumineuses contribue à la formation d'au moins une des n images primaires ;
- l'unité de traitement est apte à calculer par combinaisons linéaires des valeurs des pixels de plusieurs images primaires, une première image secondaire présentant des pixels ayant une valeur correspondant à l'image générée uniquement par la lumière issue de $M1$ zones lumineuses centrales contiguës prises parmi les p zones lumineuses, avec $M1$ compris entre 1 et $p-1$, au moins une deuxième image secondaire présentant des pixels ayant une valeur correspondant à l'image générée par la lumière issue de $M2$ zones lumineuses centrales contiguës, avec $M2$ prises parmi les p zones lumineuses, $M2$ étant compris entre $M1+1$ et p , le spectre angulaire des faisceaux contribuant à la deuxième image secondaire étant élargi par rapport au spectre angulaire restreint des faisceaux contribuant à la première image secondaire, du fait que l'étendue des $M2$ zones lumineuses centrales contiguës réunies est supérieure

à celle des M1 zones lumineuses centrales contiguës réunies, analyser les n images secondaires afin de déterminer la présence et ou la morphologie d'un relief porté par une paroi du récipient.

- la surface émettrice est équipée au moins p-1 filtres polarisants de source présentant une direction de polarisation linéaire, chaque filtre polarisant de source linéaire étant affecté à une zone périphérique, les p-1 filtres ayant une direction de polarisation différente les unes des autres ;
- les p-1 filtres ont une direction de polarisation différente les unes des autres, choisies parmi les directions 0° 45° 90° et 135° ;
- la surface émettrice comprend un diffuseur transparent ou translucide, retro-éclairé uniformément par une lumière primaire, un écran de cellules à cristaux liquides est disposé sur le diffuseur, le diffuseur étant commandé pour présenter, selon p zones périphériques, des propriétés de biréfringence différentes afin de produire pour au moins p-1 zones lumineuses, une lumière avec une propriété de polarisation différente les unes des autres ;
- le dispositif d'acquisition comprend une caméra polarimétrique ;
- la lentille est convergente, et est disposée à une distance de la surface émettrice sensiblement égale à la distance focale ;
- la lentille est prise parmi une des lentilles suivantes : lentille plan convexe, lentille bi-convexe, lentille de Fresnel

[0038] Selon un deuxième aspect, il est prévu une méthode d'analyse en lumière traversante d'un relief d'un secteur d'inspection d'une paroi d'un récipient en verre, la méthode comprenant : une étape d'illumination consistant à illuminer en transmission le secteur d'inspection, la source de lumière émettant un faisceau global comprenant plusieurs faisceaux spécifiques, les faisceaux spécifiques présentant chacun un spectre angulaire différent, et une propriété de polarisation différente, une étape d'acquisition de n images primaires, avec $n \geq 2$, au moyen pour chaque image primaire d'une combinaison de faisceaux spécifiques différents reçus du faisceau global par le dispositif de détection et sélectionnés en fonction de leur propriété de polarisation, une étape de traitement des images primaires pour analyser un relief d'une paroi d'un récipient en verre.

[0039] Diverses caractéristiques complémentaires peuvent être prévues seules ou en combinaison :

- au cours de l'étape d'illumination, la lumière émise par la source traverse le secteur inspecté de la paroi du récipient avec une source de lumière comprenant dans le sens de parcours de la lumière, une surface émettrice, une lentille de projection optique de la surface émettrice, de manière à ce que chaque point du secteur inspecté reçoive un faisceau lumineux possédant un

spectre angulaire, la surface émettrice intégrant p zones lumineuses annulaires concentriques, avec $p \geq 2$, les zones lumineuses émettant chacune un faisceau spécifique, chaque faisceau spécifique ayant une propriété de polarisation propre et distincte des unes des autres ;

- l'étape d'acquisition comprend au moyen d'au moins un dispositif d'acquisition, l'acquisition de n images primaires, avec n supérieur ou égal à deux, telles que au moins chacune parmi $n-1$ images primaires est constituée en excluant la lumière ayant la propriété de polarisation d'une des zones associées toute ou une partie du flux lumineux de chacune des zones lumineuses contribue à la formation d'au moins une des n images primaires ;
- l'étape de traitement comprend une sous-étape de calcul par combinaisons linéaires des valeurs de pixels des n images primaires d'une première image secondaire présentant une valeur de pixels correspondant à l'image générée uniquement par la lumière issue de $M1$ zones lumineuses centrales contiguës, avec $M1$ compris entre 1 et $n-1$, et d'au moins une deuxième image secondaire dont la valeur de pixels correspond à l'image générée par la lumière issue de $M2$ zones lumineuses centrales contiguës, avec $M2$ compris entre $M+1$ et n , l'étendue des $M2$ zones lumineuses centrales contiguës réunies est supérieure à celle des $M1$ zones centrales contiguës réunies, une sous-étape de détermination intégrant l'analyse d'au moins deux images secondaires, pour déterminer la présence et/ou la morphologie d'un relief porté par le secteur d'inspection, le relief présentant des bords inclinés et des régions horizontales, les bords inclinés du relief apparaissant dans les images secondaires différemment contrastés par rapport aux régions horizontales du secteur inspecté ;
- au cours de l'étape d'illumination, la propriété de polarisation différente pour les p zones lumineuses est une propriété de polarisation linéaire nulle, ou une polarisation linéaire selon une direction de polarisation propre à la zone lumineuse, ou un déphasage entre les deux composantes orthogonales du champ électrique des ondes lumineuses composant le faisceau global ;
- au cours de l'étape d'illumination, le nombre de zones lumineuses est de trois ou quatre, les zones lumineuses émettant une lumière polarisée linéairement selon des directions différentes, au cours de l'étape d'acquisition, au moins n images primaires sont acquises, et au moins $n-1$ de ces images primaires sont obtenues en filtrant la lumière à travers $n-1$ filtres de polarisation d'acquisition linéaires ayant chacun leur direction de polarisation orthogonale à l'orientation de polarisation de chacune des $n-1$ zones lumineuses polarisées respective, au moyen de au moins deux caméras ou d'une caméra polari-

- métrique ;
- les zones lumineuses émettent une lumière polarisée linéairement selon des directions différentes choisies parmi les orientations suivantes par rapport à la direction de propagation de la lumière : 0° , 45° , 90° , et 135° ;
 - une phase d'examen de chaque image secondaire pour obtenir pour chacune un résultat d'analyse d'un relief intégrant un signe lu ou un défaut reconnu et un indice de confiance ;
 - une phase de choix dans laquelle un résultat final unique de lecture ou de reconnaissance est le résultat le plus certain choisi parmi lesdits résultats d'analyse de relief ;
 - la sous-étape de détermination comprend une phase de segmentation de chaque image secondaire pour obtenir pour chacune au moins un objet d'intérêt, une phase d'association des objets d'intérêt se correspondant entre images secondaires par superposition au moins partielle, une phase d'analyse des objets d'intérêt associés en combinant des caractéristiques photométriques ou morphologiques desdits objets d'intérêt, afin d'obtenir au moins un résultat de lecture de signe ou de reconnaissance de défaut correspondant à chaque objet associé ;
 - la sous-étape de détermination comprend une phase de construction d'une image tertiaire intégrant une analyse des images secondaires pour constituer à partir de pixels choisis dans plusieurs images secondaires, dans une image tertiaire, un objet d'intérêt représentant un signe reconstitué, une phase de lecture de signe consistant à analyser le signe reconstitué pour en faire la lecture.
 - la phase d'examen, la phase d'analyse ou la phase de lecture de signe est réalisée au moyen d'un classifieur issu d'un apprentissage supervisé, tel qu'un classifieur bayésien ou un réseau neuronal, entraîné à la lecture de signes ou à la reconnaissance de défauts ;
 - dans l'étape de traitement, l'analyse des images primaires comprend les sous-étapes suivantes une sous-étape de présentation consistant à présenter simultanément n images primaires en entrée d'un classifieur d'images entraîné à la lecture ou à la reconnaissance de défauts dans des images primaires ou une sous étape consistant à calculer n images secondaires pour les présenter en entrée d'un classifieur d'images entraîné à la lecture ou à la reconnaissance de défauts dans des images secondaires, une sous-étape de classification par le classifieur d'images préalablement entraîné.

[0040] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement et de manière concrète à la lecture de la description ci-après de modes de réalisation,

laquelle est faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- [0041] [Fig.1] La [Fig.1] illustre une représentation schématique d'un exemple de dispositif d'analyse de reliefs;
- [0042] [Fig.2] La [Fig.2] représente de manière schématique une vue en perspective d'un exemple de réalisation d'un capteur photoélectrique d'une caméra polarimétrique ;
- [0043] [Fig.3] La [Fig.3] représente de manière schématique une vue de dessus du capteur photoélectrique de la [Fig.2], avec un détail sur un groupe de cellules photo-électriques ;
- [0044] [Fig.4] La [Fig.4] illustre de manière schématique une vue de dessus d'un dispositif d'acquisition du dispositif d'analyse, le dispositif d'acquisition présentant plusieurs caméras ;
- [0045] [Fig.5] La [Fig.5] illustre de manière schématique une vue de dessus d'un dispositif d'acquisition du dispositif d'analyse, le dispositif d'acquisition présentant une unique caméra munie de plusieurs capteurs ;
- [0046] [Fig.6] La [Fig.6] illustre de manière schématique une source de lumière munie de deux filtres polarisants de source de forme circulaire ;
- [0047] [Fig.7] La [Fig.7] illustre de manière schématique une source de lumière munie de quatre filtres polarisants de source de forme circulaire ;
- [0048] [Fig.8] La [Fig.8] illustre de manière schématique une source de lumière munie de quatre filtres polarisants de source de forme rectangulaire ;
- [0049] [Fig.9] La [Fig.9] illustre un schéma synoptique d'un procédé d'analyse ;
- [0050] [Fig.10] La [Fig.10] illustre un schéma synoptique d'une étape de traitement du procédé de la [Fig.9] ;
- [0051] [Fig.11] La [Fig.11] illustre de manière schématique une mise en œuvre du procédé
- [0052] [Fig.12] La [Fig.12] illustre de manière schématique une mise en œuvre du procédé, avec un détail sur une étape de traitement selon une première variante;
- [0053] [Fig.13] La [Fig.13] illustre de manière schématique une mise en œuvre du procédé, avec un détail sur une étape de traitement selon une autre variante;
- [0054] [Fig.14] La [Fig.14] illustre de manière schématique un exemple de quatre images primaires et quatre images secondaires d'une paroi de fond de récipient.
- [0055] L'on se reporte à la [Fig.1] illustrant un dispositif d'analyse 1 permettant d'analyser en lumière traversante un secteur d'inspection d'un récipient en verre 2, de manière à permettre l'analyse, c'est-à-dire la caractérisation d'un relief sur la paroi du récipient 2.
- [0056] Dans le mode de réalisation décrit, le récipient 2 est une bouteille, mais dans d'autres modes de réalisation, le récipient 2 est un pot, ou un flacon.
- [0057] Dans le mode de réalisation décrit, le secteur d'inspection se trouve sur une paroi de fond 3 du récipient 2. Dans d'autres modes de réalisation, le secteur d'inspection se situe sur une paroi latérale 4 du récipient 2.

- [0058] Dans le mode de réalisation présentement décrit, le secteur d'inspection occupe l'intégralité de la paroi de fond 3, mais dans d'autres modes de réalisation non représentés, le secteur d'inspection occupe une portion de la paroi de fond 3 ou de la paroi latérale 4.
- [0059] Dans le mode de réalisation représenté, le dispositif d'analyse 1 comprend une source de lumière 5, et un dispositif d'acquisition 6.
- [0060] La source de lumière 5 émet par exemple un faisceau global comprenant plusieurs faisceaux spécifiques présentant chacun un spectre angulaire différent. Autrement dit, le faisceau global intègre des faisceaux spécifiques ayant chacun une différence entre les angles d'incidences extrêmes différents.
- [0061] De la sorte, la source de lumière 1 éclaire de manière uniforme le secteur d'inspection.
- [0062] De manière à permettre l'émission des faisceaux spécifiques, la source de lumière 1 comprend dans le sens de parcours de la lumière une surface émettrice 7 présentant une forme et une dimension prédéterminées.
- [0063] Avantageusement, la surface émettrice 7 est orientée pour émettre la lumière en direction du secteur d'inspection, le but étant de permettre un éclairage allant de l'extérieur vers l'intérieur du récipient 2.
- [0064] Avantageusement, et de manière plus spécifique, la surface émettrice 7 intègre p zones lumineuses $Z1, \dots, Zp$, avec $p \geq 2$, les zones lumineuses $Z1, \dots, Zp$ émettant chacune un faisceau spécifique, chaque faisceau spécifique ayant une propriété de polarisation propre et distincte des autres faisceaux spécifiques. L'on décrit plus loin dans le présent document la manière dont sont créés les p zones lumineuses.
- [0065] L'on définit une propriété de polarisation de la lumière comme étant un état de polarisation de la lumière. Autrement dit, une propriété de polarisation de la lumière se caractérise par l'angle de la direction de polarisation linéaire, ou par une valeur de déphasage entre deux composantes orthogonales du champ électrique des ondes lumineuses ou bien encore, si ledit déphasage vaut un quart de longueur d'onde, par le sens de la polarisation circulaire.
- [0066] De manière à pouvoir projeter les rayons lumineux à l'infini, le dispositif d'analyse 1 comprend une lentille convergente 8 placée à une distance de la source de lumière 5 proche de la distance focale. Grâce à une telle caractéristique, chaque point de la zone inspectée reçoit un faisceau lumineux dont l'étendue du spectre angulaire dépend de la superficie de la surface émettrice 7.
- [0067] Avantageusement, la lentille convergente 8 est une lentille convexe, ou une lentille bi-convexe ou une lentille de Fresnel.
- [0068] De manière avantageuse, la lentille convergente 8 est réalisée de manière que le matériau ne modifie pas l'état de polarisation de la lumière. La lentille convergente 8

est avantageusement réalisée en verre, par exemple un verre optique.

- [0069] Le dispositif d'analyse 1 comprend un dispositif d'acquisition 6 d'image pour la détection de la propriété de polarisation spécifique d'au moins un faisceau spécifique. La combinaison des faisceaux spécifiques reçus du faisceau global permet la réalisation d'au moins deux images.
- [0070] Aussi, au vu de ce qui procède, l'on peut constater que le dispositif d'analyse 1 offre la possibilité de réaliser une pluralité d'images primaires $IP_1, \dots, IP_n$, éclairées avec des polarisations différentes. De telles caractéristiques rendent ainsi possible la formation simultanée de différentes images secondaires $IS_1, \dots, IS_n$ sous des contrastes différents, comme il peut être sur la [Fig.14].
- [0071] Le dispositif d'analyse 1 comprend une unité de traitement 9, avantageusement destinée à analyser la présence de reliefs.
- [0072] Avantageusement, une telle analyse est menée à partir d'images primaires $IP_1, \dots, IP_n$ issues du dispositif d'acquisition 6.
- [0073] Avantageusement, une telle analyse consiste notamment à construire des images secondaires $IS_1, \dots, IS_n$ par un calcul dont les modalités sont précisées plus loin dans la présente description. De telles images secondaires $IS_1, \dots, IS_n$ sont ensuite avantageusement exploitées pour permettre la détection des reliefs.
- [0074] L'unité de traitement 9 permet notamment à partir d'images primaires $IP_1, \dots, IP_n$, qui sont acquises par le dispositif d'acquisition 6, la construction d'images secondaires. L'exploitation de telles images secondaires permet dans certains modes de réalisation la détection de reliefs, pour détecter des défauts de reliefs, ou bien pour effectuer la lecture d'inscriptions sur la paroi 3, 4 du récipient 2.
- [0075] L'on décrit à présent plus particulièrement la source de lumière 5, en se référant pour cela aux figures 1, et 6 à 8.
- [0076] Avantageusement, la surface émettrice 7 intègre p zones lumineuses $Z_1, \dots, Z_p$ contigües, c'est-à-dire imbriquées les unes dans les autres.
- [0077] Dans les modes de réalisation représentés sur les figures 6 et 7, les zones lumineuses $Z_1, \dots, Z_p$ présentent une forme circulaire, et sont concentriques. Une telle forme est la plus fréquemment rencontrée, car elle confère aux faisceaux des spectres angulaires d'enveloppe coniques avec un effet uniforme sur les contrastes dans le secteur d'inspection. .
- [0078] Dans d'autres mises en œuvre, par exemple celle représentée en [Fig.8], les zones lumineuses sont des rectangles ayant leur centre de gravité tous confondus, et leurs côtés respectivement parallèles entre eux. De cette façon, il est possible de s'adapter à des formes de récipient 2 ayant une section présentant une forme autre que circulaire, ou présentant une répartition irrégulière de l'épaisseur de verre, particulièrement sur le fond du récipient.

- [0079] Avantageusement, la surface émettrice 7 est dotée de filtres polarisants de source 10, dont le nombre correspond à $p-1$. De la sorte une des zones lumineuses $Z_1, \dots, Z_p$ est dépourvue de filtre polarisant de source 10, et émet une lumière non polarisée, qui est considérée dans la suite du texte comme une lumière présentant une propriété de polarisation « nulle ».
- [0080] Avantageusement, les filtres polarisants de source 10 sont des filtres de polarisation linéaires, autrement dit les ondes lumineuses filtrées ont comme propriété de polarisation la direction du champ électrique, dite direction de polarisation linéaire.
- [0081] Dans d'autres modes de réalisation non représentés, les filtres polarisants de source 10 sont des filtres de polarisation circulaires, autrement dit les ondes lumineuses filtrées ont comme propriété de polarisation le sens de rotation du champ électrique dite sens de polarisation circulaire.
- [0082] Avantageusement, la surface émettrice 7 englobe un diffuseur transparent ou translucide, retro-éclairé uniformément par une lumière primaire. Un tel diffuseur n'est pas visible sur les figures. Il est situé en amont des filtres polarisants de source 10 dans le sens de parcours de la lumière.
- [0083] Dans un autre mode de réalisation, dans le sens de parcours de la lumière, sont disposés sur ledit diffuseur, à la place des filtres polarisants de source 10, un filtre de polarisation linéaire unique puis un écran de cellules à cristaux liquides (non visible sur les figures) dit écran LC (liquid crystal) .
- [0084] Avantageusement un tel écran LC est commandé ou piloté pour présenter, selon $p-1$ zones périphériques, des propriétés de biréfringence différentes afin de produire pour au moins $p-1$ zones lumineuses $Z_1, \dots, Z_p$, une lumière avec une propriété de polarisation différente les unes des autres, en particulier un déphasage différent entre les deux composantes orthogonales du champ électrique des ondes lumineuses composant le faisceau global.
- [0085] L'avantage d'une telle caractéristique est que la forme et la dimension des zones lumineuses $Z_1, \dots, Z_p$ peuvent être contrôlées électriquement pour être adaptées facilement aux modèles de récipients 2 lors du réglage du dispositif d'analyse 1.
- [0086] L'on décrit à présent plus spécifiquement le dispositif d'acquisition 6 en se référant par exemple aux figures 2 à 5.
- [0087] De manière avantageuse, le dispositif 6 d'acquisition comprend un capteur photoélectrique 12. Un tel capteur photoélectrique 12 comprend une pluralité de cellules photoélectriques 13, c'est-à-dire des éléments bidimensionnels permettant de transformer une intensité lumineuse en signal électrique. De telles cellules photoélectriques 13 sont organisées en ligne pour un capteur linéaire, et en matrice bidimensionnelle dans le cas d'un capteur matriciel.
- [0088] Dans les modes de réalisation représentés, le dispositif d'acquisition 6 est apte à

détecter une propriété de polarisation des faisceaux lumineux spécifiques, c'est-à-dire à sélectionner les faisceaux lumineux spécifiques en fonction de leur propriété ou caractéristique de polarisation : polarisation linéaire ou circulaire, angle d'orientation de la polarisation d'un tel faisceau spécifique dans le cas d'un faisceau spécifique polarisé linéairement.

- [0089] Avantageusement, le dispositif d'acquisition 6 comprend au moins un filtre de polarisation d'analyse, dit filtre polarisant d'acquisition 14, avantageusement placé devant le capteur photoélectrique 12. De la sorte, il est possible d'adapter la manière dont est éclairé le capteur photoélectrique 12.
- [0090] De manière générale, un tel capteur photoélectrique 12 est apte à délivrer des images numériques d'un champ de vision déterminé par un objectif 15 du dispositif d'acquisition 6, par exemple un capteur matriciel d'image CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) ou CCD (Charge-Coupled Device).
- [0091] Dans le mode de réalisation représenté, le dispositif d'acquisition 6 comprend une caméra polarimétrique 11. Avantageusement et comme représenté sur la [Fig.2], la caméra polarimétrique 11 comprend un capteur photoélectrique 12, équipé de filtres de polarisation individuels, ou analyseurs individuels 14 devant chaque cellule photoélectrique 13, formant ainsi un capteur polarimétrique 18.
- [0092] Dans les figures 2 et 3, qui représentent un exemple d'un tel capteur polarimétrique 18, l'on peut voir quatre filtres polarisants d'acquisition 14 individuels, appelés également analyseurs individuels 14, différents disposés devant des cellules photoélectriques 13 d'un groupe 19 de quatre cellules photoélectriques 13 connexes.
- [0093] Un tel groupe 19 comprend deux cellules photoélectriques 13 en lignes, deux cellules photoélectriques 13 en colonne, le groupe 19 formant un carré de cellules photoélectriques 13. Les analyseurs individuels 14 sont avantageusement des filtres de polarisation linéaires, et ont chacun une direction de polarisation différente.
- [0094] Avantageusement, dans le capteur polarimétrique 19, une cellule photoélectrique 12 est équivalente à un pixel d'une image. Du fait de la très petite taille de chaque cellule photoélectriques 12, il est possible d'acquérir simultanément quatre faisceaux lumineux présentant chacun des propriétés de polarisation différentes.
- [0095] L'utilisation d'un tel capteur polarimétrique 18 a notamment pour conséquences que les images primaires IP1, ..., IPn ainsi acquises présentent une définition, ou qualité inférieure à celle acquises par le biais d'un capteur photoélectrique 12 de même taille. Cependant, une telle dégradation est suffisamment faible pour ne pas être gênante dans le cadre d'une application pour l'analyse de relief d'un récipient 2.
- [0096] De manière plus générale, le nombre d'analyseurs individuels 14 différents permet de déterminer le nombre de faisceaux spécifiques différents qui peut être acquis par l'unité d'acquisition 6.

- [0097] Aussi, à partir d'une unique acquisition d'image d'une paroi 3, 4 d'un récipient 2, quatre images primaires IP1, ..., IPn peuvent être obtenues, chacune d'entre elle étant construite en se basant sur le signal issu des cellules photoélectriques 13 recouvertes par un même analyseur individuel 14, c'est-à-dire issu d'un ensemble de pixels équipés d'un analyseur individuel 14 de même direction, orientation de polarisation.
- [0098] Ensemble, les filtres de polarisation d'acquisition 14 ou analyseurs individuels 14, d'une caméra polarimétrique 11, ayant la même orientation jouent pour chaque image primaire, exactement le même rôle que les filtres de polarisation d'acquisition 14, utilisés lors d'une acquisition avec plusieurs capteurs.
- [0099] L'utilisation d'une caméra polarimétrique 11 présente l'avantage d'éviter l'emploi de plusieurs caméras classiques munies de filtres d'acquisition 14 distincts, ce qui permet de limiter l'encombrement, le coût et la complexité de mise en œuvre du dispositif d'analyse 1.
- [0100] Avantagusement, dans le cas d'un filtre polarisant de source 10 ayant une polarisation circulaire dans un sens donné sur une zone Z1, ..., Zp donnée, l'on place devant la caméra polarimétrique 11 une lame retard quart d'onde (non représentée), présentant un axe rapide à 45° de la direction de polarisation linéaire d'un des analyseurs individuels 14, ce qui permet l'extinction de ladite zone lumineuse Z1, ..., Zp donnée pour une des images primaires IP1, ..., IPn acquise par le capteur polarimétrique 19.
- [0101] Avantagusement, un tel capteur polarimétrique 18 est doté des analyseurs individuels 14 linéaires orientés selon des directions complémentaires, par exemple 0°, 45°, 90° et 135°.
- [0102] Dans l'exemple de la [Fig.2], le capteur photoélectrique 11 comporte, en plus, un réseau de micro-lentilles 16, dont chacune est associée à une cellule photoélectrique 13. De telles micro-lentilles 16 permettent notamment de compenser le fait que le rendement dépend des photons constituant le faisceau atteignant une partie sensible de chaque pixel, et les zones non sensibles entre les pixels.
- [0103] Dans un autre mode de réalisation représenté [Fig.4], le dispositif d'acquisition 6 comprend une pluralité de capteurs photoélectriques 12, chacun agencés sur des caméras 20, noirs et blanc ou couleur, mais non polarimétriques. Chacune des caméras 20 est munie d'un filtre polarisant d'acquisition 14 présentant une propriété de polarisation différente, commun à l'ensemble de son capteur d'image, placé devant, dedans ou derrière l'objectif.
- [0104] Dans de tels modes de réalisation, les caméras 20 ne pouvant pas être disposées strictement à la même localisation, il est nécessaire d'appliquer un algorithme de traitement dit algorithme de repositionnement pour permettre la superposition entre elles des images primaires acquises IP1, ..., IPn par les caméras d'un même secteur

d'inspection. Un tel algorithme est avantageusement appliqué en préalable du traitement en vue d'une analyse des reliefs du récipient 2.

- [0105] Dans d'autres modes de réalisation non représentés, le dispositif d'acquisition 6 comprend une caméra 20 à capteur photoélectrique 12 unique, devant laquelle est placé un filtre polarisant d'acquisition 14 déplaçable.
- [0106] Un exemple d'un tel filtre analyseur déplaçable 14 est un filtre rotatif placé sur un barillet tournant monté sur un barillet rotatif, placé devant l'objectif de la caméra 20. Chacune des images primaires $IP_1, \dots, IP_n$ est alors acquise en déplaçant le filtre entre chaque prise. Un tel mode de réalisation trouve une application avantageuse en laboratoire, mais ne trouve pas application à la détection de relief industrielle à haute cadence, c'est-à-dire pour les grandes séries.
- [0107] Dans d'autres modes de réalisation représentés par exemple [Fig.5], il est utilisé une caméra 20 présentant une pluralité de capteurs photoélectriques 12, chacun étant muni d'un filtre de polarisation d'acquisition 14, mais un seul objectif. Une telle caméra noir et blanc 20 est à l'heure actuelle plus onéreuse qu'une caméra polarimétrique 11.
- [0108] Dans un exemple de réalisation non représenté, il est fait usage des caméras dites tri-CCD, chaque capteur étant affecté d'un filtre polarisant d'acquisition 14. Bien que permettant l'acquisition de plusieurs images primaires $IP_1, \dots, IP_n$ avec des polarisations différentes, une telle caméra tri-CCD est toutefois à l'heure actuelle plus onéreuse que les caméras polarimétriques rendant leur utilisation moins fréquente.
- [0109] De manière plus générale, le dispositif d'acquisition 6 comprend des filtres polarisants d'acquisition 14, et si nécessaire une lame retard quart d'onde, dans le cas d'une lumière polarisée circulairement. Les polarisants d'acquisition 14 ont des propriétés de polarisation qui sont déterminées en fonction de la source de lumière 5, de façon à constituer des configurations d'éclairage. De telles configurations d'éclairage sont alors détectées et transformées en image primaire $IP_1, \dots, IP_n$.
- [0110] Avantageusement, le dispositif d'acquisition 6 permet d'acquérir n images primaires $IP_1, \dots, IP_n$. Parmi ces images n images primaires $IP_1, \dots, IP_n$, $n-1$ images primaires $IP_1, \dots, IP_n$ sont acquises en excluant la lumière ayant la propriété de polarisation d'une des zones lumineuses $Z_1, \dots, Z_p$ associées. De cette façon, il y a au moins $n-1$ images primaires formées lorsqu'au moins une zone lumineuse $Z_1, \dots, Z_p$ est éteinte.
- [0111] Avantageusement, pour le cas où un filtre polarisant de source 10 est un filtre linéaire, une telle exclusion d'une zone lumineuse $Z_1, \dots, Z_p$ est réalisée en prévoyant un filtre polarisant d'acquisition 14 présentant une direction de polarisation orthogonale à la direction de polarisation du filtre polarisant de source 10.
- [0112] Avantageusement, pour le cas où un filtre polarisant de source 10 est un filtre polarisant circulairement, une telle exclusion d'une zone lumineuse $Z_1, \dots, Z_p$ est par exemple réalisée en prévoyant après le récipient 2 une lame retard quart d'onde et au

moins un filtre polarisant d'acquisition 14 avec une direction de polarisation linéaire. Une telle configuration n'est pas représentée sur les figures.

- [0113] En outre, le dispositif d'acquisition est configuré pour que chacune des zones lumineuses $Z1, \dots, Zp$ émette un flux lumineux, tout ou une partie dudit flux lumineux contribuant à la formation d'au moins une des n images primaires $IP1, \dots, IPn$.
- [0114] Plus spécifiquement, le dispositif d'acquisition présente par exemple des filtres polarisants d'acquisition 14 choisis et/ou orientés en fonction des filtres polarisants de la source 10, afin que pour chacune des images primaires acquises, au moins une des zones lumineuses $Z1, \dots, Zp$ est allumée au moins une fois. Autrement dit, il n'y a pas d'image primaire formée dans une configuration d'éclairage pour laquelle l'ensemble des zones lumineuses $Z1, \dots, Zp$ sont éteintes.
- [0115] L'on décrit ci-dessous différents exemples de mise en œuvre de la source et du dispositif d'acquisition 6 pour l'obtention des images primaires $IP1, \dots, IPn$ à l'aide de la caméra polarimétrique 11.
- [0116] Dans l'analyse ci-dessous, il n'est pas tenu compte du fait qu'une faible partie de l'intensité lumineuse est absorbée par le filtre polarisant, y compris pour le cas où le filtre polarisant la lumière émise et le filtre polarisant d'acquisition 14 présentent une même direction de polarisation.
- [0117] Dans l'analyse ci-dessous, il n'est pas non plus tenu compte qu'il ne peut y avoir extinction totale de l'intensité lumineuse même dans le cas où le filtre polarisant de source 10 et le filtre polarisant d'acquisition 14 sont orthogonaux l'un par rapport à l'autre.
- [0118] Dans le mode de réalisation représenté sur la [Fig.6], la source de lumière 5, par l'intermédiaire de la surface émettrice 7 présente une première zone lumineuse $Z1$, centrale et une deuxième zone lumineuse $Z2$, périphérique de la première zone lumineuse $Z1$.
- [0119] Selon un tel mode de réalisation, la zone centrale $Z1$ est dépourvue de filtre polarisant de source 10, la zone périphérique $Z2$ est pourvue d'un filtre polarisant de source 10 linéaire présentant une orientation à 45° . Le dispositif d'acquisition 6 est pourvu d'un filtre polarisant d'acquisition 14 linéaire présentant une orientation à -45° .
- [0120] Dans une telle configuration d'éclairage, il peut être obtenu une première image primaire $IP1$, formée par les cellules photoélectriques 13 dépourvues de filtre polarisant d'acquisition 14, et une deuxième image primaire $IP2$, formée par les cellules photoélectriques 13 revêtues d'un filtre polarisant d'acquisition à -45° .
- [0121] Dans une telle configuration d'éclairage et d'observation, la première image primaire $IP1$ est formée grâce à l'intensité lumineuse de l'ensemble des zones lumineuses $Z1, Z2$. L'image primaire $IP2$ est formée par l'intermédiaire de l'intensité lumineuse issue de la zone lumineuse centrale $Z1$, la zone lumineuse $Z2$ étant alors considérée comme

éteinte, puisque le filtre polarisant de source 10 et le filtre polarisant d'acquisition 14 ont des directions de polarisation orthogonales l'une par rapport à l'autre, respectivement 45° et -45° .

- [0122] Dans une telle configuration d'éclairage, représentée sur la [Fig.6], on peut par exemple utiliser une caméra polarimétrique, de manière à obtenir une première image primaire IP1, formée par les cellules photo-électriques 13 pourvues chacune d'un filtre polarisant d'acquisition individuel 14 à 45° , grâce à l'intensité lumineuse de l'ensemble des zones lumineuses Z1, Z2. Une deuxième image primaire IP2 est obtenue, formée par les cellules photo-électriques 13 revêtues d'un filtre polarisant d'acquisition à -45° , une telle image primaire IP2 étant formée par l'intermédiaire de l'intensité lumineuse issue de la zone lumineuse centrale Z1, la zone lumineuse Z2 étant alors considérée comme éteinte.
- [0123] L'on se reporte par exemple au mode de réalisation représenté sur la [Fig.7], la source de lumière 5, par l'intermédiaire de la surface émettrice 7 présente une première zone lumineuse Z1, une deuxième zone lumineuse Z2, une troisième zone lumineuse Z3, et une quatrième zone lumineuse Z4. La première zone lumineuse Z1 est centrale, tandis que la deuxième zone lumineuse Z2, la troisième zone lumineuse Z3, et la quatrième zone lumineuse Z4 sont des zones lumineuses périphériques. Dans un tel exemple, les zones périphériques sont circulaires et concentriques.
- [0124] Selon un tel mode de réalisation, la première zone lumineuse Z1 est dépourvue de filtre polarisant de source 10, la deuxième zone lumineuse Z2 est pourvue d'un filtre polarisant de source 10 linéaire présentant une orientation à 0° , la troisième zone lumineuse Z3 est dotée d'un filtre polarisant de source 10 à 45° , la quatrième zone lumineuse Z4 est dotée d'un filtre polarisant de source 10 à 90° . Le dispositif d'acquisition 6 est pourvu d'un filtre polarisant d'acquisition 14, linéaire présentant une orientation à 45° , d'un filtre polarisant d'acquisition 14 linéaire présentant une orientation à 90° , d'un filtre polarisant d'acquisition 14 linéaire présentant une orientation à -45° , d'un filtre polarisant d'acquisition 14 linéaire à 0° .
- [0125] Dans une telle configuration d'éclairage, la première image primaire IP1 est formée grâce à l'intensité lumineuse traversant un filtre polarisant d'acquisition 14 linéaire présentant une orientation à 45° , donc résulte de la moitié de l'intensité lumineuse de la première zone lumineuse Z1, de la moitié de l'intensité de la seconde zone lumineuse Z2, de l'intégralité de l'intensité de la troisième zone lumineuse Z3, et de la moitié de l'intensité de la quatrième zone lumineuse Z4 en accord avec la loi de Malus, aucune zone n'étant considérée éteinte lors de la formation de la première image primaire .
- [0126] Dans une telle configuration d'éclairage, la deuxième image primaire IP2 est formée grâce à l'intensité lumineuse traversant un filtre polarisant d'acquisition 14 linéaire

présentant une orientation à 90° , donc résulte de la moitié de l'intensité de la première zone lumineuse Z1, de la moitié de l'intensité lumineuse de la troisième zone lumineuse Z3, et de l'intégralité de l'intensité de la quatrième zone lumineuse Z4, la zone lumineuse Z2 étant considérée éteinte pour la formation de cette deuxième image primaire IP2.

- [0127] Dans une telle configuration d'éclairage, la troisième image primaire IP3 est formée grâce à l'intensité lumineuse traversant un filtre polarisant d'acquisition 14 linéaire présentant une orientation à -45° , donc résulte de la moitié de l'intensité de la première zone lumineuse Z1, de la moitié de l'intensité de la deuxième zone lumineuse Z2, et de la moitié de l'intensité de la quatrième zone lumineuse Z4, la zone lumineuse Z3 étant considérée éteinte pour la formation de cette troisième image primaire IP3.
- [0128] Dans une telle configuration d'éclairage, la quatrième image primaire IP4 est formée grâce à l'intensité lumineuse traversant un filtre polarisant d'acquisition 14 linéaire présentant une orientation à 0° , donc résulte de la moitié de l'intensité de la première zone lumineuse Z1, de l'intégralité de l'intensité de la deuxième zone lumineuse Z2, et de la moitié de l'intensité de la troisième zone lumineuse Z3, la zone lumineuse Z4 étant considérée éteinte pour la formation de cette quatrième image primaire IP4.
- [0129] L'on décrit à présent l'unité de traitement 9 et son fonctionnement.
- [0130] L'unité de traitement 9 a notamment pour fonction de traiter les images primaires IP1, ..., IPn récupérées en une seule acquisition par exemple à l'aide du dispositif d'acquisition 6, de manière à pouvoir analyser les reliefs sur une paroi 3, 4 du récipient 2.
- [0131] Selon certains modes de réalisation, les images primaires IP1, ..., IPn sont analysées par l'unité de traitement 9, donnant directement un résultat de traitement, c'est-à-dire sans qu'il soit nécessaire de calculer des combinaisons des images primaires IP1, ..., IPn.
- [0132] Selon d'autres modes de réalisation, les images primaires IP1, ..., IPn sont combinées de sorte à obtenir des images secondaires IS1, ..., ISn. De telles images secondaires IS1, ..., ISn sont des images équivalentes à des images qui seraient acquises, en utilisant un dispositif d'analyse à l'aide d'un diaphragme ou masque opaque selon l'art antérieur, les unes après les autres avec différentes valeurs d'ouverture de diaphragme ou de masque pour chaque acquisition.
- [0133] Plus précisément, en théorie selon l'art antérieur pour un résultat similaire, il faudrait acquérir successivement n images de chaque récipient. En outre, le résultat ne serait pas tout à fait équivalent. En effet, les articles se déplaçant, il faudrait adopter soit une solution très coûteuse avec plusieurs postes d'acquisition, ou bien utiliser un seul poste et faire plusieurs images en espérant que le secteur d'inspection reste dans le champ d'observation et éclairage du système. La mise en œuvre de l'une ou l'autre des dis-

positions décrites ci-dessus, imposerait non seulement un ralentissement de la cadence, mais une étape imparfaite de mise en correspondances les images acquises.

- [0134] En réalité, selon l'art antérieur, il n'est obtenu qu'une seule image avec une seule acquisition et donc un seul réglage de contraste. Donc il ne peut pas être possible de bénéficier des avantages du dispositif d'analyse 1 objet du présent texte, qui permet d'obtenir par une seule acquisition simultanée n images secondaires $IS_1, \dots, IS_n$, de contrastes différents pour les reliefs.
- [0135] En effet, comme expliqué ci-dessus, dans les dispositifs de l'art antérieur, une unique image est acquise avec une ouverture de diaphragme donnée, donc une étendue de spectre angulaire donnée. Dans le présent dispositif d'analyse 1, plusieurs images peuvent être acquises simultanément avec l'équivalent de plusieurs ouvertures différentes, donc plusieurs étendues de spectre angulaire.
- [0136] Avantageusement l'unité de traitement 9 permet de calculer par combinaisons linéaires des valeurs des pixels de plusieurs images primaires $IP_1, \dots, IP_n$ des images secondaires $IS_1, \dots, IS_n$.
- [0137] De telles combinaisons linéaires dépendent, par la loi de Malus, des orientations relatives des directions de polarisation linéaire des filtres polarisants de source 10 et des filtres polarisants d'acquisition, ou analyseurs individuels 14.
- [0138] D'autres combinaisons linéaires sont utilisées lorsque des filtres polarisants de source 10 sont des polariseurs circulaires et que les filtres polarisants d'acquisition 14 sont précédés de lame retard quart d'onde.
- [0139] Dans le mode de réalisation représenté sur la [Fig.6], les combinaisons linéaires sont des plus simples. En effet l'image secondaire IS_1 est égale à la première image primaire IP_1 qui est formée, à travers un filtre polarisant d'acquisition de direction -45° , grâce à l'intensité lumineuse de l'ensemble des zones lumineuses Z_1, Z_2 . Également, l'image secondaire IS_2 est égale à la deuxième image primaire IP_2 qui est formée, à travers un filtre polarisant d'acquisition de direction $+45^\circ$, par l'intermédiaire de l'intensité lumineuse issue de la zone lumineuse centrale Z_1 avec seulement la lumière issue de Z_1 . L'image secondaire IS_1 est donc l'équivalent à une acquisition d'image avec source d'étendue Z_1+Z_2 relativement grande, tandis que l'image secondaire IS_2 est donc l'équivalent à une acquisition d'image avec source d'étendue Z_1 relativement petite.
- [0140] Avantageusement, l'unité de traitement 9 réalise une première image secondaire IS_1 présentant des pixels ayant une valeur correspondant à l'image générée uniquement par la lumière issue de M_1 zones lumineuses centrales contiguës Z_c prises parmi les p zones lumineuses $Z_1, \dots, Z_p$, avec M_1 compris entre 1 et $p-1$.
- [0141] Avantageusement, l'unité de traitement 9 réalise au moins une deuxième image secondaire IS_2 présentant des pixels ayant une valeur correspondant à l'image générée

par la lumière issue de M2 zones lumineuses centrales contiguës Z_c , avec les M2 zones lumineuses centrales prises parmi les p zones lumineuses $Z_1, \dots, Z_p$, M2 étant compris entre M1+1 et p, le spectre angulaire des faisceaux contribuant à la deuxième image secondaire étant élargi par rapport au spectre angulaire restreint des faisceaux contribuant à la première image secondaire, du fait que l'étendue des M2 zones lumineuses centrales contiguës réunies est supérieure à celle des M1 zones lumineuses centrales contiguës réunies,

- [0142] Avantageusement, l'unité de traitement 9 détermine la présence d'un relief, et/ou la morphologie d'un relief porté par le secteur d'inspection, par exemple d'une paroi latérale 3 ou d'une paroi de fond 4 du récipient 2.
- [0143] Grâce à un tel calcul, dans le cas où un relief présente des bords inclinés, de tels reliefs apparaissent dans les images secondaires IS1, ..., ISn avec un niveau de gris différent par rapport aux régions s'étendant horizontalement dans le secteur inspecté.
- [0144] Les reliefs sont ainsi différemment contrastés dans les différentes images secondaires IS1, ..., ISn, en fonction de la relation entre le spectre angulaire du faisceau constitué des faisceaux spécifiques correspondant à chaque image secondaire, et la pente des bords du relief. De cette façon, il est reproduit un système d'analyse à diaphragme. Il est ainsi possible de détecter et/ou analyser des reliefs sans qu'il soit nécessaire d'utiliser un diaphragme.
- [0145] L'on décrit à présent une méthode d'analyse de relief en lumière traversante d'un récipient en verre 2, en se référant aux figures 9 à 14.
- [0146] Comme il peut être observé sur les figures 9 et 10, la méthode comprend des étapes informatiques 300, notamment des étapes de calcul informatique qui sont pilotées, contrôlées, mises en œuvre par exemple par l'unité de traitement 9. L'unité de traitement 9 est par exemple constituée d'un système informatique non représenté sur les figures, tel qu'un ordinateur, ou bien un terminal.
- [0147] De manière générale, un tel système informatique comprend par exemple un ou plusieurs microprocesseurs, 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®, ...).
- [0148] Avantageusement, le système informatique est connecté à 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®.
- [0149] La méthode d'analyse en lumière traversante comprend une étape d'illumination 100 en transmission du secteur d'inspection, la source de lumière émettant un faisceau global comprenant plusieurs faisceaux spécifiques, les faisceaux spécifiques présentant chacun un spectre angulaire différent, et une propriété de polarisation différente.

- [0150] Au cours d'une étape d'acquisition 200, n images primaires sont acquises, avec $n \geq 2$, au moyen pour chaque image primaire d'une combinaison de faisceaux spécifiques différents reçus du faisceau global par le dispositif d'acquisition 6 et sélectionnés en fonction de leur propriété de polarisation.
- [0151] Au cours d'une étape de traitement 300, les n images primaires $IP_1, \dots, IP_n$ sont traitées pour analyser un relief d'une paroi 3, 4 d'un récipient 2.
- [0152] Avantageusement, au cours de l'étape d'illumination 100, la lumière traversée par la source de lumière 5 traverse le secteur inspecté d'une paroi 3, 4 du récipient 2 par l'intermédiaire d'une source de lumière 5 comprenant dans le sens de parcours de la lumière, une surface émettrice 7, une lentille convergente 8 de projection optique de la surface émettrice, de manière à ce que chaque point du secteur inspecté reçoive un faisceau lumineux possédant un spectre angulaire.
- [0153] Avantageusement, la surface émettrice 7 comprend p zones lumineuses $Z_1, \dots, Z_p$ périphériques, avec $p \geq 2$, les zones lumineuses $Z_1, \dots, Z_p$ émettent chacune un faisceau spécifique, chaque faisceau spécifique ayant une propriété de polarisation propre et distincte des autres.
- [0154] Avantageusement, au cours de l'étape d'acquisition 200, au moyen d'au moins un dispositif d'acquisition 6 de n images primaires $IP_1, \dots, IP_n$, avec n supérieur ou égal à deux, au moins chacune des $n-1$ images primaires $IP_1, \dots, IP_n$ est constituée de manière que toute ou une partie des zones lumineuses $Z_1, \dots, Z_p$ contribue à la formation d'au moins une des n images primaires $IP_1, \dots, IP_n$, tout en excluant la lumière ayant la propriété de polarisation d'une des zones associées. Une telle exclusion est obtenue par extinction d'une des zones de lumière $Z_1, \dots, Z_p$ en relation avec la propriété de polarisation de la lumière émise et la nature d'un filtre analyseur correspondant.
- [0155] Avantageusement, au cours de l'étape d'illumination 100, la propriété de polarisation différente pour les p zones lumineuses $Z_1, \dots, Z_p$ est une propriété de polarisation nulle., Une telle propriété de polarisation nulle est par exemple obtenue par une lumière non polarisée, ou une polarisation linéaire selon une direction de polarisation propre à la zone lumineuse $Z_1, \dots, Z_p$, ou bien un déphasage entre les deux composantes orthogonales du champ électrique des ondes lumineuses composant le faisceau global. Dans le cas d'un déphasage pour produire une polarisation circulaire, le déphasage est avantageusement de plus ou moins un quart de longueur d'onde.
- [0156] Avantageusement, au cours de l'étape d'illumination 100, au moins une zone lumineuse $Z_1, \dots, Z_p$ émet une lumière polarisée linéairement selon une direction de polarisation, on acquiert au moins une image primaire à travers comme filtre polarisant d'acquisition 14 un analyseur de polarisation orthogonal à cette direction de polarisation qui éteint ou atténue la lumière de cette zone lumineuse $Z_1, \dots, Z_p$.

- [0157] Avantageusement, au cours de l'étape d'illumination 100, le nombre de zones lumineuses $Z_1, \dots, Z_p$ est entre deux et quatre, les zones lumineuses $Z_1, \dots, Z_p$ émettant une lumière polarisée linéairement selon des directions différentes.
- [0158] Avantageusement, au cours de l'étape d'acquisition 200, au moins n images primaires $IP_1, \dots, IP_n$ sont acquises, et au moins $n-1$ de ces images primaires $IP_1, \dots, IP_n$ sont obtenues en filtrant la lumière à travers $n-1$ analyseurs linéaires ayant chacun leur direction d'analyse de polarisation orthogonale à l'orientation de polarisation de chacune des $n-1$ zones lumineuses polarisées respectives, au moyen d'au moins deux caméras ou d'une caméra polarimétrique 11.
- [0159] Avantageusement, les zones lumineuses $Z_1, \dots, Z_p$ émettent une lumière polarisée linéairement selon des directions différentes choisies parmi les orientations suivantes par rapport à une normale à la direction de propagation de la lumière $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$, et 135° .
- [0160] La méthode d'analyse comprend une étape de traitement 300, mise en œuvre par exemple par l'unité de traitement 9.
- [0161] Selon des premières mises en œuvre représentées figures 11 et 12, une telle étape de traitement 300 permet la construction d'images secondaires $IS_1, \dots, IS_n$ et comprend par exemple une sous-étape 310 de calcul par combinaisons linéaires des valeurs de pixels des n images primaires $IP_1, \dots, IP_n$ d'une première image secondaire $IS_1, \dots, IS_n$ présentant une valeur de pixels correspondant à l'image générée uniquement par la lumière issue de M_1 zones lumineuses centrales contiguës, avec M_1 compris entre 1 et $n-1$, et au moins une deuxième image secondaire $IS_1, \dots, IS_n$ dont la valeur de pixels correspond à l'image générée par la lumière issue de M_2 zones lumineuses centrales contiguës, avec M_2 compris entre M_1+1 et n , l'étendue des M_2 zones lumineuses centrales contiguës réunies est supérieure à celle des M_1 zones centrales contiguës réunies.
- [0162] Avantageusement, l'étape de traitement 300 comprend une sous-étape de détermination 320 intégrant l'analyse d'au moins deux images secondaires $IS_1, \dots, IS_n$, pour déterminer la présence et/ou la morphologie d'un relief porté par le secteur d'inspection, le relief présentant des bords inclinés et des régions horizontales, les bords inclinés du relief apparaissant dans les images secondaires $IS_1, \dots, IS_n$ différemment contrastées par rapport aux régions horizontales du secteur inspecté.
- [0163] L'on décrit à présent plus spécifiquement des variantes de réalisation de l'étape de détermination 320. La [Fig.10] récapitule les différentes variantes de réalisation.
- [0164] Selon une première variante de réalisation, représenté la [Fig.11], au cours de l'étape de traitement 300, l'unité de traitement 9, traite et analyse des images secondaires $IS_1, \dots, IS_n$ séparément les unes des autres.
- [0165] Dans une telle première variante, chaque image secondaire $IS_1, \dots, IS_n$ est analysée, par exemple au cours d'une phase d'examen 321 pour permettre l'obtention d'un

résultat d'analyse R_i , à savoir une détection de défaut ou lecture d'un relief, et d'un indice de confiance, formant par exemple une liste de résultats de lecture $R_1 \dots R_n$.

- [0166] La phase d'examen 321 comporte par exemple pour chaque image secondaire IS_1 , ..., IS_n : une étape de segmentation pour obtenir des régions d'intérêt, une étape de détermination des caractéristiques morphologiques et géométriques des régions d'intérêt, puis sur la base des caractéristiques déterminées, une étape de classification des régions d'intérêt pour donner un résultat R_i et un indice de confiance en le résultat.
- [0167] Dans une telle première variante, au cours d'une phase de choix 322, un résultat d'analyse final R est sélectionné parmi la liste de résultats d'analyse R_i , comme étant le résultat d'analyse R_i avec l'indice de confiance le plus élevé. Le résultat R est donc le plus certain. Il est ainsi déterminé un résultat final R unique de lecture ou de reconnaissance.
- [0168] Selon une deuxième variante non représentée, les images secondaires IS_1 , ..., IS_n sont analysées ensemble.
- [0169] Plus particulièrement, dans une telle deuxième variante, la sous-étape de détermination 320 comprend une phase de segmentation 321' d'images secondaires IS_1 , ..., IS_n , laquelle consiste par exemple à découper l'image en régions ou segments, c'est-à-dire à affecter aux pixels d'une image secondaire IS_1 , ..., IS_n une appartenance à une région d'intérêt ou objet d'intérêt. Une telle phase de segmentation 321' permet de déterminer et d'obtenir un ou plusieurs objets d'intérêts dans une image secondaire $IS_1, \dots, IS_n$, par exemple par des opérations de filtrage, seuillage, ou suivi de contour.
- [0170] Avantageusement, au cours d'une phase d'association 322', chacune des images secondaires IS_1 , ..., IS_n d'un même récipient 2 sont associées, ou mises en correspondance entre elles. Ainsi, les objets d'intérêts des différentes images secondaires IS_1 , ..., IS_n correspondent à un même relief à analyser, mais avec des contrastes différents
- [0171] Avantageusement, les objets d'intérêts sont associés au cours de la phase d'association 322' s'ils sont au moins partiellement ou totalement superposés. Ainsi, dans le cas de l'utilisation d'une caméra polarimétrique 11, les objets d'intérêt sont totalement superposés grâce à un tel moyen d'acquisition. Il est ainsi possible d'obtenir plusieurs résultats d'analyse d'un relief du récipient 2 représenté par un objet d'intérêt dans chaque image secondaire, IS_1 , ..., IS_n avec un contraste différent.
- [0172] Avantageusement, au cours d'une phase d'analyse 323', des caractéristiques morphologiques et géométriques des régions associées sont prises en compte afin d'obtenir au moins un résultat de lecture de signe ou de reconnaissance de défaut correspondant à chaque relief du récipient 2 représenté par un objet d'intérêt dans chaque image secondaire.
- [0173] Selon une troisième variante de réalisation représentée [Fig.12], les images se-

secondaires IS1, ..., ISn sont segmentées ensemble. Par exemple après leur association ou mise en correspondance selon des critères de superposition et d'appartenance au même relief du récipient 2, la segmentation se fait en construisant une région d'intérêt commune qui peut être enregistrée sous forme d'image tertiaire (non représentée sur les figures). Une telle opération est réalisée au cours d'une phase de construction d'une image tertiaire (321'').

- [0174] La construction d'un tel objet d'intérêt commun, tire profit du fait que les images secondaires IS1, ..., ISn ont un contraste différent. En effet, des portions de relief peu marquées ne sont pas distinguables dans une image secondaire IS1, ..., ISn à contraste faible, mais distinguables dans une image secondaire IS1, ..., ISn à fort contraste.
- [0175] Par exemple dans la [Fig.14], la barre du haut du chiffre 3 dans l'image IS3 est incomplète tandis qu'elle est complète dans l'image IS1. En revanche il serait possible dans IS1 d'avoir des ombres parasites accolées au code, qui ne font pas partie du signe à déchiffrer. On peut donc utiliser des règles de combinaisons des valeurs de pixels pris dans IS1 et IS3 afin lors de la phase de segmentation, de construire correctement un signe correspondant à un code de numéro de moule complet dans l'objet d'intérêt commun.
- [0176] D'autres variantes que celles décrites ci-dessus sont envisageables pour la réalisation de la sous-étape de détermination 320.
- [0177] Dans des variantes non représentées n images secondaires IS1, ..., ISn, sont analysées ensembles au cours de l'analyse, comportant une étape de mise en correspondance, ou superposition des images secondaires IS1, ..., ISn, pour constituer une image multidimensionnelle, qui est une forme d'image tertiaire, puis une étape de segmentation de l'image multidimensionnelle, puis de classification des objets d'intérêt de l'image multidimensionnelle. uned
- [0178] Dans des variantes non représentées, des caractéristiques photométriques et/ou géométriques des objets segmentés, communs ou spécifique de chaque image secondaire, sont mesurées après segmentation et avant les étapes de classification. Dans de telles variantes, des classifieurs ayant comme données d'entrée ces caractéristiques mesurées sont utilisés pour classer des segments et obtenir comme résultat la reconnaissance d'un défaut ou la lecture d'un code ou signe. De telles variantes permettent l'emploi de tout classifieur y compris des classifieurs programmés de type arbre de décisions, ou des classifieurs à apprentissage supervisés. Comme classifieurs supervisés, il est par exemple utilisé des classifieurs selon des caractéristiques mesurées, ou des classifieurs d'images.
- [0179] Dans certains modes de réalisation, l'on utilise par exemple comme classifieur un classifieur d'images à apprentissage supervisé apte à reconnaître des objets dans des images, ou de portions d'image, comme le fait par exemple un réseau de neurones

convolutif (CNN).

- [0180] Par « classifieur d'image », l'on entend, un classifieur qui, ayant comme données d'entrées une ou des images, donne un résultat d'analyse, à savoir une détection de défaut ou la lecture d'un relief. Un tel classifieur d'image est entraîné directement à partir d'un ensemble d'apprentissage composé d'images et de résultats attendus.
- [0181] Selon une variante de ces modes de réalisation, le classifieur d'image est entraîné sur un ensemble d'apprentissage constitué de groupes de n images primaires $IP_1, \dots, IP_n$ obtenues lors d'une étape d'acquisition 200 sur des récipients, chaque groupe étant associé à un résultat attendu de lecture de signe ou de reconnaissance de défaut pour ces groupes d'images.
- [0182] Selon une deuxième mise en œuvre, l'étape de traitement 300 est réalisée directement par l'usage d'un classifieur d'images.
- [0183] Dans une variante de la deuxième mise en œuvre, visible sur la [Fig.13], en suivant le cheminement en traits pleins, l'étape de traitement 300, pour l'analyse des images primaires $IP_1, \dots, IP_n$ comprend par exemple les sous-étapes suivantes :
- une sous-étape de présentation 330 consistant notamment à présenter simultanément n images primaires $IP_1, \dots, IP_n$ en entrée d'un classifieur d'images entraîné à la lecture ou à la reconnaissance de défauts dans des images primaires,
 - une sous-étape de classification 340 par le classifieur d'images préalablement entraîné.
- [0184] Avantagusement, le classifieur d'image est entraîné sur un ensemble d'apprentissage constitué de groupes de n images secondaires $IS_1, \dots, IS_n$ obtenues d'une étape d'acquisition 200 sur des récipients d'images primaires $IP_1, \dots, IP_n$ suivie d'une sous-étape 310 de calcul des n images secondaires $IS_1, \dots, IS_n$, chaque groupe de n images secondaires $IS_1, \dots, IS_n$ étant associé à un résultat attendu de lecture de signe ou de reconnaissance de défaut pour ces groupes d'images.
- [0185] Dans une autre variante de la deuxième mise en œuvre, visible sur la [Fig.13], en suivant le cheminement en traits pointillés, l'étape de traitement 300, pour l'analyse des images primaires $IP_1, \dots, IP_n$ comprend les sous-étapes suivantes :
- une sous-étape 310 de calcul des n images secondaires $IS_1, \dots, IS_n$, pour les présenter simultanément en entrée d'un classifieur d'images entraîné à la lecture ou à la reconnaissance de défauts dans des images secondaires,
 - une sous-étape de classification 340 par le classifieur d'images préalablement entraîné.
- [0186] Ainsi dans ces derniers modes de réalisation, l'étape de traitement 300 ne met pas nécessairement en œuvre des images secondaires $IS_1, \dots, IS_n$, c'est-à-dire, les images primaires $IP_1, \dots, IP_n$ sont éventuellement analysées directement.
- [0187] De manière plus particulière, un tel classifieur d'images à apprentissage supervisé

par exemple un CNN est apte à classer une région d'image, par exemple une portion rectangulaire d'image, directement sans segmentation et sans mesures programmées de caractéristiques photométriques ou géométriques.

- [0188] Avantageusement, seules des portions d'images prédéfinies c'est-à-dire des portions contenant de manière presque certaine un signe ou code à décoder sont traitées. Dans un tel cas, le classifieur d'images par apprentissage supervisé, est entraîné avec comme ensemble d'apprentissage des ensembles d'images primaires associées ou de portions d'images primaires associées, correspondant à un même relief d'un récipient 2, lesdits ensembles étant associés à un résultat attendu.
- [0189] Le dispositif d'analyse 1, et la méthode d'analyse présentées ci-dessus offrent un grand nombre d'avantage, en particulier :
- possibilité d'avoir instantanément à partir d'une seule acquisition d'images, l'équivalent de plusieurs images avec des niveaux de contrastes des reliefs différents dans lesdites images
 - un taux de lecture des codes élevé pour une production en série comprenant des récipients avec des rendus disparates de reliefs selon les conditions de production
 - une facilité de mise en œuvre au cours d'un procédé de fabrication de récipient 2, sans impacter le rendement global de la chaîne de fabrication de récipients,
 - une adaptation à toute forme de récipient en verre
 - un coût modéré du fait de la possibilité d'utilisation d'une unique caméra polari-métrique 11.

Revendications

- [Revendication 1] Dispositif d'analyse (1) en lumière traversante d'un relief d'un secteur d'inspection d'une paroi (3, 4) d'un récipient (2) en verre, le dispositif (1) comprenant :
- une source de lumière (5) pour illuminer en transmission tout le secteur d'inspection, la source de lumière (5) étant apte à émettre un faisceau global comprenant plusieurs faisceaux spécifiques, les faisceaux spécifiques présentant chacun un spectre angulaire différent, et une propriété de polarisation différente,
 - un dispositif d'acquisition d'images (6) apte à détecter la propriété de polarisation spécifique d'au moins un faisceau spécifique, afin d'acquérir n images primaires (IP1, ..., IPn), avec $n \geq 2$, chaque image primaire (IP1, ..., IPn) étant réalisée au moyen d'une combinaison de faisceaux spécifiques différents reçus du faisceau global par le dispositif d'acquisition et sélectionnés en fonction de leur propriété de polarisation,
 - une unité de traitement des n images primaires (IP1, ..., IPn) pour analyser un relief d'une paroi (3, 4) d'un récipient (2) en verre.
- [Revendication 2] Dispositif (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que**
- la source de lumière (5) comprend :
 - une surface émettrice (7) intégrant p zones lumineuses (Z1, ..., Zp), avec $p \geq 2$, comprenant une zone centrale, et au moins une zone périphérique, les zones lumineuses (Z1, ..., Zp) émettant chacune un faisceau spécifique, chaque faisceau ayant une propriété de polarisation propre et distincte des autres faisceaux,
 - une lentille de projection optique (8) de la surface émettrice, de manière que chaque point du secteur inspecté soit traversé par un faisceau lumineux dont l'étendue du spectre angulaire dépend de l'étendue de la surface émettrice (7) émettant ledit faisceau,

- le dispositif d'acquisition (6) intègre un capteur photo-électrique d'image apte à détecter la propriété de polarisation des faisceaux spécifiques provenant de la source de lumière.

[Revendication 3] Dispositif (1) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce** que la propriété de polarisation est une direction de polarisation ou un déphasage entre les deux composantes orthogonales du vecteur champ électrique des ondes lumineuses composant le faisceau global.

[Revendication 4] Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le dispositif d'acquisition (6) est apte à acquérir des images primaires (IP1, ..., IPn) de manière que

- i. lors de l'acquisition des n images primaires (IP1, ..., IPn), le dispositif d'acquisition (6) constitue n-1 images primaires (IP1, ..., IPn-1) en excluant la lumière ayant la propriété de polarisation d'une des zones lumineuse (Z1, ..., Zp) associées,
- ii. toute ou une partie du flux lumineux émis par chacune des zones lumineuses (Z1, ..., Zp) contribue à la formation d'au moins une des n images primaires (IP1, ..., IPn).

[Revendication 5] Dispositif (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** l'unité de traitement est apte à calculer par combinaisons linéaires des valeurs des pixels de plusieurs images primaires (IP1, ..., IPn) :

- a. une première image secondaire présentant des pixels ayant une valeur correspondant à l'image générée uniquement par la lumière issue de M1 zones lumineuses centrales contiguës prises parmi les p zones lumineuses (Z1, ..., Zp), avec M1 compris entre 1 et p-1,
- b. au moins une deuxième image secondaire présentant des pixels ayant une valeur correspondant à l'image générée par la lumière issue de M2 zones lumineuses centrales contiguës, avec M2 prises parmi les p zones lumineuses (Z1, ..., Zp), M2 étant compris entre M1+1 et p, le spectre angulaire des faisceaux contribuant à la deuxième image secondaire étant élargi par rapport au spectre angulaire restreint des faisceaux contribuant à la première image secondaire, du fait que l'étendue des M2 zones lumineuses centrales contiguës réunies

est supérieure à celle des M1 zones lumineuses centrales contiguës réunies,

- c. Analyser les n images secondaires (IS1, ..., ISn) afin de déterminer la présence et ou la morphologie d'un relief porté par une paroi (3, 4) du récipient (2).

- [Revendication 6] Dispositif (1) selon la revendication 2 ou la revendication 3, **caractérisé en ce que** la surface émettrice (7) est équipée au moins p-1 filtres polarisants de source (10) présentant une direction de polarisation linéaire, chaque filtre polarisant de source (10) étant affecté à une zone périphérique, les p-1 filtres polarisants de source (10) ayant une direction de polarisation différente les unes des autres.
- [Revendication 7] Dispositif (1) selon la revendication précédente, caractérisée en ce que les p-1 filtres de source (10) ont une direction de polarisation différente les unes des autres, choisies parmi les directions 0° 45° 90° et 135°.
- [Revendication 8] Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications 2 à 7, **caractérisé en que** la surface émettrice (7) comprend un diffuseur transparent ou translucide, retro-éclairé uniformément par une lumière primaire, un écran de cellules à cristaux liquides étant disposé sur le diffuseur, le diffuseur étant commandé pour présenter, selon p zones périphériques, des propriétés de biréfringence différentes afin de produire pour au moins p-1 zones lumineuses (Z1, ..., Zp), une lumière avec une propriété de polarisation différente les unes des autres.
- [Revendication 9] Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le dispositif d'acquisition (6) comprend une caméra polarimétrique (11).
- [Revendication 10] Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la lentille (8) est convergente, et est disposée à une distance de la surface émettrice (7) sensiblement égale à la distance focale.
- [Revendication 11] Dispositif (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la lentille (8) est prise parmi une des lentilles suivantes :
- lentille plan convexe,
 - lentille bi-convexe,
 - lentille de Fresnel.

- [Revendication 12] Méthode d'analyse en lumière traversante d'un relief d'un secteur d'inspection d'une paroi (3, 4) d'un récipient (2) en verre, la méthode comprenant :
- une étape d'illumination (100) consistant à illuminer en transmission le secteur d'inspection, la source de lumière (5) émettant un faisceau global comprenant plusieurs faisceaux spécifiques, les faisceaux spécifiques présentant chacun un spectre angulaire différent, et une propriété de polarisation différente,
 - une étape d'acquisition (200) de n images primaires ($IP_1, \dots, IP_n$), avec $n \geq 2$, au moyen pour chaque image primaire ($IP_1, \dots, IP_n$) d'une combinaison de faisceaux spécifiques différents reçus du faisceau global par le dispositif de détection et sélectionnés en fonction de leur propriété de polarisation.
 - une étape de traitement (300) des images primaires ($IP_1, \dots, IP_n$) pour analyser un relief d'une paroi (3, 4) d'un récipient (2) en verre.
- [Revendication 13] Méthode selon la revendication précédente **caractérisé en ce que**:
- au cours de l'étape d'illumination (100),
 - la lumière émise par la source traverse le secteur inspecté de la paroi (3, 4) du récipient (2) avec une source de lumière (5) comprenant dans le sens de parcours de la lumière, une surface émettrice (7), une lentille de projection optique (8) de la surface émettrice (7), de manière à ce que chaque point du secteur inspecté reçoive un faisceau lumineux possédant un spectre angulaire,
 - la surface émettrice (7) intégrant p zones lumineuses ($Z_1, \dots, Z_p$) annulaires concentriques, avec $p \geq 2$, les zones lumineuses ($Z_1, \dots, Z_p$) émettant chacune un faisceau spécifique, chaque faisceau spécifique ayant une propriété de polarisation propre et distincte des unes des autres.
- [Revendication 14] Méthode selon la revendication 12 ou 13, **caractérisée en ce que** l'étape

d'acquisition (200) comprend au moyen d'au moins un dispositif d'acquisition (6), l'acquisition de n images primaires ($IP_1, \dots, IP_n$), avec n supérieur ou égal à deux, telles que

- au moins chacune parmi $n-1$ images primaires ($IP_1, \dots, IP_{n-1}$) est constituée en excluant la lumière ayant la propriété de polarisation d'une des zones lumineuses ($Z_1, \dots, Z_p$) associées,
- toute ou une partie du flux lumineux de chacune des zones lumineuses ($Z_1, \dots, Z_p$) contribue à la formation d'au moins une des n images primaires ($IP_1, \dots, IP_n$).

[Revendication 15] Méthode selon la revendication 13 ou 14, **caractérisée en ce que** l'étape de traitement (300) comprend :

- une sous-étape (310) de calcul par combinaisons linéaires des valeurs de pixels des n images primaires ($IP_1, \dots, IP_n$) :
 - d'une première image secondaire présentant une valeur de pixels correspondant à l'image générée uniquement par la lumière issue de M_1 zones lumineuses centrales contiguës, avec M_1 compris entre 1 et $n-1$,
 - et d'au moins une deuxième image secondaire dont la valeur de pixels correspond à l'image générée par la lumière issue de M_2 zones lumineuses centrales contiguës, avec M_2 compris entre M_1+1 et n , l'étendue des M_2 zones lumineuses centrales contiguës réunies est supérieure à celle des M_1 zones centrales contiguës réunies,
- une sous-étape de détermination (320) intégrant l'analyse d'au moins deux images secondaires ($IS_1, \dots, IS_n$), pour déterminer la présence et/ou la morphologie d'un relief porté par le secteur d'inspection, le relief présentant des bords inclinés et des régions horizontales, les bords inclinés du relief apparaissant dans les images secondaires ($IS_1, \dots, IS_n$) différemment contrastés par rapport aux régions horizontales du secteur inspecté.

[Revendication 16] Méthode selon la revendication précédente, **caractérisée en ce qu'au**

cours de l'étape d'illumination (100), la propriété de polarisation différente pour les p zones lumineuses ($Z1, \dots, Zp$) est une propriété de polarisation linéaire nulle, ou une polarisation linéaire selon une direction de polarisation propre à la zone lumineuse ($Z1, \dots, Zp$), ou un déphasage entre les deux composantes orthogonales du champ électrique des ondes lumineuses composant le faisceau global.

- [Revendication 17] Méthode selon la revendication précédente, **caractérisée en ce que**
- au cours de l'étape d'illumination (100), au moins une zone lumineuse ($Z1, \dots, Zp$) émet une lumière polarisée linéairement selon une direction de polarisation de source, et
 - au cours de l'étape d'acquisition (200), on acquiert au moins une image primaire ($IP1, \dots, IPn$) à travers un filtre d'acquisition (14) présentant une direction de polarisation orthogonale à la direction de polarisation de source qui éteint ou atténue la lumière de la zone lumineuse ($Z1, \dots, Zp$).

- [Revendication 18] Méthode selon l'une quelconque des revendications 12 à 17, **caractérisée en ce que**
- au cours de l'étape d'illumination (100), le nombre de zones lumineuses ($Z1, \dots, Zp$) est de trois ou quatre, les zones lumineuses ($Z1, \dots, Zp$) émettant une lumière polarisée linéairement selon des directions différentes,
 - au cours de l'étape d'acquisition (200), au moins n images primaires ($IP1, \dots, IPn$) sont acquises, et au moins $n-1$ de ces images primaires ($IP1, \dots, IPn$) sont obtenues en filtrant la lumière à travers $n-1$ filtres de polarisation d'acquisition (14) linéaires ayant chacun leur direction de polarisation orthogonale à l'orientation de polarisation de chacune des $n-1$ zones lumineuses ($Z1, \dots, Zp$) polarisées respectives, au moyen de au moins deux caméras (20) ou d'une caméra polarimétrique (11).

- [Revendication 19] Méthode selon l'une quelconque des revendications 12 à 18, **caractérisée en ce que** les zones lumineuses ($Z1, \dots, Zp$) émettent une lumière polarisée linéairement selon des directions différentes choisies parmi les orientations suivantes par rapport à la direction de propagation

de la lumière : 0°, 45°, 90°, et 135°.

[Revendication 20]

Méthode selon l'une quelconque des revendications de 15 à 19, **caractérisée en ce que** la sous-étape de détermination (320) comprend:

- une phase d'examen (321) de chaque image secondaire (IS1, ...ISn) pour obtenir pour chacune un résultat d'analyse d'un relief intégrant :
 - un signe lu ou un défaut reconnu et
 - un indice de confiance
- une phase de choix (322) dans laquelle un résultat final unique de lecture ou de reconnaissance est le résultat le plus certain choisi parmi lesdits résultats d'analyse de relief.

[Revendication 21]

Méthode selon l'une quelconque des revendications 15 à 19, **caractérisé e en ce que** la sous-étape de détermination (320) comprend :

- une phase de segmentation (321') de chaque image secondaire pour obtenir pour chacune au moins un objet d'intérêt,
- une phase d'association (322') des objets d'intérêt se correspondant entre images secondaires (IS1, ..., ISn) par superposition au moins partielle,
- une phase d'analyse (323') des objets d'intérêt associés en combinant des caractéristiques photométriques ou morphologiques desdits objets d'intérêt, afin d'obtenir au moins un résultat de lecture de signe ou de reconnaissance de défaut correspondant à chaque objet associé.

[Revendication 22]

Méthode selon l'une quelconque des revendications 15 à 21, **caractérisé e en ce que** la sous-étape de détermination (320) comprend :

- une phase de construction d'une image tertiaire (321'') intégrant une analyse des images secondaires (IS1, ..., ISn) pour constituer à partir de pixels choisis dans plusieurs images secondaires, dans une image tertiaire, un objet d'intérêt représentant un signe reconstitué,
- une phase de lecture de signe (322'') consistant à analyser le signe reconstitué pour en faire la lecture.

[Revendication 23]

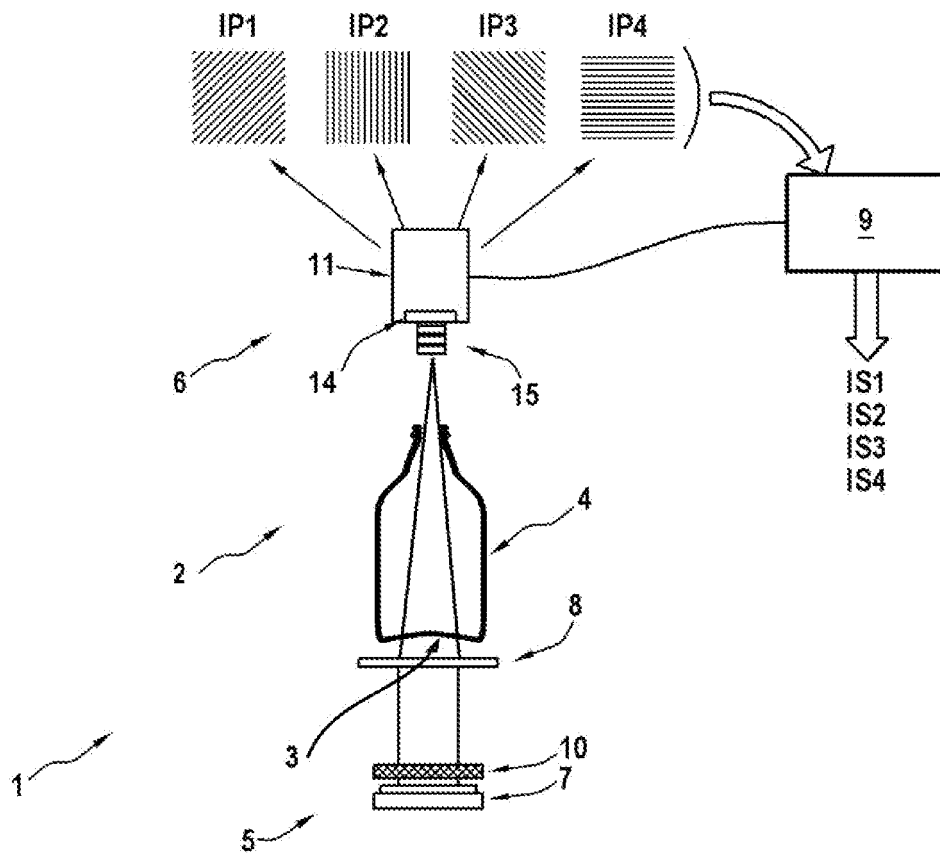
Méthode selon l'une des revendications 20 à 22, **caractérisée en ce que**

la phase d'examen (321), la phase d'analyse (323') ou la phase de lecture de signe (322'') est réalisée au moyen d'un classifieur issu d'un apprentissage supervisé, tel qu'un classifieur bayésien ou un réseau neuronal, entraîné à la lecture de signes ou à la reconnaissance de défauts.

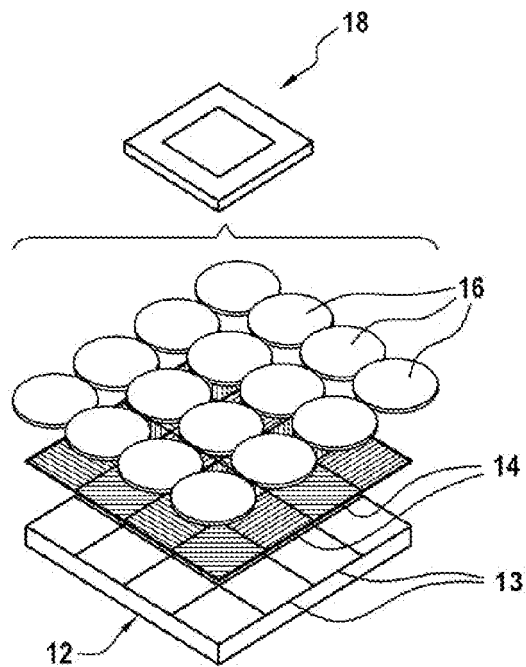
[Revendication 24] Méthode selon l'une quelconque des revendications 12 à 14 ou 16 à 19, **caractérisée en ce que** dans l'étape de traitement (300), l'analyse des images primaires (IP1, ..., IPn) comprend les sous-étapes suivantes :

- une sous-étape de présentation (330) consistant à présenter simultanément n images primaires (IP1, ..., IPn) en entrée d'un classifieur d'images (340) entraîné à la lecture ou à la reconnaissance de défauts dans des images primaires
- ou une sous étape (310) consistant à calculer n images secondaires (IS1, ..., ISn) pour les présenter en entrée d'un classifieur d'images (340) entraîné à la lecture ou à la reconnaissance de défauts dans des images secondaires,
- une sous-étape de classification (340) par le classifieur d'images (340) préalablement entraîné.

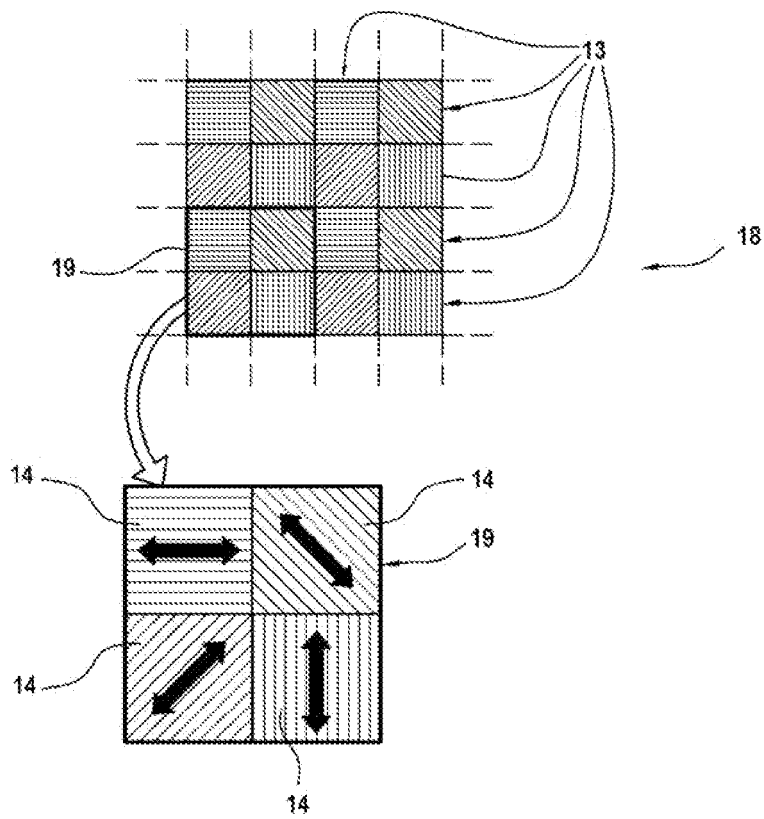
[Fig. 1]



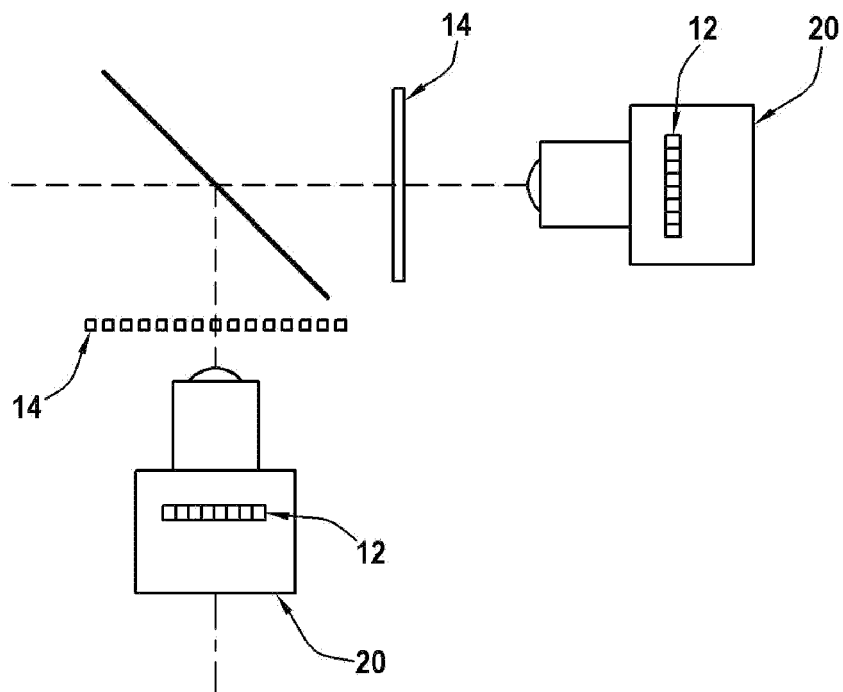
[Fig. 2]



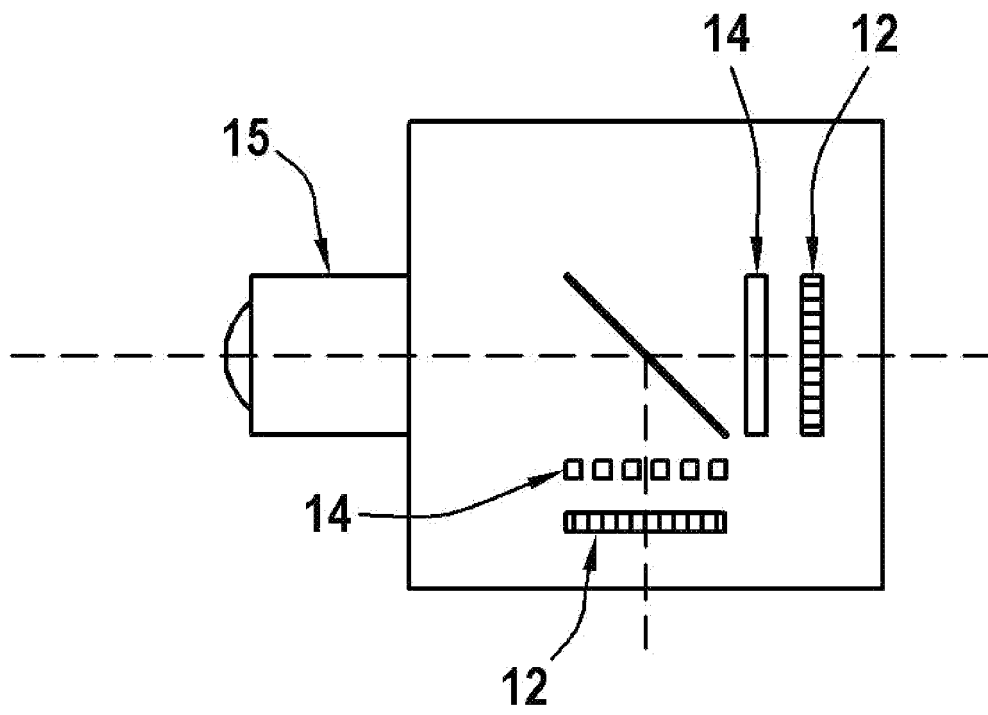
[Fig. 3]



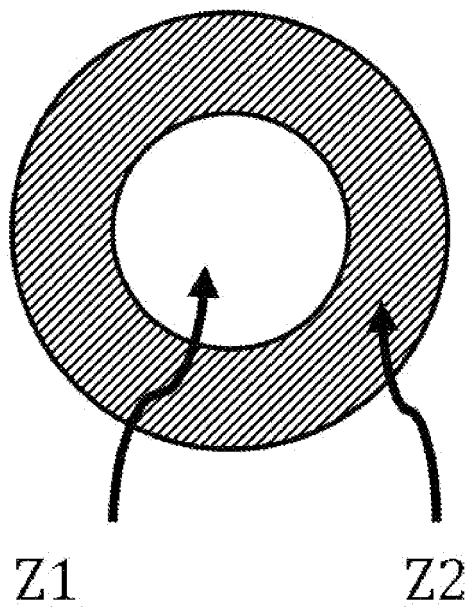
[Fig. 4]



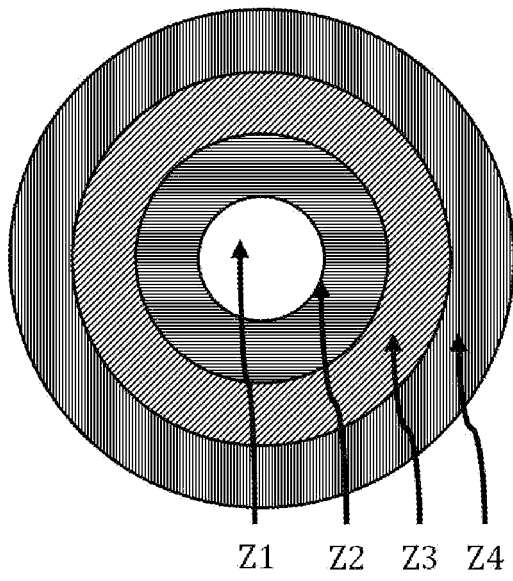
[Fig. 5]



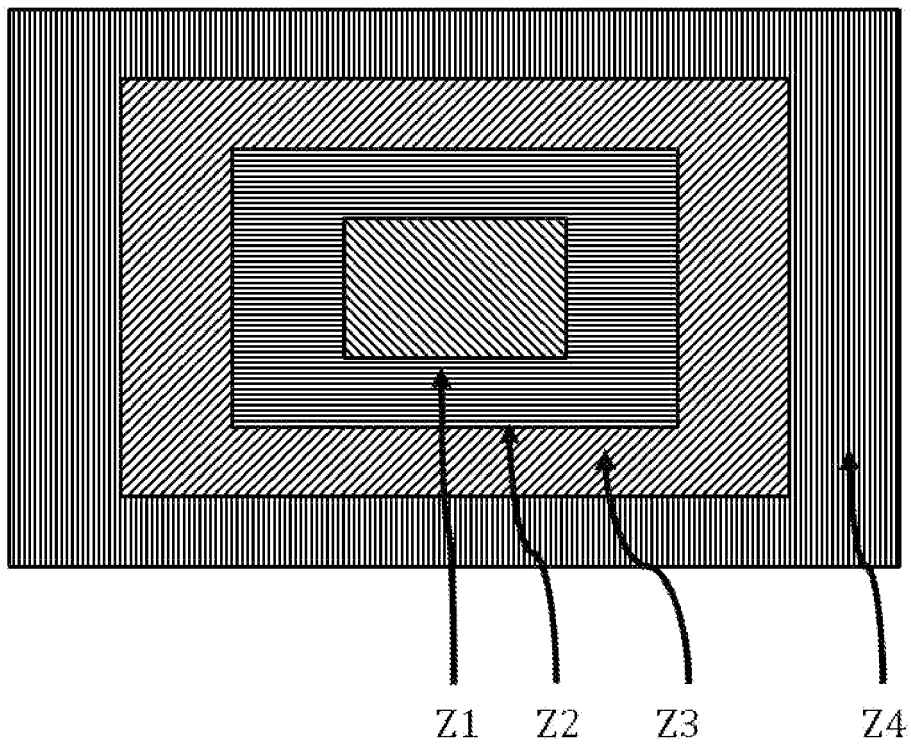
[Fig. 6]



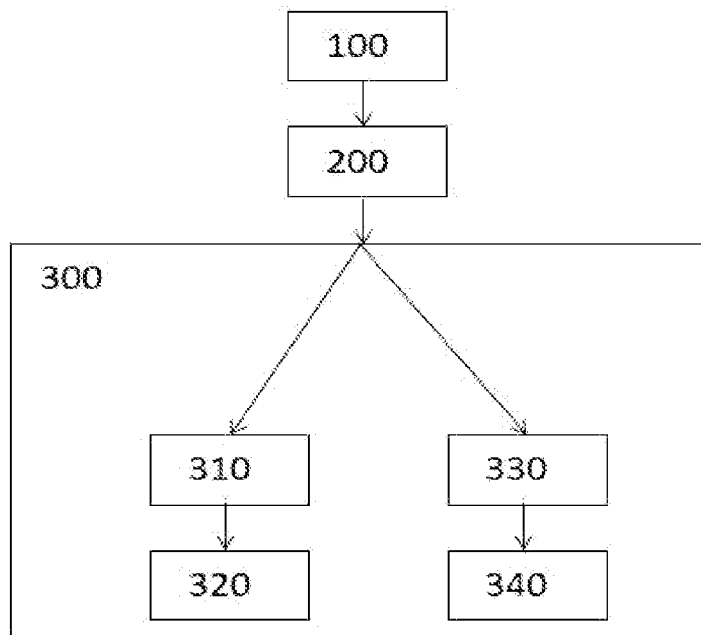
[Fig. 7]



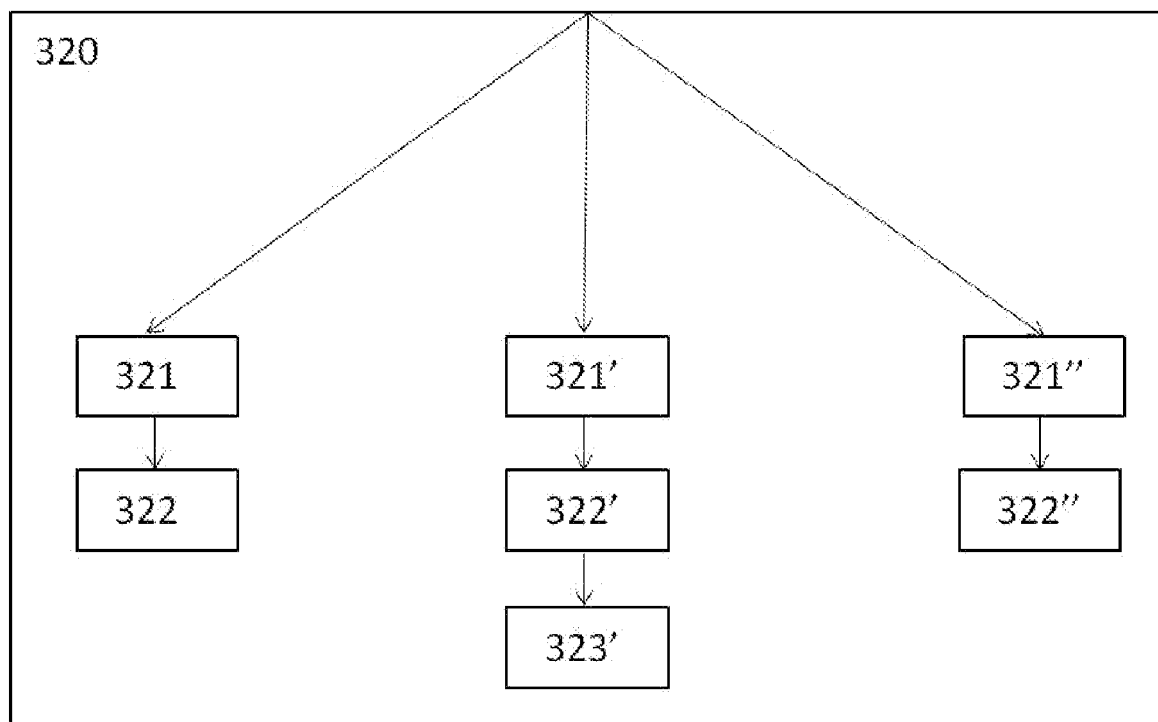
[Fig. 8]



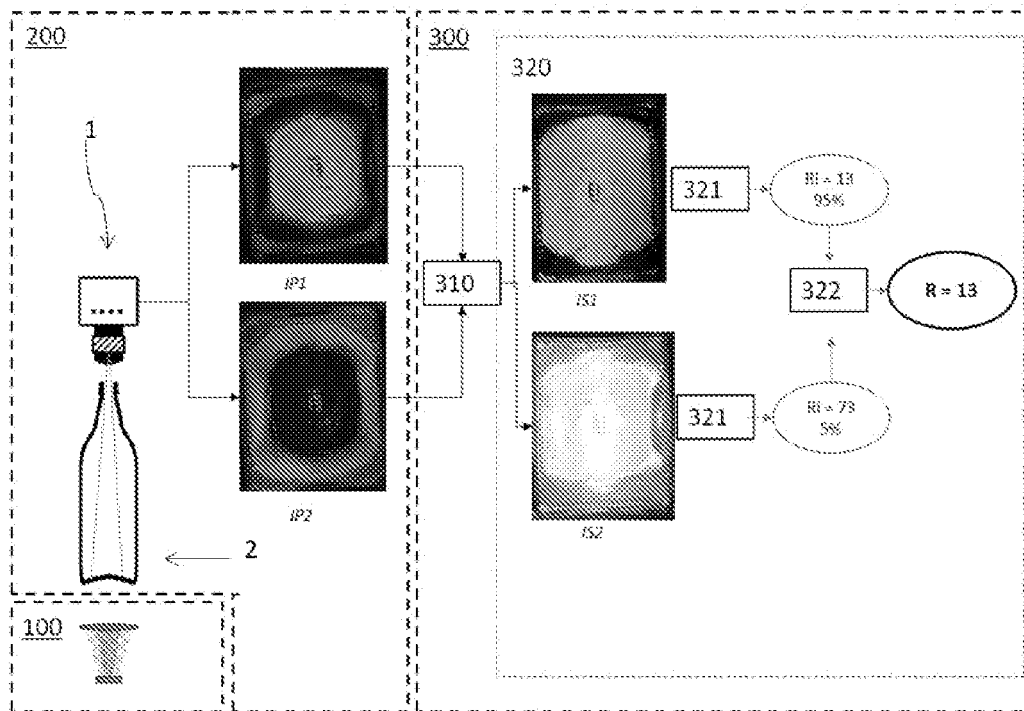
[Fig. 9]



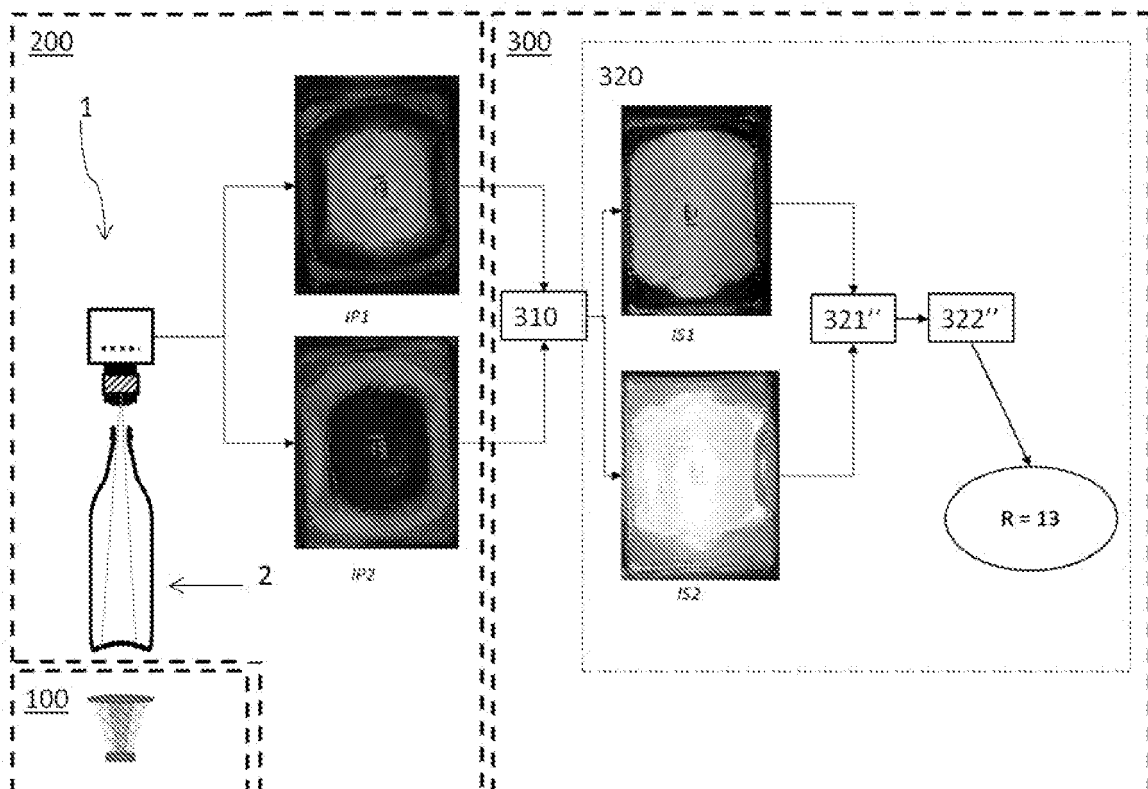
[Fig. 10]



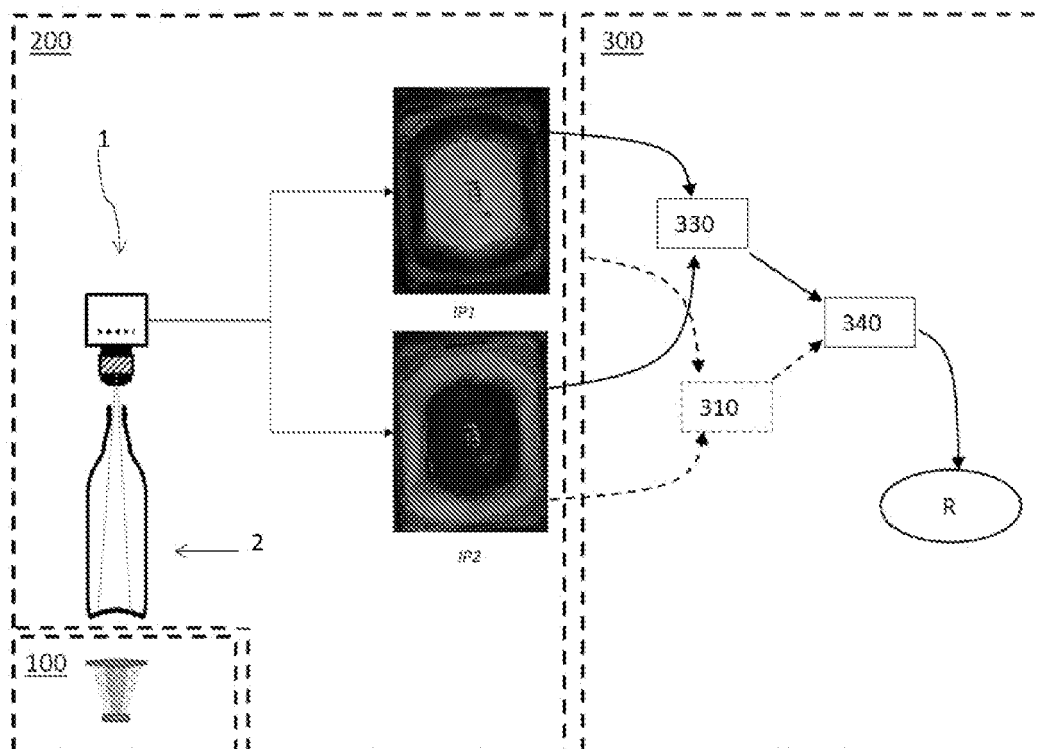
[Fig. 11]



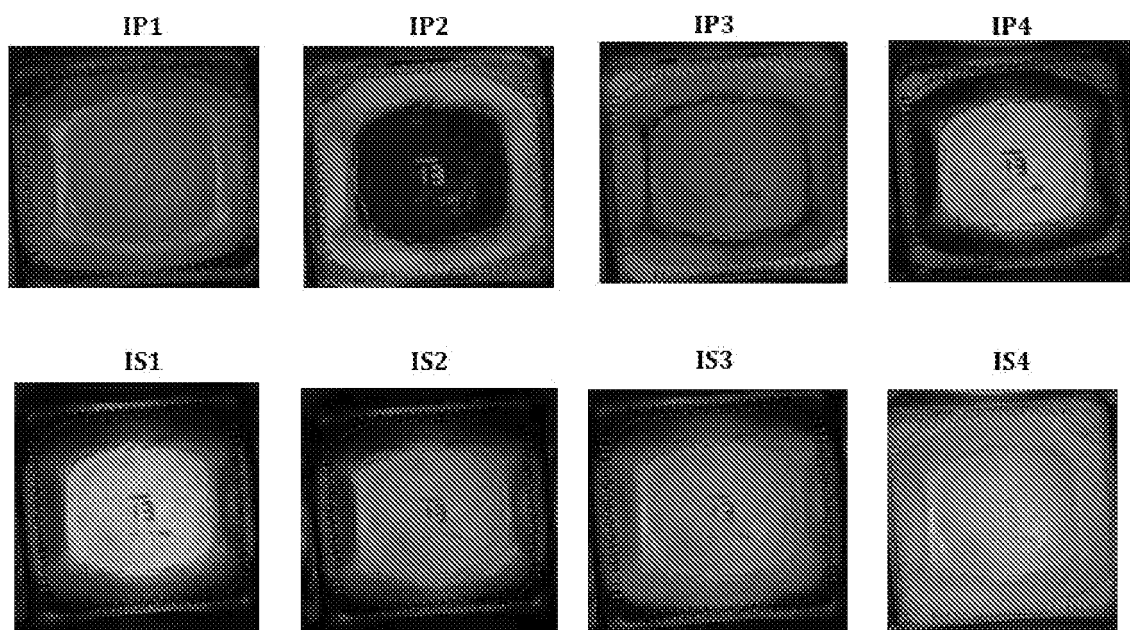
[Fig. 12]



[Fig. 13]



[Fig. 14]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 914584
FR 2214663

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2022/307987 A1 (NIEDERMEIER ANTON [DE] ET AL) 29 septembre 2022 (2022-09-29) * alinéas [0030], [0031], [0072], [0073]; revendication 1; figures 1-8C * -----	1-24	G01N21/958 G01N21/21 G01N21/90
A	DE 10 2021 115493 A1 (HEUFT SYSTEMTECHNIK GMBH [DE]) 15 décembre 2022 (2022-12-15) * alinéa [0026]; revendication 1; figure 1 *	1-24	
A	DE 10 2019 205653 A1 (KRONES AG [DE]) 22 octobre 2020 (2020-10-22) * alinéa [0030]; revendications 1, 9, 10; figures 1-4 *	1-24	
A	EP 3 312 592 A1 (SEIDENADER MASCHB GMBH [DE]) 25 avril 2018 (2018-04-25) * abrégé; revendication 1; figure 1 *	1-24	
A	DE 10 2019 205654 A1 (KRONES AG [DE]) 22 octobre 2020 (2020-10-22) * abrégé; revendications 1, 7; figures 1-4 *	1-24	
A	DE 10 2017 008406 A1 (HEUFT SYSTEMTECHNIK GMBH [DE]) 7 mars 2019 (2019-03-07) * alinéas [0004] - [0011]; revendication 1; figures 1-7 * -----	1-24	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01N
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
15 juin 2023		Koll, Hermann	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2214663 FA 914584**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **15-06-2023**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2022307987 A1	29-09-2022	CN 114127545 A	01-03-2022
		DE 102019208299 A1	10-12-2020
		EP 3980761 A1	13-04-2022
		US 2022307987 A1	29-09-2022
		WO 2020244818 A1	10-12-2020

DE 102021115493 A1	15-12-2022	DE 102021115493 A1	15-12-2022
		WO 2022263292 A1	22-12-2022

DE 102019205653 A1	22-10-2020	CN 113711019 A	26-11-2021
		DE 102019205653 A1	22-10-2020
		WO 2020212014 A1	22-10-2020

EP 3312592 A1	25-04-2018	DE 102016012585 A1	26-04-2018
		EP 3312592 A1	25-04-2018

DE 102019205654 A1	22-10-2020	CN 111830053 A	27-10-2020
		DE 102019205654 A1	22-10-2020

DE 102017008406 A1	07-03-2019	BR 112020001269 A2	21-07-2020
		CA 3069631 A1	14-03-2019
		CN 111133300 A	08-05-2020
		DE 102017008406 A1	07-03-2019
		EP 3679356 A1	15-07-2020
		JP 7016408 B2	04-02-2022
		JP 2020533576 A	19-11-2020
		KR 20200044054 A	28-04-2020
		RU 2742226 C1	03-02-2021
		US 2021088454 A1	25-03-2021
		WO 2019048575 A1	14-03-2019
