

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
02 janvier 2025 (02.01.2025)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2025/003618 A1

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

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2024/050859

(22) Date de dépôt international :
28 juin 2024 (28.06.2024)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2307021 30 juin 2023 (30.06.2023) FR

(71) Déposant : TIAMA [FR/FR] ; 215 Chemin du Grand Re-
voyet, 69230 SAINT-GENIS-LAVAL (FR).

(72) Inventeurs : BERNARDI, Gwendal ; 21 AVENUE
FERDINAND GAILLARD, 69530 BRIGNAIS (FR).

GOURGEON, Sylvain ; 44D CHEMIN DE MAR-
CONNIERE, 69440 MORNANT (FR). GARIN, Jean-
François ; 510 GRANDE RUE DE PLAINE, 69560 SAINT
ROMAIN EN GAL (FR).

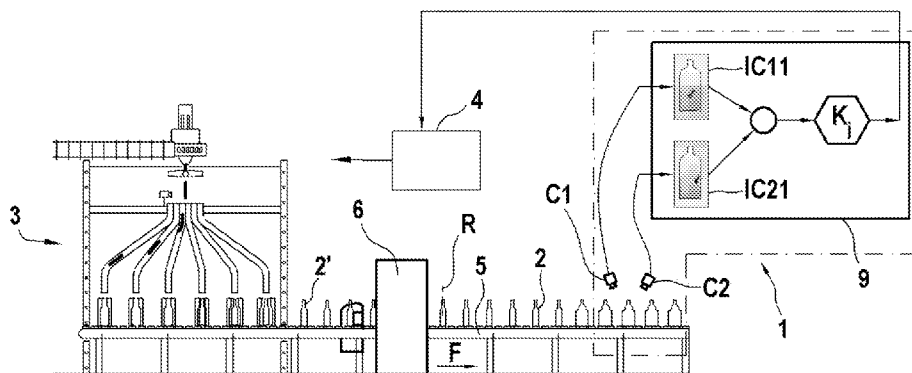
(74) Mandataire : UNDERWOOD, Nicolas et al. ; CABINET
BEAU DE LOMENIE, 51 Avenue Jean Jaurès, BP 7073,
69301 LYON CEDEX 07 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA,
NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO,

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR INSPECTING CONTAINERS IN AT LEAST TWO DIFFERENT OBSERVATION DIRECTIONS WITH A VIEW TO CLASSIFYING THE CONTAINERS

(54) Titre : PROCEDE ET DISPOSITIF POUR INSPECTER DES RECIPIENTS SELON AU MOINS DEUX DIRECTIONS D'OBSERVATION DIFFERENTES EN VUE DE CLASSER LES RECIPIENTS

[Fig. 1]



(57) Abstract: The invention relates to a method for inspecting containers made of transparent or translucent material (2) with a view to classifying a container, the method including a use phase comprising: - acquiring, for each container, at least a first and a second image (Ic) of at least one given portion of a container in two different observation directions and using at least one modality; - providing, as input for a deep learning model (NN), for each container, a record of at least the first and the second image of at least one portion of the container using at least one modality and in two different observation directions; and the deep learning model analysing, for each container, this record in order to determine a result class, from among a list of classes, to which this container portion belongs.

(57) Abrégé : Procédé et dispositif pour inspecter des récipients selon au moins deux directions d'observation différentes en vue de classer les récipients. Procédé d'inspection de récipients en matériau transparent ou translucide (2) en vue de classer un récipient, le procédé comportant; une phase d'utilisation comprenant : - l'acquisition pour chaque récipient, d'au moins une première et une deuxième images (Ic) d'au moins une même portion d'un récipient selon deux directions d'observation différentes et selon au moins une modalité; - la fourniture en entrée d'un modèle d'apprentissage profond (NN), pour chaque récipient, d'un enregistrement des au moins la première et la deuxième images d'au moins une portion du récipient selon au moins une modalité et selon deux directions d'observation différentes;

[Suite sur la page suivante]

RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS,
ZA, ZM, ZW.

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

Publiée:

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2(h))

- et l'analyse par le modèle d'apprentissage profond, pour chaque récipient, de cet enregistrement pour déterminer l'appartenance de cette portion de récipient, à une classe résultat parmi une liste de classes.

Description

Titre de l'invention : Procédé et dispositif pour inspecter des récipients selon au moins deux directions d'observation différentes en vue de classer les récipients

Domaine Technique

5 [0001] La présente invention concerne le domaine technique de l'inspection de récipients transparents ou translucides tels que par exemple des bouteilles, des pots ou des flacons en verre ou bien des préformes ou des bouteilles (y compris des récipients consignés) en matière plastique en vue de leur contrôle qualité afin de déceler et d'identifier d'éventuels défauts susceptibles d'affecter ces
10 récipients.

[0002] L'objet de l'invention trouve des applications particulièrement avantageuses pour analyser des caractéristiques physiques des récipients en vue de déterminer la présence ou l'absence de défauts et d'identifier des singularités optiques conformes telles que décors, reliefs fonctionnels, joints de moule ou des
15 singularités optiques non conformes correspondant à des défauts, comme par exemple des défauts de surface, tels que des plis ou des crevasses, des défauts internes à la matière, tels que des fissures, inclusions, ou bulles, des défauts dimensionnels comme des déformations.

Technique antérieure

20 [0003] Dans le domaine de la fabrication de récipients en verre, il est connu que le procédé de fabrication comprenant la fusion du verre puis son acheminement vers des unités de formage est mis en œuvre au moyen d'une installation de fabrication comprenant un four de fusion, un avant-cœur d'amenée de verre fondu vers une machine de formage généralement du type désigné par machine
25 IS. Les récipients qui viennent d'être formés par la machine de formage sont posés successivement sur un convoyeur de sortie pour former une file de récipients. Les récipients sont transportés en file par un convoyeur afin de les acheminer successivement à différents postes de traitement. En particulier les récipients formés sont amenés dans un four de cuisson, qui remonte leur
30 température pour ensuite les refroidir de manière contrôlée afin que

disparaissent les contraintes thermiques créées par le processus de formage.

D'autres procédés de formage de récipients en verre sont connus pour la verrerie de table, les isolateurs, les seringues et les ampoules. Par exemple, il existe des machines de formage telles que des presses rotatives et séquentielles, et non pas en sections alignées parallèles comme les machines IS. Il existe également, des machines qui transforment des préformes en tubes notamment de verre borosilicate pour réaliser des seringues et ampoules dédiées aux produits pharmaceutiques.

[0004] Il est connu d'inspecter systématiquement tous les récipients sortant de la machine de formage, à l'aide de différents équipements d'inspection, soit à une étape intermédiaire de leur formage, soit immédiatement après leur formage, lorsqu'ils défilent sur le convoyeur de sortie, étant encore chauds (ce que l'on appelle l'inspection à chaud), soit après leur recuisson dans l'arche de recuisson, dans des équipements d'inspection (ce que l'on appelle l'inspection à froid).

[0005] Par exemple, pour détecter des défauts de type glaçures dans des récipients défilant selon une direction de translation, la demande de brevet WO2021/209704 décrit un poste d'inspection comportant au moins six imageurs (typiquement 6, 12, 18 ou 24) formant des images et possédant un axe optique dirigé vers l'intérieur de la zone d'inspection en étant montés de manière que leurs axes optiques sont répartis autour de l'axe central des récipients en choisissant leurs angles d'azimut entre 0 et 360° par rapport à la direction de translation, de sorte que tous les points de la circonférence de la tranche des récipients soient représentés dans au moins une image acquise durant la traversée de la zone d'inspection par la tranche de récipient. Les récipients sont également illuminés par au moins douze projecteurs possédant chacun une direction de faisceau, tangente à un cylindre centré sur l'axe central du récipient, et les directions de faisceau d'éclairage sont réparties en azimut. Un tel dispositif permet de disposer de plusieurs directions de faisceaux et plusieurs directions d'observation pour garantir la détection des glaçures qui réfléchissent la lumière incidente en direction des imageurs.

[0006] Il est également connu d'inspecter systématiquement tous les récipients sortant du four de cuisson à l'aide de différents équipements d'inspection notamment des systèmes d'inspection des parois en transmission pour lesquels une source de lumière est disposée d'un côté du convoyeur et au moins une caméra (typiquement 2 à 6, 12 ou 24) est disposée de l'autre côté pour acquérir au moins une image formée par la lumière transmise à travers les parois du récipient. La demande brevet WO2023/052732 décrit un dispositif d'inspection pourvu de chaque côté du convoyeur, d'une série de trois caméras en vis-à-vis de laquelle un panneau lumineux est disposé.

[0007] Il est également connu par le brevet EP 1 109 008, une méthode d'analyse des images de récipients pour l'inspection à froid. Une étape de segmentation détecte des particularités dans les images et des régions autour des particularités. Des paramètres discriminants de chaque région correspondant à une particularité sont calculés et combinés avec une méthode de logique floue pour déterminer le type de particularités les plus probables parmi une liste de particularités correspondant à des défauts possibles. Il est ensuite décidé de la conformité de la région, en appliquant des critères différents selon le type de particularité retenu. Par exemple, un défaut de type plis sera éjecté pour une certaine surface alors qu'un défaut de type inclusion sera rejeté même s'il a une surface faible. Ce brevet enseigne notamment que les défauts n'ont pas tous la même criticité, ce qui justifie de chercher à en déterminer la nature avant de décider du rejet d'un récipient. Dans cette méthode, l'éclairage est une source étendue homogène, qui révèle correctement les défauts absorbants, mais dans laquelle les défauts réfractants sont visibles mais avec un faible contraste et donc avec une sensibilité insuffisante.

[0008] Toutefois, les inventeurs de la présente invention ont constaté que la détermination du type de particularités avec la méthode proposée dans EP 1 109 008 n'est pas assez fiable, et de plus il apparaît une difficulté pour identifier de façon sûre certains défauts et en particulier les « défauts d'aspect », à savoir les défauts visuels de tout type : inclusions (de corps étrangers tels que céramiques, métal), bulles, plis, rivières (rainures de surface), glaçures (fissures),

aillettes, trapèzes, taches de graisse, zones très minces, infondus. Ces défauts d'aspect se manifestent dans les images par des variations optiques locales, ou des pixels ayant des écarts par rapport à l'arrière-plan. Ces défauts d'aspect peuvent être critiques s'ils conduisent à un risque pour le consommateur, un

5 risque de casse ou une perte de fonctionnalité du récipient. Dans la mesure où la reconnaissance d'un défaut d'aspect d'après une image peut être ambiguë, des marges de sécurité sont prises lors de la détection. Il s'ensuit que des récipients sont considérés comme défectueux alors que ces récipients sont acceptables ou conformes.

10 [0009]Par ailleurs, il est à noter que dans les images peuvent être distingués des singularités optiques acceptables tels que par exemple des gravures ou des décors, des joints de moule faiblement marqués. Aussi, il apparaît le besoin d'identifier exactement la nature des défauts d'aspects pour identifier les défauts critiques en les distinguant des autres défauts. La prévention des défauts

15 critiques nécessite d'améliorer la fiabilité de classification des défauts d'aspect. Outre le fait que l'amélioration de l'identification des défauts améliore le rendement de la production, cette identification des défauts permet de déterminer leurs causes potentielles de sorte que l'installation de fabrication peut être pilotée en fonction de la catégorie des défauts détectés. En effet, sans

20 identification fiable des défauts détectés, aucune décision sûre de correction du procédé de fabrication ne peut être prise, que ce soit manuellement ou automatiquement.

[0010]La demande brevet WO2021/213864 propose un procédé pour inspecter de manière plus fiable, des récipients transportés par un convoyeur sur une ligne

25 notamment d'embouteillage. Les récipients sont transportés vers au moins une première unité d'inspection et une deuxième unité d'inspection comportant chacune un émetteur et un récepteur. Les unités d'inspection peuvent inspecter les récipients avec en tant qu'émetteur, de la lumière blanche, de la lumière laser, des ondes électromagnétiques à haute fréquence, des rayons gamma et/ou

30 des rayons X. Les récipients sont transportés entre l'émetteur et un récepteur tel qu'une caméra permettant d'acquérir avec la première unité d'inspection, des

premières données de mesure et avec la deuxième unité d'inspection, des
deuxièmes données de mesure. Selon ce procédé, les premières données de
mesure et les deuxièmes données de mesure sont combinées pour former des
données d'entrée commune pour une unité d'évaluation basée sur l'intelligence
5 artificielle et fournissant en sortie, un résultat d'inspection, tel qu'un niveau de
remplissage.

[0011]A titre d'unique exemple de réalisation, ce document décrit la détection du
niveau de remplissage de récipients en combinant l'imagerie par rayons X et
l'inspection avec une source de lumière infrarouge. Ce document précise qu'un
10 tel procédé peut être utilisé pour vérifier aussi la paroi latérale, le fond,
l'embouchure, le contenu du récipient comme par exemple une contamination
par des corps étrangers ou des résidus de produit. Le résultat de l'inspection peut
également être des défauts, tels que des dommages aux récipients, notamment
des fissures et/ou des éclats de verre.

15 [0012]Toutefois, la demande de brevet WO2021/213864 ne donne aucun
enseignement pour détecter ou identifier de manière certaine, notamment les
défauts d'aspect. Indépendamment de l'obligation de détecter ces défauts, il
apparaît le besoin d'identifier exactement la nature des défauts d'aspects pour
identifier les défauts d'aspect critiques par rapport aux autres défauts pouvant
20 être considérés comme non critiques. Une identification erronée d'un type de
défaut sur un récipient peut conduire au rejet de ce récipient alors qu'une
identification correcte de ce défaut aurait permis d'identifier le récipient comme
bon, ou bien au non-rejet d'un défaut critique générant une non-qualité grave,
ou bien à une correction inadaptée du procédé de fabrication ce qui peut aller
25 jusqu'à le déstabiliser, ou bien encore, à la non prise en compte d'une erreur de
procédé car si un système génère trop fréquemment des fausses alarmes,
l'exploitant peut finir par ne plus prendre en compte correctement les indications
du système d'inspection.

[0013]Il est également connu par la demande de brevet EP 3 679 356, un dispositif
30 d'inspection de récipients permettant d'augmenter la fiabilité de détection, en
particulier pour pouvoir distinguer de manière fiable des éléments décoratifs par

rapport à une contamination ou des salissures. Le dispositif comporte une source de lumière émettant dans des zones spatialement séparées, un rayonnement avec différentes gammes de longueurs d'ondes et d'intensité. Cette source de lumière illumine le récipient à examiner et une caméra couleur est configurée pour détecter le rayonnement émis par la source et ayant traversé le récipient.

[0014] Le dispositif comporte également un dispositif d'évaluation qui est conçu pour analyser l'image d'intensité pour y déterminer des pixels ou des régions qui présentent une intensité différente de celle de leur voisinage pour en déduire la présence d'un défaut absorbant la lumière tel qu'une salissure. Le dispositif d'évaluation permet d'analyser les images couleurs pour déterminer des pixels ou des régions qui présentent une couleur différente de celle de leur voisinage pour en déduire la présence d'éléments réfractant la lumière tels que les éléments décoratifs. Ainsi, si un contraste de luminosité est observé localement et qu'en même temps il n'y a pas de contraste de couleur dans cette zone, la présence d'une contamination dans cette zone est détectée par l'unité d'évaluation. Si un contraste de luminosité local coïncide avec un contraste de couleur local, l'unité d'évaluation détecte la présence d'un élément décoratif.

[0015] L'unité d'évaluation peut également identifier des structures qui provoquent un contraste local de couleur mais pratiquement aucun contraste local de luminosité ou seulement un faible contraste local de luminosité. Par exemple, des copeaux dans le verre ou des gouttelettes d'eau peuvent provoquer un tel contraste local de couleur, alors que la lumière qui brille à travers peut rayonner à travers ces zones sensiblement sans perte de luminosité.

[0016] Un tel dispositif d'inspection permet de distinguer les éléments décoratifs des salissures ou contamination. En d'autres termes, les défauts réfractant la lumière sont distingués des défauts absorbants la lumière. Toutefois, ce dispositif d'inspection ne permet pas de distinguer entre eux les défauts réfractant la lumière, comme indiqué par cette demande notamment en ce qui concerne des inclusions de verre et des gouttelettes d'eau.

[0017] De l'état de la technique antérieure, on connaît également le document JP 4886830 qui décrit l'inspection d'une bouteille en rotation pour faire apparaître

une crevasse. Ce document propose de traiter les images, mais reste silencieux sur les méthodes de traitement d'image à utiliser. Le document WO 2018/061196 a un enseignement proche de ce document, et il présente les mêmes lacunes.

[0018] On connaît également le document EP 3180135 qui décrit une acquisition d'images en stéréoscopie pour supprimer les parties d'images visibles dans les deux images stéréoscopique.

[0019] Enfin, on connaît de l'état de la technique antérieure le document EP 4078156 qui décrit l'acquisition de plusieurs images d'un récipient (en plongée et en contre plongée). Des traitements des images individuelles sont divulgués.

[0020] Il ressort des solutions techniques d'inspection de l'art antérieur qu'il apparait le besoin de fiabiliser la classification des singularités optiques apparaissant dans les images de manière à détecter si le récipient présente ou non un défaut et à reconnaître ces singularités optiques afin de pouvoir appliquer un critère d'acceptation spécifique pour chaque type de singularité optique détecté. La reconnaissance de ces singularités optiques améliore le rendement de la production en optimisant le ratio de détection sur les faux rejets. Cette identification permet de déterminer leurs causes potentielles de sorte que l'installation de fabrication peut être pilotée en fonction de la catégorie des défauts détectés.

Exposé de l'invention

[0021] La présente invention vise à remédier aux inconvénients de l'art antérieur en proposant une méthode de contrôle de la qualité des récipients, conçue pour réaliser une détection plus efficace des défauts en assurant leur identification de manière plus sûre et certaine afin d'optimiser le tri ou le classement des récipients.

[0022] Un objet de l'invention est de proposer une méthode de contrôle permettant de classer chaque récipient selon au moins une classe prise parmi une liste de classes comportant en particulier une classe absence de défaut, une classe présence de défaut, une classe relevant d'une singularité optique normale et/ou une classe relevant d'une singularité optique anormale.

[0023] Pour atteindre de tels objectifs, l'objet de l'invention concerne un procédé d'inspection de récipients en matière transparente ou translucide (typiquement en verre ou en plastique, la personne du métier étant en mesure d'identifier les récipients considérés comme transparents ou translucides) en vue de classer un

5 récipient, le procédé comportant;

une phase d'utilisation comprenant :

- l'acquisition pour chaque récipient, d'au moins une première et une deuxième images d'au moins une même portion d'un récipient selon deux directions d'observation différentes et selon au moins une modalité;

10 - la fourniture en entrée d'un modèle d'apprentissage profond, pour chaque récipient, d'un enregistrement des au moins la première et la deuxième images d'au moins une portion du récipient selon au moins une modalité et selon deux directions d'observation différentes ;

15 - et l'analyse par le modèle d'apprentissage profond, pour chaque récipient, de cet enregistrement pour déterminer l'appartenance de cette portion de récipient, à une classe résultat parmi une liste de classes.

[0024] Ainsi, un unique modèle d'apprentissage profond est ici configuré pour recevoir en entrée au moins deux images et délivrer une appartenance à une classe pour le récipient, sur la base des deux images. Le modèle d'apprentissage

20 profond peut par exemple comprendre un nombre d'entrées choisi pour recevoir en entrée au moins deux images (ou des résultats de traitement de ces deux images si des traitements ou prétraitements sont réalisés sur les images).

[0025] Dans le procédé, les images sont des images d'au moins une portion de récipient. Ainsi, il peut s'agir d'une image acquise par un capteur, d'une portion

25 d'une image acquise par un capteur, d'une image d'un récipient en entier, d'une image d'une partie de récipient. Les au moins deux images visent la même portion.

[0026] Le modèle d'apprentissage profond peut être un réseau de neurones artificiels (typiquement un réseau de neurones avec des couches de convolution) ou un

30 modèle de type transformeur.

[0027] Par exemple, pour un réseau de neurones artificiels, le nombre de neurones d'entrée peut correspondre au cumul des nombres de pixels des deux images.

[0028] En d'autres termes, une fusion de données multi-vues est mise en œuvre avant la classification.

5 [0029] Selon un mode de réalisation particulier et non limitatif, la fusion multi-vues peut se faire au moyen de techniques de concaténation d'images, de concaténation par canaux, d'addition pixel-à-pixel, ou encore sur des vecteurs représentant des informations des images et en additionnant les vecteurs, en faisant une multiplication élément à élément des vecteurs ou encore par
10 concaténation des vecteurs. L'opération de fusion a pour but de préserver l'information utile des données à fusionner tout en excluant l'information redondante. Cette opération peut s'effectuer à tout moment dans le processus de reconnaissance de défaut et peut se produire à plusieurs reprises.

[0030] Conformément à l'invention, plusieurs images d'une portion d'un récipient
15 sont réalisées avec des directions d'observations différentes afin d'améliorer la reconnaissance du contenu des images en vue de reconnaître les singularités optiques. En effet, les inventeurs ont remarqué que certains défauts vus sous un angle particulier ont une signature qui ne permet pas de façon certaine d'en déterminer le type. Par exemple, la forme de l'image du défaut sous une seule
20 direction d'observation n'est pas toujours suffisamment caractéristique, en raison de différents phénomènes optiques. Typiquement, le défaut n'est pas visible entièrement dans aucune image et/ou le défaut est déformé par réfraction de la lumière à travers la paroi du récipient et/ou son apparence est différente en photométrie et géométrie selon des directions d'observations différentes.

25 [0031] Lorsqu'un défaut est observé selon différentes directions, son image est transformée d'une vue à l'autre, d'une part car ces deux vues sont deux projections perspectives différentes du même objet, mais aussi parce que la lumière le traverse selon des parcours différents pour les différentes vues, subissant des réfractions ou réflexion différentes, ce qui produit des contrastes et
30 donc une photométrie d'apparence différente. Il a été observé que la déformation d'un défaut entre deux vues différentes, est une caractéristique de

chaque défaut, de sa géométrie et de sa photométrie apparentes. Autrement dit, prendre en compte la façon dont l'image d'un défaut varie lorsque sa direction d'observation varie permet d'identifier de manière plus précise le type du défaut.

[0032] Il est à noter également que lorsqu'un défaut est observé selon des directions

5 d'observation différentes, il convient de considérer que c'est le même défaut de sorte qu'il est faux de considérer que le récipient comporte deux défauts. Or généralement selon l'art antérieur, chaque vue est traitée séparément. Ceci est suffisant pour un simple comptage de défauts sans discernement, mais cette technique ne convient pas si l'on souhaite compter séparément les types de

10 défaut. En effet, les systèmes de classification peuvent attribuer à tort, aux deux observations d'un même défaut, un type différent et il n'existe pas de solution adaptée pour favoriser le diagnostic selon l'une ou l'autre des observations. C'est la raison pour laquelle effectuer une fusion des données multi-vues permet

15 d'obtenir un verdict plus fiable, tenant compte directement de plusieurs angles de vue pour un même défaut à catégoriser.

[0033] On peut noter que le modèle d'apprentissage profond peut être précédé par un ou plusieurs modules de traitement traitant individuellement chaque image, les résultats de ces traitements étant ensuite fournis en entrée du modèle d'apprentissage profond.

20 [0034] A titre indicatif, ces traitements peuvent être mis en œuvre eux-mêmes par des modèles d'apprentissage, ou par des modèles classiques qui ne sont pas des modèles d'apprentissage. Cela étant dit, la classification, c'est-à-dire la détermination de l'appartenance à une classe par analyse, tient compte d'éléments provenant de chaque image, de manière conjointe.

25 [0035] En d'autres termes, il y a un traitement conjoint des images qui ont éventuellement subi un traitement (que l'on peut appeler un prétraitement).

[0036] Selon un mode de mise en œuvre particulier, le procédé comporte :

- la mise à disposition d'un système d'inspection pour acquérir des images selon au moins une première modalité et une deuxième modalité ;
- 30 - l'acquisition pour chaque récipient, d'un enregistrement d'au moins une même

portion d'un récipient comportant au moins deux images selon au moins deux directions d'observation différentes selon la première modalité et au moins une image selon la deuxième modalité.

[0037] Selon un mode de mise en œuvre particulier, le procédé comporte la mise à disposition d'un système d'inspection configuré pour acquérir des images d'une même portion d'un récipient selon au moins deux directions d'observation différentes et selon au moins une modalité prise parmi la liste des modalités suivantes : d'absorption, de biréfringence, de réfraction, de réflexion, de rayonnement infrarouge.

[0038] Selon un mode de mise en œuvre particulier, on classe chaque portion de récipient selon au moins une classe prise parmi une liste de classes comportant au moins une classe absence de défaut dans la portion et une classe présence de défaut dans la portion.

[0039] Selon un mode de mise en œuvre particulier, on classe chaque portion de récipient selon au moins une classe prise parmi une liste de classes comportant au moins une classe comprenant la présence dans la portion, d'au moins des défauts tels que notamment, trapèze, inclusion, bulle.

[0040] Selon un mode de mise en œuvre particulier, on classe chaque portion de récipient selon au moins une classe prise parmi une liste de classes comportant au moins une classe comprenant la présence dans la portion, d'au moins une singularité telle qu'un marquage, un joint de moule, une encoche, un filetage, une impression, une piqure, une anse, une contre bague.

[0041] Selon un mode de mise en œuvre particulier, le procédé comporte l'acquisition pour chaque récipient présentant un axe central, d'au moins quatre images d'au moins une même portion d'un récipient selon quatre directions d'observation différentes et selon au moins la première modalité, les directions d'observation étant réparties autour de l'axe central deux à deux selon un angle d'azimut d'au moins 45°.

[0042] Selon un mode de mise en œuvre particulier, on compare au moins une caractéristique de tri à un critère de rejet, la caractéristique de tri et le critère de

rejet étant dépendants de la classe d'appartenance pour décider de la conformité ou non du récipient, la caractéristique de tri étant calculée sur au moins une image du récipient selon une modalité.

[0043] Selon un mode de mise en œuvre particulier, est mise en œuvre une étape de prise en compte d'au moins un défaut identifié pour en déduire une information d'ajustement pour au moins un paramètre de contrôle d'une installation de fabrication des récipients.

[0044] Selon un mode de mise en œuvre particulier :

- le modèle d'apprentissage profond associe un score de confiance au classement des récipients faisant partie d'une production inspectée;
- le classement des récipients est pris en compte uniquement lorsque le score de confiance dépasse un seuil de confiance pour;
- comptabiliser les défauts par classe de défauts ;
- et/ou décider du rejet du récipient ;
- et/ou déclencher une alarme de présence d'au moins un défaut critique dans la production inspectée.

[0045] La comptabilisation peut impliquer la mise en œuvre de statistiques temporelles (fréquences de défauts). Par exemple, on peut délivrer des statistiques temporelles pour une fenêtre glissante afin de déterminer des tendances (émergence/apparition de défauts, dérive dans le procédé, etc.).

[0046] L'invention propose également un procédé d'apprentissage d'un modèle d'apprentissage profond pour l'inspection de récipients en matière transparente ou translucide en vue de classer un récipient, le procédé comprenant une phase de construction comportant :

- une mise à disposition d'un ensemble d'apprentissage comportant des enregistrements composés chacun d'au moins une première et une deuxième images d'une même portion de récipient selon deux directions d'observation différentes et selon au moins une modalité;
- une mise à disposition d'au moins un modèle d'apprentissage profond de neurones ayant été entraîné sur un ensemble d'apprentissage comportant des enregistrements composés chacun d'au moins une première et une deuxième

images d'une même portion de récipient selon deux directions d'observation différentes et selon au moins une modalité, le modèle d'apprentissage profond déterminant, au moins une classe d'appartenance pour ladite portion parmi une liste des classes.

5 [0047]Ce procédé d'apprentissage peut être configuré pour obtenir des modèles selon tous les modes de mise en œuvre du procédé d'inspection défini ci-avant.

[0048]Selon un mode de mise en œuvre particulier, le procédé comporte une mise à disposition d'au moins un modèle d'apprentissage profond ayant été entraîné sur un ensemble d'apprentissage comportant des enregistrements composés chacun
10 d'au moins deux images d'une même portion de récipient selon des directions d'observation différentes d'au plus de 5° lors de l'acquisition des images.

[0049]Selon un mode de mise en œuvre particulier, le procédé comporte une mise à disposition d'au moins un modèle d'apprentissage profond ayant été entraîné sur un ensemble d'apprentissage comportant des enregistrements composés chacun
15 d'images d'une même portion de récipient selon des directions et des modalités différentes.

[0050]L'invention propose également un procédé comprenant une phase de construction du procédé d'apprentissage défini ci-avant pour obtenir un modèle d'apprentissage profond, et une phase d'inspection du procédé d'inspection défini
20 ci-avant utilisant le modèle d'apprentissage profond de ladite phase de construction.

[0051]Selon un mode de mise en œuvre particulier, pendant la phase de construction, les enregistrements d'images sont ordonnés selon une séquence déterminée tandis que pendant la phase d'utilisation, les enregistrements
25 d'images sont ordonnés selon une séquence identique de la séquence de la phase de construction.

[0052]En fait, les images sont ordonnées en fonction par exemple d'une direction d'observation et d'une modalité propre à chaque image, de manière identique au sein de chaque enregistrement. Un enregistrement comprend donc un ensemble

d'images pour un récipient, capturées par un dispositif analogue au dispositif d'inspection.

[0053] Aussi, par séquence, on entend une suite ordonnée d'éléments, l'ordre pouvant être fixé par les directions et les modalités.

5 [0054] L'invention propose également un dispositif d'inspection de récipients en matière transparente ou translucide sortant d'une installation de fabrication ou de récupération en vue de classer les récipients en relation de défauts, le dispositif comportant :

- 10 - un système d'inspection comportant au moins une caméra disposée pour récupérer de la lumière ou un rayonnement (par exemple infrarouge) provenant d'au moins une portion d'un récipient et configuré pour acquérir des images d'une même portion d'un récipient selon au moins deux directions d'observation différentes et selon au moins une première modalité;
- 15 - une unité de traitement d'informations reliée au système d'inspection et comprenant un modèle d'apprentissage profond , le modèle d'apprentissage profond déterminant, au moins une classe d'appartenance pour ladite portion parmi une liste des classes, le modèle d'apprentissage profond recevant en entrée, pour chaque récipient, un enregistrement des au moins deux images d'au moins une portion du récipient selon la première modalité et selon deux
- 20 directions d'observation différentes, le modèle d'apprentissage profond, pour chaque récipient, analysant cet enregistrement pour déterminer l'appartenance de cette portion de récipient, à une classe résultat parmi la liste de classes.

[0055] Ce dispositif peut être configuré pour la mise en œuvre du procédé d'inspection tel que défini ci-avant.

25 [0056] L'invention propose également un dispositif configuré pour la mise en œuvre du procédé d'apprentissage défini ci-avant.

[0057] L'invention propose également un modèle d'apprentissage profond obtenu par le procédé d'apprentissage défini ci-avant.

[0058] Diverses autres caractéristiques ressortent de la description faite ci-dessous en référence aux dessins annexés qui montrent, à titre d'exemples non limitatifs, des formes de réalisation de l'objet de l'invention.

Brève description des dessins

5 [0059][Fig. 1] La figure 1 représente un exemple de réalisation d'une installation de fabrication de récipients inspectés par un dispositif d'inspection conforme à l'invention.

[0060][Fig. 2] La figure 2 est une vue schématique illustrant un exemple de réalisation d'un dispositif d'inspection conforme à l'invention mettant en œuvre
10 deux caméras adaptées par exemple pour prendre simultanément, deux images d'un récipient sous deux directions d'observations différentes.

[0061][Fig. 3A] La figure 3A est une vue schématique de dessus montrant la prise d'images successives, par une caméra, sous une première direction d'observation d'un récipient se déplaçant en translation.

15 [0062][Fig. 3B] La figure 3B est une vue schématique de dessus montrant la prise d'images, par une caméra, sous une deuxième direction d'observation d'un récipient déplacé en translation par rapport à sa position illustrée à la figure 3A.

[0063][Fig. 3C] La figure 3C est une vue schématique de dessus montrant la prise d'images, par une caméra, sous une troisième direction d'observation d'un
20 récipient déplacé en translation par rapport à sa position illustrée à la figure 3B.

[0064][Fig. 4] La figure 4 est une vue schématique illustrant un exemple de réalisation d'un dispositif d'inspection conforme à l'invention mettant en œuvre deux caméras adaptées pour obtenir de chacune trois images d'analyse selon trois modalités différentes, afin de constituer un enregistrement d'images
25 d'analyse comportant au moins 6 images de récipient.

[0065][Fig. 5] La figure 5 est une vue schématique illustrant encore un autre exemple de réalisation d'un dispositif d'inspection conforme à l'invention adaptés pour prendre simultanément, trois images d'un récipient sous trois directions d'observations différentes et analysées par quatre réseaux de neurones qui
30 collaborent pour classer le récipient.

[0066][Fig. 6] La figure 6 est une vue schématique illustrant encore un autre exemple de réalisation d'un dispositif d'inspection conforme à l'invention mettant en œuvre deux caméras adaptées pour prendre simultanément, deux images d'un récipient sous deux directions d'observations différentes et analysées par des algorithmes de détection de singularités d'images puis d'un réseau de neurones qui classe le récipient.

[0067][Fig. 7A] La figure 7A est montre un agencement d'une pluralité de caméras agencées selon différentes élévations.

[0068][Fig. 7B] La figure 7B correspond à l'agencement de la figure 7A mais où les différents azimuts sont visibles.

[0069][Fig. 8A] La figure 8A est une photographie d'un récipient sur laquelle un défaut est visible.

[0070][Fig. 8B] La figure 8B est une photographie du récipient de la figure 8A sur laquelle le défaut n'est plus visible.

[0071][Fig. 9A] La figure 9A montre une photographie d'un autre récipient sur laquelle un défaut est visible.

[0072][Fig. 9B] La figure 9B est une photographie du récipient de la figure 9A sur laquelle le défaut est toujours visible, mais avec une apparence différente.

[0073][Fig. 9C] La figure 9C montre comment sont agencées les caméras utilisées pour l'obtention des images des figures 9A et 9C.

[0074][Fig. 10A] La figure 10A est une photographie d'encore un autre récipient sur lequel un défaut en deux parties est visible.

[0075][Fig. 10B] La figure 10B est une photographie du récipient de la figure 10A sur lequel le défaut reste visible avec un aspect différent.

Description des modes de réalisation

[0076] Dans la présente description, on utilise des réseaux de neurones artificiels en tant que modèle d'apprentissage profond. L'invention n'est néanmoins nullement limitée à ces réseaux de neurones et peut être adaptée à une utilisation des transformeurs, ou encore à d'autres modèles d'apprentissage.

[0077] Les figures 1 et 2 illustrent un dispositif 1 conforme à l'invention permettant d'inspecter des récipients 2 sortant d'une installation 3 de tous types connus en soi. L'installation 3 met à disposition des récipients 2 transparents ou translucides tels que par exemple des bouteilles, des pots, des flacons, des seringues, des ampoules ou des préformes. De manière générale, un récipient 2 présente un axe central R, considéré comme un axe de symétrie, voire un axe de symétrie de révolution. Ces récipients 2 peuvent être réalisés en différents matériaux tels qu'en verre, en matière plastique ou en matière première renouvelable comme le blé, la canne à sucre ou le maïs par exemple. Ces récipients 2 peuvent être remplis ou vides. L'installation 3 assure ainsi la fabrication des récipients 2 voire leur décoration ou habillage, remplissage et fermeture. Il est à noter que l'installation 3 est à même de fabriquer les récipients 2 neufs à partir de matières premières ou recyclées, ou de reconditionner des récipients récupérés. Selon un exemple préféré de mise en œuvre, l'installation 3 est une installation de formage de laquelle sortent des récipients en verre vide.

[0078] De manière classique, l'installation 3 comporte un calculateur de production 4 permettant de superviser les différentes fonctionnalités de l'installation 3 au cours de la fabrication des récipients. Le calculateur de production 4 est typiquement pour une machine de formage de récipients en verre, un séquenceur qui commande des actionneurs pneumatiques ou motorisés ainsi que des valves contrôlant la circulation de l'air de refroidissement ou la pression de soufflage pour les moules de fabrication.

[0079] En sortie de l'installation 3, les récipients 2 sont pris en charge par un convoyeur de sortie 5 pour former une file de récipients en étant dans l'exemple illustré, posés successivement sur le convoyeur de sortie. Les récipients 2 sont transportés en file par le convoyeur 5 selon une direction de déplacement F afin de les acheminer successivement à différents postes de traitement et/ou de contrôle et en particulier à une arche de cuisson 6 (soit un poste de traitement) et au dispositif d'inspection 1 conforme à l'invention (soit un poste de contrôle). La direction de déplacement F des récipients 1 s'établit selon une trajectoire rectiligne d'axe horizontal X d'un repère orthonormé direct X, Y, Z comportant un

axe vertical Z perpendiculaire à l'axe horizontal X et un axe transversal Y perpendiculaire à l'axe vertical Z et à l'axe horizontal X, et les axes X et Y étant dans un plan parallèle à un plan de convoyage Pc des récipients qui est considéré comme horizontal. Le dispositif d'inspection 1 conforme à l'invention peut également, dans une variante, être installé en aval de l'installation 3 et en amont de l'arche de cuisson 6, lorsque les récipients chauds 2' sont transportés en file par le convoyeur 5' vers l'arche. Autrement dit, le dispositif d'inspection 1 conforme à l'invention peut être installé en amont ou aval de tout traitement de récipients formés et transporté selon le déplacement F.

10 [0080]Le dispositif d'inspection 1 selon l'invention vise à mettre en œuvre une méthode pour détecter pour chaque récipient 2 défilant en translation, si le récipient présente un défaut et à identifier pour un récipient présentant un défaut, un type de défaut parmi une famille de défauts possibles.

[0081]Le dispositif d'inspection 1 conforme à l'invention comporte un système d'inspection 7 visible sur la figure 2 et comportant au moins une caméra Ci (C1, C2,...Ci,...Cn, avec i allant de 1 à n) disposée pour récupérer de la lumière ou un rayonnement (par exemple infrarouge) provenant d'au moins une portion d'un récipient 2 et configuré pour acquérir des images d'une même portion d'un récipient selon au moins deux directions d'observation D1, D2 différentes et selon au moins une première modalité d'inspection.

[0082]Chaque caméra Ci comporte de manière classique (figures 3A à 3C), un objectif optique B ayant un centre optique O et un axe optique A, permettant la formation d'une image optique sur un capteur photo-électrique E, linéaire ou matriciel, généralement plan, positionné dans le plan focal de l'objectif. Les images acquises par les caméras Ci sont transmises à une unité électronique de traitement d'informations 9 faisant partie du dispositif d'inspection 1, mais pouvant éventuellement être déportée. Cette unité électronique de traitement d'informations 9 est un système informatique de tous types comportant ordinateurs, périphériques externes (unité d'affichage, unité de stockage, claviers, connexion à différents réseaux d'usine, connexion aux caméras...),

équipé de programmes mettant en œuvre notamment des algorithmes de traitement d'images, bases de données, etc.

[0083] Cette unité de traitement d'informations 9 est reliée au calculateur de production 5 afin de recevoir si besoin du calculateur de production (voire également d'autres périphériques), des informations de fabrication pour une association aux récipients 2, de leurs images et de leurs défauts détectés avec ces données de fabrication. Les informations de fabrication peuvent être des informations temporelles, des numéros de moules ou de cavité de moulage, etc. Dans le cas où le récipient est un récipient en verre, des informations temporelles reçues permettent d'associer les récipients 2, leurs images et leurs défauts détectés, au numéro de moule ou à la cavité de formage ou à un horodatage ou à un identifiant individuel. Typiquement, le fonctionnement du système d'inspection 7 est synchronisé avec le fonctionnement des cavités de formage des récipients notamment dans le cas où il est installé entre l'installation 3 de formage et un poste de traitement tels que l'arche de cuisson 6.

[0084] De manière avantageuse, cette unité de traitement d'informations 9 transmet au calculateur de production 4, les défauts identifiés et les mesures effectuées, afin que le calculateur de production puisse déduire automatiquement une information d'ajustement pour au moins un paramètre de contrôle de l'installation 3 ou de traitement 6. Un tel ajustement des paramètres de contrôle est réalisé de manière manuelle ou automatique. Enfin, l'unité de traitement d'informations 9 est reliée à un éjecteur pour commander l'éjection de récipients identifiés comme défectueux, et/ou à une unité d'affichage pour présenter à un opérateur les défauts identifiés et les images des récipients.

[0085] Conformément à l'invention, le système d'inspection 7 est configuré pour récupérer, par au moins une caméra, la lumière issue du récipient 2 afin d'acquérir des images d'une même portion d'un récipient selon au moins deux directions d'observation différentes D1, D2, D3,...Dj et selon au moins une modalité d'inspection. Tel que cela ressort de la figure 3A à la figure 3C, chaque direction d'observation D1, D2, D3 correspond à la droite passant par le centre

optique O de la caméra et le centre T de la portion P du récipient 2 placée dans le champ d'observation de la caméra.

[0086] Selon un premier mode de réalisation illustré aux figures 3A à 3C, les directions d'observations différentes D1, D2, D3 sont réalisées pour des positions différentes du récipient dans le champ d'observation de la caméra. Selon ce mode de réalisation, les récipients 2 sont déplacés selon une trajectoire rectiligne représentée par la flèche F de manière à défiler devant une caméra C1 fixe positionnée pour inspecter le corps d'un récipient. Selon cet exemple, le centre T de la portion P du récipient 2 observée par la caméra correspond à l'axe central R du récipient. Comme illustré à la figure 3A, la caméra C1 prend une image IC11 du récipient 2 lorsque la direction d'observation D1 forme un angle alpha avec l'axe optique A. Tel que cela ressort de la figure 3B, le déplacement du récipient conduit à son positionnement dans une position pour laquelle la direction d'observation D2 correspond à l'axe optique A. La caméra C1 prend une image IC12 du récipient 2 lorsque la direction d'observation D2 se trouve confondue avec l'axe optique A. La poursuite du déplacement du récipient conduit à son positionnement dans une position pour laquelle la direction d'observation D3 a dépassé l'axe optique A et forme un angle alpha avec l'axe optique A (figure 3C). La caméra C1 prend une image IC13 du récipient 2 lorsque la direction d'observation D3 forme un angle alpha avec l'axe optique A.

[0087] Dans l'exemple de réalisation illustré aux figures 3A à 3C, la direction d'observation est modifiée par le déplacement relatif entre le récipient 3 et la caméra. Selon cet exemple, la caméra est fixe tandis que le récipient est mobile. Bien entendu, l'objet de l'invention s'applique également pour un récipient fixe et une caméra mobile.

[0088] Selon un deuxième mode de réalisation illustré à la figure 2, les directions d'observations différentes D1, D2 sont réalisées par des caméras possédant des directions d'observation du récipient qui sont différentes au moment de l'acquisition des images. Selon cet exemple, deux caméras C1, C2 sont positionnées de manière que dans un plan vertical, parallèle à l'axe central R, les axes optiques A des caméras forment entre elles un angle d'élévation alpha

déterminé de sorte que si les directions d'observation correspondent aux axes optiques, les directions d'observation sont décalées d'un angle α . Bien entendu, il peut être envisagé de répartir les caméras dans le plan d'azimut (plan parallèle au plan de convoyage, comme cela sera visible en référence aux figures 5 7A et 7B décrites ci-après) de manière que les axes optiques A des caméras forment entre elles un angle d'azimut α déterminé de sorte que si les directions d'observation correspondent aux axes optiques, les directions d'observation sont décalées d'un angle α .

[0089]Avantageusement, deux directions d'observations D1, D2, D3...Di possèdent 10 des directions d'observation différentes si ces deux directions d'observation sont décalées d'au moins 5°.

[0090]Quel que soit le système d'inspection 7 mis en œuvre, ce système d'inspection met à disposition de l'unité de traitement d'informations 9, des images d'une même portion d'un récipient selon au moins deux directions 15 d'observation différentes et selon au moins une première modalité d'inspection. Par d'une même portion, on entend qu'un recouvrement des vues est possible entre les images.

[0091] Une modalité d'inspection correspond à un type d'interaction de la lumière avec la paroi des récipients et avec les défauts à identifier. Typiquement, le 20 système d'inspection 7 est configuré pour acquérir des images d'une même portion d'un récipient selon au moins deux directions d'observation différentes et selon au moins une modalité prise parmi la liste des modalités suivantes : d'absorption, de biréfringence, de réfraction, de réflexion, de rayonnement infrarouge.

[0092]A titre d'exemple, une modalité d'inspection est dite d'absorption. Cette 25 modalité met en évidence principalement l'absorption de la lumière traversante par la paroi traversée du récipient, mais également des effets de réfraction tels que des ombres sur les bords du récipient ou des défauts réfractant ou des variations d'épaisseur. Certains défauts ont un caractère absorbant, totalement 30 ou partiellement absorbant. Ces défauts apparaissent ainsi opaques ou sombres lorsqu'ils sont vus en transmission c'est-à-dire que la lumière traversant une paroi

de verre sans défaut subit une absorption dite normale correspondant à la teinte et à l'épaisseur du matériau constituant le récipient, supposées homogènes de la paroi de verre. Mais les défauts absorbants présentent une anomalie locale avec une absorption parfois inférieure (bulle ou mince) mais généralement supérieure à l'absorption normale. Dans la suite on désignera par absorption uniquement l'absorption anormale des défauts absorbants. De tels défauts incluent notamment des inclusions dans le verre, notamment de céramique ou de métaux, et/ou des salissures (graisse, ...) sur le verre. Mais de tels défauts incluent aussi certaines glaçures (fissures) qui seraient orientées dans le verre de manière à bloquer la lumière d'inspection, principalement par le fait que la lumière d'inspection est alors réfléchiée dans une direction qui n'est pas vue par la caméra. Du fait de la limitation en dimension de la source de lumière, des ombres apparaissent dans l'image en raison de la réfraction sur les bords extérieurs de la silhouette du récipient. Les ombres ne révèlent généralement pas des défauts. Certaines formes d'ombres révèlent des défauts de répartition de verre. Certains défauts réfractant ont une signature particulière au bord de la silhouette du récipient et une autre signature au centre. Ils se distingueront donc par l'observation sous des angles de vue différents.

[0093] Une autre modalité d'inspection est dite de biréfringence. Cette modalité met en œuvre principalement une modification de l'état de polarisation de la lumière traversant la paroi du récipient par un défaut dit de stress, qui confère au verre une propriété de biréfringence. Certains défauts ont un caractère biréfringent. Ainsi, certains défauts se traduisent par la présence de contraintes mécaniques résiduelles dans le matériau (parfois appelées contraintes mécaniques internes ou, notamment en langue anglaise, « stress »). Dans la paroi, un défaut biréfringent ou de contrainte, tel qu'une inclusion de corps étrangers (céramique, métal, « verre dévitrifié ») provoque une modification de l'état de polarisation, c'est-à-dire un déphasage de polarisation entre deux composantes du champ électrique ou une modification de la direction d'une lumière repolarisée linéairement.

[0094] Une autre modalité d'inspection est dite de réfraction. Cette modalité met en œuvre principalement une modification de la direction de propagation de la lumière traversant la paroi du récipient par un défaut réfractant, en raison d'un angle entre les surfaces dioptriques traversées et/ou d'une différence d'indice de réfraction. Chaque surface est une interface air/verre ou verre/air donc un dioptré qui réfracte la lumière le traversant. En l'absence de défaut, les surfaces des parois sont sensiblement parallèles et la réfraction ne provoque pas de déviation visible des rayons lumineux traversant le récipient. Un défaut dit réfractant est un défaut qui provoque localement une réfraction anormale, principalement lorsque le défaut se manifeste par des écarts de pente entre des surfaces ou dioptrés traversés de la ou des parois. On parlera donc de défaut de réfraction uniquement pour désigner des déviations de la lumière par la réfraction particulière au niveau des défauts dits réfractants. Les défauts réfractants sont les défauts qui sont principalement détectables par les anomalies de réfraction qu'ils engendrent, notamment dans une inspection en lumière traversante. Typiquement, on classe généralement parmi les défauts réfractants les défauts de surface (plis, rivières,) ou de répartition de verre (bouillons, minces, anneau de compression), les trapèzes et les ailettes. Il est à noter que les trapèzes et les ailettes provoquent généralement des réfractions tellement fortes que ces défauts sont généralement nettement visibles également dans les images d'absorption.

[0095] Une autre modalité d'inspection est dite en transmission-réflexion. Il s'agit notamment de la détection des glaçures dans les récipients en verre. Les glaçures sont de fissures très étroites, de différentes formes et longueurs et de différentes orientations dans la matière. Les glaçures se comportent comme des dioptrés réfléchissant la lumière. Leur détection consiste à illuminer une partie du récipient selon un ou plusieurs faisceaux directs ayant des angles d'incidence propres sur la portion de récipient éclairée. La direction de la lumière réfléchie par une glaçure est spécifique de la forme et orientation de la glaçure, et l'image par une caméra recevant ou non la lumière réfléchie permet la détection des glaçures. Autrement dit la direction d'observation est une caractéristique de la glaçure. Selon cette modalité et dans l'exemple de brevet WO 2021/209704, un

nombre important de caméras est disposé autour de récipient avec des directions d'observation réparties en azimut et élévation.

[0096] Enfin l'invention n'est pas limitée à ces modalités. Elle peut s'appliquer par exemple dans le cas d'une modalité en réflexion pure, selon laquelle une source de lumière est conçue pour éclairer la surface d'une portion de récipient, la surface réfléchissant la lumière en direction de la caméra. L'image est alors constituée principalement par la lumière réfléchie, et l'on observe comme potentiel défaut, soit des déformations de géométrie de la surface, soit de sa réflectivité, soit l'apparition d'une réflexion en dehors du contour normal de la surface.

[0097] Une autre modalité d'inspection est dite de rayonnement infrarouge. Cette modalité d'inspection, sans utilisation de source de lumière pour éclairer les récipients, vise à inspecter les récipients encore chauds typiquement en verre, en sortie de leur fabrication et émettant compte tenu de leur température, un rayonnement infrarouge dépendant du volume (soit en d'autres termes de l'épaisseur) et/ou de la température de matériau constitutif des récipients. On utilise des caméras dites infrarouges munies de capteurs d'image sensibles au rayonnement infrarouge émis par les récipients encore chauds, dont la température est supérieure à 300°C. Les capteurs utilisés dans ce type de modalité ont un spectre de sensibilité en longueur adapté selon les cas d'emploi, par exemple en proche infrarouge (SWIR ou NIR) et/ou moyen infrarouge (MWIR). Un défaut modifiant l'émissivité, donc l'image du rayonnement infrarouge d'un récipient, peut être lié à une accumulation de matière à un endroit spécifique correspondant par exemple à une surépaisseur de la paroi ou à un défaut de trapèze ou balançoire (défaut d'un fil de verre à l'intérieur du récipient et relié par ses extrémités à la paroi intérieure). Selon l'invention, l'observation du rayonnement infrarouge des récipients chauds selon au moins deux directions d'observation différentes permet par exemple que le réseau de neurones (ou le modèle utilisé) prenne en compte l'émissivité directionnelle et/ou la profondeur du défaut pour en déterminer la classe d'appartenance.

[0098] De manière connue, l'inspection des récipients 2 selon l'une et/ou l'autre de ces modalités d'inspection peut être réalisée à l'aide de diverses configurations du système d'inspection 7. Il est considéré que le système d'inspection est configuré pour acquérir des images en vue d'obtenir des images selon au moins une modalité et avantageusement des images relevant de plusieurs modalités. Il est à noter qu'en fonction du système d'inspection 7 utilisé, les images selon ces modalités peuvent être obtenues directement à partir des images acquises ou à partir de calculs ou de traitements.

[0099] La suite de la description décrit à titre d'exemples non limitatifs, diverses méthodes d'obtention des images d'absorption, des images de biréfringence, des images de réfraction et des images de rayonnement infrarouge.

[0100] Pour obtenir des images d'absorption, une première méthode simple est de produire sur la source de lumière un éclairage uniforme en intensité et non polarisé dans une portion active. Une deuxième solution d'obtention de l'image d'absorption est d'utiliser une source de lumière uniforme en intensité polarisée linéairement ou circulairement et de réaliser l'image au moyen d'une caméra sans aucun filtre polariseur entre le récipient et la caméra. L'uniformité en intensité de la source de lumière peut être parfaite c'est-à-dire que l'intensité est constante sur toute la zone active d'une source de lumière plane et étendue émettant une lumière diffuse. L'uniformité peut être également locale, en particulier lorsque le verre des récipients est teinté, il peut être prévu qu'une région de la source éclairant le goulot où la paroi de verre est plus épaisse, émet une intensité uniforme plus forte, tandis qu'une région éclairant le corps du récipient où la paroi est plus mince émet une intensité uniforme plus faible. On considère également comme uniforme ou relativement uniforme, l'intensité d'une source de lumière qui génère comme décrit dans le document FR 2794241, une variation spatiale continue d'intensité plus lente que celle constatée au voisinage d'un défaut, de manière qu'un algorithme d'analyse d'image qui compare les pixels à leurs voisins pour détecter comme défauts des variations locales rapides d'intensité, ne détecte pas les variations d'intensité lentes émises par la source.

[0101] Une autre solution d'obtention de l'image d'absorption est décrite dans la demande de brevet EP 3 679 356, qui propose de produire une illumination avec une source dont la couleur varie spatialement et d'acquérir une image composite (RVB) qui est transformée dans l'espace de représentation des couleurs HSV (Teinte, Saturation, Valeur). Il est obtenu l'image d'absorption par l'image V ou une transformation de cette image par exemple au moyen d'un calcul de gradient. Il est à noter qu'une image de réfraction est obtenue par l'image H, ou une transformation de cette image par exemple au moyen d'un calcul de gradient de teinte.

[0102] Une autre solution d'obtention de l'image d'absorption est d'utiliser une source de lumière uniforme en intensité monochrome polarisée linéairement ou circulairement et de réaliser une image polarimétrique composite au moyen d'une caméra polarimétrique, et de calculer l'image d'absorption à partir d'au moins deux images polarimétriques partielles correspondant à des observations à travers deux filtres linéaires de directions d'analyse à 90° l'une de l'autre.

[0103] Une autre solution d'obtention d'une image d'absorption est de produire l'illumination à l'aide d'une source présentant des variations d'une caractéristique de polarisation avec l'intensité restant relativement uniforme et d'acquérir une image composite contenant au moins 2 à 4 images partielles à l'aide d'une caméra polarimétrique et de calculer une image d'absorption à partir de 2 à 4 images partielles prise à travers des analyseurs de polarisation à 90° l'un de l'autre.

[0104] Pour obtenir des images de biréfringence, une première méthode simple est de produire sur la source de lumière, un éclairage uniforme monochrome polarisé linéairement selon une direction déterminée, dans une portion active. L'image est acquise soit par une caméra noir et blanc devant laquelle est placé un analyseur linéaire de polarisation dont la direction est orthogonale à la direction déterminée, soit par une caméra polarimétrique dont on prend en compte les pixels de l'image partielle correspondant à l'analyse à travers un filtre linéaire orthogonal à la direction déterminée. La valeur des pixels de l'image de biréfringence est alors quasi nulle sauf en présence d'un défaut de stress.

Lorsque la lumière traverse un défaut de stress, l'intensité lumineuse mesurée/reçue obtenue dépend de la direction et de l'intensité des contraintes.

[0105] Une deuxième méthode pour obtenir une image de biréfringence est de produire sur la source de lumière, un éclairage uniforme monochrome polarisé
5 circulairement selon un sens donné dans une portion active. L'image est acquise avec une caméra noir et blanc devant laquelle est placée une lame retard $\frac{1}{4}$ d'onde puis un analyseur linéaire de polarisation. La valeur des pixels de l'image de biréfringence est alors quasi nulle sauf en présence d'un défaut de stress. Lorsque la lumière traverse un défaut de stress, l'intensité lumineuse sortante
10 dépend de l'intensité des contraintes mais pas de la direction des contraintes.

[0106] Une troisième méthode d'obtenir une image de biréfringence est de produire sur la source de lumière, un éclairage uniforme monochrome polarisé linéairement selon une seule direction ou circulairement selon un seul sens dans une portion active. L'image est acquise par une caméra polarimétrique devant
15 laquelle est éventuellement placée une lame retard $\frac{1}{4}$ d'onde délivrant une image composite. On calcule à partir de deux ou quatre images partielles, une grandeur de biréfringence qui dépend du déphasage de polarisation entre les composantes E_x et E_y du champ électrique et qui est une mesure de la contrainte. L'homme du métier saura retrouver les formules de calcul à partir
20 l'équation de Mallus et du formalisme de Stokes. Le déphasage de polarisation peut être calculé pour obtenir comme valeurs des pixels dans l'image de biréfringence, une valeur qui dépend de l'intensité des contraintes mais de préférence pas de la direction des contraintes, la détection est donc isotrope et proportionnelle aux contraintes. Selon l'une de ces variantes, le déphasage de
25 polarisation peut être mesuré entre 0 et 90° voire entre 0 et 180°. Cette méthode permet également de calculer une image d'absorption avec l'image composite que délivre la même caméra polarimétrique, en calculant chaque pixel comme expliqué précédemment.

[0107] Pour obtenir des images de réfraction, une première méthode d'obtention
30 d'une image de réfraction est illustrée dans le brevet US4606634, qui décrit un type de détection de défauts réfractant qui consiste à modifier le « spectre

angulaire » d'une source de lumière étendue. Une source de lumière de dimension variable, par exemple un disque lumineux de diamètre variable, est au foyer d'une lentille convergente de projection. Dans l'image obtenue à l'aide d'une caméra qui reçoit la lumière ayant traversé le récipient, on obtient un
5 contraste renforcé sur les objets réfractant, ce contraste pouvant être augmenté en réduisant le spectre angulaire, ce qui est produit en réduisant le diamètre du disque lumineux.

[0108]Un deuxième ensemble de méthodes pour obtenir une image de réfraction consiste à faire varier spatialement le long de la surface émettrice d'une source
10 de lumière étendue, de type panneau lumineux, une propriété de la lumière émise par la source que la caméra sait distinguer. En tant que propriété de la lumière qui varie spatialement, on a utilisé initialement son intensité. On acquiert au moins une image avec une caméra sensible à l'intensité, donc a priori monochrome, délivrant des images monochromes. L'intensité de lumière émise
15 par chaque unité de surface émettrice de lumière, varie spatialement selon une loi de variation spatiale en une ou deux dimensions. Autrement dit, ces procédés d'inspection adaptés pour la détection de défauts réfractant mettent en œuvre des dispositifs d'illumination qui fournissent une lumière qui est parfois dite « structurée », c'est-à-dire disposant d'une surface émettrice, généralement
20 bidimensionnelle, qui présente des variations ou des motifs d'intensité.

[0109]Un troisième ensemble de méthodes pour obtenir une image de réfraction consiste à faire varier spatialement le long de la surface émettrice, en tant que propriété de la lumière émise par la source, une propriété de polarisation, une propriété de couleur et/ou une propriété de phase. A titre d'exemple, les
25 documents WO2020/244815 et EP3679356 illustrent des variantes de ce troisième ensemble de méthodes d'obtention d'une image de réfraction.

[0110]Pour obtenir des images de rayonnement infrarouge, une solution est d'utiliser une caméra sensible au rayonnement infrarouge émis par les récipients
2. Typiquement, le capteur de la caméra sensible au rayonnement infrarouge
30 capte le rayonnement infrarouge dans une gamme de longueur d'onde supérieure à 0,8 μm .

[0111] Il ressort des exemples donnés ci-dessus que le procédé d'inspection à l'aide du système d'inspection 7 associé à l'unité électronique de traitement d'informations 9, permet l'obtention, d'images selon des directions d'observations différentes et au moins une modalité d'inspection ou plusieurs modalités d'inspection.

[0112] Selon une variante de réalisation, le système d'inspection 7 est configuré pour obtenir des images selon deux modalités d'inspection différentes. Selon une variante préférée de réalisation, le système d'inspection 7 est configuré pour obtenir des images selon trois modalités d'inspection différentes. Ainsi, le procédé selon l'invention vise à inspecter les récipients 2 à l'aide du système d'inspection 7 configuré pour acquérir des images d'absorption, de réfraction et de biréfringence, permettant de reconnaître des défauts caractérisés par l'ensemble de leurs 3 types d'interaction avec la lumière.

[0113] L'invention est également avantageuse pour un système d'inspection pour la détection des glaçures à l'aide d'un dispositif comme décrit dans EP4136434, un certain nombre de caméra observant une même portion de récipients sous des directions d'observation différentes. Dans ce cas, les variations de la forme et la position des reflets correspondant aux glaçures entre les différents images permet principalement de les distinguer de reflets parasites, et un modèle de classification par apprentissage permet une détection/classification efficace alors qu'il est difficile de définir a priori par des connaissances métier, les caractéristiques géométriques de ces défauts de forme très aléatoire.

[0114] L'objectif de la combinaison de ces diverses techniques d'éclairage et d'acquisition d'images est d'obtenir de chaque région inspectée de chaque récipient, au moins deux et de préférence au moins trois images chacune selon une modalité différente et des directions différentes, avec pour chaque modalité, la valeur de chaque pixel qui dépend d'une modalité différente d'interaction de la lumière avec la paroi traversée et avec les défauts à détecter. Bien entendu, la configuration de l'éclairage et des caméras dépend de la région inspectée du récipient qui peut correspondre au corps, au fond, au col, à l'épaule, au jable, à la bague ou à une zone de présence de gravures par exemple.

[0115] Les images acquises d'une même portion d'un récipient selon au moins deux directions d'observation différentes et selon au moins une première modalité, sont mises à disposition de l'unité de traitement d'informations 9. Bien entendu, il est possible de préparer les images par des prétraitements, tels que :

- 5 - des transformations géométriques (i.e. correction de perspective) ;
- des transformations sur le format de l'image (nombres de canaux, taille de l'image) ;
- des traitements photométriques comme des filtres passe-bas ou passe-haut, ou une élimination d'arrière-plan, etc.

10 [0116] Conformément à l'invention, cette unité de traitement d'informations 9 comprend un réseau de neurones ayant été entraîné lors d'une phase de construction, sur un ensemble d'apprentissage comportant des enregistrements composés chacun d'au moins deux images d'une même portion d'un même

15 moins une modalité. Au cours de cette phase de construction ou d'apprentissage, le réseau de neurones détermine au moins une classe d'appartenance K_j pour ladite portion parmi une liste de classes $K_1, K_2, \dots, K_j, \dots, K_p$.

[0117] Pendant une phase d'utilisation, le réseau de neurones entraîné reçoit en

20 entrée, pour chaque récipient, un enregistrement des au moins deux images d'au moins une portion du récipient selon une modalité et selon deux directions d'observation différentes, ces images étant acquises à l'aide du système d'inspection 7 lors du défilement des récipients. Pour chaque récipient à inspecter, le réseau de neurones analyse cet enregistrement pour déterminer l'appartenance de cette portion de récipient, à une classe résultat parmi la liste

25 de classes $K_1, K_2, \dots, K_j, \dots, K_p$. Pendant cette phase d'utilisation ou d'inspection, chaque récipient 2 défilant devant le dispositif 1 est inspecté en vue de détecter dans les images prises, la présence de défauts et de classer les défauts détectés. De préférence il convient que les classes K_i comportent également des objets non-défauts comme des décorations, des marquages, des ombres, etc...

30 [0118] L'unité de traitement d'informations 9 est ainsi adaptée pour mettre en œuvre un procédé d'inspection pour détecter des défauts sur des récipients et classer

les récipients, selon des classes préalablement définies. Le procédé d'inspection permet ainsi de classer chaque récipient selon au moins une classe prise parmi une liste de classes comportant en particulier une classe absence de défaut et une classe présence de défaut. Il doit être compris que l'objet de l'invention permet au moins de détecter la présence d'un défaut ou l'absence d'un défaut.

[0119] Avantageusement, l'objet de l'invention permet d'identifier ou de reconnaître les défauts permettant ainsi de les classer. La liste de classes $K_1, K_2, \dots, K_j, \dots, K_p$ comporte au moins une classe comprenant la présence dans la portion d'image, d'au moins une singularité optique anormale correspondant à un défaut. Dans le domaine d'inspection des récipients en verre, certaines des classes correspondent à des défauts verriers c'est-à-dire à des défauts liés au processus de fabrication des récipients. Les défauts verriers concernés sont des défauts verriers ayant des propriétés optiques d'interaction avec la lumière traversant le récipient, telles qu'au moins une part d'absorption, et/ou une part de biréfringence et/ou une part de réfraction, si bien qu'ils sont détectables au moyen des dispositifs précités. Par exemple, ces classes peuvent correspondre à une bulle, une inclusion, un pli, un grain, une pierre, une ailette, un gros bouillon, un trapèze ou une balançoire. Par ailleurs, plusieurs classes peuvent correspondre à un même type de défaut verrier comme par exemple au défaut verrier type trapèze. Selon cet exemple, une classe peut correspondre aux gros trapèzes avec des fils de verre épais et une autre classe aux petits trapèzes avec des petites pointes non reliées. Ces classes sont données uniquement à titre illustratif.

[0120] Avantageusement, la liste de classes $K_1, K_2, \dots, K_j, \dots, K_p$ comporte au moins une classe comprenant la présence dans la portion, d'au moins une singularité optique normale ne correspondant pas à des défauts. Ainsi, des classes peuvent correspondre à des reliefs à fonction technique comme des crans de positionnement ou les stries du plan de pose, à fonction décorative comme des blasons, ou à fonction d'indications techniques ou commerciales telles que marque, contenance, numéro de moule. D'autres classes peuvent correspondre à des éléments pouvant être distingués sur le récipient tels que des joints de moule, qui peuvent être circulaires au fond ou linéaires sur la paroi verticale. La

reconnaissance d'un joint de moule dans l'image, donc le classement d'un élément d'image comme joint de moule, permet ensuite une analyse spécifique afin de déterminer si le joint de moule est faiblement marqué, ce qui n'est pas un défaut, ou fortement marqué ce qui nécessite l'éjection du récipient portant un tel joint de moule.

[0121]Avantageusement, il est possible d'associer à chaque classe de la liste des classes, une criticité, c'est-à-dire une valeur forte pour une classe de défauts critiques comme un trapèze, plus faible pour une classe de défauts moins critique comme un pli, encore plus faible pour une classe d'objets non-défaut comme un joint de moule.

[0122]Il est à noter que le nombre p de classes d'images est indépendant du nombre de modalités. D'une manière générale, la liste de classes comporte un nombre de classes supérieur au nombre de modalités mises en œuvre. Par ailleurs, la liste de classes peut comporter des classes ne correspondant pas à des défauts verriers. Par exemple, la liste peut comporter comme classe ne correspondant pas à des défauts verriers, une classe correspondant à un récipient 2 sans défauts, une classe correspondant à un récipient 2 avec un joint de moule, une classe correspondant à un récipient 2 avec un blason. Selon une variante avantageuse de réalisation, la liste de classes contient une classe non-défaut verrier, au moins une classe trapèze, au moins une classe inclusion, et au moins une classe bulle. Ces classes sont enregistrées et accessibles à l'unité de traitement d'informations 9.

[0123]Le nombre de classes est donc déterminé d'abord par le besoin de la production et du contrôle qualité, donc par la nécessité d'identifier les défauts de production pour prendre les bonnes décisions lors du tri et pour permettre la correction éventuelle du procédé. A contrario, le nombre de modalités est seulement déterminé par les limites techniques et économiques des moyens connus de mise en évidence des propriétés d'absorption, de réfraction et de biréfringence.

[0124]Le nombre de classes dépend également de la qualité du tri obtenu au moyen du réseau de neurones. En effet durant l'entraînement du réseau de neurones, il

est connu de vérifier sur des ensembles de test, le taux de bons classements obtenu. Il a été observé que le classement est meilleur lorsque la liste des classes contient plusieurs classes pour un même défaut tel que les trapèzes. Autrement dit, le nombre de classes peut être augmenté pour améliorer la qualité
5 du classement automatique.

[0125] Comme indiqué précédemment, l'opération de classement est réalisée par un réseau de neurones recevant en entrée, pour chaque récipient, un enregistrement d'au moins deux images d'au moins une portion du récipient selon une modalité et selon deux directions d'observation différentes. Selon
10 l'invention, les au moins deux images sont analysées en même temps par un réseau de neurones à apprentissage profond qui peut déterminer d'après toutes caractéristiques significatives photométrique et/ou géométriques, l'appartenance d'une singularité d'image à une classe.

[0126] La figure 2 illustre un exemple de réalisation d'un réseau de neurones
15 convolutif CNN1 recevant en entrée les images de portions des récipients selon au moins deux directions d'observation différentes et une modalité. Les sorties du réseau de neurones convolutif CNN1 sont les données d'entrée d'un réseau de neurones NN permettant de classer les récipients.

[0127] La figure 4 est une vue schématique illustrant un exemple de réalisation d'un
20 dispositif d'inspection conforme à l'invention mettant en œuvre deux caméras adaptées pour obtenir de chacune trois images d'analyse selon trois modalités différentes, afin de constituer un enregistrement d'images d'analyse comportant au moins 6 images de récipient.

[0128] Sur cette figure, on a représenté un récipient 2 et deux caméras C1 et C2
25 configurées pour acquérir respectivement des images d'une même portion d'un récipient selon deux directions d'observation D1, D2 différentes. La caméra C1 est configurée pour l'obtention de trois images selon trois modalités différentes, et la caméra C2 est configurée pour l'obtention de trois images selon ces mêmes modalités différentes. Sur la figure, on désigne K1, K2, des classes possibles pour
30 les enregistrements de ces six images. Lors de la phase d'apprentissage, on peut enregistrer ces six images avec la classe appropriée, et lors de la phase de

détection, on peut acquérir les six images pour une classification. On désigne X des données de contexte ou métadonnées concernant les images, qui peuvent être prises en compte comme données d'entrée du classifieur, par exemple X contient des directions d'observation, des différences de directions d'observation, des numéros de caméras, des identifiants de modalité pour chaque image.

[0129] La figure 5 illustre un autre exemple de réalisation d'un système d'inspection permettant l'acquisition d'images de portions de récipients selon trois directions d'observation différentes et une modalité. Une des deux caméras représentées délivre des images selon deux directions d'observation différentes. Trois sous-réseaux de neurones convolutifs CNN1, CNN2, CNN3 reçoivent chacun en entrée, les images de portions des récipients selon une direction d'observation déterminée. Les sorties des trois sous-réseaux de neurones convolutifs CNN1, CNN2, CNN3 sont les données d'entrée respectivement de réseaux de neurones NN1, NN2, NN3 collaborant ensemble avec un sous-réseau de neurones NN4 permettant de classifier les récipients. Les sous-réseaux de neurones convolutifs CNN1, CNN2, CNN3, les sous-réseaux de neurones NN1, NN2, NN3, et le sous-réseau de neurones NN4 forment un réseau de neurones soit un unique modèle d'apprentissage profond au sens de l'invention.

[0130] Selon un mode de réalisation particulier et de manière non limitative décrit dans le présent paragraphe, les sorties des réseaux NN1 NN2 NN3 (non illustrées) sont par exemple, lorsque des singularités telles que des défauts sont présentes dans les images, des singularités DS1 DS2 DS3 associées chacune à un vecteur de sortie de leur réseau, les vecteurs pouvant être considérés soit comme des mesures de propriétés morphologiques ou photométriques des singularités, soit comme des classifications des singularités. Le module MC consiste à associer les singularités DS1 DS2 DS3 des différentes vues comme étant des descriptions d'une même singularité sous des directions d'observation différentes, et le rôle du sous réseau NN4 est alors de déterminer une classification unique Dj à partir des sorties des réseaux NN1 NN2 NN3. Bien entendu l'exemple de la figure 5 illustre le cas de 3 images, et l'on peut prévoir la même solution avec 2 images ou 4 ou 6 etc. Autrement dit, selon ce mode de

réalisation particulier, la fusion de données comprend : structurer le classifieur en sous-réseaux, avec un réseau de sortie NN4 qui fusionne les résultats des sous-réseaux d'entrée NN1 NN2 NN3. Dans la variante illustrée ci-après figure 6, les sous réseaux d'entrée sont remplacés par des modules classiques de
5 segmentation AND1 AND2 et DS1 DS2.

[0131] La figure 6 illustre un autre exemple de réalisation d'un système d'inspection
7 permettant l'acquisition d'images de portions de récipients selon deux directions d'observation différentes et une modalité. Un seul réseau NN est utilisé et est représenté sur la figure. Sur chaque image obtenue par la caméra C1 ou
10 par la caméra C2, une opération de détection de singularités est réalisée afin de détecter la présence d'une ou plusieurs singularités quelconques (par le module DS1 pour l'image obtenue par la caméra C1, par le module DS2 pour l'image
15 obtenue par la caméra C2). Cette détection de singularité DS1 ou DS2, détecte et localise dans l'image une singularité d'image au sens d'un ensemble connexe ou non connexe de pixels présentant des caractéristiques locales particulières
relativement aux pixels voisins ou à l'arrière-plan. La détection de singularité DS1 ou DS2 peut implémenter toute méthode de traitement d'image adaptée pour
20 détecter des singularités avec ici une ou plusieurs étapes de traitement préliminaires (AND1 et AND2 sur la figure) telles que filtrage, seuillage, transformations de morphologie mathématique, étiquetage, analyse de variance, détection de contours etc. Un résultat typique de la détection de singularité de
DS1 ou de DS2 peut comprendre seulement la position d'un pixel ou d'un ensemble de pixels (typiquement les pixels connexes qui forment la singularité).
En d'autres termes, la détection de singularité met en œuvre une segmentation
25 des images. On peut aisément envoyer sur le réseau de neurone pour chaque image, un rectangle encadrant la singularité détectée. Il est possible d'associer des informations supplémentaires aux singularités détectées, telles que des primitives d'images (périmètre, contraste) ou des informations relatives au récipient comme son orientation sur le convoyeur. Aussi, les deux modules de
30 détection de singularité peuvent délivrer la position et les dimensions d'un rectangle encadrant (« bounding box » en anglais) qui contient une singularité détectée.

[0132] Ayant réalisé cette segmentation/détection de singularité sur les au moins deux images, une mise en correspondance est mise en œuvre au moyen du module MC entre les deux singularités détectées par les modules DS1 et DS2, sur la base de leurs positions dans les images ou sur le récipient. Par exemple, si
5 relativement à l'image du récipient ou à ses contours extérieurs, les deux rectangles encadrants (si les modules DS1 et DS2 délivrent de tels rectangles) se chevauchent, ou bien sont à la même hauteur pour des images de la paroi verticale, ou bien sur un même cercle lors d'un contrôle de fond, etc., on les considère comme correspondant à la même partie ou à une même singularité du
10 récipient. Alternativement on peut réaliser une mise en correspondance précise selon la position sur le récipient de la ou des singularités détectées par les modules DS1 et DS2, connaissant la géométrie du récipient et du dispositif d'acquisition.

[0133] Selon l'exemple de la figure 6, si l'on détecte une singularité dans une seule
15 image et pas dans l'autre au moyen des modules DS1 et DS2, on peut néanmoins envoyer sur le réseau NN deux rectangles encadrant (ou tout autre sortie des modules DS1 et DS2) se correspondant, l'image sans détection de singularité pouvant néanmoins comporter de l'information utile à la classification d'après 2 directions d'observation. Enfin, lorsque le réseau NN de la figure est de type
20 CNN, peu importe la qualité et la précision de la détection amont de singularité, pourvu que cette détection détecte toutes les singularités, y compris de fausses détections, le réseau NN de type CNN comportant des étapes dites de convolution aptes à détecter des artefacts, singularités, et à en déterminer des formes de primitives pour effectuer une classification dont le résultat peut être
25 l'absence de singularité, la présence ou absence défaut, ou le type de singularité normale ou de défaut.

[0134] Dans l'exemple de la figure 6, seul le réseau NN est modifié au cours de l'apprentissage, les modules MC, DS1, et DS2 n'étant pas ici des modules modifiables par apprentissage. En d'autres termes, la rétro-propagation du
30 résultat d'une fonction de coût ne change que des paramètres du réseau NN et pas des modules MC, DS1 et DS2 (on peut noter que l'apprentissage tel qu'il peut

être mis en œuvre par exemple pour l'exemple de la figure 2 est avantageux en ce qu'il modifie des paramètres qui ont un impact qui est moins limité que ceux de l'exemple de la figure 6).

[0135] Les figures 7A et 7B montrent un agencement d'une pluralité de caméras agencées selon différents azimuts et élévations et utilisables pour mettre en œuvre l'invention, dans un système d'inspection 7.

[0136] En figure 7A, on a représenté pour un récipient 2 circulant sur une voie de convoyage P_c , la position de caméras C_i et de projecteurs E_i , agencés avec un angle d'élévation E_l visible sur la figure et mesuré par rapport à un plan d'inspection de référence P_{rib} . Ici, les caméras C_i et les projecteurs E_i coopèrent pour permettre la détection de glaçures, comme expliqué dans le document WO2021/209704.

[0137] En figure 7B, on a représenté la position de caméras C_i et de projecteurs E_i , agencés avec un angle d'azimut A_z visible sur la figure.

[0138] Les figures 8A et 8B sont deux images d'une même portion d'un même récipient, ici deux images de la base d'une même bouteille en verre. Sur la figure, on a également représenté les orientations des caméras C_1 et C_2 utilisées respectivement pour l'obtention de deux images I_1 et I_2 selon des directions opposées et se faisant face (angle de 180°).

[0139] Le défaut DF_1 n'est ici visible que sur l'image I_1 . Un modèle selon l'invention peut être en mesure de déduire de la visibilité du défaut sur la seule image I_1 que le défaut est de type « bouillon crevé » (soit « open blister » en anglais). Ainsi, l'invention permet de mieux classer des défauts de récipients en verre.

[0140] Les figures 9A et 9B sont deux images d'une même portion d'un même autre récipient, acquises par deux caméras dont l'agencement est visible sur la figure 9C. Ici deux images d'une même bouteille en verre sont obtenues, le fond de cette bouteille reposant sur un convoyeur, l'axe de symétrie du récipient étant vertical. Sur la figure 9C, plus précisément, on a également représenté les orientations des caméras C_1 et C_2 utilisées respectivement pour l'obtention de deux images I_1 et I_2 selon des directions d'observation formant un angle dans

un plan vertical noté β (qui est une différence d'élévation) et un angle dans le plan horizontal noté α (qui est une différence d'azimut). L'aspect d'un même défaut DF2 diffère entre les deux images.

[0141] En fait, dans l'image I2 un défaut apparaît avec une apparence peu

5 contrastée donc le modèle peut délivrer une classe de défaut avec un indice de confiance faible, voire une erreur de classe.

[0142] Dans I1 l'image, le défaut DF2 est plus contrasté, un modèle entraîné pour traiter des images seules pourrait donner la classe bouillon avec une certitude

10 élevée, mais néanmoins, la prise en compte de l'image I2 peut baisser le taux de confiance. Sans l'invention, on compterait deux défauts et un des deux étant mal classé. Mais en combinant les deux images en entrée d'un modèle unique, le classifieur prend la bonne décision, et attribue aux deux portions d'image une seule classe avec une confiance élevée.

[0143] L'invention renforce donc la confiance dans la classification des défauts.

15 [0144] Les figures 10A et 10B sont deux images d'une même portion d'encore un même autre récipient, ici deux images d'une même bouteille en verre. Sur la figure, on a également représenté les orientations des caméras C1 et C2 utilisées respectivement pour l'obtention de deux images I1 et I2 selon des directions formant un angle dans un plan horizontal noté α .

20 [0145] On voit apparemment deux défauts DFA et DFB sur les deux images, ces défauts semblant être de type ailette. Sur aucune des vues prise seule il n'est possible de détecter et classer l'artefact comme ailette avec certitude. En fait, ces deux défauts de type ailette, résultent d'une seule cause, à savoir une mauvaise fermeture d'un moule utilisé pour le formage de la bouteille. On a donc un

25 unique défaut en deux parties.

[0146] DFA1 est la vue face avant, par la caméra C1, d'une première partie DFA du défaut (plus grosse)

[0147] DFB1 est la vue face arrière (caméra C1) de d'une deuxième partie DFB du défaut (petite)

[0148]DFA2 est la vue face arrière (caméra C2) de la première partie DFA du défaut (plus grosse)

[0149]DFB2 est la vue face avant (caméra C2) de deuxième partie DFB du défaut (petite)

- 5 [0150]Avec l'invention, la reconnaissance du défaut face avant (DFA1 ou DFB2) malgré un arrière-plan (face arrière) comportant des ombres provoquées par la contre bague, est possible par l'analyse combinée des images selon des directions différentes.

[0151]L'angle α entre les 2 directions d'observation est ici d'au moins 60°.

- 10 [0152]L'invention permet de détecter et reconnaître/classer automatiquement des défauts visibles que partiellement dans une unique direction d'observation.

- [0153]Préalablement à l'inspection de récipients (phase d'utilisation), l'objet de l'invention vise à entraîner un réseau de neurones (phase de construction ou d'apprentissage) sur un ensemble d'apprentissage comportant des
15 enregistrements composés chacun d'au moins une première et une deuxième image d'une même portion de récipient selon deux directions d'observation différentes et selon au moins une modalité.

- [0154]Selon une variante avantageuse de réalisation, les enregistrements de cet ensemble d'apprentissage sont réalisés par un système d'inspection 7 qui est le
20 même système utilisé pour la phase d'utilisation. En d'autres termes, les systèmes d'inspection 7 utilisés pour acquérir les images lors la phase de construction et la phase d'utilisation sont les mêmes. Avantageusement, ce sont sensiblement les mêmes directions d'observation que celles lors de l'inspection, avec la même modalité.

- 25 [0155]A titre indicatif, la phase de construction peut précéder la phase d'utilisation/d'inspection. Aussi, une phase de construction peut être mise en œuvre après une phase d'utilisation d'inspection. Par exemple, des enregistrements utilisables pour l'apprentissage peuvent être obtenus postérieurement à une première mise en œuvre de la phase
30 d'utilisation/d'inspection, et la mise en œuvre d'une phase de construction

postérieure à la phase d'utilisation/d'inspection permet d'améliorer encore plus le fonctionnement du modèle selon l'invention. Une phase de construction postérieure à une phase d'utilisation est analogue à une phase de construction qui précède une phase d'utilisation, et elle peut elle-même être suivie d'une phase d'utilisation.

[0156] Selon une caractéristique avantageuse, pendant la phase de construction, les enregistrements d'images sont ordonnés selon une séquence déterminée. Ainsi, les images provenant des différentes caméras sont classées selon un ordre déterminé. Pendant la phase d'utilisation, les enregistrements d'images sont ordonnés selon une séquence identique de la séquence de la phase de construction. Autrement dit, la façon dont les images sont organisées ou disposées entre elles au sein des enregistrements pour être présentées comme entrées du réseau classifieur, que ce soit dans une phase d'inspection, donc de classement que dans une phase de construction donc d'entraînement, est le même. Les images obtenues selon une direction d'observation donnée et une modalité donnée seront de préférence présentée aux mêmes connecteurs d'entrée du modèle dans les deux phases (typiquement aux mêmes neurones d'entrée). Toutefois, bien que l'ordre identique pour les deux phases est une méthode préférée, il est possible alternativement, par exemple lorsque les images sont obtenues au moyen d'un dispositif dans lequel les directions d'observation sont distribuées en azimut autour de l'axe des récipients, et compte tenu que les récipients lors de l'inspection peuvent arriver dans le dispositif avec une orientation indéterminée, seule compte la disposition relative modulo 360° des directions d'observation pour chaque image d'un enregistrement.

[0157] Pour construire la base d'apprentissage, on sélectionne plusieurs récipients présentant des défauts à reconnaître mais également plusieurs récipients sans défauts, plusieurs récipients portant des singularités optiques normales à reconnaître : décors, codes, cran, moulages de vis, de crans de positionnement, etc., et/ou plusieurs récipients présentant des singularités optiques acceptables commercialement.

[0158] Il doit être compris que les images de ces enregistrements montrent au moins une portion d'un récipient à inspecter correspondant à des régions d'intérêt du récipient telles que la bague, le col, l'épaule, le corps, le jable ou bien un demi-côté droit ou gauche ou une zone de présence de gravures. Certaines de ces images comportent des singularités optiques normales à reconnaître ou des singularités optiques anormales correspondant à des défauts. Ces images peuvent se limiter à ces singularités optiques ou prendre en compte un rectangle encadrant ces singularités optiques. Ces images peuvent aussi prendre en compte un rectangle élargi encadrant ces singularités optiques, prenant en compte le contexte ou le positionnement de ces singularités dans l'image.

[0159] Le procédé vise à réunir ces enregistrements dans une base d'apprentissage, en un nombre important, typiquement au moins mille enregistrements. Pour chaque classe, plusieurs enregistrements sont réalisés comportant des images de défauts à reconnaître, des images avec des singularités optiques normales à reconnaître ou des images de récipients sans défauts. Il est à noter que les récipients sont préférentiellement de même matière (verre) ou matière plastique que ceux à inspecter, et sont fabriqués préférentiellement selon le même procédé. Ces récipients peuvent être de même modèle, de même teinte, etc. mais de préférence le procédé consiste à inclure dans la base d'apprentissage des images de plusieurs récipients de modèles différents pour chaque type de défaut et plusieurs types de défauts pour chaque modèle de récipient.

[0160] Conformément à l'invention, la phase de construction est un apprentissage supervisé. En d'autres termes, le réseau de neurones est entraîné par apprentissage supervisé, c'est-à-dire par des opérations lui imposant le classement à réaliser avec une erreur à minimiser pour un ensemble donné d'enregistrements. On associe à chaque enregistrement de la base d'apprentissage, au moins comme étiquette, une classe d'appartenance telle un type de défaut ou un type de non-défaut.

[0161] Selon cette méthode d'apprentissage supervisé, on fournit au système un ensemble d'enregistrements triés, étiquetés selon une des classes préalablement définies. Chaque enregistrement est associé, via le tri et l'étiquetage, à une

desdites classes, ce qui va permettre à l'algorithme de calculer un modèle plus général permettant par la suite d'associer n'importe quelle donnée non connue, non étiquetée, à une des classes préalablement définies. Cette méthode d'apprentissage supervisé se distingue de la méthode d'apprentissage non supervisé (étant sans a priori sur les classes). Selon cette méthode non supervisée, on fournit des données en vrac au système, sans aucune forme de tri ou d'étiquetage. Le système se charge lui-même de définir le nombre de classes qui lui semble le plus pertinent et associe à chaque donnée une desdites classes (exemple : algorithme de clustering X-Means). La méthode d'apprentissage supervisé se distingue également de l'apprentissage non supervisé (avec un a priori sur le nombre de classes) : on fournit des données en vrac au système, sans aucune forme de tri ou d'étiquetage. En revanche, on indique au système le nombre p de classes attendues. Le système associe ensuite automatiquement chaque donnée à une des p classes attendues (exemple : algorithme de clustering K-Means). L'apprentissage non supervisé n'est pas adapté à l'objectif de classification des défauts selon une nomenclature de défaut en particulier pour le verre, qui serait déterminée a priori. En revanche dans le cas de la détection de glaçures au moyen de l'invention, un apprentissage non supervisé peut être plus efficace, les classes déterminées automatiquement permettant un meilleur classement par le fait que le modèle appris serait apte à prendre en compte des caractéristiques des glaçures qui correspondent à leur « signature » visuelle sans lien avec leur cause. Comme expliqué précédemment il est difficile à l'homme du métier de déterminer des formes particulières de glaçures, en dehors de leur orientation (Horizontales Verticales, inclinées), et cette orientation faisant que seulement certains groupes émetteurs récepteurs sont dédiés à certaine orientation de glaçure.

[0162] Le procédé selon l'invention vise à entraîner le réseau de neurones de manière qu'il reconnaisse les types de défaut et les récipients ne comportant pas de défauts. Cette phase d'apprentissage est réalisée par un homme du métier de l'intelligence artificielle qui choisit en particulier, un modèle de réseau de neurones, une base d'apprentissage et un algorithme d'apprentissage. Ce réseau de neurones est entraîné et testé de manière itérative jusqu'à obtenir le résultat

voulu (matrice de confiance, metrics (precision, recall, f1-score, mAP50 et mAP75 (mAP étant un acronyme anglo-saxon signifiant « mean Average Precision » soit moyenne de la précision moyenne). Eventuellement, les bases de données de ces enregistrements d'images sont réorganisées avec des ajouts ou des suppressions et/ou le modèle de réseau de neurones est changé ainsi que l'algorithme d'apprentissage.

[0163] Il ressort de la description qui précède que l'objet de l'invention repose sur le constat que la forme (morphologie) et parfois la photométrie (contraste au sens large, donc intensité ou couleur ainsi que séparation de l'intensité et la couleur) d'une singularité de type défaut ou non défaut varie selon la direction d'observation et de manière spécifique du type de singularité. Le changement d'aspect (morphologie et/ou photométrie) dans l'image d'un défaut en fonction des directions d'observation voire aussi de l'éclairage est une caractéristique qui permet de différencier les défauts.

[0164] Pour détecter un défaut de type glaçures comme décrit dans la demande de brevet WO 2021/209704, une région du récipient est illuminée sous des incidences précises, par des faisceaux lumineux dirigés atteignant la surface du récipient selon une incidence précise de manière que la majeure partie du faisceau pénètre dans la paroi de verre et se propage dans le verre. Si une glaçure est présente sur le trajet de lumière dans la paroi, alors la glaçure réfléchit le faisceau qui repart dans une direction modifiée pour sortir de la paroi selon un angle de sortie précis, qui est fonction de l'angle incident et de la position et forme de la glaçure. Un défaut de type glaçure dans une image de forme observée différente selon l'angle d'observation, ou bien est invisible selon une autre direction même voisine ($\pm 10^\circ$) de la première direction. Or dans un système d'observation de glaçures apparaissent dans les images des singularités correspondant à des lumières parasites (dit « parasites »), souvent liées à des reliefs volontaires qui varient peu ou pas ou différemment avec la direction d'observation. La modification de l'image par le changement de direction d'observation permet donc de différencier un type glaçure d'un parasite.

[0165] Pour les récipients transparents éclairés en transmission par des panneaux lumineux comme décrit dans la demande de brevet WO 2023/052732, les ombres sur les bords des récipients ont une forme et une position dépendant de la répartition du verre mais aussi des angles d'observation et des angles d'éclairages. En transmission, la modification de la morphologie et/ou de la photométrie d'un défaut varie selon la position relative du récipient par rapport aux directions d'observation et en particulier :

- pour un défaut absorbant, principalement la forme varie mais la photométrie varie peu ;
- pour un défaut réfractant, la morphologie et la photométrie varient.

[0166] Par ailleurs la façon dont l'image d'un défaut varie quand on change de point de vue ou de direction d'éclairage dépend de la position du défaut en profondeur (surface, intérieur paroi, intérieur récipient). Les défauts de type trapèze peuvent ainsi être reconnus. La forme des défauts de type trapèze dans les images prises change selon la direction d'observation d'une manière propre à ce défaut, notamment parce que :

- il est constitué de matière s'étendant à l'intérieur du récipient en verre. Il a donc des caractéristiques liées à sa forme tridimensionnelle qui ne sont pas prises en compte dans une image selon une seule direction d'observation ;
- dans le cas d'une machine avec six caméras décrite dans la demande de brevet WO 2023/052732, le trapèze peut être vu comme :
 - * un petit objet, rattaché à une paroi ;
 - * deux petits objets rattachés chacun à une paroi ;
 - * un grand objet rattaché à deux parois
 - * un petit objet circulaire apparemment sur la paroi.

[0167] Aussi, pour des récipients transparents éclairés en transmission par des panneaux lumineux, comme cela est décrit dans la demande de brevet WO 2023/052732, il apparaît avantageux d'acquérir pour chaque récipient, au moins quatre images d'au moins une même portion d'un récipient selon quatre directions d'observation différentes et selon au moins la première modalité, les

directions d'observation étant réparties autour de l'axe central R du récipient deux à deux selon un angle d'azimut d'au moins 45°.

[0168] Par ailleurs, une bulle dans un récipient transparent a une forme observée différente selon l'angle d'observation, et cette différence n'est pas déductible directement par une transformation géométrique. En effet, la forme observée de la bulle et même les contrastes de la bulle dépendent de la position relative de i) la source de lumière, ii) la bulle dans le récipient (position/ orientation du récipient) et iii) la direction d'observation. A l'inverse, une inclusion ou une tache de graisse en surface aura une forme d'image qui varie avec la direction d'observation mais de manière quasi déterministe par la géométrie du récipient et la direction d'observation, tandis que la photométrie varie peu. Il s'ensuit que la variation de la géométrie et de la photométrie entre différents points de vue est une caractéristique discriminante des bulles et des taches ou inclusions.

[0169] Les inventeurs ont déduit donc de ces constats que la façon dont change l'apparence d'une singularité du récipient ou de l'image, entre deux observations sous une direction différente est une caractéristique du défaut bulle par rapport au défaut tache de surface.

[0170] Toutefois la prise en compte de ces comportements est complexe et difficilement modélisable tant les défauts sont de forme complexe très changeante. Il est extrêmement illusoire de chercher à modéliser de manière générique les transformations accompagnant la modification du point de vue, qui ne peuvent pas se réduire à une modification de primitives simples. Par ailleurs, la forme des récipients a un impact sur la modélisation des défauts, ce qui rend difficile ces modélisations.

[0171] C'est pourquoi on a constaté que les réseaux de neurone, sont aptes à analyser (prendre en compte)

- les formes et contrastes (Morphologie / géométrie) des images des défauts
- les variations desdits formes et contrastes entre des images prises sous des directions d'observation différentes,

et ce malgré que ces formes et/ou contrastes ainsi que leurs variations selon la direction d'observation sont complexes et très difficilement prédictibles ou

modélisables par une connaissance a priori de la géométrie du système d'acquisition.

[0172] Il ressort de la description qui précède que le procédé selon l'invention permet non seulement d'identifier les défauts verriers des récipients, mais également de classer ces défauts pour permettre de passer de l'inspection à l'optimisation du procédé de fabrication. Une des caractéristiques de l'invention est de définir une liste de classes comportant des classes de défauts, ce qui permet de mettre en relation les défauts verriers avec des caractéristiques du procédé de fabrication à réguler. L'amélioration de la classification des défauts verriers permet de mieux remonter aux causes des défauts verriers.

[0173] L'objet de l'invention est avantageusement exploité dans le cadre des installations de fabrication pour permettre une meilleure détection et catégorisation des défauts présents au sein des récipients. Certains défauts peuvent être vus, détectés et catégorisés plus facilement grâce aux directions d'observation différentes combinées éventuellement à des modalités différentes.

[0174] De préférence, le procédé d'inspection selon l'invention est conçu de manière que le réseau de neurones associe un score de confiance au classement de chaque récipient inspecté d'une production. Le score de confiance est typiquement la probabilité d'appartenance du récipient à la classe d'appartenance. Le score peut s'exprimer comme un % ou une valeur entre 0 et 1.

[0175] Il est à noter qu'un récipient peut comporter plusieurs défauts. Il y a plusieurs manières de classer de tels récipients. Dans les variantes du procédé qui comportent une étape de segmentation, comme illustré sur la figure 6, on peut extraire des images d'analyse d'un même récipient, plusieurs régions d'image et par exemple plusieurs segments SR sont reconnus comme appartenant à des classes de défaut. Dans ce cas, selon une première variante, la classe d'appartenance du récipient sera celle du segment classé dans la classe de défaut ayant la plus forte criticité. Il est également possible de prendre en compte le score de confiance du classement, c'est-à-dire que la classe affectée au récipient sera celle du segment classé avec un score de confiance supérieur au seuil de

confiance. Selon une deuxième variante, on peut comptabiliser l'ensemble des défauts portés par un seul récipient, notamment lorsqu'un récipient porte plusieurs défauts critiques. Ainsi l'analyse statistique de la production qui sera présentée plus loin, peut rendre compte de la distribution des défauts
5 indépendamment du nombre de récipients rejetés.

[0176] Le réseau de neurones et en particulier de tpe CNN détecte les défauts et donne également comme information, leur position dans le récipient. Cette position est utile pour corriger le procédé, par exemple il est utile de savoir si un défaut est dans le corps ou le col. De plus, le CNN peut prendre en compte la
10 position des singularités dans le récipient pour réaliser le classement. Selon l'invention, réseau de neurones prend en compte aussi la position relative du défaut dans les images selon des direction d'observation différentes.

[0177] L'objet de l'invention est exploité pour le tri de la production de récipients de la manière suivante. Après classement d'un récipient, on compare au moins une
15 caractéristique de tri de récipient, à un critère de rejet, et lorsque la caractéristique de tri dépasse le critère de rejet pour un récipient, le récipient est considéré non conforme et rejeté. En effet, l'installation comporte un éjecteur pour retirer les récipients défectueux de la production. La caractéristique de tri et le critère de rejet sont dépendants de la classe d'appartenance pour décider de la
20 conformité ou non du récipient, la caractéristique de tri étant calculée sur au moins une image du récipient selon une des deux ou trois modalités. La caractéristique de tri et le critère de rejet sont par exemple une dimension de défaut telle que sa surface ou sa longueur mesurée dans au moins une image d'analyse. On peut éventuellement prendre en compte pour le tri, le score de
25 confiance, en ne rejetant des récipients appartenant à une classe de défaut peu critique que si le score de confiance est élevé et inversement en rejetant des récipients appartenant à une classe de défaut critique même si le score de confiance est faible. Puisque le réseau de neurones est apte à déterminer la position d'un défaut, avec une confiance élevée grâce aux différentes directions
30 d'observation, selon une variante de l'invention la position est un critère supplémentaire de rejet, car la position d'un défaut peut influencer sa criticité.

[0178] Selon l'invention, il est possible de définir des critères de rejets différents selon la position des défauts dans le récipient.

[0179] L'objet de l'invention est exploité pour réaliser une analyse statistique d'une production de récipients, c'est-à-dire une analyse de la fréquence ou distribution des différents types de défauts et de leur criticité, les types de défaut inclus dans la liste des classes et leur criticité étant déterminés par avance pour le besoin du contrôle du procédé.

[0180] Certains défauts sont provoqués durant les étapes de formage des récipients dans les moules, et sont donc à mettre en relation des paramètres de formage qui sont différents d'une section à l'autre ou d'une cavité à l'autre. Il est donc préférable de comptabiliser les classes de défaut selon la section ou cavité d'origine des récipients. Lorsque l'installation est installée en sortie de machines de formage, donc en amont de l'arche de cuisson 6, l'inspection est immédiate après la fabrication donc on connaît l'horodatage de la fabrication du récipient, et l'on connaît également par synchronisation, les cavités ou sections d'origine des récipients puisque l'ordre de sortie des récipients de la machine de formage est connu. Lorsque le dispositif d'inspection 1 conforme à l'invention est installé en aval de l'arche de cuisson 5, il est de préférence équipé d'un dispositif de lecture d'informations portées sur les récipients et indiquant le moule ou la section d'origine des récipients et/ou un horodatage de leur fabrication et/ou un identifiant unique de chaque récipient tel un numéro de série, ou bien relié à un tel dispositif de lecture. Il est donc possible et préférable de réaliser l'analyse statistique de la production, à partir du classement des récipients par le procédé d'inspection, selon la distribution des défauts en relation directe avec les paramètres de production au moment de la fabrication de chaque récipient et/ou en fonction des différentes cavités et sections de la machine de fabrication.

[0181] L'analyse statistique de la production des récipients, permet ainsi de mettre en relation les défauts avec leurs causes, pour obtenir deux résultats :

- d'une part, l'on peut déterminer des corrélations entre les paramètres de fabrication et les défauts qui en découlent, permettant ainsi de définir des méthodes de régulation manuelle plus performantes du procédé ;

- d'autre part connaissant les relations de cause à effet, délivrer en temps réel au calculateur de production 7, la possibilité de réaliser une boucle de réaction automatique pour réguler le procédé en corrigeant les défauts donc les écarts entre qualité voulue et qualité estimée des récipients.

5 [0182] Pour résumer ce qui précède, l'objet de l'invention est avantageusement exploité pour différentes opérations de production décrites ci-après:

- tri de la production ;
- analyse statistique de la production ;
- détermination des relations de cause à effet entre paramètres de production et
- 10 défauts ;
- contrôle et commande du procédé en réduisant les défauts constatés ;
- avertissement des opérateurs de l'apparition de défauts critiques par une alarme.

[0183] Selon une variante préférée de l'invention, on ne prend en compte le

15 classement des récipients que lorsque le score de confiance de la classe attribuée dépasse un seuil de confiance pour :

- comptabiliser les défauts par classe de défauts dans une statistique de fréquences des défauts,
- et/ou décider du rejet du récipient,
- 20 - et/ou déclencher une alarme de présence d'un ou plusieurs défauts critiques dans la production inspectée.

[0184] Il est à noter que le seuil de confiance correspond à une valeur minimale prédéterminée ou réglable du score de confiance comme paramètre de

fonctionnement du dispositif d'inspection, le réglage étant fait sur son IHM ou à

25 distance.

Revendications

[Revendication 1] Procédé d'inspection de récipients en matériau transparent ou translucide (2) en vue de classer un récipient, le procédé comportant;

5 une phase d'utilisation comprenant :

- l'acquisition pour chaque récipient, d'au moins une première et une deuxième images (Ic) d'au moins une même portion d'un récipient selon deux directions d'observation différentes et selon au moins une modalité;
- 10 - la fourniture en entrée d'un modèle d'apprentissage profond (NN), pour chaque récipient, d'un enregistrement des au moins la première et la deuxième images d'au moins une portion du récipient selon au moins une modalité et selon deux directions d'observation différentes ;
- et l'analyse par le modèle d'apprentissage profond, pour chaque récipient,
- 15 de cet enregistrement pour déterminer l'appartenance de cette portion de récipient, à une classe résultat parmi une liste de classes, une fusion de données multi-vues étant mise en œuvre avant la détermination de l'appartenance à une classe par analyse, et la détermination de l'appartenance à une classe tient compte d'éléments provenant de chaque
- 20 image, de manière conjointe, et dans lequel lorsqu'un défaut est observé selon des directions d'observation différentes, il est considéré que c'est le même défaut.

[Revendication 2] Procédé selon la revendication 1 selon lequel le procédé comporte :

- 25 - la mise à disposition d'un système d'inspection pour acquérir des images selon au moins une première modalité et une deuxième modalité ;
- l'acquisition pour chaque récipient, d'un enregistrement d'au moins une même portion d'un récipient comportant au moins deux images selon au moins deux directions d'observation différentes selon la première modalité et
- 30 au moins une image selon la deuxième modalité.

[Revendication 3] Procédé selon l'une des revendications précédentes selon lequel le procédé comporte la mise à disposition d'un système d'inspection configuré pour acquérir des images d'une même portion d'un récipient selon au moins deux directions d'observation différentes et selon au moins une modalité prise parmi la liste des modalités suivantes : d'absorption, de biréfringence, de réfraction, de réflexion, de rayonnement infrarouge.

[Revendication 4] Procédé selon l'une des revendications précédentes selon lequel on classe chaque portion de récipient selon au moins une classe prise parmi une liste de classes comportant au moins une classe absence de défaut dans la portion et une classe présence de défaut dans la portion.

[Revendication 5] Procédé selon l'une des revendications précédentes selon lequel on classe chaque portion de récipient selon au moins une classe prise parmi une liste de classes comportant au moins une classe comprenant la présence dans la portion, d'au moins des défauts tels que notamment, trapèze, inclusion, bulle.

[Revendication 6] Procédé selon l'une des revendications précédentes selon lequel on classe chaque portion de récipient selon au moins une classe prise parmi une liste de classes comportant au moins une classe comprenant la présence dans la portion, d'au moins une singularité telle qu'un marquage, un joint de moule, une encoche, un filetage, une impression, une pique, une anse, une contre bague.

[Revendication 7] Procédé selon l'une des revendications précédentes selon lequel le procédé comporte l'acquisition pour chaque récipient présentant un axe central, d'au moins quatre images d'au moins une même portion d'un récipient selon quatre directions d'observation différentes et selon au moins la première modalité, les directions d'observation étant réparties autour de l'axe central deux à deux selon un angle d'azimut d'au moins 45°.

[Revendication 8] Procédé selon l'une des revendications précédentes selon lequel on compare au moins une caractéristique de tri à un critère de rejet, la caractéristique de tri et le critère de rejet étant dépendants de la classe d'appartenance pour décider de la conformité ou non du récipient, la

caractéristique de tri étant calculée sur au moins une image du récipient selon une modalité.

[Revendication 9] Procédé selon l'une des revendications précédentes selon lequel est mise en œuvre une étape de prise en compte d'au moins un défaut identifié pour en déduire une information d'ajustement pour au moins un paramètre de contrôle d'une installation de fabrication des récipients.

[Revendication 10] Procédé selon l'une des revendications précédentes selon lequel :

- le modèle d'apprentissage profond associe un score de confiance au classement des récipients faisant partie d'une production inspectée;
- le classement des récipients est pris en compte uniquement lorsque le score de confiance dépasse un seuil de confiance pour;
- comptabiliser les défauts par classe de défauts ;
- et/ou décider du rejet du récipient ;
- et/ou déclencher une alarme de présence d'au moins un défaut critique dans la production inspectée.

[Revendication 11] Procédé d'apprentissage d'un modèle d'apprentissage profond pour l'inspection de récipients en matière transparente ou translucide en vue de classer un récipient, le procédé comprenant une phase de construction comportant :

- une mise à disposition d'un ensemble d'apprentissage comportant des enregistrements composés chacun d'au moins une première et une deuxième images d'une même portion de récipient selon deux directions d'observation différentes et selon au moins une modalité;
- une mise à disposition d'au moins un modèle d'apprentissage profond de neurones ayant été entraîné sur un ensemble d'apprentissage comportant des enregistrements composés chacun d'au moins une première et une deuxième images d'une même portion de récipient selon deux directions d'observation différentes et selon au moins une modalité, le modèle d'apprentissage profond déterminant, au moins une classe d'appartenance (K_j) pour ladite portion parmi une liste des classes, une fusion de données multi-vues étant mise en œuvre avant la détermination de l'appartenance à une classe par

analyse, et la détermination de l'appartenance à une classe tient compte d'éléments provenant de chaque image, de manière conjointe, et dans lequel lorsqu'un défaut est observé selon des directions d'observation différentes, il est considéré que c'est le même défaut..

5 [Revendication 12] Procédé selon la revendication 11, selon lequel le procédé comporte une mise à disposition d'au moins un modèle d'apprentissage profond ayant été entraîné sur un ensemble d'apprentissage comportant des enregistrements composés chacun d'au moins deux images d'une même portion de récipient selon des directions d'observation différentes d'au plus de
10 5° lors de l'acquisition des images.

[Revendication 13] Procédé selon l'une des revendications 11 ou 12 selon lequel le procédé comporte une mise à disposition d'au moins un modèle d'apprentissage profond ayant été entraîné sur un ensemble d'apprentissage comportant des enregistrements composés chacun d'images d'une même
15 portion de récipient selon des directions et des modalités différentes.

[Revendication 14] Procédé comprenant une phase de construction du procédé selon l'une quelconque des revendications 11 à 13 pour obtenir un modèle d'apprentissage profond, et une phase d'inspection du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 utilisant le modèle
20 d'apprentissage profond de ladite phase de construction.

[Revendication 15] Procédé selon la revendication 14, selon lequel pendant la phase de construction, les enregistrements d'images sont ordonnés selon une séquence déterminée tandis que pendant la phase d'utilisation, les enregistrements d'images sont ordonnés selon une séquence identique de la
25 séquence de la phase de construction.

[Revendication 16] Dispositif d'inspection de récipients en matière transparente ou translucide sortant d'une installation de fabrication ou de récupération en vue de classer les récipients en relation de défauts, le dispositif comportant :
30 - un système d'inspection comportant au moins une caméra disposée pour récupérer de la lumière ou un rayonnement provenant d'au moins une portion d'un récipient et configuré pour acquérir des images d'une même portion d'un

récipient selon au moins deux directions d'observation différentes et selon au moins une première modalité;

- une unité de traitement d'informations reliée au système d'inspection et comprenant un modèle d'apprentissage profond , le modèle d'apprentissage profond déterminant, au moins une classe d'appartenance pour ladite portion

5 parmi une liste des classes, le modèle d'apprentissage profond recevant en entrée, pour chaque récipient, un enregistrement des au moins deux images d'au moins une portion du récipient selon la première modalité et selon deux directions d'observation différentes, le modèle d'apprentissage profond, pour

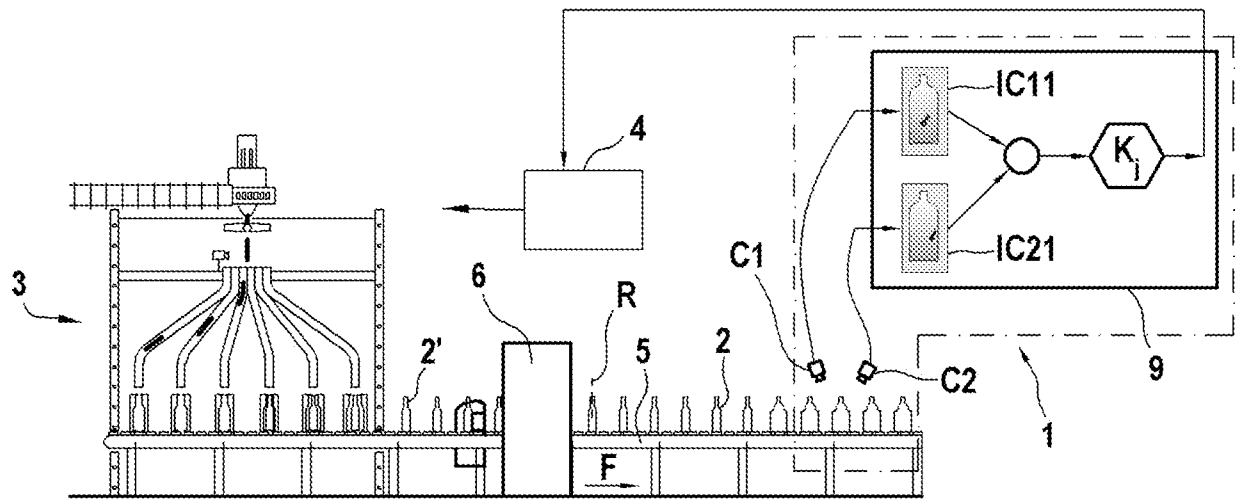
10 chaque récipient, analysant cet enregistrement pour déterminer l'appartenance de cette portion de récipient, à une classe résultat parmi la liste de classes, une fusion de données multi-vues étant mise en œuvre avant la détermination de l'appartenance à une classe par analyse, et la détermination de l'appartenance à une classe tient compte d'éléments

15 provenant de chaque image, de manière conjointe, et dans lequel lorsqu'un défaut est observé selon des directions d'observation différentes, il est considéré que c'est le même défaut..

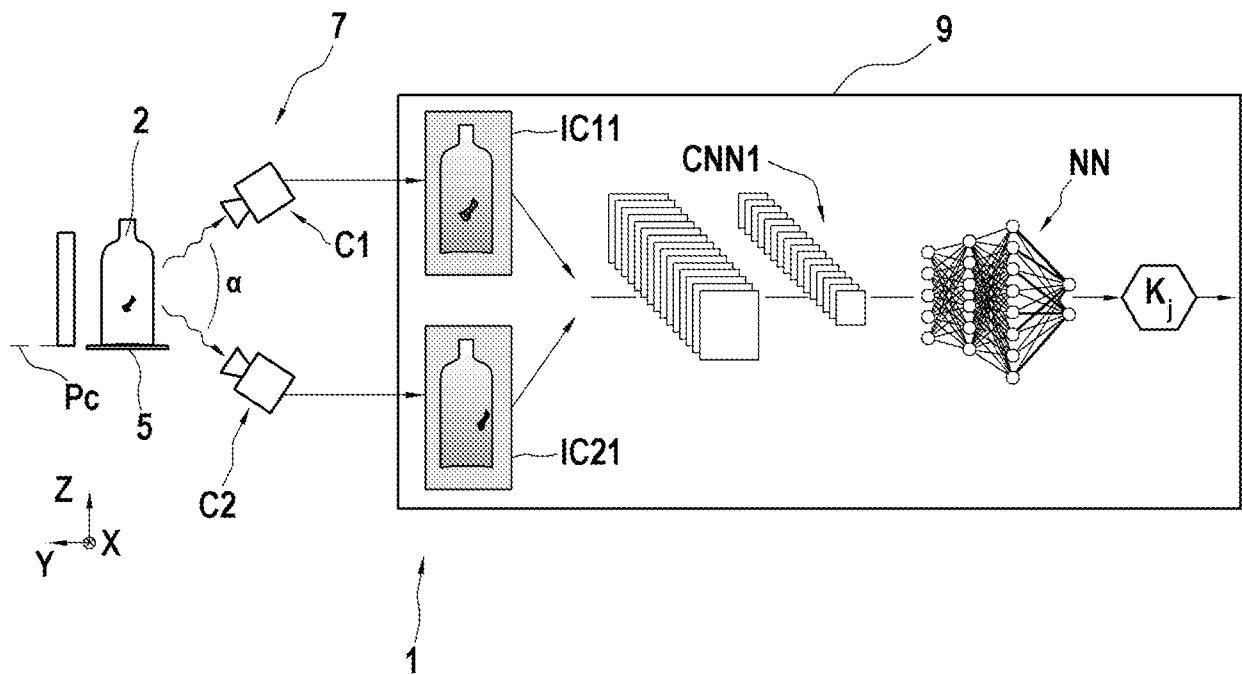
[Revendication 17] Modèle d'apprentissage profond obtenu par le procédé d'apprentissage selon l'une quelconque des revendications 11 à 15.

20 |

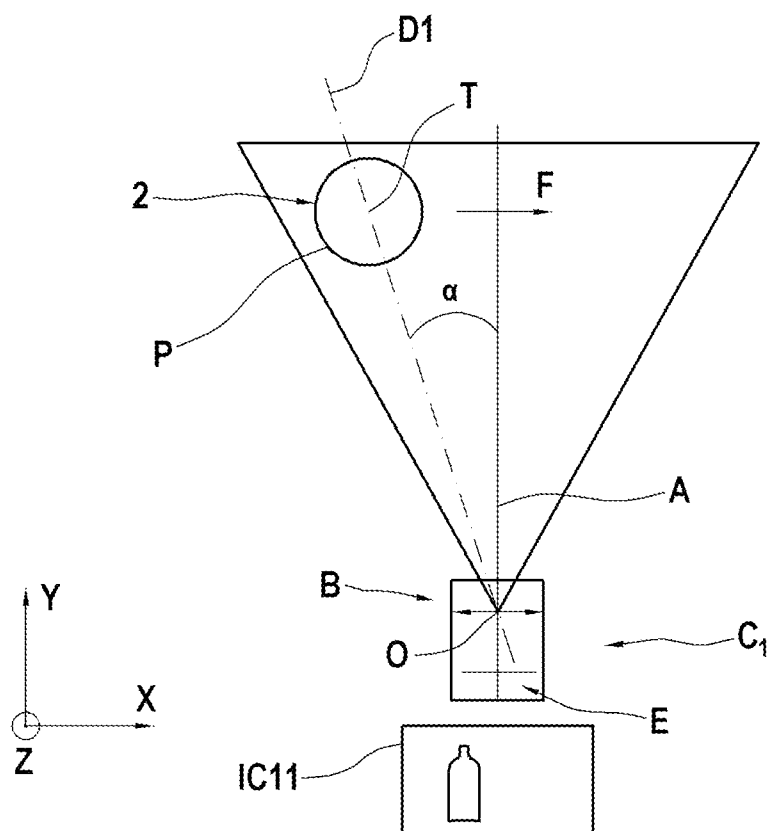
[Fig. 1]



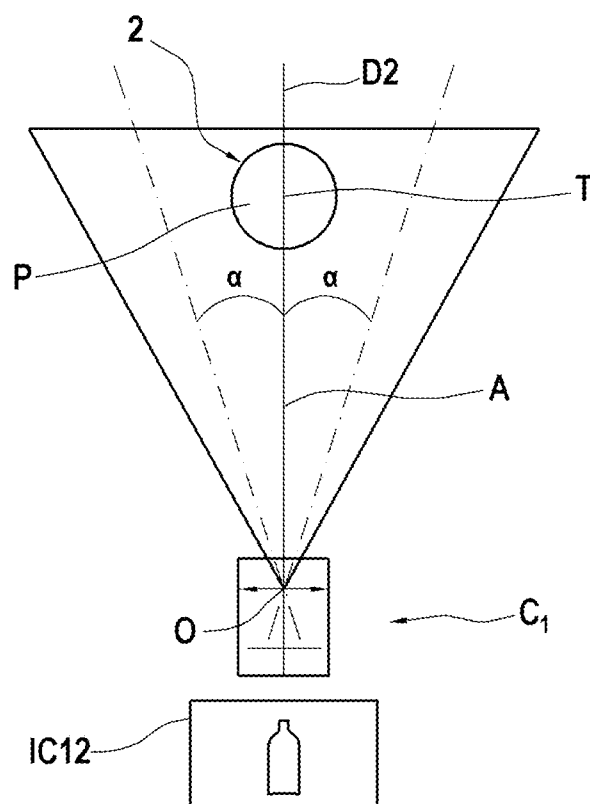
[Fig. 2]



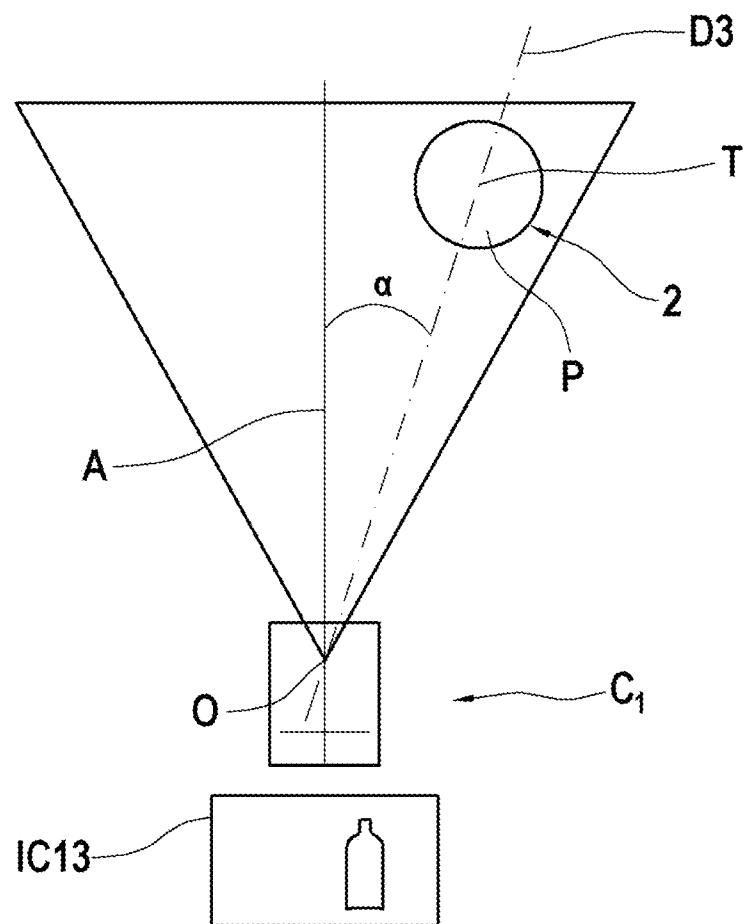
[Fig. 3A]



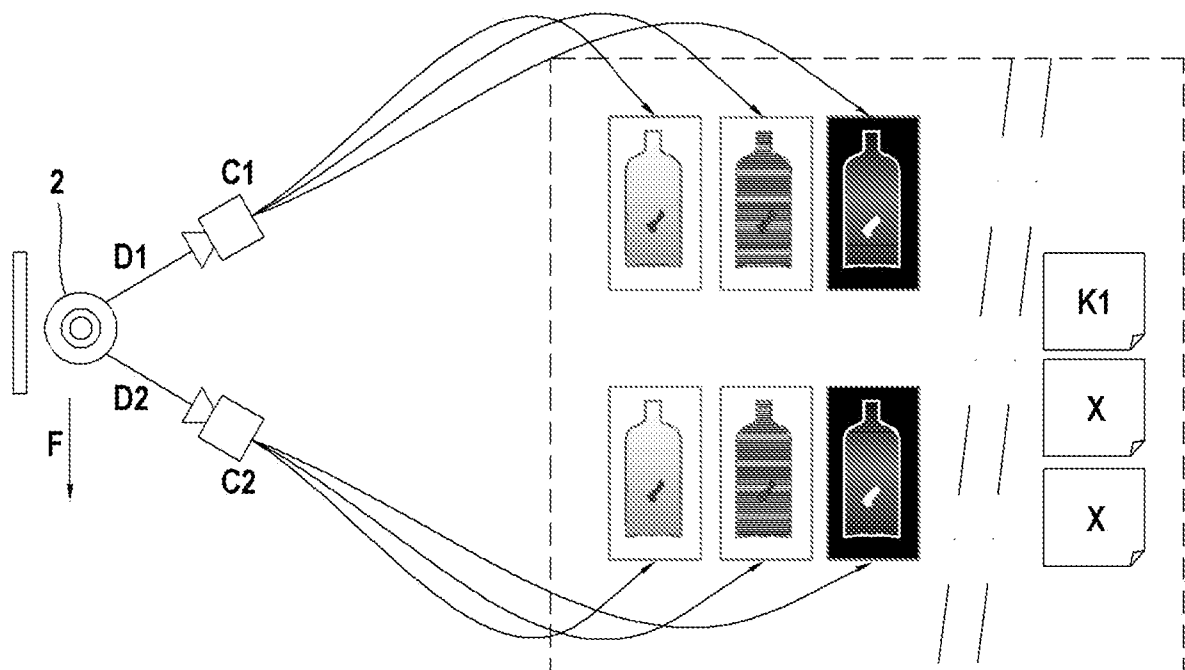
[Fig. 3B]



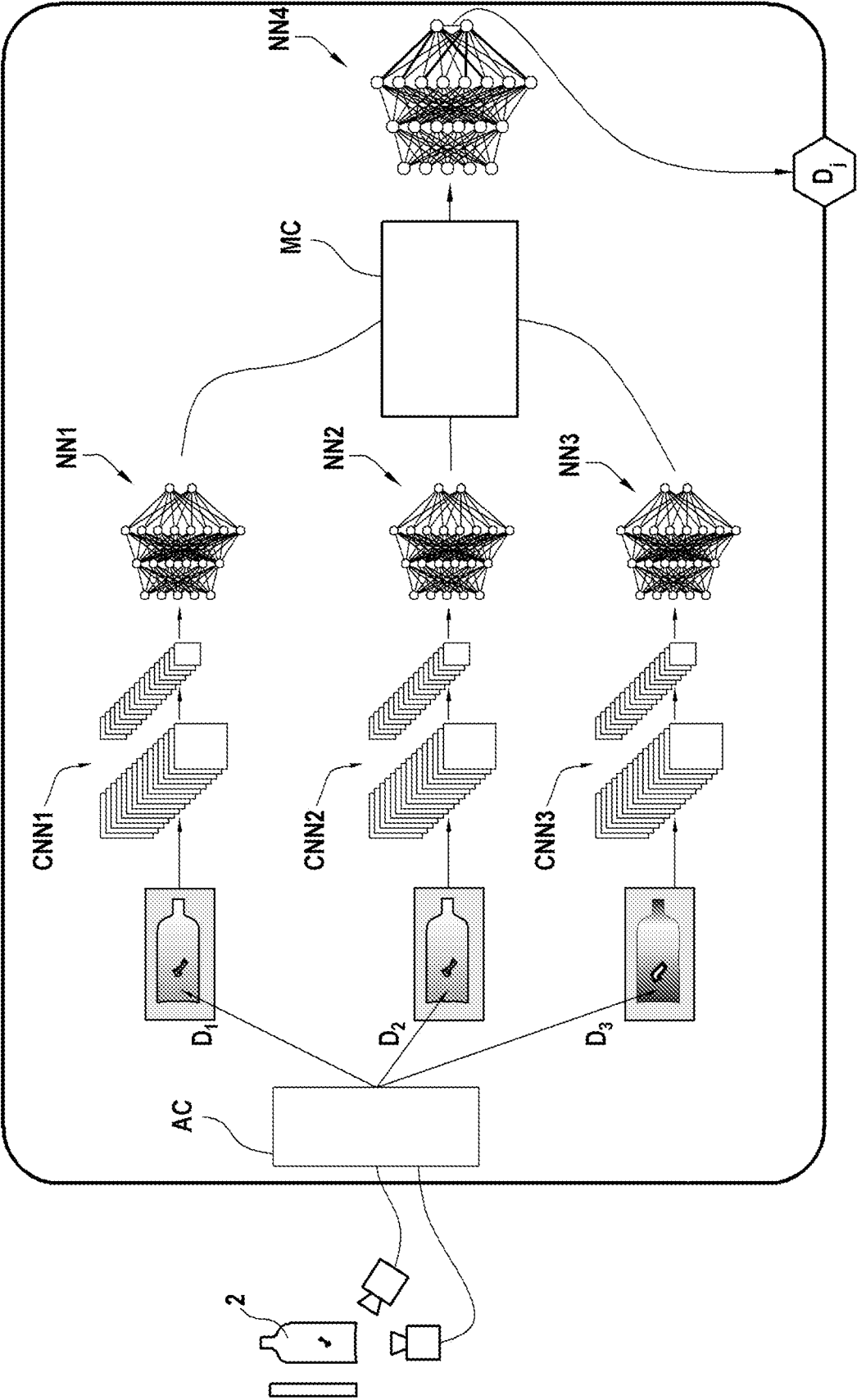
[Fig. 3C]



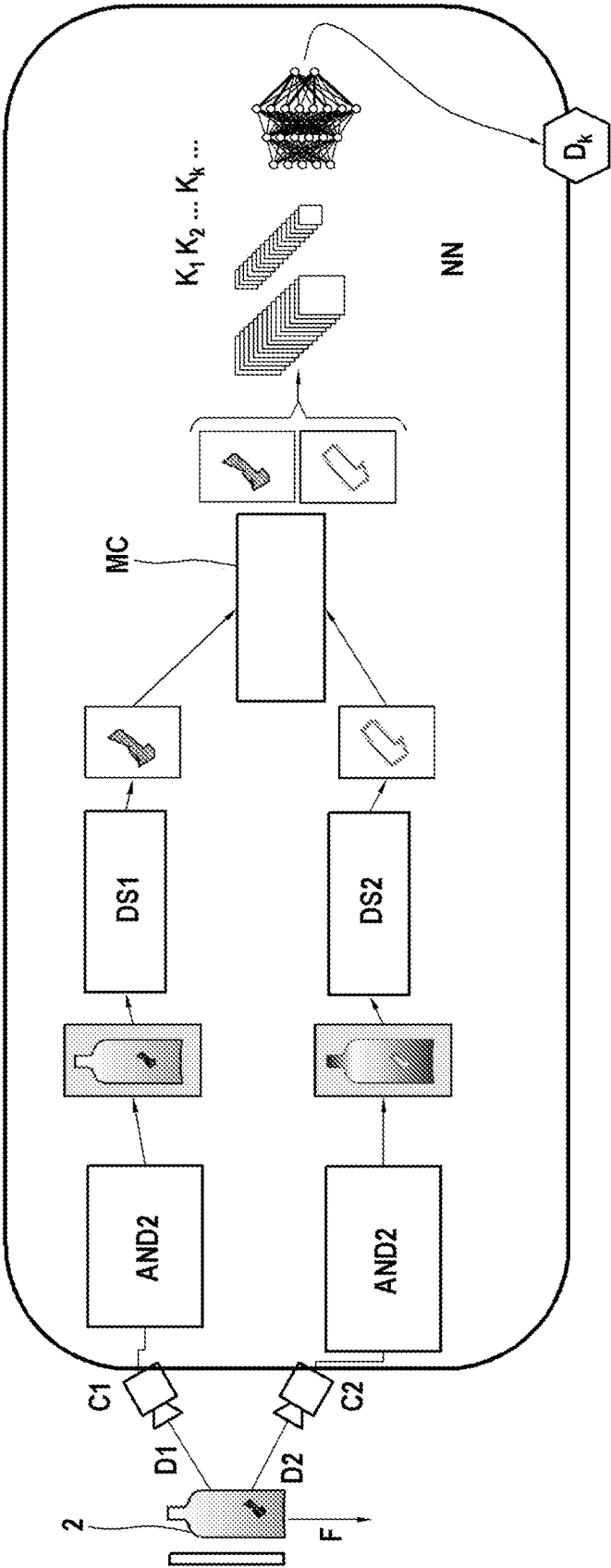
[Fig. 4]



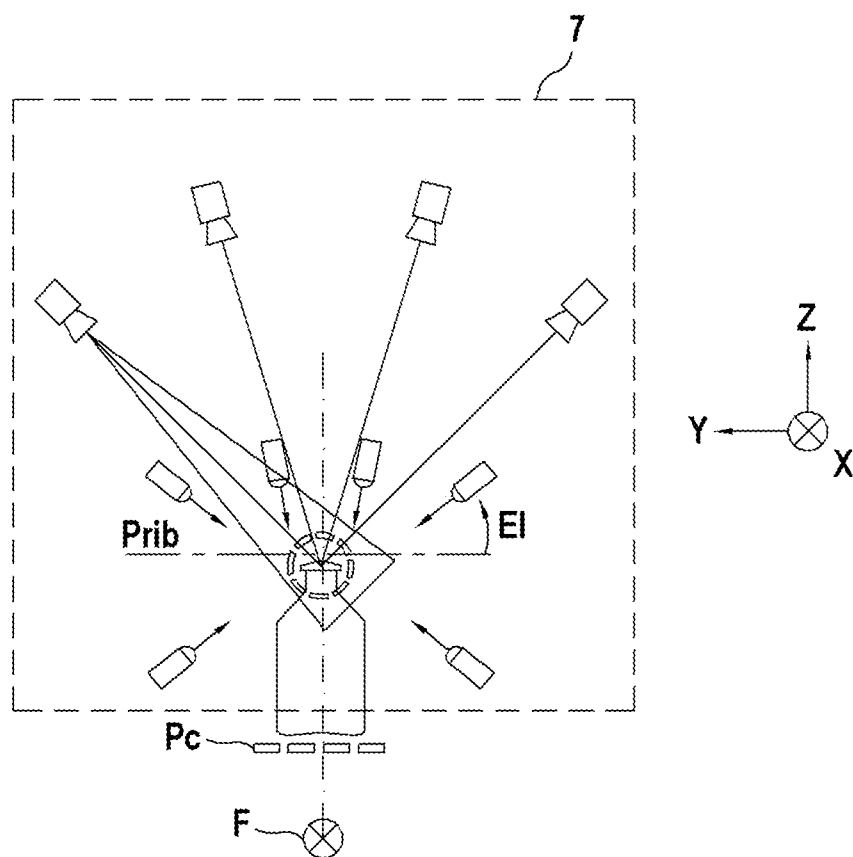
[Fig. 5]



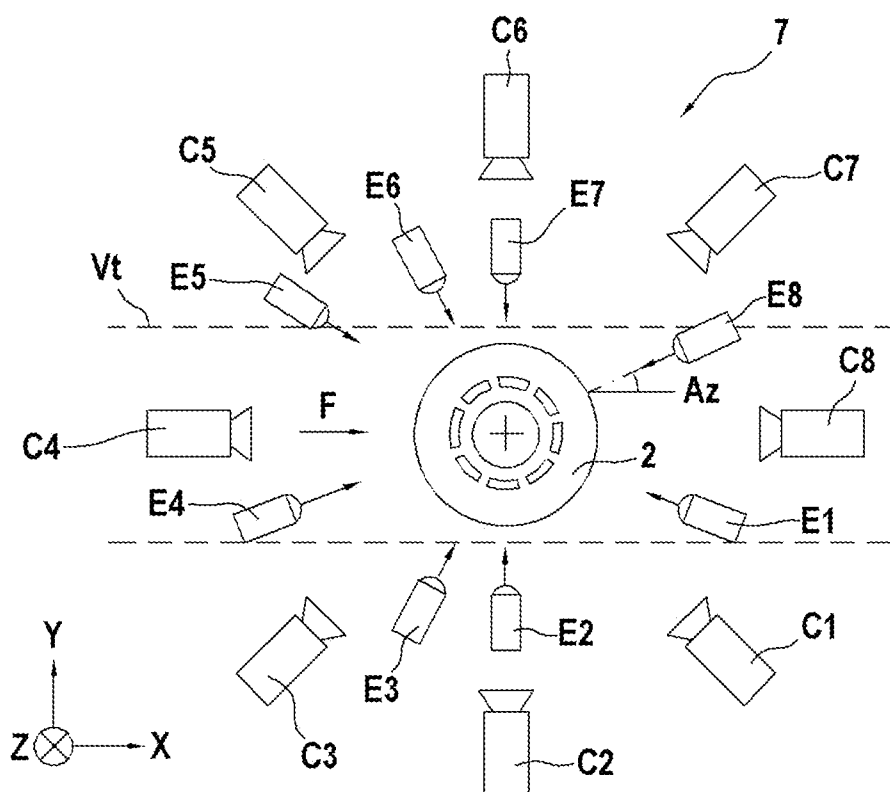
[Fig. 6]



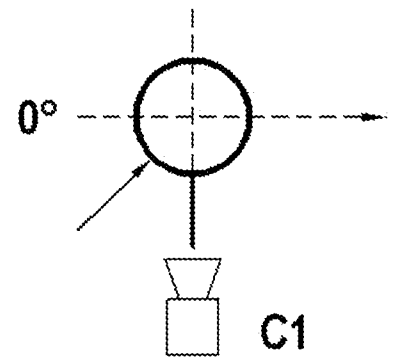
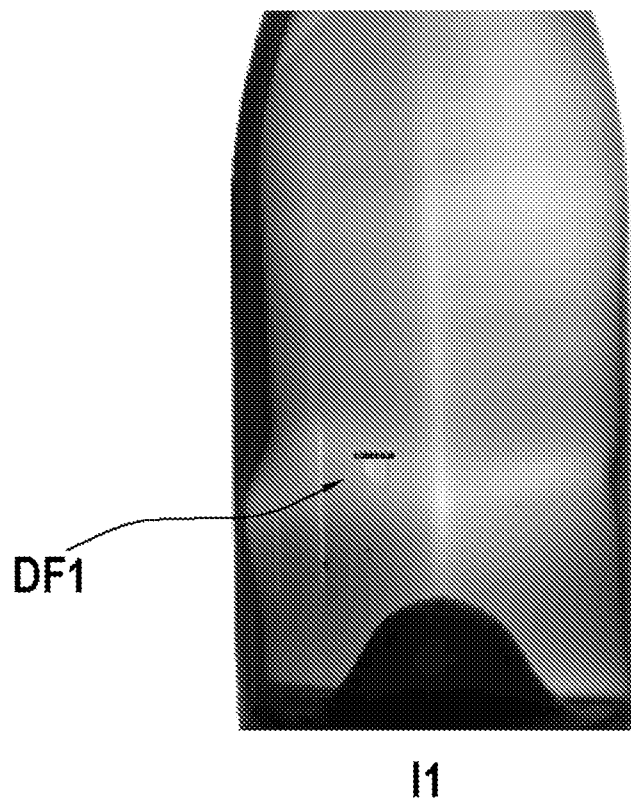
[Fig. 7A]



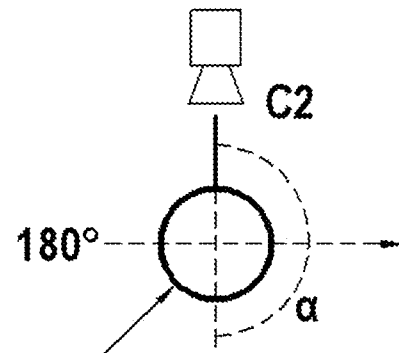
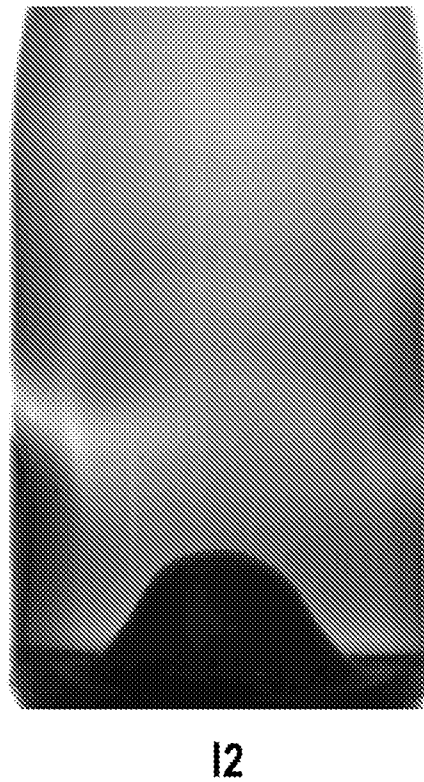
[Fig. 7B]



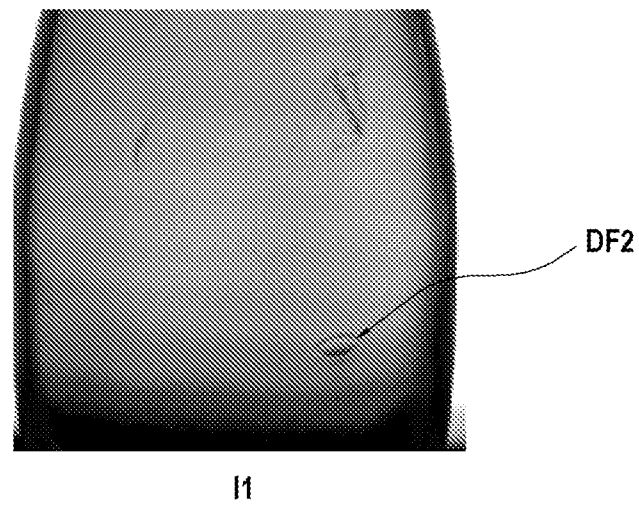
[Fig. 8A]



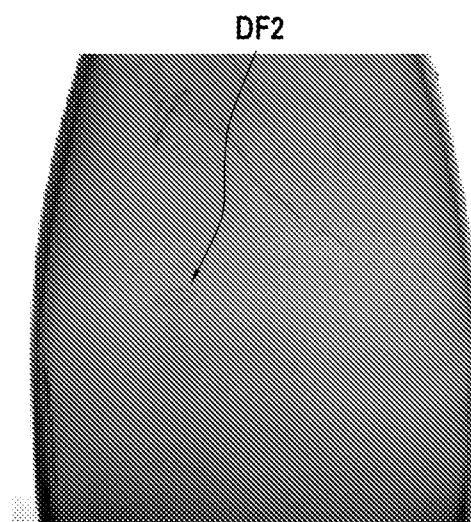
[Fig. 8B]



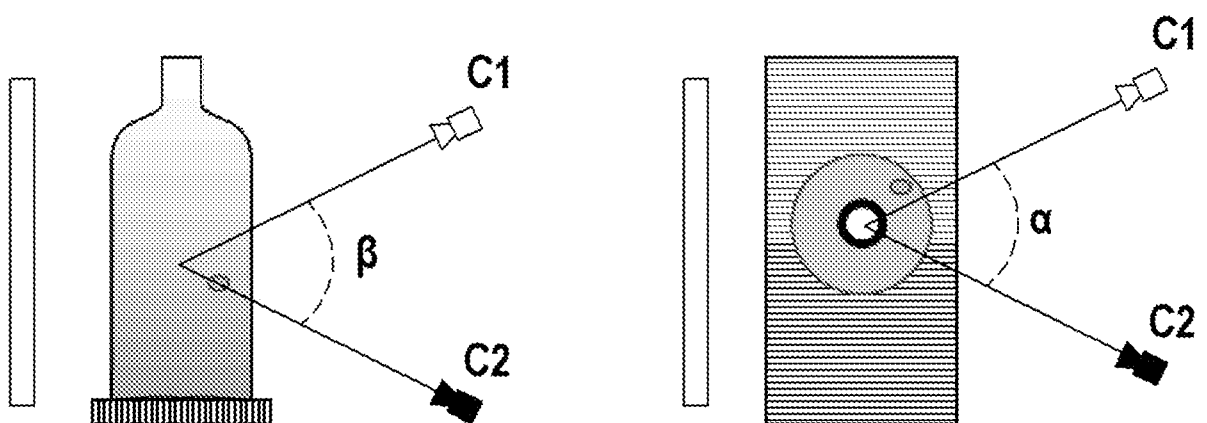
[Fig. 9A]



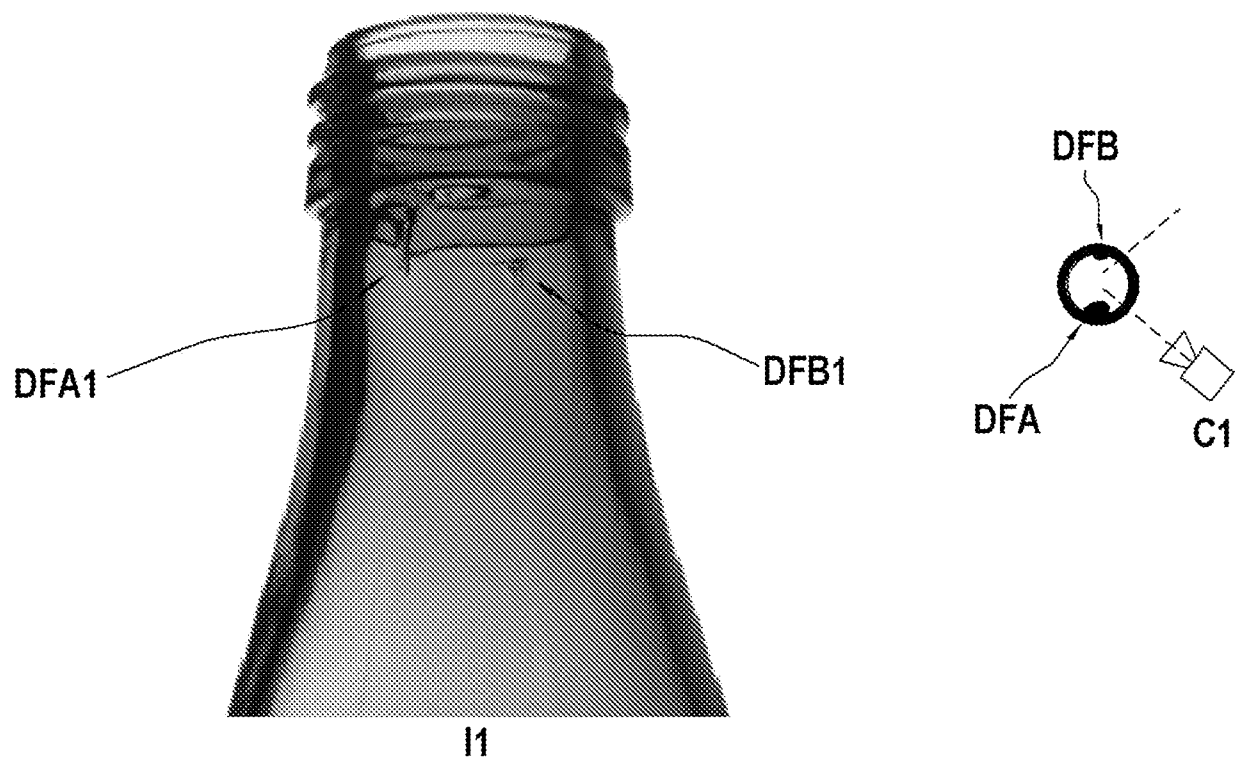
[Fig. 9B]



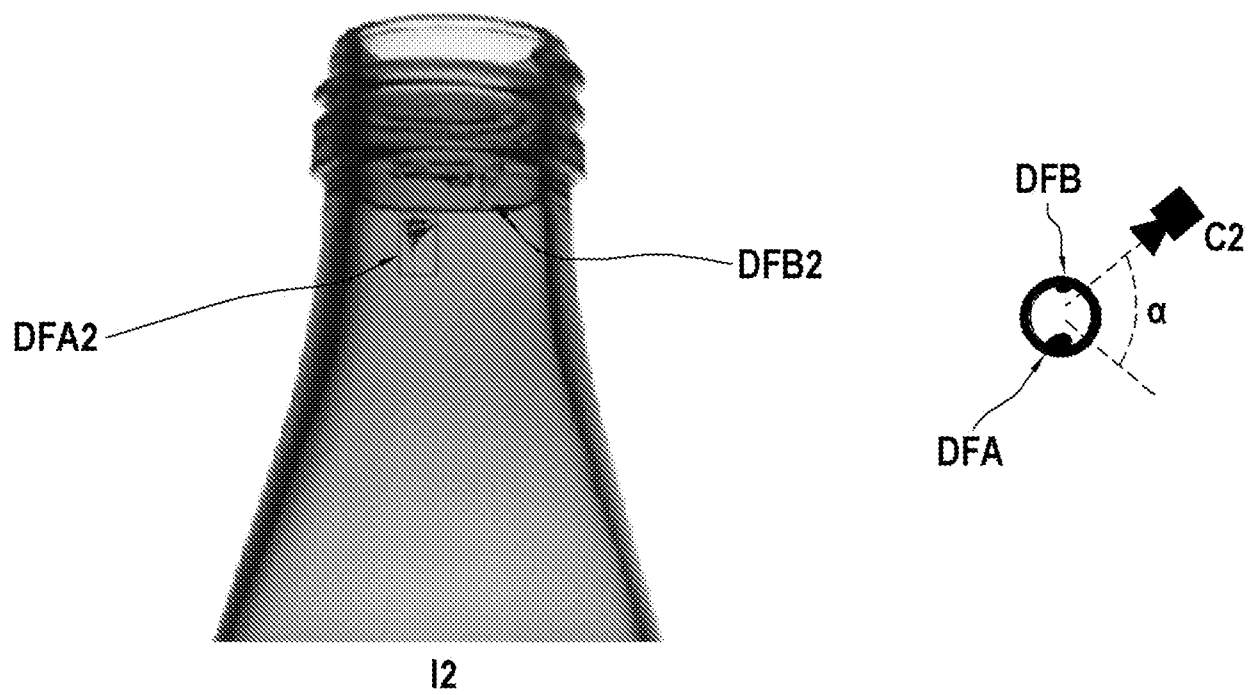
[Fig. 9C]



[Fig. 10A]



[Fig. 10B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2024/050859

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06T 7/00 (2017.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G06T Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	LIANG QIAOKANG ET AL. "Real-time comprehensive glass container inspection system based on deep learning framework" <i>ELECTRONICS LETTERS, THE INSTITUTION OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, GB</i> , Vol. 55, No. 3, 07 February 2019 (2019-02-07), pages 131-132 DOI: 10.1049/EL.2018.6934 ISSN: 0013-5194, XP006075830 the whole document	1-17
Y	PRZEMYSŁAW DOLATA. "Double-stream Convolutional Neural Networks for Machine Vision Inspection of Natural Products" , US, Vol. 31, No. 7-8, 14 September 2017 (2017-09-14), pages 643-659, APPLIED ARTIFICIAL INTELLIGENCE, Retrieved from the Internet: https://dx.doi.org/10.1080/08839514.2018.1428491 DOI: 10.1080/08839514.2018.1428491 ISSN: 0883-9514, XP093161211 abstract Section "Double-stream networks"; figures 3,6 Section "Conclusions"	1-17
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 10 October 2024		Date of mailing of the international search report 24 October 2024
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the) Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Salvador, Elena Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 3745298 A1 (SCHOTT SCHWEIZ AG [CH]) 02 December 2020 (2020-12-02) abstract paragraph [0006] - paragraph [0019] paragraph [0031] - paragraph [0036] paragraph [0026]	1-17
A	MIGUEL CARRASCO. "Visual inspection of glass bottlenecks by multiple-view analysis" <i>INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING.</i> , GB, Vol. 23, No. 10, 01 October 2010 (2010-10-01), pages 925-941 DOI: 10.1080/0951192X.2010.500676 ISSN: 0951-192X, XP093161205 abstract figures 1-7 section 5	1-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/FR2024/050859

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	3745298	A1	02 December 2020	CN	112017151	A	01 December 2020
				EP	3745298	A1	02 December 2020
				EP	4092635	A1	23 November 2022
				US	2021003512	A1	07 January 2021

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. G06T7/00

ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

G06T

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	LIANG QIAOKANG ET AL: "Real-time comprehensive glass container inspection system based on deep learning framework", ELECTRONICS LETTERS, THE INSTITUTION OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, GB, vol. 55, no. 3, 7 février 2019 (2019-02-07), pages 131-132, XP006075830, ISSN: 0013-5194, DOI: 10.1049/EL.2018.6934 le document en entier ----- -/-	1-17

☒

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

10 octobre 2024

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

24/10/2024

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Salvador, Elena

1

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

page 1 de 2

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	PRZEMYSŁAW DOLATA: "Double-stream Convolutional Neural Networks for Machine Vision Inspection of Natural Products", APPLIED ARTIFICIAL INTELLIGENCE , vol. 31, no. 7-8 14 septembre 2017 (2017-09-14), pages 643-659, XP093161211, US ISSN: 0883-9514, DOI: 10.1080/08839514.2018.1428491 Extrait de l'Internet: URL:https://dx.doi.org/10.1080/08839514.2018.1428491 abrégé Section Double-stream networks; figures 3,6 Section Conclusions -----	1-17
A	EP 3 745 298 A1 (SCHOTT SCHWEIZ AG [CH]) 2 décembre 2020 (2020-12-02) abrégé alinéa [0006] - alinéa [0019] alinéa [0031] - alinéa [0036] alinéa [0026] -----	1-17
A	MIGUEL CARRASCO: "Visual inspection of glass bottlenecks by multiple-view analysis", INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING., vol. 23, no. 10, 1 octobre 2010 (2010-10-01), pages 925-941, XP093161205, GB ISSN: 0951-192X, DOI: 10.1080/0951192X.2010.500676 abrégé figures 1-7 Section 5 -----	1-17

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

PCT/FR2024/050859

Formulaire PCT/ISA/210 (annexe familles de brevets) (avril 2005)