(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 067 111**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **17 54799**

(51) Int Cl[8] : ***G 01 N 21/21*** *(2017.01), G 01 N 21/896, G 01 N 21/958*

# (12) BREVET D'INVENTION B1

## (54) DISPOSITIFS OPTIQUES POUR L'ANALYSE QUALITE D'UN VITRAGE.

(22) **Date de dépôt :** 31.05.17.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 07.12.18 Bulletin 18/49.

(45) **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention :** 30.08.19 Bulletin 19/35.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche :**

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

◯ **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE Société anonyme* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** DECOURCELLE ROMAIN, DUMOULIN OLIVIER et RYBARCZYK THEO.

(73) **Titulaire(s) :** SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE Société anonyme.

(74) **Mandataire(s) :** SAINT GOBAIN RECHERCHE Société anonyme.

FR 3 067 111 - B1

# DISPOSITIFS OPTIQUES POUR L'ANALYSE QUALITE D'UN VITRAGE

La présente invention concerne le domaine de l'analyse qualité des vitrages, notamment des marques de trempe ou d'hétérogénéités de chauffe d'un vitrage trempé ou semi trempé (autrement dit durci).

De manière connue le verre trempé présentant des contraintes est optiquement anisotrope. Il développe des propriétés de biréfringence. Ce sont ces propriétés qui sont utilisées pour analyser les marques de trempe dans le brevet WO 2011/157815.

Pour procéder à l'analyse des marques de trempe, le vitrage est passé dans un ensemble pour la mesure de la présence de biréfringence résultant de la trempe. La base de cet ensemble est constituée par un dispositif de mesure par photo-élasticimétrie ou polariscope qui comporte :

- en amont du vitrage une source de lumière, un premier polarisateur rectiligne, une première lame à retard,
- en aval du vitrage, une deuxième lame à retard, un analyseur (deuxième polariseur rectiligne) puis un photodétecteur.

Cela génère une image de l'intensité et de la distribution des marques localisées sur le vitrage. L'image des marques présentes est ensuite analysée selon des critères préétablis pour correspondre à la perception de l'apparence de ces marques par un observateur. Une évaluation statistique a été auprès d'un ensemble d'experts auquel est soumis une série de vitrages trempés.

Cette analyse manque de fiabilité au sens où l'image analysée va dépendre du système optique utilisé.

Un but de l'invention est de fournir une analyse de la qualité d'un vitrage trempé et même semi trempé indépendante du matériel utilisé.

À cet effet, l'invention a d'abord pour objet un dispositif optique comprenant un premier polariscope de préférence à la verticale comportant dans cet ordre, suivant un alignement optique avec un axe optique (de préférence axe vertical Z ou axe horizontal) :

- une première source de lumière (visible), de préférence polychromatique, avec un spectre donné, notamment blanc, délivrant un faisceau lumineux -dont la lumière est émise de façon préférentielle dans la direction donnée par l'axe optique-, en particulier une pluralité de diodes électroluminescentes inorganiques (dites LEDs) ou même une ou plusieurs de diode(s) électroluminescente(s) organique(s) (dite OLED), première source de lumière orthogonale à l'axe optique,

- un premier polarisateur circulaire (ou quasi circulaire) dans un premier sens de rotation -gauche ou droit-, notamment comportant un premier polariseur linéaire – notamment avec un premier axe de polarisation X1- et une première lame quart d'onde – notamment avec un premier axe rapide et un premier axe lent avec un angle A1 de 45° par rapport au premier axe de polarisation X1-,
- un premier analyseur qui est un polariseur circulaire (ou quasi circulaire) dans un deuxième sens de rotation de la polarisation opposé au premier sens de rotation - respectivement ou droit ou gauche -, notamment premier analyseur comportant une deuxième lame quart d'onde notamment avec un deuxième axe rapide et un deuxième axe lent (à un angle A2 égal à A1 en valeur absolue) suivi d'un deuxième polariseur linéaire notamment avec un deuxième axe de polarisation Y1 perpendiculaire à l'axe optique et au premier axe de polarisation X1 (donc premier et deuxième polariseurs croisés), en particulier le deuxième axe lent est aligné avec le premier axe rapide et le deuxième axe rapide est aligné avec le premier axe lent.

Le dispositif optique selon l'invention comprend en outre en aval du premier analyseur et suivant ledit alignement optique :

- un premier capteur numérique, orthogonal à l'axe optique,
- un premier objectif orthogonal à l'axe optique et définissant un plan focal, en regard du premier capteur numérique et entre le premier analyseur et le premier capteur numérique, notamment fixé au ou contre le premier capteur numérique.

Et le dispositif optique selon l'invention comprend entre le premier polarisateur et le premier analyseur, et suivant ledit alignement optique, un premier générateur de retards optiques étalonné, orthogonal à l'axe optique, en particulier un compensateur de Babinet, dans une plage AB avec la valeur A (nombre entier de préférence) dans une gamme allant de 0nm à 100nm, de préférence A étant égal à 0nm, et avec l'écart B-A d'au moins 100nm voire d'au moins 200nm et même d'au plus 2000nm, ou même d'au plus 800nm ou d'au plus 500nm ou d'au plus 300nm et de préférence le premier générateur de retards optiques étant dans ledit plan focal.

Le premier capteur numérique comporte un ensemble de premiers photodétecteurs sensibles dans le spectre de la première source de lumière, ayant une réponse spectrale donnée. Un ou (de préférence) des premiers photodétecteurs dits de calibration sont en regard (de la surface de calibration, notamment de l'ouverture) du premier générateur de retards optiques. Chaque premier photodétecteur de calibration reçoit successivement pour chacun desdits retards optiques dans ladite plage AB de l'énergie lumineuse issue du faisceau lumineux sortant du premier analyseur, le premier capteur numérique générant alors des images numériques dites de calibration pour lesdits retards optiques dans ladite plage AB, chaque image numérique de

calibration étant formée d'un ou de pixels avec un ou des canaux de référence Ck représentatifs de la réponse spectrale du ou des premiers photodétecteurs de calibration.

Le dispositif optique selon l'invention comporte enfin une première unité de traitement des images numériques de calibration formant une base de calibration contenant pour chaque retard optique dans la plage AB des valeurs numériques Ik pour chacun des canaux de référence Ck, valeurs numériques Ik étant représentatives des énergies lumineuses collectées par le ou les premiers photodétecteurs de calibration.

On peut ainsi réaliser la calibration du premier capteur numérique et du premier polariscope selon l'invention à partir du premier générateur de retards optique étalonné ce qui présente les avantages suivants :

- objectivité car la mesure de chaque retard optique est indépendante du choix du matériel optique utilisé pour le polariscope,
- simplicité car s'appuie sur des systèmes optiques aisément disponibles,
- rapidité car l'association d'un retard avec des valeurs Ik ne demande pas de calcul complexe (calculs numériques, d'équations, utilisation des lois de photoélastométrie etc), notamment il s'agit juste d'extraire/de collecter les données numériques (valeurs Ik pour chaque retard) pour former la base de calibration, on peut simplement faire la moyenne des Ik si plusieurs pixels de calibration.

En particulier, chaque image de calibration peut être de taille réduite. En outre, on collecte un nombre raisonnable d'images de calibration donc le temps de traitement est rapide.

Lors de cette calibration, seule une fraction du faisceau lumineux (homogène) peut être utile (celle traversant l'ouverture, une zone de la lame, la surface de calibration ...).

Par exemple on forme une bande lumineuse (linéaire, rectangulaire etc) qui servira (au moins la partie centrale) dans sa totalité par la suite lors de l'analyse qualité du vitrage. Par exemple l'ensemble des diodes –leds ou oled(s)- sont installées, une fraction (par exemple la majorité) des diodes n'est pas utilisée (elles peuvent être éteintes ou allumées indifféremment) mais serviront par la suite lors de l'analyse qualité du vitrage. On peut éviter de rajouter des diodes après la calibration (de part et d'autre de la surface de calibration, de l'ouverture) car cela peut fausser la calibration en changeant l'environnement lumineux et/ou cela rajoute une étape.

Lors de la calibration, l'ensemble des photodétecteurs utilisés par la suite lors de l'analyse qualité du vitrage sont de préférence installés, une fraction (par exemple la majorité) des photodétecteurs ne sont pas utilisés mais serviront lors de l'analyse

qualité du vitrage. On peut alternativement rajouter des photodétecteurs (de part et d'autre de la surface de calibration, de l'ouverture) après la calibration.

Il est en de même concernant le choix de la taille de l'analyseur ou du polariseur, on préfère les choisir de taille suffisante pour l'analyse qualité ultérieure du vitrage).

Lors de la calibration, tout photodétecteur qui est illuminé par le faisceau lumineux hors zone à retard n'est pas utilisé. Il pourrait être ajouté au moment de l'analyse qualité mais par simplicité on préfère les installer tous pour la calibration.

L'axe optique passe donc le centre du premier objectif, et notamment par le centre de la surface de calibration (de l'ouverture). De préférence, il passe par le centre (la ligne centrale) de la première source.

De manière avantageuse, le premier générateur de retards optiques étalonné comporte un système optique en matériau biréfringent, choisi parmi :

- a) un ensemble de lames planes à retards optiques statiques étalonnées interchangeables, retards optiques dans la plage AB, chaque lame étant insérée successivement dans le dispositif optique,
- ou b) un système ou compensateur optique étalonné, de préférence un compensateur de Babinet Soleil (ou équivalent), comportant des première et deuxième lames en coin, en matériau biréfringent, la deuxième lame étant mobile en translation par rapport à la première lame statique.

La calibration avec un tel système optique biréfringent selon l'invention est alors très simple car elle ne nécessite pas un montage complexe où les retards optiques seraient générés par un montage mécanique consistant par exemple à mettre un échantillon de verre sous contraintes par compression (exemple de la compression diamétrale) ou traction.

On préfère en outre cette calibration avec un tel système optique biréfringent selon l'invention à une calibration qui nécessiterait un ou plusieurs verres de référence dont on doit connaitre le champ des contraintes et dont on infère le pouvoir retardant grâce à l'utilisation de lois photoélastiques.

Le dispositif optique avec un tel système optique biréfringent selon l'invention est aisément portatif si nécessaire.

De préférence le premier générateur de retards optiques par exemple le système optique biréfringent, notamment le compensateur, est posé sur et/ou fixé (pour être stable) à un support de montage fixe (immobile, statique au moment de la calibration retard par retard), de préférence sur une plaque plane par exemple fixé sur un cadre ou un montant latéral, de préférence horizontal si alignement optique à la verticale.

Le premier générateur de retards optiques selon l'invention peut être défini par une surface de calibration, centrée sur l'axe optique, en regard d'un trou du support de montage éventuel tel qu'une plaque plane.

Par exemple pour a), on utilise tour à tour des plaques en plastique (de préférence en acrylique), notamment de 2mm d'épaisseur, avec un retard optique statique. On préfère que le faisceau lumineux traverse la plaque en dehors de la zone des bords.

Le changement de lame plane à retard optique statique peut être automatisé, par exemple avec un système de plaque tournante ou mobile en translation.

Le dispositif optique avec un compensateur (de Babinet Soleil) étalonné selon l'invention permet en outre d'obtenir tous les retards optiques, sur une plage à façon, sans modifier (ajout, échange d'élément optiques) le dispositif optique.

De manière préférée, le premier générateur de retards optiques est un compensateur notamment de Babinet Soleil, comportant en regard et espacées entre elles :

- une première lame en coin fixe, triangulaire, en un premier matériau biréfringent (uniaxe, défini par un premier axe optique) comme le quartz ou d'autres cristaux tels que le fluorure de magnésium,

et une deuxième lame, en coin, triangulaire, mobile en translation par rapport à la première lame en un deuxième matériau biréfringent (uniaxe, défini par un deuxième axe optique), comme le quartz ou d'autres cristaux tels que le fluorure de magnésium de préférence identique au premier matériau biréfringent.

La translation de la lame en coin mobile peut être générée par moteur ou manuellement par vis (ou autre moyen mécanique) notamment micrométrique. Même manuellement, il est possible d'incrémenter les retards optiques dans la plage AB (en ordre croissant de A à B ou décroissant de B à A) avec un pas donné (repères sur la vis etc).

Ces premier et deuxième axes optiques sont orthogonaux. En notant d1 et d2 respectivement l'épaisseur locale de la première lame en coin et de la deuxième le long de l'axe optique du dispositif optique, ne et no les indices ordinaires et extraordinaires du matériau biréfringent, δ le retard optique ou différence de marche entre deux vibrations électromagnétiques orthogonales entre elles et parallèles respectivement aux axes optiques des deux lames du compensateur correspond à : (n0-ne) (d1-d2).

Le compensateur selon l'invention peut être défini par une ouverture, centrée sur l'axe optique. L'ouverture est entièrement illuminée par la première source de lumière, l'ouverture étant dans ledit plan focal, de largeur O1 d'au plus 30mm (diamètre

si ouverture circulaire ou diamètre équivalent). L'ouverture étant dans la zone de passage de la lumière, zone de passage entourée par des moyens d'obturation, comme un cache ou un boitier opaque doté de l'ouverture. L'un ou des premiers photodétecteurs de calibration sont en regard de l'ouverture.

De préférence, le changement de retard optique est automatisé (contrôlé par ordinateur), notamment :

- le changement de lame plane à retard optique statique est automatisé, par exemple avec un système de plaque tournante ou mobile en translation ou
- le premier générateur de retards optiques étant un compensateur, tel que le compensateur de Babinet Soleil, motorisé, apte à incrémenter automatiquement les retards optiques dans la plage AB (en ordre croissant de A à B ou décroissant de B à A).

Le moteur (contrôlé par ordinateur) est par exemple sur un (premier) support de montage tel qu'une plaque plane. Le pas d'incrémentation P0 est de préférence d'au plus 1nm et même d'au plus 0,5nm et d'au moins 2nm, en particulier entre 15 et 25mm et même 0 et 25mm.

On peut choisir des pas variables, par exemple :

- un pas plus petit c'est-à-dire de 0,5nm dans la gamme de retards AB1 de 0 à 200nm,
- puis un pas plus grand c'est-à-dire de 1nm dans la gamme de retards de B1 de plus de 200nm à 800nm.

En particulier, le premier générateur de retards optiques, tel que le compensateur notamment de Babinet Soleil, peut être relié à une interface de contrôle (un ordinateur) en communication avec la première unité de traitement.

Les pixels sont les images numériques portant des valeurs représentatives de l'énergie lumineuse reçue par le ou les composants photo-sensibles (l'ensemble des premiers photodétecteurs) du premier capteur (caméra) formant récepteurs du faisceau lumineux ayant traversé le polariscope. Chaque premier photodétecteur peut comporter une surface photosensible (élémentaire) par couleur (donc par canal de référence pour le pixel), notamment trois surfaces photosensibles (élémentaires) pour un pixel avec les canaux R, G, B. Chaque premier photodétecteur peut alternativement comporter une surface photosensible pour l'ensemble des couleurs (donc tous les canaux de référence pour le pixel), notamment une surface photosensible (élémentaire) pour un pixel avec les canaux R, G B.

La première unité de traitement établit pour chaque pixel utilisé lors de la calibration la valeur Ik pour chaque canal de référence Ck, et ceci pour chaque retard optique.

La première unité de traitement établit pour chaque pixel la valeur Ik pour chaque canal de référence Ck, et ceci pour chaque retard optique.

De préférence il n'y a pas de lumière parasite.

La surface lumineuse au niveau du premier générateur de retards optiques peut être supérieure à la taille de la surface de calibration (de l'ouverture) de façon à ce que la puissance lumineuse passant par la surface de calibration (l'ouverture) soit homogène, notamment intensité lumineuse, en cd, variant d'au plus 5%.

Pour une calibration plus précise plus généralement, on préfère que la puissance lumineuse au niveau du premier générateur de retards optiques notamment système optique birinfringent (lame à retard statique par exemple) soit homogène.

Pour la calibration à un retard donné, un seul premier photodétecteur de calibration (et donc un pixel de référence) de préférence centré sur l'axe optique peut suffire pour générer correctement la base de calibration retard versus canaux de référence. Notamment on met ainsi de côté les effets de perspectives par exemple dus à l'utilisation d'un faisceau lumineux divergent (angle des rayons quand on s'éloigne de l'axe optique), sans optique de collimation.

Avec un compensateur, un seul premier photodétecteur est en regard de l'ouverture et même au centre de l'ouverture.

Pour la calibration à un retard donné avec un compensateur, on peut en particulier choisir de sélectionner une fraction des premiers photodétecteurs illuminés du premier capteur et dans l'ouverture. On peut utiliser comme premiers photodétecteurs de calibration ceux représentatifs du centre de l'ouverture, pour éviter les effets de bords. Ensuite, on moyenne sur ces photodétecteurs de calibration représentatifs, canal par canal, pour avoir les valeurs Ik pour chaque retard optique.

En particulier, l'ouverture du compensateur est circulaire, de diamètre O1 ou l'ouverture du compensateur est de diamètre équivalent O1, le centre de l'ouverture est inscrit dans un disque central de diamètre O1/2, les premiers photodétecteurs de calibration dits représentatifs sont entièrement en regard dudit disque central.

Le premier générateur de retards optiques peut comporter une surface d'entrée illuminée (de façon homogène) par le faisceau lumineux définissant une surface de calibration. Cela génère un retard (homogène) sur toute la surface.

La surface de calibration peut être (très) inférieure à la surface d'analyse du verre. Par exemple la surface de calibration est (un disque) de diamètre d'au plus 30mmn dans une gamme de 5mm à 25mm ou une surface (rectangle, etc) de diamètre équivalent d'au plus 30mm et même de 5mm à 25mm. Par exemple la surface d'analyse du verre est au moins 10 fois ou au moins 100 supérieure à la surface de calibration.

En particulier pour le compensateur, la surface de calibration peut être tout ou partie de la surface de l'ouverture (surface d'un disque central de l'ouverture par exemple) et être (très) inférieure à la surface d'analyse du verre. Par exemple la surface d'analyse du verre est au moins 10 fois ou au moins 100 supérieure à la surface de l'ouverture ou même du disque central de l'ouverture.

Les surfaces photosensibles élémentaires des premiers photodétecteurs de calibration (et même des autres dudit ensemble de premiers photodétecteurs) sont de largeur Wp et de préférence de forme carrée. Donc Wp est < O1 et même à O1/2.

On peut avoir une fraction de ligne de premiers photodétecteurs de calibration représentatifs ou une fraction de photodétecteurs de calibration réparties en matrice.

L'ensemble de premiers photodétecteurs peut être en ligne ou en matrice. Le faisceau de la première source de lumière est reçu sur le premier capteur numérique linéaire, qui s'étend linéairement suivant une direction parallèle à celle du faisceau lumineux initial. Les premiers photodétecteurs sont donc alignés selon cette direction.

L'intensité Ik pour chaque canal de référence dans chaque pixel est donnée en valeurs numériques (digital unit Du en anglais). Pour un codage en 8bits, l'intensité varie de 0 à 255 (256 valeurs numériques soit $2^8$).

Le codage peut être suivant au moins trois longueurs d'onde de référence par exemple le Rouge « R » centré sur lambda1 = 611,3nm, le Vert « G » centré sur lambda2= 549,2nm, et le Bleu « B » centré sur lambda 3= 464,3nm (RGB en anglais). Il s'agit donc de trois bandes spectrales par exemple R± 50nm ; G± 50nm B±50nm.

On choisit donc de préférence comme canaux de référence les canaux RGB aisément disponibles. On obtient donc pour chaque retard, pour un pixel dans l'ouverture, un triplet RGB (a,b,c) ou a, b et c sont les valeurs Ik par canal R, G B.

La première unité de traitement est agencée en amont du premier capteur numérique relié par liaisons avec ou sans fils au premier capteur notamment déporté du convoyeur et de préférence relié à la première source de lumière.

La première unité de traitement peut comprendre un ordinateur relié par liaisons avec ou sans fils au premier capteur (déporté du convoyeur) et de préférence à la première source de lumière. La première unité de traitement commande le premier capteur et même la première source de lumière.

On peut utiliser un ordinateur relié par liaisons avec ou sans fils au premier capteur (déporté du convoyeur) et de préférence à la première source de lumière.

La première unité de traitement (un ordinateur) interagit avec le premier capteur numérique (pilote et récupère les données) et même pilote la première source de lumière.

Le premier capteur numérique peut être branché sur un port ethernet d'un ordinateur (avec une carte réseau etc), notamment avec protocole « GigE ».

Un ordinateur peut gérer la première source de lumière notamment commande l'allumage (pour moins de fatigue du matériel).

La première unité de traitement (un ordinateur) reçoit les données du premier capteur numérique et commande l'acquisition (temps expo...), récupère les données et les stocke sous forme de pixels

La première unité de traitement (un ordinateur) commande: le passage automatisé d'un retard optique à un autre retard optique par exemple le mouvement du moteur du compensateur (de Babinet) automatisé ou d'une roue (ou autre) avec les lames à retard fixe, l'analyse des données du capteur numérique, l'enregistrement du fichier résultat de calibration, l'affichage d'une interface homme-machine.

De manière préférée, le dispositif optique comporte entre le premier générateur à retards optique et le premier capteur linéaire, en amont du premier analyseur, une lame à retard optique étalonnée avec un retard A'0 choisi dans la zone ou la relation valeur Ik en fonction du retard optique est sensiblement linéaire pour au moins l'un des canaux de référence Ck, notamment de 70 ou 75 à 175 nm ou 185 nm ou à partir de 350 ou 375 nm à 425nm.

On peut procéder à une calibration simultanée dans deux zones balayées par le faisceau lumineux (ou plus encore de zones) de la première source de lumière en multipliant les éléments. On duplique les éléments optiques nécessaires en particulier on rajoute au moins (si on partage le premier polariscope):

- un deuxième générateur de retards optiques, de préférence identique au premier
- un ensemble de deuxièmes photodétecteurs. de préférence identiques et avec leurs objectifs.

On choisit de placer les deux surfaces de calibration (les deux ouvertures par exemple des compensateurs) des deux générateurs de retards optiques sur l'axe optique, en particulier sur la ligne centrale de la source linéaire. Par exemple ils sont équidistants du centre et/ou espacés d'au moins 50cm.

Dans ce cas, l'unité de traitement peut traiter simultanément les deux calibrations.

On peut aussi procéder à une calibration successive dans deux zones balayées par le faisceau lumineux (ou plus encore de zones) de la première source de lumière si déplace le premier générateur de retards optiques.

De préférence, surtout pour une calibration en ligne, le dispositif optique est à la verticale, avec l'axe optique vertical Z.

De préférence, l'axe optique est vertical Z et le premier polariscope, le premier capteur numérique et le premier générateur de retards optique sont sur une ligne (industrielle) de chauffage et de trempe, éventuellement ligne de chauffage, de bombage trempe, en aval du système de trempe (caisson de trempe), notamment dans une zone de refroidissement, sans défilement de vitrage dans la zone de calibration et mieux à l'arrêt (statique). La ligne comporte un convoyeur horizontal de vitrage suivant un axe (horizontal) Y de convoyage, l'axe optique vertical Z est perpendiculaire à l'axe Y, et éventuellement la ligne est de bombage trempe, le premier polariscope, le premier capteur numérique et le premier générateur de retards optique sont en aval du système de bombage.

Le premier support de montage du premier générateur peut être posé sur le convoyeur du vitrage à l'arrêt ou indépendant du convoyeur -ou au moins de la partie mobile du convoyeur horizontal, généralement des rouleaux en rotation seuls ou avec un système d'un tapis ou plusieurs tapis de convoyage adjacents-.

Deux rouleaux sont suffisamment espacés pour laisser passer le faisceau de la première source de lumière.

Le convoyeur comporte notamment deux rouleaux espacés par un espace inter-rouleau par exemple d'au moins la dimension de la surface de calibration du générateur de retards.

De préférence la première source de lumière est sous la zone de convoyage, est entre deux rouleaux (entièrement (ou en partie) et/ou (en partie) sous deux rouleaux adjacents desdits rouleaux, éventuellement première source de lumière sur un support de source espacé du sol et fixé par des montants (métalliques etc) de part et d'autre du convoyeur (de part et d'autre des extrémités latérales des rouleaux), et le premier capteur numérique de préférence linéaire, est espacé est au-dessus des deux rouleaux, de la zone de convoyage.

Le premier générateur de retards optiques peut être fixé sur un support de montage sur les deux rouleaux, support avec un trou en regard de la surface de calibration (de ladite ouverture du compensateur).

Les rouleaux sont par exemple en acier.

Dans une configuration préférée :

- la première source de lumière est, côté sol, sous les deux rouleaux, en regard dudit espace inter-rouleau,
- le premier polariseur circulaire est sous les deux rouleaux, fixé sur la première source,
- le premier support de montage est au-dessus des deux rouleaux, fixé au sol, sans vibrations, ou sur le convoyeur à l'arrêt (sans vibrations),

- le premier analyseur est dans un porte filtre et le premier photodétecteur sont au-dessus des deux rouleaux.

Le dispositif optique fonctionne aussi hors ligne et par exemple dans un alignement optique horizontal.

La première source de lumière peut former une bande lumineuse linéaire suivant une direction donnée (par exemple perpendiculaire à l'axe optique, et perpendiculaire à l'axe de convoyage) et avoir une zone (bande) émettrice centrale peut être fonctionnelle et une ou mieux les zones (bandes) latérales sont masquées, le long de ladite direction par exemple par une ou des bandes opaques latérales (caches, rubans adhésifs). En particulier la première source de lumière (sur un support de source) est espacée du sol, fixé par un profilé (métallique etc) par exemple de part et d'autre du convoyeur.

Le premier polariseur linéaire et la première lame quart d'onde sont par exemple collés ensemble et rapportés sur la première source de lumière. Ils sont par exemple au moins fonctionnels dans la zone émettrice centrale, fixés par une ou des bandes opaques latérales (rubans adhésifs). La deuxième lame quart d'onde et le deuxième polariseur linéaire sont par exemple collés ensemble et rapportés sur le premier objectif. Le premier polariseur linéaire et la première lame quart d'onde peuvent être aussi laminés ou collés sur un support transparent (par exemple un plastique comme PMMA pour poly(méthacrylate de méthyle)) et sans contrainte mécanique interne.

On peut choisir deux lames quart d'onde à 550nm. On peut choisir un polariseur circulaire et un analyseur large bandes entre 400 et 700nm.

La première source de lumière peut être en particulier une ou plusieurs rangées de diodes électroluminescentes inorganiques et/ou le premier capteur numérique (par exemple une caméra) peut être linéaire c'est-à-dire avec les premiers photodétecteurs en une ligne éventuellement avec un deuxième capteur numérique (par exemple une caméra numérique), avec les deuxièmes photodétecteurs en une ligne, identique adjacent dans la longueur dite d'analyse (dans la direction de la source de lumière).

La première source de lumière, notamment formant une bande de lumière linéaire (rectangulaire ), notamment des diodes électroluminescentes inorganiques ou une ou des diodes électroluminescentes organiques peut être agencée pour un champ de vue (ie angle solide au niveau du premier photodétecteur) d'au moins 1m ou même d'au moins 2m.

La première source de lumière peut être avec une bande émettrice rectangulaire ou carrée (ou toute autre forme) de largeur Wi, formant une bande lumineuse rectangulaire ou carrée (ou toute autre forme) de largeur W0 (supérieure ou égale à Wp) dans le plan du premier générateur (ou du convoyeur horizontal).

Le premier capteur (caméra numérique) peut être linéaire avec les premiers photodétecteurs en une ligne de largeur (taille) Wp inférieure à la largeur Wi, à la largeur Wp et inférieure à la taille de la surface de calibration (de l'ouverture). La ligne de premiers photodétecteurs (de calibration) passe dans l'axe optique, la ligne centrale de la première source de lumière, on s'affranchit des effets de bords dans une direction.

Dans un premier cas préféré, la première source de lumière, est apte à illuminer toute la longueur d'analyse (le long de la direction des rouleaux) qui est tout ou partie de la longueur (par exemple au moins 70% ou 80% de la longueur) des rouleaux (perpendiculairement à l'axe du convoyage) –afin par la suite d'illuminer le vitrage de façon la plus homogène possible sur toute la longueur d'analyse (le long de la direction des rouleaux) -.

Dans un deuxième cas, le dispositif optique comprend une deuxième source de lumière (même spectre, mieux identique) adjacente à la première source, afin par la suite d'illuminer le vitrage de façon la plus homogène possible sur toute la longueur d'analyse (le long de la direction des rouleaux).

Le faisceau lumineux de la ou des sources de lumière illumine à tout le moins la longueur réelle (utile) de convoyage de vitrages, en excluant éventuellement les zones des bordures des rouleaux.

On choisit la première source de lumière, les distance de travail, la taille de photodétecteurs, des pixels, le nombre de photodétecteurs (notamment de calibration), la vitesse de convoyage, en fonction de la taille, de la répartition, et/ou de la fréquence des défauts (un type ou plusieurs types de défauts), et aussi en fonction de la surface de la zone ou des zones à inspecter sur le vitrage (surface entière, zone centrale, série de zones de référence disjointes : centrale et/ou dans la bordure ...).

On choisit aussi la plage AB en fonction du type de défauts

La résolution (en mm/pixel) dépend du vitrage à inspecter et de la dimension typique des zones anisotropes. Par exemple la résolution est d'au moins 2mm/pixel et mieux d'au moins 1mm/pixel, par exemple pour un capteur numérique linéaire.

On peut choisir par exemple une longueur d'analyse de 1m et au moins 1000 photodétecteurs ou 2000 photodétecteurs, une longueur d'analyse de 2m et au moins 2000 photodétecteurs ou 4000 photodétecteurs…

Naturellement lors de la calibration les photodétecteurs hors de l'ouverture ou des ouvertures ne sont pas utilisés.

Le premier capteur numérique peut être une caméra numérique.

Le dispositif optique peut en fait comprendre une pluralité de capteurs (caméras) numériques linéaires, adjacentes suivant la longueur des rouleaux du convoyeur

horizontal, chacune associé à un générateur de retard optique dédié et à un polariscope (moyens communs ou non).

Dans une réalisation alternative aux systèmes linéaires, préférée dans le cas d'un vitrage à inspecter statique (à l'arrêt ou hors ligne/« off line » en anglais) en particulier dans une calibration avec un alignement horizontal (axe optique horizontal) la première source de lumière forme une surface lumineuse en disque sur le premier générateur et/ou le premier capteur numérique est matriciel, les premiers photodétecteurs sont donc en matrice par exemple 1600x1200 photodétecteurs.

Dans une configuration, en vue d'inspecter un vitrage statique, on effectue la calibration successivement capteur numérique par capteur numérique, le premier capteur est linéaire ou matriciel, sur un bras robotisé se déplaçant après la première calibration (toujours en statique) suivant la longueur du convoyeur horizontal, en déplaçant le premier générateur de retards optiques de la zone de première calibration vers la zone de deuxième calibration.

Dans une réalisation pour obtenir le champ de vision souhaité, le dispositif optique comporte des premiers moyens de collimation (télécentriques) en aval de la première source de lumière et en amont du premier générateur de retards optiques et de préférence en amont du premier polariseur (ou aval sans que le moyen de collimation modifie la polarisation de la lumière) et le premier objectif est télécentrique.

Le premier capteur (caméra) numérique peut être linéaire ou matriciel. Lors de l'analyse du vitrage, le premier objectif est alors apte seul à recevoir la lumière perpendiculairement à l'axe Y du convoyage.

L'orientation du ou des polariscopes par rapport au sol n'est pas limitante.

Le ou les polariscopes et le ou les photodétecteurs sont positionnés de manière identique lors de la calibration et lors de l'analyse qualité du vitrage par la suite.

Dans une réalisation, on utilise un deuxième polariscope partageant éventuellement des moyens (par exemple partageant la première source de lumière et le premier polariseur circulaire). Si on choisit un deuxième polariscope on place les surfaces de calibrations (ouvertures) par exemple symétriquement au centre de la ligne centrale. Les polariscopes sont de préférence alignés: les plans définis par le champ de vision et les axes optiques sont confondus.

Aussi dans un mode de réalisation, le dispositif optique comporte un deuxième polariscope identique et adjacent au premier polariscope, comportant suivant un alignement optique dit secondaire selon un axe optique secondaire parallèle audit axe optique (Z) dans cet ordre:

- a) la première source de lumière, suivi du premier polarisateur circulaire et de la première lame quart d'onde

ou

- b) une deuxième source de lumière linéaire mono ou de préférence polychromatique, avec un spectre donné, orthogonale à l'axe optique secondaire, adjacente à la première source de lumière suivant la longueur de la première source et suivi d'un deuxième polarisateur circulaire et d'une deuxième lame quart d'onde

et

- un deuxième analyseur qui est un polariseur circulaire dans un deuxième sens de rotation opposé au premier sens, orthogonal à l'axe optique secondaire, premier analyseur comportant une deuxième lame quart d'onde suivi d'un deuxième polariseur linéaire

Il comprend en aval du deuxième analyseur et suivant ledit alignement optique secondaire

- un deuxième photodétecteur orthogonal à l'axe optique secondaire, comportant un deuxième capteur numérique et un deuxième objectif définissant un plan focal dit secondaire, en regard du deuxième analyseur,

-entre le deuxième analyseur et le premier ou deuxième polarisateur, un deuxième générateur de retards optiques.

-et la première unité ou une deuxième unité de traitement

Toutefois, alternativement, si on effectue la calibration successivement, ie premier capteur puis le deuxième capteur, le premier générateur de retards peut seul suffire, en déplaçant le premier générateur de la zone de première calibration vers la zone de deuxième calibration.

De préférence, les faisceaux des première et deuxième sources de lumières linéaires se recoupent sur une portion centrale d'au plus 100mm (dans le plan du vitrage.

De préférence les plan focaux se recoupent sur une portion centrale d'au plus la moitié de la largeur du champ de vue désiré. L'ensemble des plans focaux définissent ainsi le champ de vue total.

On peut multiplier les polariscopes afin d'augmenter le champ de vue total ou d'augmenter la résolution des images à obtenir.

L'invention a ensuite pour objet un dispositif (optique) d'analyse qualité d'un vitrage notamment trempé ou semi trempé (durci), éventuellement bombé, vitrage (clair, extraclair, teinté.. ) éventuellement avec un revêtement de surface et/ou une texturation de surface gardant la transparence (notamment une transmission lumineuse non nulle) et tel que les changements de la polarisations de la lumière à la traversée du milieu ne soient dus qu'aux contraintes mécaniques de ce même milieu.

Ce dispositif d'analyse qualité selon l'invention comporte (réutilise) ledit premier polariscope, l'ensemble des premiers photodétecteurs et la base de calibration du dispositif optique défini précédemment (de préférence sans avoir à ajouter des premiers photodétecteurs à ceux déjà présents hors zone de la calibration).

On retire donc le premier générateur de retards optique et on analyse le vitrage soit statique soit de préférence mobile, défilant en translation par exemple sur un convoyeur tel que déjà décrit.

Le vitrage est entre le premier polarisateur et le premier analyseur, l'axe optique est perpendiculaire au plan tangent à la surface du vitrage dans la portion de surface illuminée, de préférence perpendiculaire à l'axe de convoyage du vitrage par un convoyeur (des rouleaux).

Chaque premier photodétecteur dudit ensemble est apte à recevoir de l'énergie lumineuse issue du faisceau lumineux sortant du premier analyseur, le premier capteur numérique générant alors des images numériques dites d'analyse qualité, chaque image numérique d'analyse qualité étant formée d'un ou de pixels avec le ou lesdits canaux de référence Ck représentatifs de la réponse spectrale des premiers photodétecteurs.

Le dispositif d'analyse comporte en outre une unité de traitement de l'ensemble des images numériques d'analyse qualité du premier capteur (et du deuxième capteur éventuel etc ) en regard de ladite portion de surface illuminée,, formant une cartographie des retards optiques en regard de ladite portion de surface illuminé au moyen de la base de calibration déjà décrite (contenant pour chaque retard optique dans la plage AB des valeurs numériques Ik pour chacun des canaux de référence Ck).

En effet, la calibration donne la correspondance Ik - retard optique (en nm), pour chaque canal de référence Ck de chaque pixel correspondant à un élément d'aire de la portion de surface analysée, on vient lire dans la table de calibration, le retard optique correspondant à chaque élément d'aire.

En outre, on préfère comme canaux de référence les canaux RGB (déjà utilisés pour la calibration).

La mesure est objective et donne une information quantitative sur le vitrage mesuré.

L'unité de traitement (un ordinateur) commande pour l'analyse du vitrage: l'ensemble de l'acquisition, l'analyse des données du ou des capteurs, l'enregistrement du fichier résultats, la gestion d'une base de données, l'affichage d'une interface homme-machine...

Pour qualifier le vitrage, à partir de la cartographie, on peut choisir de calculer des paramètres (sur une ligne ou plusieurs lignes dans la cartographie, en fonction de la taille de la zone à risques de référence, ie zone à buses etc), en particulier :

- une moyenne des retards optiques
- l'écart type,
- le quantile ou les quantiles
- la valeur de la distribution pour un retard optique adapté.

A partir de la cartographie des retards optiques (valeur du retard optique en tout point) on s'intéresse à déterminer un ou plusieurs métriques de préférence basées sur une analyse statistique ou mathématique :

- métriques globales : moyenne et écart type, quantile, distribution pour une valeur de retard optique donnée (pour cette dernière nous considérons 50nm comme étant une valeur seuil pertinente)

-et/ou métriques locales : rendant compte de la distribution spatiale des défauts, notamment restituer une forte variation locale de retard optique pour laquelle l'œil humain sera sensible (un verre avec un fort retard optique mais homogène n'est pas nécessairement perçu comme défectueux, sinon au regard d'autres verres).

Les défauts caractéristiques observés pour la fleur de trempe sont:

- cas 1) de grande longueur d'onde (échelle supérieure à 10cm) : marques de chauffe caractérisée
- cas 2) moyenne longueur d'onde (échelle de 10cm, mais dépend des caractéristiques géométriques du caisson de trempe): marques dues aux buses de soufflage
- cas 3) petite longueur d'onde (échelle inférieure à 10cm) : autres marques par exemple faites dans la zone de refroidissement.
- cas 4) marques de bords ou autour des trous (échelle<10cm) : on peut exclure ces zones car les retard optiques y sont systématiquement très élevés et généralement masqués sur le vitrage final qui sera monté dans un cadre.

Plus le défaut est grand, plus la métrique sera globale et inversement. Pour le cas 1) on s'intéresse de préférence à une métrique globale, pour les cas 2) et 3) ou même 4), la métrique locale rend mieux compte de la distribution spatiale des défauts.

Ensuite on peut comparer les métriques à une référence.

La mesure de chaque verre d'une ligne permet de construire une base de données. L'exploitation de cette base de données permet d'accéder à beaucoup d'information sur la production étant donné que 100% des verres sont contrôlables.

L'orientation du vitrage sur le convoyeur n'est pas limitante. Plus largement l'orientation du vitrage par rapport à la direction (longueur) de la bande lumineuse n'est pas limitante.

La portion de surface illuminée par le faisceau à un instant t peut être une bande lumineuse (rectangulaire de préférence) qui n'est pas forcément parallèle à un bord de vitrage (qui peut être de toute forme : à coins rectangulaire, carré, quadrilatère, triangulaire, en rond etc..).

On peut souhaiter analyser toute la surface portion par portion (hors zones les plus fines possible entre deux acquisitions).

Par exemple dans le cas d'un vitrage utilisé dans un double ou triple vitrage, par exemple pour une façade de bâtiment (d'immeuble), les bords masqués par les espaceurs et les moyens d'étanchéité sont de largeur d'au plus 3 à 20mm, il n'est pas nécessaire d'inspecter ces bords les anisotropies sont fortes au bord du vitrage. Considérant qu'ils sont en général cachés par le cadre après installation il n'apparait pas toujours nécessaire de les traiter au même titre que le clair de vue du vitrage. Cependant, certains vitrages sont posés tels que la surface vitrée visible soit maximale.

En pratique pour procéder à l'analyse de la (quasi) totalité du vitrage, on procède avantageusement à un balayage du vitrage par un faisceau de forme linéaire et avec un ou des capteurs formant une ligne de pixels. Pour couvrir l'ensemble du vitrage un mouvement du vitrage par rapport au dispositif d'analyse (statique) est alors aménagé. A cet effet le vitrage est mobile, avantageusement disposé sur un moyen mobile animé d'un mouvement uniforme en translation. De préférence il s'agit d'un convoyeur (horizontal) tel que déjà décrit. Ce peut être un charriot (du moment que la vitesse est maitrisée).

De manière analogue au dispositif optique précité, dans un mode de réalisation préféré :

- l'axe optique vertical est Z-ou avec un angle par rapport à la verticale-, le premier polariscope, le premier capteur numérique sont sur une ligne (industrielle) de chauffage et de trempe, en aval du système de trempe (dans la zone de refroidissement), la ligne comportant un convoyeur (horizontal) de vitrage suivant un axe Y de convoyage, l'axe optique vertical Z est de préférence perpendiculaire à l'axe Y, et éventuellement la ligne industrielle est de chauffage, de bombage et de trempe, le premier polariscope, le premier capteur numérique est en aval du système de bombage,

- notamment la première source de lumière, seule de préférence ou avec une deuxième source de lumière adjacente est apte à illuminer toute ou partie de la longueur du convoyeur perpendiculairement à l'axe Y du convoyage
- le premier capteur numérique est (une caméra) linéaire avec les premiers photodétecteurs en ligne, notamment le premier capteur numérique seul ou avec un deuxième capteur numérique linéaire (et son objectif) adjacent pour former une ligne de photodétecteurs, notamment sur toute la longueur du convoyeur perpendiculairement à l'axe Y du convoyage

et notamment en dialogue avec l'unité de traitement, avec le premier capteur numérique (et le deuxième capteur numérique éventuel, et donc de chaque capteur), et même avec la première source de lumière:

- de préférence un détecteur de présence du vitrage en amont de la première source de lumière, par exemple au plus de 1m de la première source de lumière, afin de déclencher la première acquisition à un instant $t_o$ suivant, et éventuellement à indiquer la fin du passage dudit vitrage (ou de plusieurs vitrages d'un lot (ou batch)) afin de définir la dernière acquisition à un instant $t_d$ suivant ou avec un compteur ('timer' en anglais) connaissant la longueur maximal d'un lot (ou batch) (du four),
- de préférence un indicateur de la vitesse instantanée V des 2 rouleaux encadrant la première source de lumière,
- des moyens de gestion des acquisitions gérant le déclenchement de la première acquisition, la durée d'acquisition $T_{aq}$ et du temps mort $t_m$ entre chaque acquisition (pour le stockage des données) et l'arrêt des acquisitions.

Et de préférence :

- un générateur de la cartographie des retards (calculateur ) à partir des images issues du polariscope,
- un calculateur des métriques à partir des cartes de retards,
- un comparateur des métriques à une référence

Une vitesse de défilement constante V du vitrage assure une résolution stable sur l'ensemble de l'analyse de la surface. V vitesse du convoyeur peut être différent de V' vitesse du vitrage si glissement. Si V=V', ce qu'on suppose, et que un codeur rotatif permet le suivi de la vitesse, pour assurer une résolution constante.

La première source de lumineuse produit un faisceau homogène sur la portion de surface analysée.

Pendant une acquisition, un pixel correspond à l'information intégrée d'un élément de surface du verre.

Par exemple on définit un pixel carré de largeur W suivant la longueur d'analyse, parallèle aux deux rouleaux.

Pendant une acquisition de durée $T_{AQ}$, chaque photodétecteur de la ligne est susceptible de recevoir de la lumière ayant traversé le vitrage, faisceau ayant illuminé un élément de surface du vitrage défini par une largeur $L_{AQ}$ dans l'axe de convoyage. $L_{AQ}$ est égale à la durée d'acquisition $T_{AQ}$ par la vitesse instantanée de convoyage V des rouleaux bordant la première source de lumière.

Par ailleurs, il y a un temps mort $t_m$ -pour collecter les données- dans lequel les pixels ne sont pas « fonctionnels ».Par exemple $t_m$ est d'au plus 100ms.

On s'arrange de préférence pour que $L_{AQ}+Vt_m = W$

Si pendant la durée d'acquisition un photodétecteur reçoit un faisceau directement de la première source de lumière (sans traverser une zone du vitrage), l'intensité lumineuse n'est pas modifiée par les écarts d'anisotropie, aussi le pixel délivre une information identifiable (pixel noir = pas de retard accumulé).

La séquence d'acquisition (en boucle) est par exemple la suivante :

-réception de l'impulsion N du codeur rotatif du convoyeur qui déclenche la séquence d'acquisition

-temps d'exposition $T_{AQ}$ réglé de façon logicielle consistant en une impulsion électronique envoyé par l'unité de traitement- le premier capteur intègre le signal (c'est à dire l'ensemble des énergies lumineuses reçues pendant ce temps $T_{AQ}$)

-temps « mort » correspondant au moins au temps nécessaire pour la lecture des pixels pour traitement,

-l'impulsion codeur N+1 arriver après la somme des temps d'acquisition et de temps mort.

La distance entre première source de lumière et le vitrage peut être d'au moins 10cm, en particulier 300mm tout comme la distance entre la première source de lumière et l'ouverture peut être d'au moins 10cm, en particulier 300mm.

La distance entre le vitrage et l'objectif peut être d'au moins 1m en particulier 2m tout comme la distance entre l'ouverture et l'objectif peut être d'au moins 1m en particulier 2m.

Le vitrage et le premier générateur (Babinet de préférence) peuvent être successivement à la même distance de la première source de lumière (et du polariseur et de l'analyseur).

Le détecteur de présence est par exemple un capteur agencé à une extrémité du convoyeur en regard de la tranche des verres qui sont convoyés. Le codeur rotatif est par exemple agencé à une extrémité d'un rouleau du convoyeur

Le dispositif optique d'analyse qualité comporte de préférence le deuxième polariscope (les premier et deuxième générateurs de retard optique sur le ou les supports de montage sont remplacés par ledit vitrage.

Dans une autre réalisation :

- le vitrage est de préférence statique, horizontal ou vertical,
- le premier capteur est matriciel (qui comporte les premiers photodétecteurs en matrice.

L'invention porte en outre sur un procédé de fabrication d'un vitrage comprenant successivement la formation du vitrage, un chauffage, une trempe ou un bombage trempe utilisant le dispositif d'analyse qualité du vitrage tel que déjà décrit.

En particulier il peut comprend une alerte conduisant à l'arrêt de la fabrication et/ou de la chauffe et/ou de la ligne, et/ou à une rétroaction sur les paramètres du dispositif de chauffe et/de trempe.

L'invention porte enfin sur un procédé de calibration du premier capteur numérique et du premier polariscope par introduction d'un retard optique variant dans une plage AB de préférence de manière automatisée dans le premier polariscope, calibration à partir du premier générateur de retards optiques étalonné de préférence automatisé

Pour le vitrage plan, le faisceau de la source de lumière (de chaque diode) est perpendiculaire au plan des contraintes principales du vitrage analysé.

Pour un vitrage bombé, la mesure est toujours valable si on s'éloigne de l'axe optique, il faut de préférence suffisamment de caméras pour conserver de bonnes conditions d'observation ou utiliser une caméra sur bras robotisé.

De préférence :

- le vitrage présente une transmission lumineuse TL d'au moins 5%
- on considère une absorption A uniforme sur le spectre visible.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et faite en se référant aux dessins annexés, sur lesquels :

La figure 1 est une vue schématique de coupe, dans le plan X, Z d'un dispositif optique 1000 selon l'invention faisant partie d'une ligne industrielle de trempe avec un convoyeur horizontal.

La figure 1a est une vue schématique de dessus (dans le plan horizontal X, Y) montrant le convoyeur avec un support de montage et les deux ouvertures de deux compensateurs de Babinet Soleil motorisés utilisé dans le dispositif optique 1000 de la figure 1.

La figure 1b est une vue schématique de dessus (dans le plan horizontal X, Y) d'un compensateur de Babinet motorisé sur un support de montage utilisé dans le dispositif optique 1000 de la figure 1

La figure 1c est une vue schématique en perspective des deux rouleaux de convoyeur et de la source de lumière, et dule polariseur circulaire dans l'espace inter rouleaux, utilisés dans le dispositif optique 1000 de la figure 1.

La figure 1d est une vue schématique en perspective montrant le premier analyseur circulaire, le premier objectif, la première caméra linéaire et un profilé de montage, utilisés dans le dispositif optique 1000 de la figure 1.

La figure 1e est une vue schématique de coupe, dans le plan Y, Z, du dispositif optique 1000 de la figure 1.

La figure 1f montre trois graphes des valeurs Ik en fonction du retard optique pour les trois canaux RGB (pour un pixel représentatif donné d'un photodétecteur dans l'ouverture ou moyenné sur plusieurs pixels de photodétecteurs dans l'ouverture).

La figure 2 est une vue schématique de coupe, dans le plan Y, Z d'un dispositif optique d'analyse qualité 2000 d'un vitrage selon l'invention utilisant les mêmes appareils qu'en figure 1 sauf le compensateur de Babinet et sa commande.

La figure 2' est une vue schématique de dessus du convoyeur, du vitrage à inspecter montrés en figure 2.

La figure 2a est une vue schématique de détail du convoyeur.

La figure 2b explique et l'acquisition à partir de la surface de balayage

Les figures 2c et 2d sont des graphes montrant la séquence d'acquisition et la séquence de temps mort pour la collecte des données d'acquisition.

La figure 3a est une vue schématique de coupe, dans le plan X, Z d'un dispositif optique 1001 selon l'invention faisant partie d'une ligne industrielle de trempe dans un deuxième mode de réalisation

La figure 3b est une vue schématique de coupe, dans le plan X, Z d'un dispositif d'analyse qualité d'un vitrage 2001 selon l'invention utilisant les mêmes appareils qu'en figure 3a sauf le compensateur de Babinet et sa commande.

La figure 4a est une vue schématique de coupe, dans le plan Y, Z, d'un dispositif optique 1002 selon l'invention dans un troisième mode de réalisation.

La figure 4b est une vue schématique de côté dans le plan Y, Z d'un dispositif optique d'analyse qualité d'un vitrage 2002 selon l'invention utilisant les mêmes appareils qu'en figure 4a sauf le compensateur de Babinet et sa commande.

La figure 1 est une vue schématique de coupe, dans le plan X, Z d'un dispositif optique 1000 selon l'invention faisant partie d'une ligne industrielle de trempe avec un convoyeur horizontal.

Le dispositif optique 1000 comprend un premier polariscope à la verticale comportant dans cet ordre (de bas en haut), suivant un alignement optique avec un axe optique vertical Z :

- une première source de lumière blanche 1, ici une barre de diodes dites DEL ou LEDs, délivrant un faisceau lumineux ici sans moyens de collimations -dont la lumière est émise de façon dans la direction donnée par l'axe optique-, ou en variante une ou plusieurs de diode(s) électroluminescente(s) organique(s) (dite OLED), barre lumineuse orthogonale à l'axe optique, produisant avec ou sans diffuseur une lumière homogène
- un premier polarisateur circulaire 2 (ou quasi circulaire) dans un premier sens de rotation -gauche ou droit-, notamment comportant un premier polariseur linéaire et une première lame quart d'onde, contre ou collé sur la barre lumineuse 1
- un premier analyseur 2' qui est un polariseur circulaire (ou quasi circulaire) dans un deuxième sens de rotation de la polarisation opposé au premier sens de rotation - respectivement ou droit ou gauche -, notamment premier analyseur comportant une deuxième lame quart d'onde suivi d'un deuxième polariseur linéaire.

Le dispositif optique 1000 comprend en outre en aval du premier analyseur et suivant ledit alignement optique :

- un premier capteur numérique 6, orthogonal à l'axe optique, qui est ici une caméra numérique linéaire avec une rangée de premiers photodétecteurs
- un premier objectif 5 orthogonal à l'axe optique et définissant un plan focal, en regard du premier capteur numérique et entre le premier analyseur 2 et le premier capteur numérique, notamment fixé au ou contre le premier capteur numérique.

Et le dispositif optique selon l'invention comprend entre le premier polarisateur et le premier analyseur, et suivant ledit alignement optique, un premier générateur de retards optiques étalonné 3, orthogonal à l'axe optique, ici un compensateur de Babinet (Soleil), dans une plage AB entre 0nm et 800nm et le premier générateur de retards optiques est dans ledit plan focal.

Le premier capteur numérique 6 comporte donc un ensemble de premiers photodétecteurs en ligne sensibles dans le spectre de la première source de lumière 1, ayant une réponse spectrale donnée.

Des premiers photodétecteurs dits de calibration sont en regard (de l'ouverture 31 du premier générateur de retards optiques.

De manière préférée, le dispositif optique comporte aussi comporte entre le premier générateur à retards optique et le premier capteur linéaire, en amont du premier analyseur, une lame à retard optique étalonnée avec un retard A'0 choisi dans la zone ou la relation valeur Ik en fonction du retard optique est sensiblement linéaire pour au moins l'un des canaux de référence, notamment de 70 ou 75 à 175 nm ou 185 nm ou à partir de 350 ou 375 nm à 425nm.

De cette façon un vitrage ayant peu d'anisotropie peut être mesuré avec plus de précision car les variations faibles de retard entraineront une variation linéaire des Ik plutôt que quadratique.

Le compensateur de Babinet Soleil 3 comporte des première et deuxième lames en coin, en matériau biréfringent, la deuxième lame étant mobile en translation par rapport à la première lame statique, notamment le compensateur étant défini par une ouverture 31, centrée sur l'axe optique, l'ouverture est entièrement illuminée par la première source de lumière 1, l'ouverture étant dans ledit plan focal, un ou des premiers photodétecteurs de calibration étant en regard de l'ouverture

Le changement de retard optique est automatisé notamment contrôlé par ordinateur. Le compensateur de Babinet Soleil, motorisé et notamment contrôlé par un ordinateur, est apte à incrémenter automatiquement les retards optiques dans la plage AB, notamment avec un pas d'incrémentation P0 d'au plus 0,5nm et même d'au plus 0,3nm, en particulier entre 15 et 25mm et même 0 et 25mm.

L'ouverture 31 du compensateur est circulaire, de diamètre O1 d'au plus 30mm, le centre de l'ouverture est inscrit dans un disque central de diamètre O1/2, le ou les premiers photodétecteurs de calibration utilisés sont entièrement en regard dudit disque central.

Chaque premier photodétecteur de calibration reçoit successivement pour chacun desdits retards optiques dans ladite plage AB de l'énergie lumineuse issue du faisceau lumineux sortant du premier analyseur 2'. Le premier capteur numérique génère alors des images numériques dites de calibration pour lesdits retards optiques dans ladite plage AB, chaque image numérique de calibration étant formée d'un ou de pixels avec un ou des canaux de référence Ck représentatifs de la réponse spectrale du ou des premiers photodétecteurs de calibration. Les canaux de références Ck sont trois canaux rouge, vert , bleu dits canaux RGB.

Le premier polariscope, le premier capteur numérique et le premier générateur de retards optique sont montés sur une ligne de chauffage et de trempe, en aval du système de trempe, à l'arrêt, la ligne comportant un convoyeur horizontal de vitrage suivant un axe Y de convoyage, éventuellement la ligne est de bombage trempe.

La figure 1a est une vue schématique de dessus (dans le plan horizontal X, Y) montrant le convoyeur avec un support de montage et les deux ouvertures de deux compensateurs de Babinet Soleil motorisés utilisé dans le dispositif optique 1000 de la figure 1. La figure 1c est une vue schématique en perspective des deux rouleaux de convoyeur et de la source de lumière, et du le polariseur circulaire dans l'espace inter rouleaux, utilisés dans le dispositif optique 1000 de la figure 1. La figure 1e est une vue schématique de coupe, dans le plan Y, Z, du dispositif optique 1000 de la figure 1.

Le convoyeur (cf. figures 1a, 1c notamment) comporte deux rouleaux 81, 82 espacés par un espace inter-rouleau, la première source de lumière 1 sur un support de source 10 espacé du sol est sous la zone de convoyage, est sous les deux rouleaux en regard de l'espace inter-rouleau. Le premier capteur numérique est linéaire et espacé et au-dessus des deux rouleaux. Le premier capteur numérique peut être fixé à un portail métallique 70 notamment de part et d'autre du convoyeur.

Le premier générateur de retards optiques est fixé sur un support de montage 7 sur les deux rouleaux, support de montage avec un trou 71 en regard de l'ouverture 71.

Les surfaces latérales de la bande lumineuse peuvent être masquées (par des bandes opaques 20 par exemple), seule la surface centrale contre la partie (centrale) du premier polariseur 21 illuminant le compensateur 3.

Le dispositif optique 1000 comporte enfin une première unité de traitement (un ordinateur) des images numériques de calibration formant une base de calibration contenant pour chaque retard optique dans la plage AB des valeurs numériques Ik pour chacun des canaux de référence Ck, valeurs numériques Ik étant représentatives des énergies lumineuses collectées par les premiers photodétecteurs de calibration.

La longueur des rouleaux est par exemple de 3 à 4m. On utilise ici un deuxième polariscope utilisant la barre lumineuse 1, le polariseur 2, le support de montage 7 (avec un autre trou 71) une deuxième lame à retard statique étalonnée 4, un deuxième analyseur 2', une deuxième caméra linéaire 6 et un deuxième compensateur 3 avec son ouverture 31.

La figure 1b est une vue schématique de dessus (dans le plan horizontal X, Y) du compensateur de Babinet motorisé sur le support de montage 7 avec son trou 71 plus large que l'ouverture 31. La commande du moteur 32 (sur le support aussi) est reliée par un cablage 33 au compensateur 3 et agit sur une vis micrométrique par exemple.

La figure 1d est une vue schématique en perspective montrant une lae à retard statique 4 (dans un porte filtre par exemple), le premier objectif 5 , la première caméra linéaire 6 et un profilé de montage 101, une platine 102 avec une vis de positionnement 103 de la caméra 6.

La figure 1f montre trois graphes 15, 16, 17 des valeurs Ik en fonction du retard optique δ (nm) pour les trois canaux RGB moyenné sur plusieurs pixels 'des photodétecteurs dans l'ouverture).

La figure 2 est une vue schématique de coupe, dans le plan Y, Z d'un dispositif optique d'analyse qualité 2000 d'un vitrage utilisant les mêmes appareils qu'en figure 1 sauf le compensateur de Babinet et sa commande. Le vitrage 100 défile suivant l'axe Y et est balayée par la barre lumineuse 1.

La figure 2' est une vue schématique de dessus du convoyeur dans le plan X, Y, du vitrage à inspecter 100 montrés en figure 2.

La figure 2a est une vue schématique de détail du convoyeur 8 avec ses rouleaux 81, 82 (et le portail de fixation 70). On utilise un détecteur de présence 84 du vitrage (non visible) pour déclencher l'acquisition. Et de préférence on utilise un codeur rotatif 83 qui va renseigner sur la vitesse instantanée V.

La figure 2b explique et l'acquisition à partir de la surface de balayage

La première source de lumineuse produit un faisceau homogène sur la portion de surface analysée.

Pendant une acquisition, un pixel correspond à l'information intégrée d'un élément de surface du verre.

Par exemple on définit un pixel 91 carré de largeur W suivant la longueur d'analyse, parallèle aux deux rouleaux.

Pendant une acquisition de durée $T_{AQ}$, chaque photodétecteur de la ligne est susceptible de recevoir de la lumière ayant traversé le vitrage 100 défilant suivant Y, faisceau ayant illuminé un élément de surface du vitrage défini par une largeur L dans l'axe de convoyage. L est égale à la durée d'acquisition $T_{AQ}$ par la vitesse instantanée de convoyage V des rouleaux bordant la première source de lumière.

Par ailleurs, il y a un temps mort $t_m$ -pour collecter les données- dans lequel les pixels ne sont pas « fonctionnels ».Par exemple $t_m$ est d'au plus 100ms.

On s'arrange de préférence pour que $L+Vt_m = W$.

Si pendant la durée d'acquisition un photodétecteur reçoit un faisceau directement de la première source de lumière (sans traverser une zone du vitrage), l'intensité lumineuse n'est pas modifiée par les écarts d'anisotropie, aussi le pixel délivre une information identifiable (pixel noir = pas de retard accumulé).

La séquence d'acquisition (en boucle) est par exemple la suivante :

-réception de l'impulsion N du codeur rotatif du convoyeur qui déclenche la séquence d'acquisition

-temps d'exposition $T_{AQ}$ réglé de façon logicielle consistant en une impulsion électronique envoyé par l'unité de traitement- le premier capteur 6 intègre le signal (c'est à dire l'ensemble des énergies lumineuses reçues pendant ce temps $T_{AQ}$)

-temps « mort » correspondant au moins au temps nécessaire pour la lecture des pixels pour traitement,

-l'impulsion codeur N+1 arriver après la somme des temps d'acquisition et de temps mort.

Les figures 2c et 2d sont des graphes montrant pour la 2c les impulsions 18 pour lancer les acquisitions et pour la figure 2d la séquence d'acquisition avec les temps morts pour la collecte des données d'acquisition.

La figure 3a est une vue schématique de coupe, dans le plan X, Z d'un dispositif optique 1001 selon l'invention faisant partie d'une ligne industrielle de trempe dans un deuxième mode de réalisation. Il diffère du premier dispositif 1000 surtout en ce que le faisceau 13 est collimatée (la barre de leds 1' est collimatée) et le premier objectif 6' est telecentrique. On peut alors utiliser un seul polariscope et un seul compensateur 3.

La figure 3b est une vue schématique de coupe, dans le plan X, Z d'un dispositif d'analyse qualité 2001 d'un vitrage 100 selon l'invention utilisant les mêmes appareils qu'en figure 3a sauf le compensateur de Babinet et sa commande.

La figure 4a est une vue schématique de coupe, dans le plan Y, Z, d'un dispositif optique 1002 selon l'invention dans un troisième mode de réalisation.

Il diffère du premier dispositif 1000 surtout en ce que l'axe optique Y est horizontal donc les éléments 1,2,4,2',5,6 sont sur des supports 70, 70' plans verticaux et le compensateur 3 sur des montants par exemple latéraux 71,72.

La figure 4b est une vue schématique de côté dans le plan Y, Z d'un dispositif optique 2002 d'analyse qualité d'un vitrage 1000 utilisant les mêmes appareils qu'en figure 4a sauf le compensateur de Babinet et sa commande. Le vitrage est sur des montants par exemple latéraux 73.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif optique (1000, 1001, 1002) qui comprend un premier polariscope comportant dans cet ordre, suivant un alignement optique selon un axe optique (Z):

- une première source de lumière (1), de préférence polychromatique, avec un spectre donné, orthogonale à l'axe optique, délivrant un faisceau lumineux,
- un premier polarisateur circulaire (2) dans un premier sens de rotation de la polarisation, orthogonal à l'axe optique, comportant un premier polariseur linéaire suivi d'une première lame quart d'onde
- un premier analyseur (2) qui est un polariseur circulaire dans un deuxième sens de rotation de la polarisation opposé au premier sens de rotation, orthogonal à l'axe optique, premier analyseur comportant une deuxième lame quart d'onde suivi d'un deuxième polariseur linéaire

caractérisé en ce que le dispositif optique comprend en aval du premier analyseur et suivant ledit alignement optique, un premier capteur numérique (6, 6') orthogonal à l'axe optique, et un premier objectif (5, 5') orthogonal à l'axe optique et définissant un plan focal, premier objectif qui est en regard du premier capteur numérique, entre le premier analyseur et le premier capteur numérique,

en ce que le dispositif optique comprend entre le premier polarisateur et le premier analyseur, et suivant ledit alignement optique, un premier générateur de retards optiques (3), étalonné, orthogonal à l'axe optique, dans une plage AB avec la valeur A de préférence dans une gamme allant de 0nm à 100nm, et l'écart B-A étant de préférence d'au moins 100nm, le premier générateur de retards optiques étant dans ledit plan focal

en ce que le premier capteur numérique comporte un ensemble de premiers photodétecteurs (6, 6') sensibles dans le spectre de la première source de lumière, ayant une réponse spectrale donnée, un ou des premiers photodétecteurs dits de calibration étant en regard du premier générateur de retards optiques, chaque premier photodétecteur de calibration recevant successivement pour chacun desdits retards optiques dans ladite plage AB de l'énergie lumineuse issue du faisceau lumineux sortant du premier analyseur, le premier capteur numérique générant alors des images numériques dites de calibration pour lesdits retards optiques dans ladite plage AB, chaque image numérique de calibration étant formée d'un ou de pixels avec un ou des canaux de référence Ck représentatifs de la réponse spectrale du ou des premiers photodétecteurs de calibration,

et en ce que le dispositif optique comportant en outre une première unité de traitement numérique de l'ensemble des images numériques de calibration, première unité de traitement formant une base de calibration contenant pour chaque retard optique dans la plage AB des valeurs numériques Ik pour chacun des canaux de référence Ck, Ik étant représentatives des énergies lumineuses collectées par le ou les premiers photodétecteurs de calibration.

2. Dispositif optique (1000, 1001,1002) selon la revendication 1 caractérisé en ce que le premier générateur de retards optiques étalonné comporte un système optique en matériau biréfringent, choisi parmi :

- un ensemble de lames planes à retards optiques statiques étalonnées, les lames étant interchangeables, chaque lame étant insérée successivement dans le dispositif optique,

ou un système (3), tel que le compensateur notamment de Babinet Soleil, comportant des première et deuxième lames en coin, en matériau biréfringent, la deuxième lame étant mobile en translation par rapport à la première lame statique, notamment le compensateur étant défini par une ouverture (31), centrée sur l'axe optique, l'ouverture est entièrement illuminée par la première source de lumière, l'ouverture étant dans ledit plan focal, un ou des premiers photodétecteurs de calibration étant en regard de l'ouverture.

3. Dispositif optique (1000, 1001,1002) selon l'un des revendications précédentes caractérisé en ce que le changement de retard optique est automatisé notamment contrôlé par ordinateur, notamment le premier générateur de retards optiques (3) étant un compensateur, tel que le compensateur de Babinet Soleil, motorisé et notamment contrôlé par un ordinateur, est apte à incrémenter automatiquement les retards optiques dans la plage AB, notamment avec un pas d'incrémentation P0 d'au plus 0,5nm et même d'au plus 0,3nm, en particulier entre 15 et 25mm et même 0 et 25mm ou en ce que le changement de lame plane à retard optique statique est automatisé, par exemple avec un système automatisé de plaque tournante ou mobile en translation .

4. Dispositif optique (1000, 1001, 1002) selon l'une des revendications 2 ou 3 caractérisé en ce que l'ouverture (31) du compensateur est circulaire, de diamètre O1 ou l'ouverture du compensateur est de diamètre équivalent O1 de diamètre ou de diamètre équivalent d'au plus 30mm, le centre de l'ouverture est inscrit dans un disque central de diamètre O1/2, le ou les premiers photodétecteurs de calibration utilisés sont entièrement en regard dudit disque central de diamètre ou de diamètre équivalent d'au plus 25mm et même d'au plus 10mm et mieux d'au moins 5mm.

5. Dispositif optique (1000, 1001, 1002) selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que les canaux de références Ck comprennent, voire sont, trois canaux rouge, vert , bleu dits canaux RGB.

6. Dispositif optique (1000, 1001, 1002) selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que le premier générateur de retards optiques comporte une surface d'entrée (31) illuminée par le faisceau lumineux définissant une surface de calibration de diamètre ou de diamètre équivalent d'au plus 30mm et de préférence dans une gamme de 5mm à 25mm.

7. Dispositif optique (1000, 1001, 1002) selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que l'axe optique est vertical (Z), le premier polariscope, le premier capteur numérique (6), l'objectif (5) et le premier générateur de retards optique sont sur une ligne de chauffage et de trempe, en aval du système de trempe, sans défilement de vitrage dans la zone de calibration et mieux à l'arrêt, la ligne comportant un convoyeur, de préférence horizontal, de vitrage suivant un axe Y de convoyage, et éventuellement la ligne est de bombage trempe, le premier polariscope, le premier capteur numérique l'objectif (5) et le premier générateur de retards optique sont en aval du système de bombage.

8. Dispositif optique (1000, 1001) selon la revendication précédente caractérisé en ce que le convoyeur (8) comporte deux rouleaux espacés par un espace inter-rouleau, la première source de lumière est sous la zone de convoyage, est entre les deux rouleaux et/ou sous les deux rouleaux, éventuellement première source de lumière sur un support de source espacé du sol, et le premier capteur numérique est linéaire et espacé et au-dessus des deux rouleaux.

9. Dispositif optique (1000, 1001) selon l'une des revendications 7 à 8 caractérisé en ce que le convoyeur comporte deux rouleaux espacés par un espace inter-rouleau, le premier générateur de retards optiques est fixé sur un support de montage (7) sur les deux rouleaux, support de montage avec un trou en regard de la surface de calibration du premier générateur de retards optiques qui est la surface d'entrée illuminée par le faisceau lumineux.

10. Dispositif optique (1000, 1001) selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que le premier capteur numérique (6) est linéaire.

11. Dispositif optique (1000, 1001, 1002) selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la première source de lumière notamment des diodes électroluminescentes inorganiques (1) ou une ou des diodes électroluminescentes organiques, forme une bande lumineuse linéaire et notamment les surfaces latérales de la bande lumineuse sont masquées, la surface centrale illuminant le premier générateur à retards optiques.

12. Dispositif optique (1002) selon l'une des revendications 1 à 8 caractérisé en ce que le premier capteur numérique est matriciel, les premiers photodétecteurs étant en matrice.

13. Dispositif optique (1002) selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comporte des premiers moyens de collimation en aval de la première source de lumière (1') et en amont du premier générateur de retards optiques et même de préférence en amont du premier polariseur (2) et en ce que le premier objectif (5') est télécentrique.

14. Dispositif optique 1000, 1002) selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comporte entre le premier générateur à retards optique et le premier capteur linéaire, en amont du premier analyseur, une lame à retard optique étalonnée (4) avec un retard A'0 choisi dans la zone où la relation valeur Ik en fonction du retard optique est sensiblement linéaire pour au moins l'un des canaux de référence Ck.

15. Dispositif optique selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la première source de lumière est contrôlée par ordinateur et/ou les premiers photodétecteurs sont contrôlés par ordinateur.

16. Dispositif d'analyse qualité (2001, 2002, 2003) d'un vitrage comportant un polariscope caractérisé en ce que le polariscope est ledit premier polariscope du dispositif optique défini selon l'une des revendications précédentes et en ce que le dispositif d'analyse qualité comporte le premier capteur numérique (6, 6') le premier objectif (5, 5') et ladite base de calibration du dispositif optique défini selon l'une des revendications précédentes, et en ce que le vitrage (100) étant entre le premier polarisateur (2) et le premier analyseur (2'), l'axe optique est perpendiculaire au plan tangent à la surface du vitrage dans la portion de surface illuminée, caractérisé en ce que chaque premier photodétecteur dudit ensemble étant apte à recevoir de l'énergie lumineuse dans le spectre de la première source de lumière issue du faisceau lumineux sortant du premier analyseur, le premier capteur numérique générant alors des images numériques dites d'analyse qualité, chaque image numérique d'analyse qualité étant formée d'un ou de pixels avec le ou lesdits canaux de référence Ck représentatifs de la réponse spectrale des premiers photodétecteurs et en ce qu'il comporte en outre une unité de traitement numérique de l'ensemble des images numériques d'analyse qualité, et du deuxième capteur numérique éventuel, en regard de ladite portion de surface illuminée, formant une cartographie des retards optiques en regard de ladite portion de surface illuminée au moyen de la base de calibration.

17. Dispositif d'analyse qualité d'un vitrage selon la revendication précédente de dispositif d'analyse caractérisé en ce qu' il comprend un calculateur qui, à partir de la

cartographie, détermine un ou plusieurs métriques de préférence basées sur une analyse statistique ou mathématique.

18. Dispositif d'analyse qualité d'un vitrage selon l'une des revendications précédentes de dispositif d'analyse caractérisé en ce l'axe optique est de préférence vertical (Z), le premier polariscope, le premier capteur numérique sont sur une ligne de chauffage et de trempe, en aval du système de trempe, la ligne comportant un convoyeur, de préférence horizontal, de vitrage suivant un axe Y de convoyage, et éventuellement la ligne industrielle est de chauffage, de bombage et de trempe, le premier polariscope, le premier capteur numérique sont en aval du système de bombage, en ce que le premier capteur numérique est linéaire, les premiers photodétecteurs étant en ligne.

19. Dispositif d'analyse qualité d'un vitrage selon la revendication précédente de dispositif d'analyse caractérisé en ce qu'il comporte un détecteur de présence du vitrage en amont de la première source de lumière, notamment afin de déclencher la première acquisition à un instant $t_0$ et/ou de préférence un indicateur de la vitesse instantanée V des deux rouleaux encadrant la première source de lumière.

20. Dispositif d'analyse qualité (2003) d'un vitrage selon l'une des revendications 16 à 17 de dispositif d'analyse caractérisé en ce que le vitrage est de préférence statique, horizontal ou vertical, et en ce que le premier capteur numérique est matriciel, les premiers photodétecteurs étant en une matrice.

21. Procédé de fabrication d'un vitrage comprenant successivement la formation du vitrage, un chauffage, une trempe ou un bombage trempe suivi d'une analyse qualité du vitrage (100) utilisant le dispositif d'analyse selon l'une quelconque des revendications 16 à 20.

22. Procédé de fabrication d'un vitrage selon la revendication précédente caractérisé en ce que l'analyse qualité du vitrage conduit à une alerte ou à l'arrêt de la fabrication et/ou de la chauffe et/ou de la ligne, et/ou à une rétroaction sur les paramètres du dispositif de chauffe et/de trempe

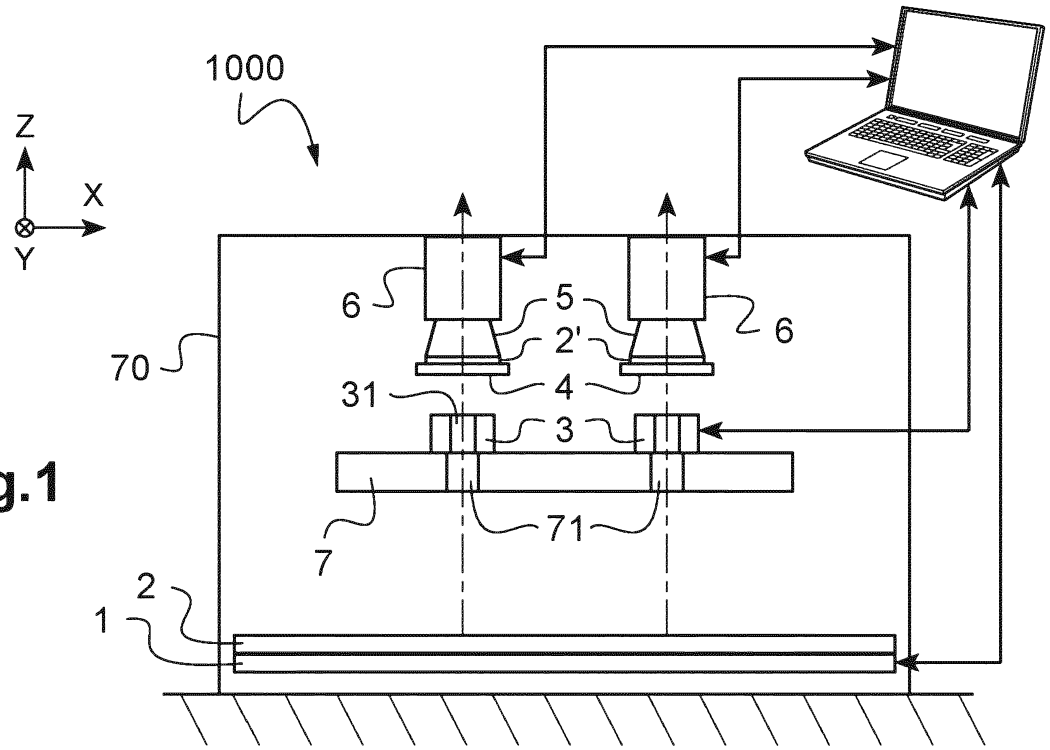



Fig.1

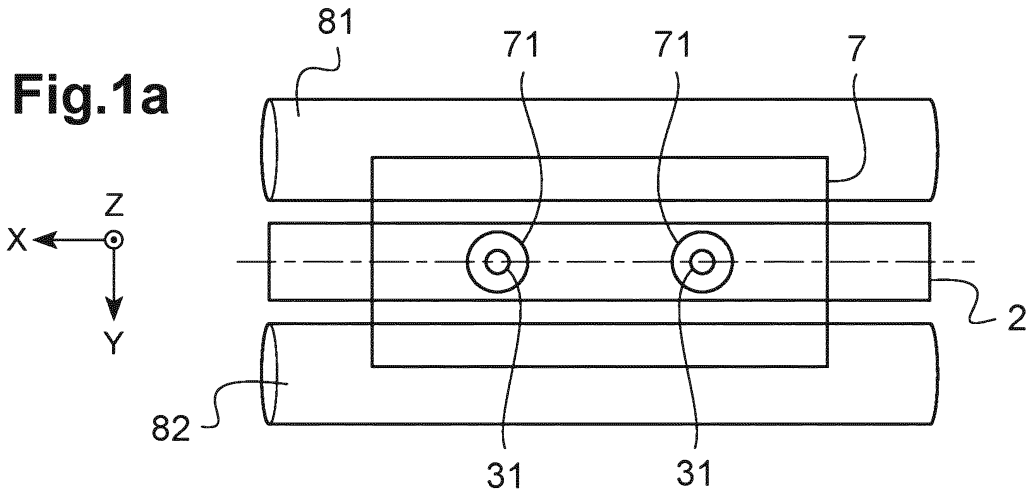



Fig.1a

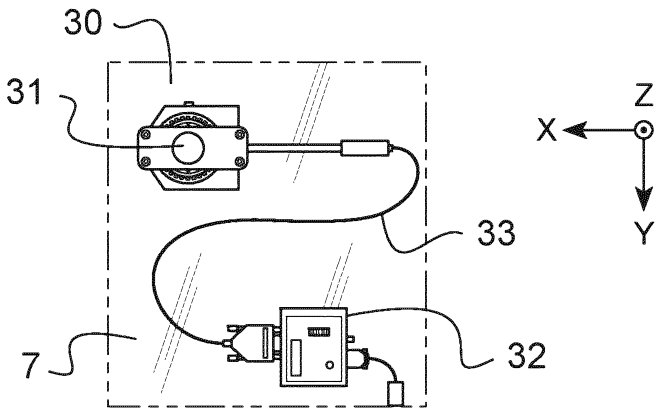
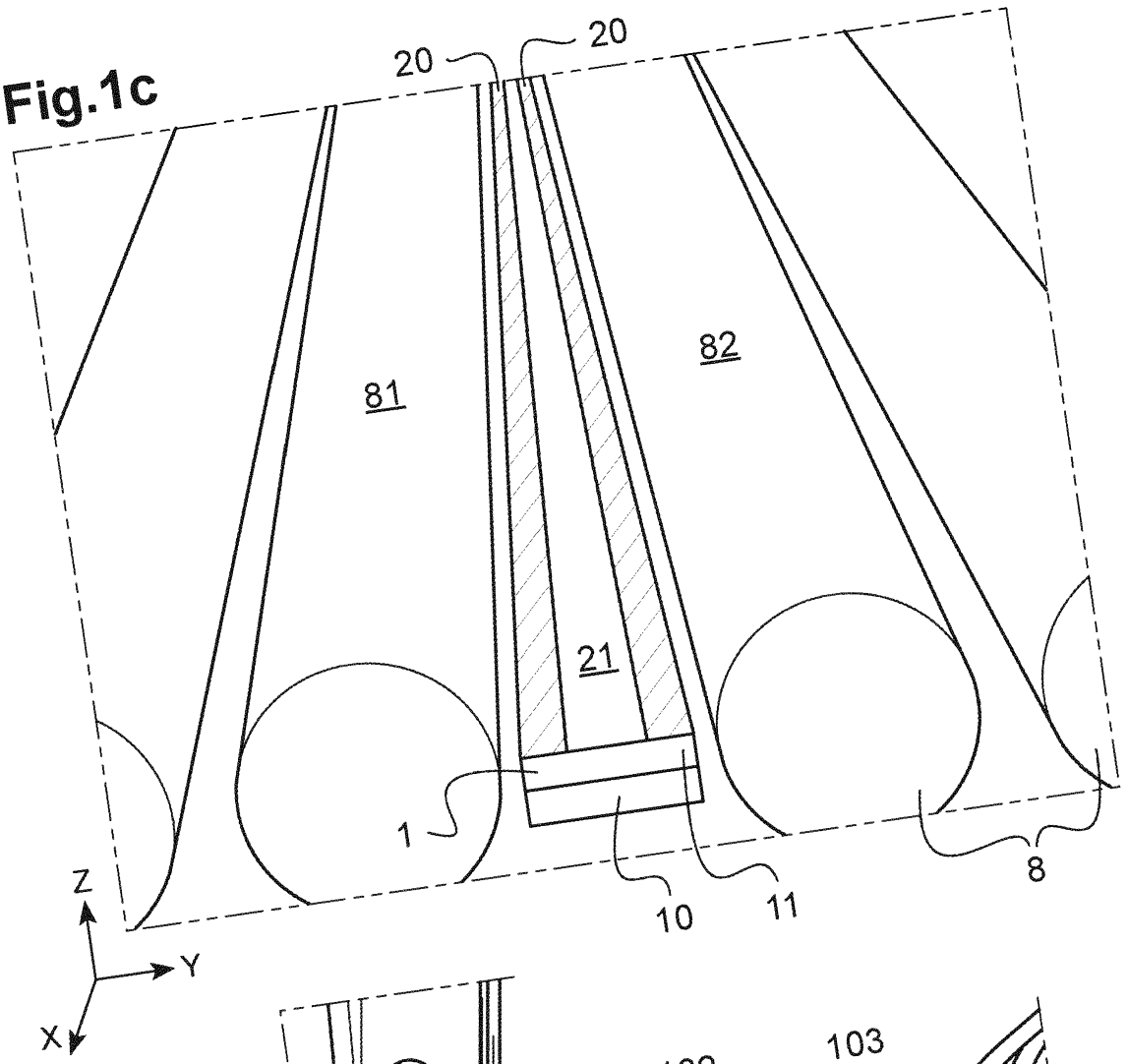



Fig.1b

Fig.1c



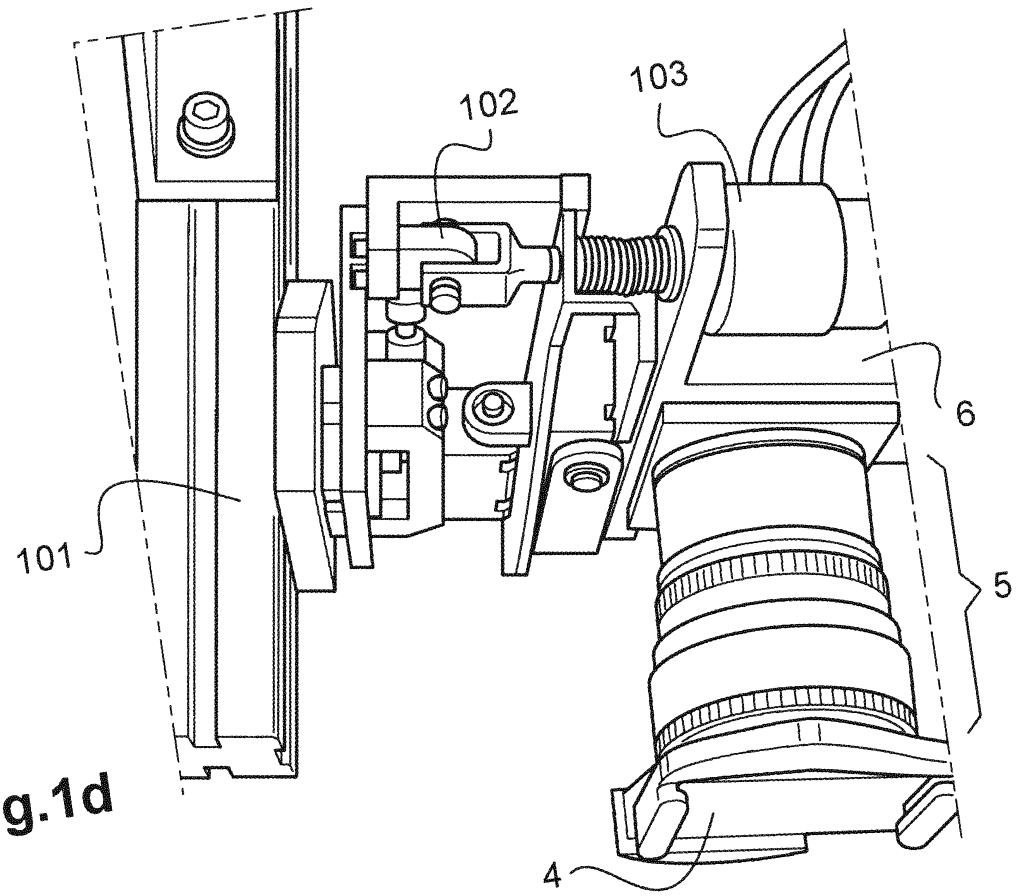




Fig.1d

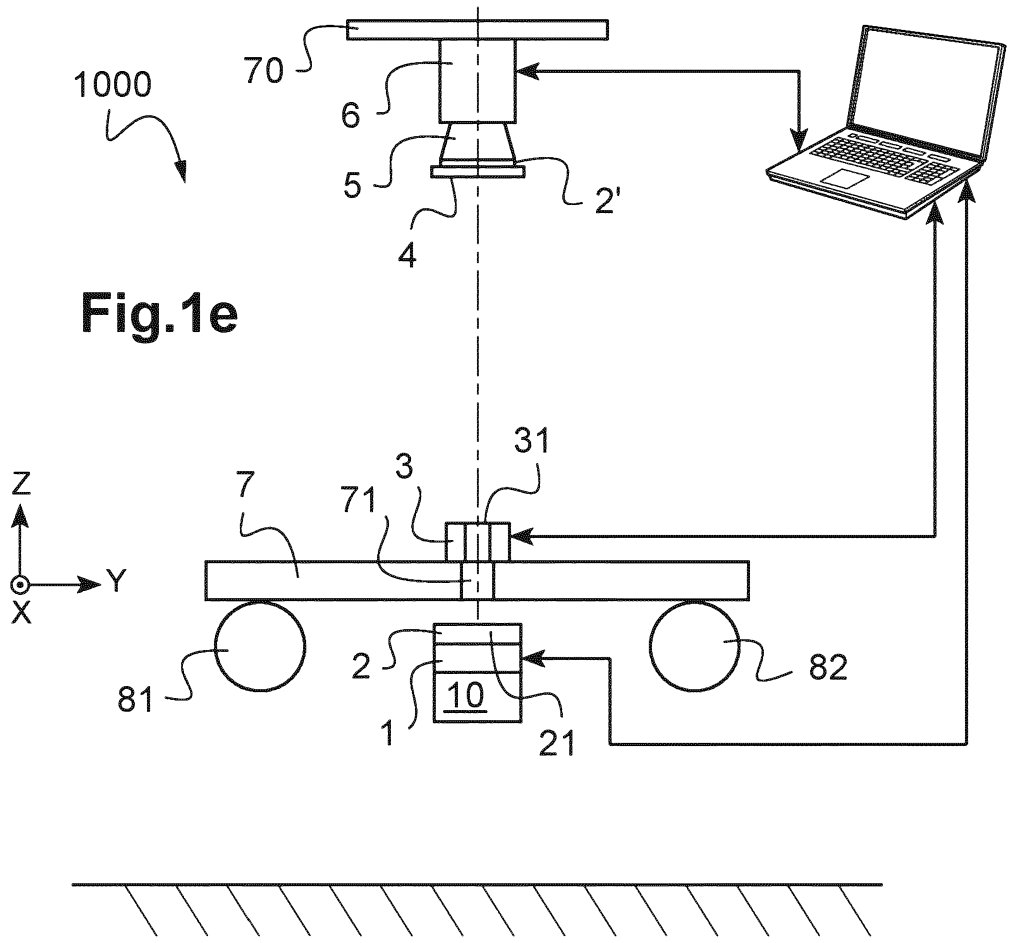

1000
70
6
5
4
2'
Z
Y
X
7
71
3
31
81
2
10
1
21
82

Fig.1e

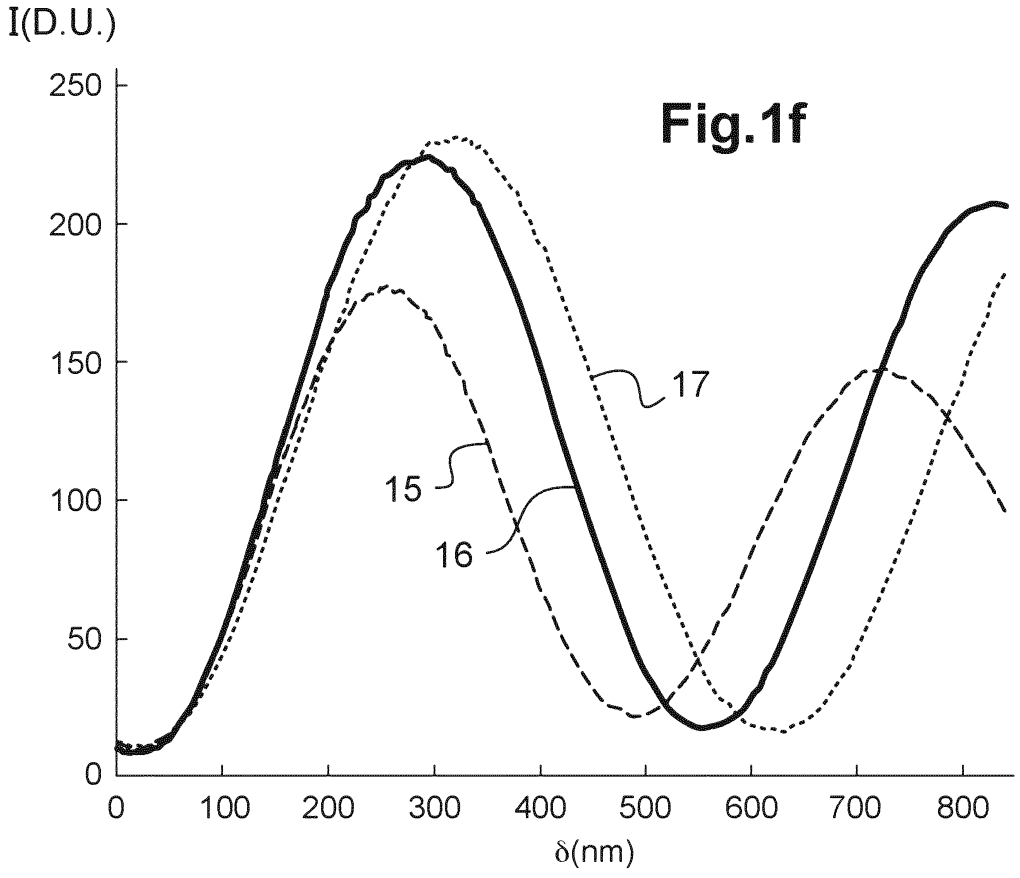

I(D.U.)
250
200
150
100
50
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
δ(nm)
17
15
16

Fig.1f

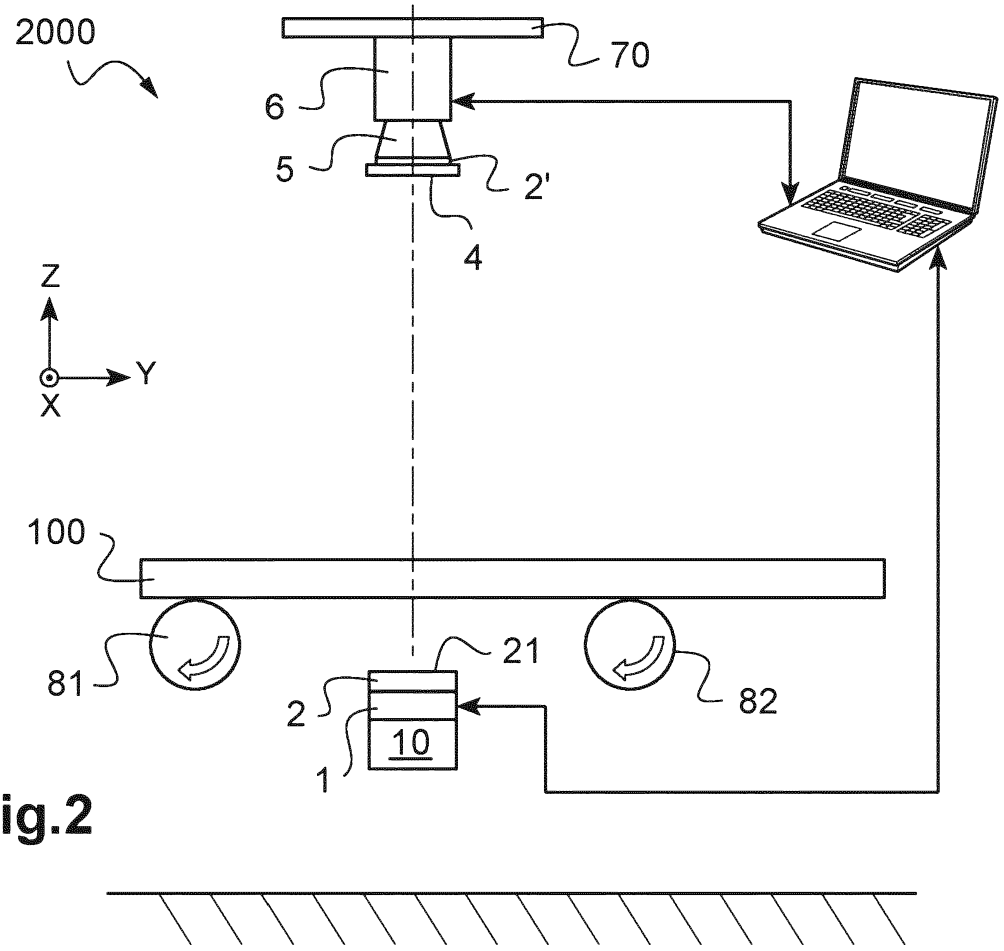



Fig.2

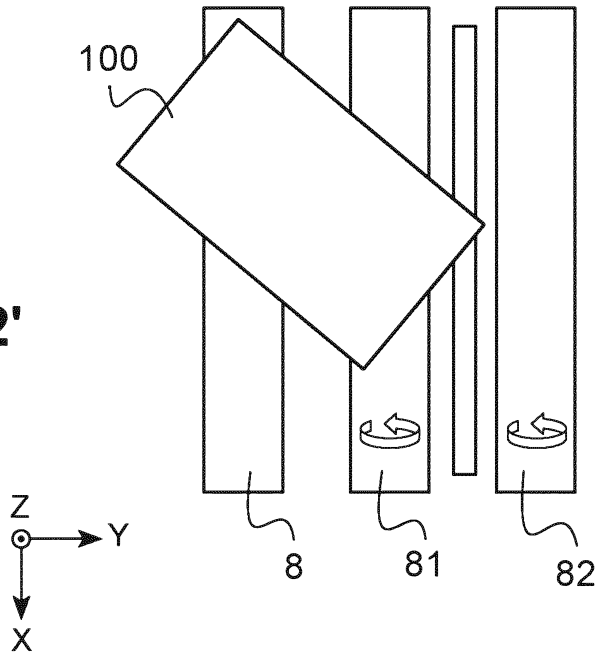



Fig.2'

Fig.2a

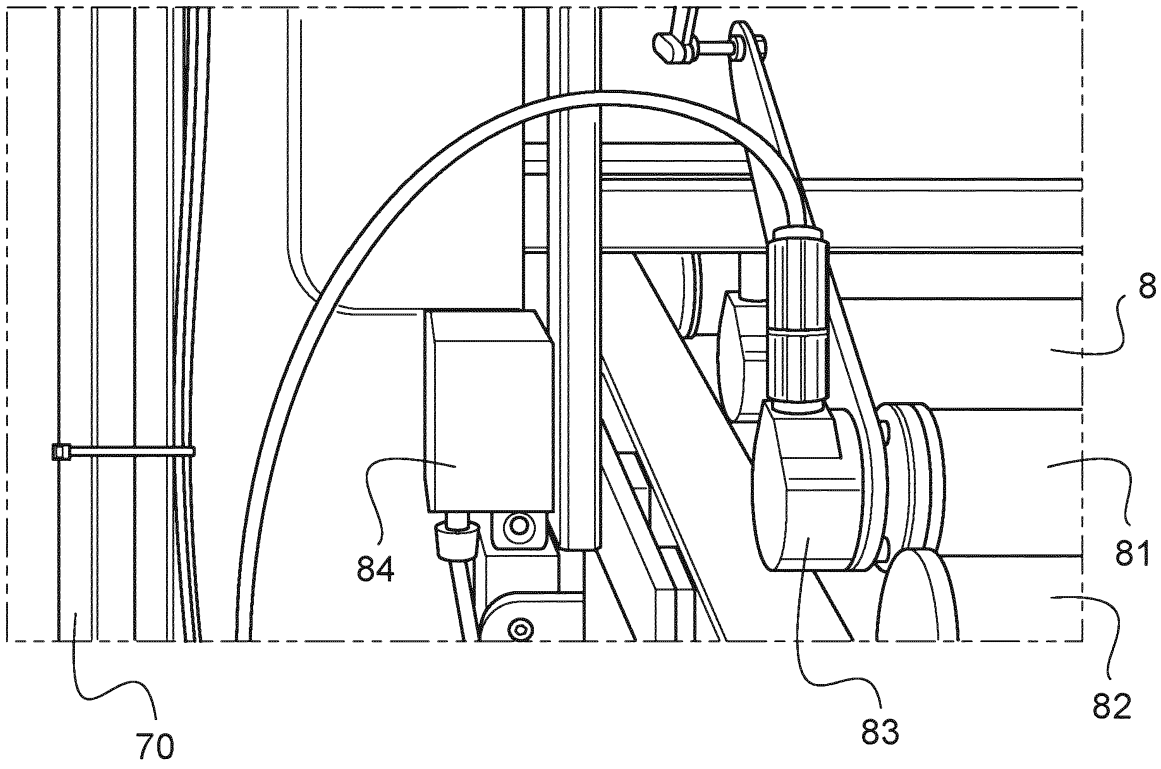


Fig.2b

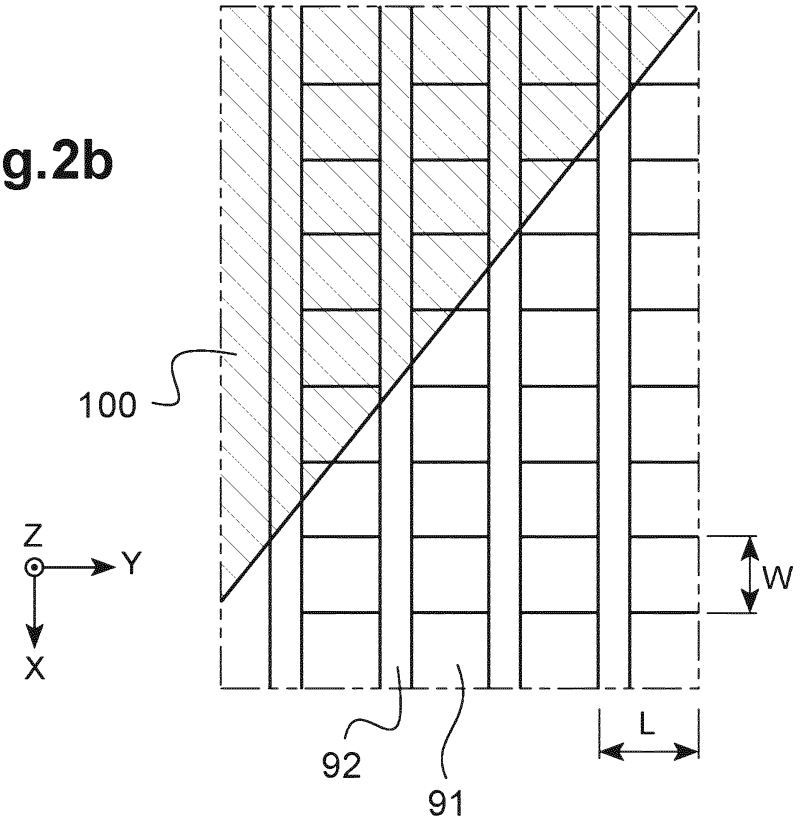



Fig.2c

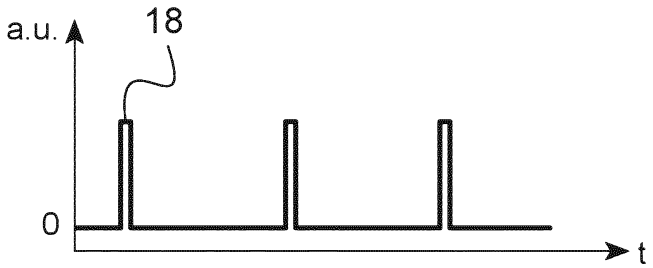
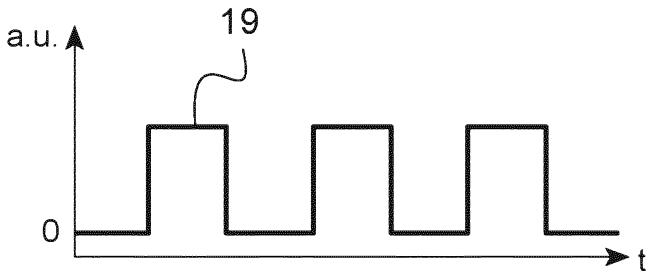



Fig.2d



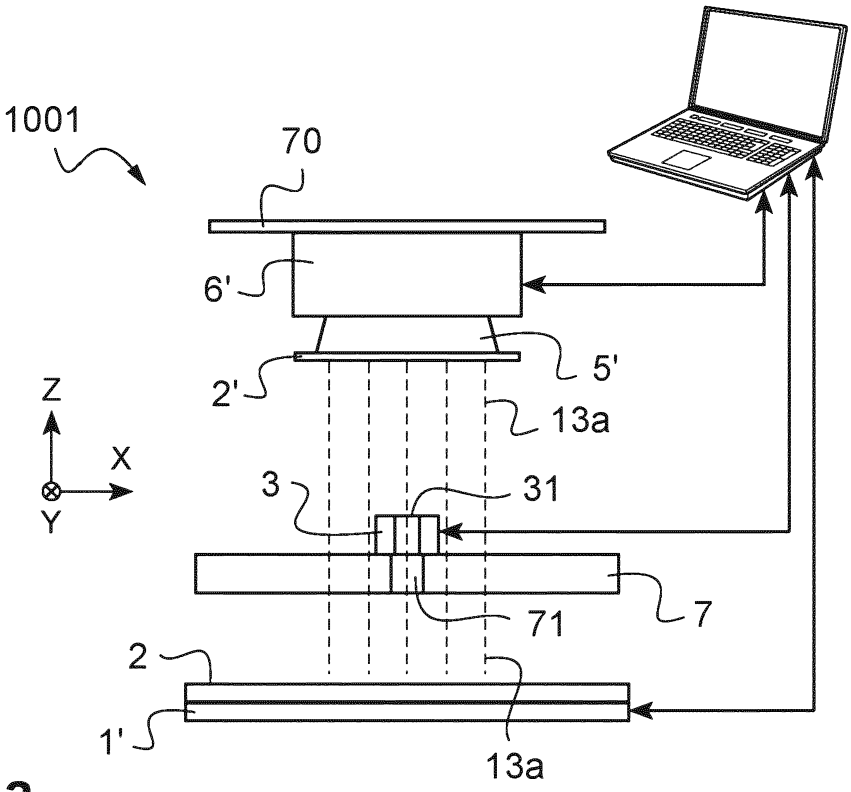



Fig.3a

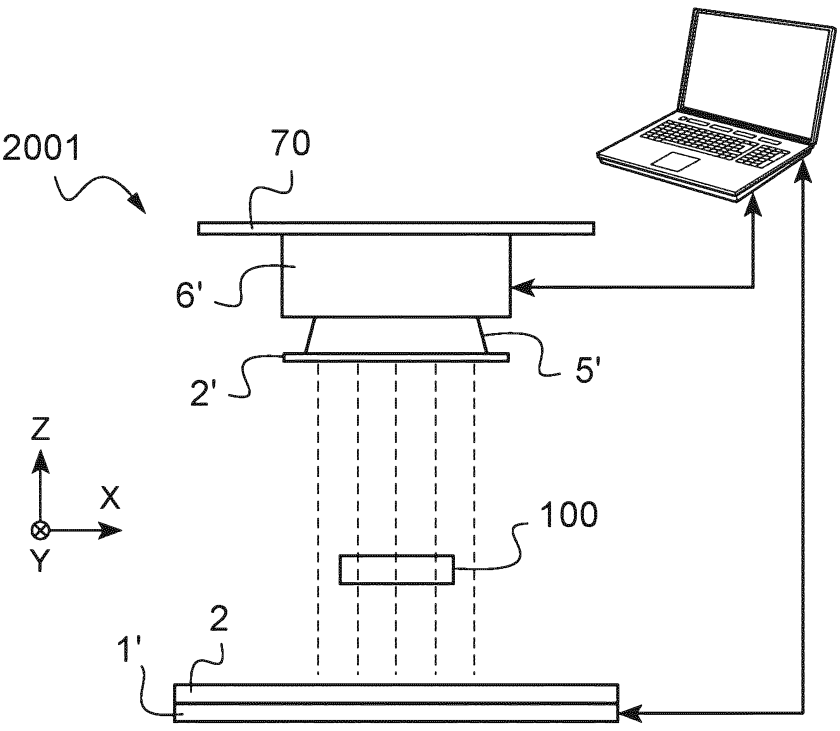



Fig.3b

Fig.4a

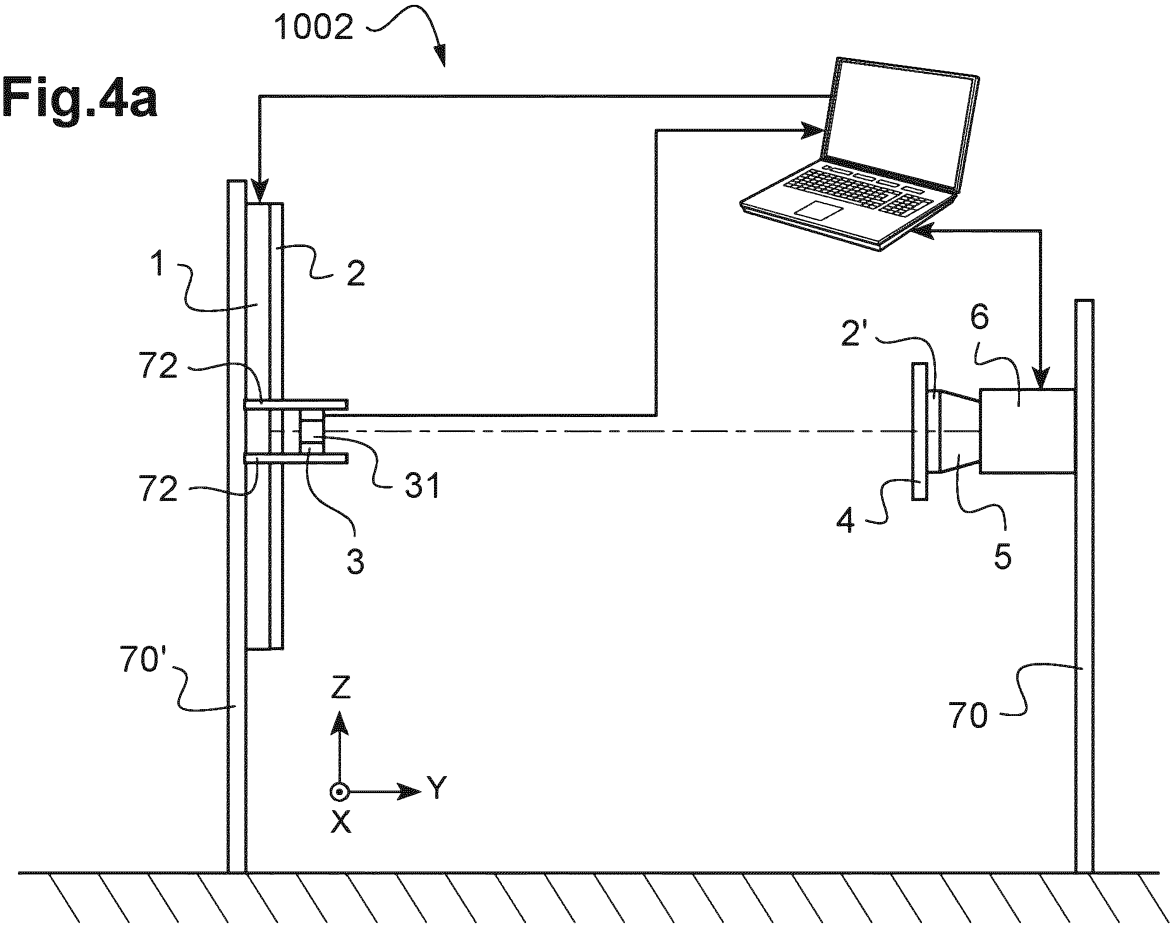
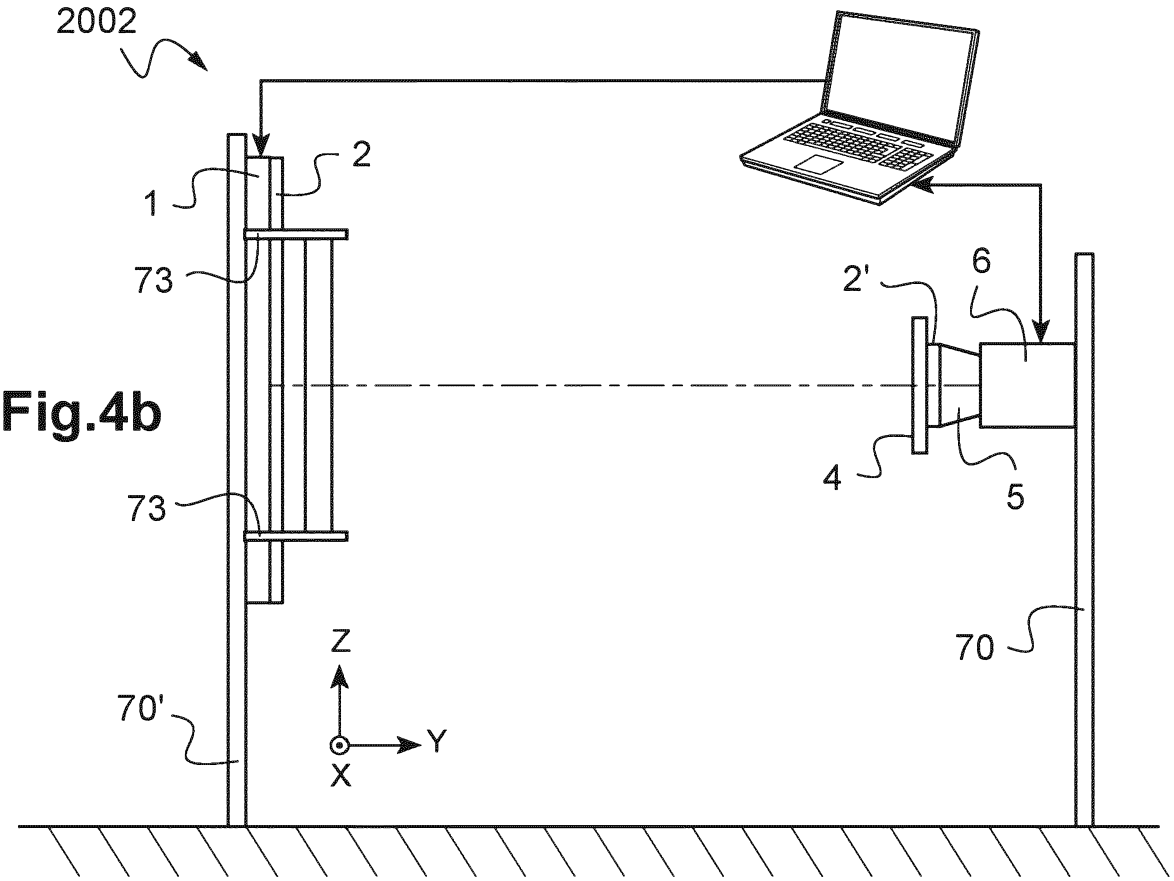



Fig.4b



# RAPPORT DE RECHERCHE

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

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveauté) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.
Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

[x] Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

FORTE PAOLA ET AL: "A CAE approach for the stress analysis of gear models by 3D digital photoelasticity", INTERNATIONAL JOURNAL ON INTERACTIVE DESIGN AND MANUFACTURING (IJIDEM), SPRINGER PARIS, PARIS, vol. 9, no. 1, 29 décembre 2013 (2013-12-29), pages 31-43, XP035438179, ISSN: 1955-2513, DOI: 10.1007/S12008-013-0201-4 [extrait le 2013-12-29]

WO 97/42491 A1 (IFUNGA TEST EQUIPMENT B V [NL]; BERGSTROEM HAAKAN [SE]; WILHELMSON ULF) 13 novembre 1997 (1997-11-13)

WO 03/040671 A1 (HINDS INSTRUMENTS INC [US]; WANG BAOLIANG [US]) 15 mai 2003 (2003-05-15)

AUGUSTO AJOVALASIT ET AL: "A critical assessment of automatic photoelastic methods for the analysis of edge residual stresses in glass", JOURNAL OF STRAIN ANALYSIS FOR ENGINEERING DESIGN, vol. 49, no. 5, 15 janvier 2014 (2014-01-15), pages 361-375, XP55437094, ISSN: 0309-3247, DOI: 10.1177/0309324713515466

RAMESH K ET AL: "Digital photoelasticity of glass: A comprehensive review", OPTICS AND LASERS IN ENGINEERING, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 87, 31 mars 2016 (2016-03-31), pages 59-74, XP029721408, ISSN: 0143-8166, DOI: 10.1016/J.OPTLASENG.2016.03.017

DIGENDRANATH SWAIN ET AL: "Novel calibration and color adaptation schemes in three-fringe RGB photoelasticity", OPTICS AND LASERS IN ENGINEERING, vol. 66, 11 novembre 2014 (2014-11-11), pages 320-329, XP055437165, AMSTERDAM, NL ISSN: 0143-8166, DOI: 10.1016/j.optlaseng.2014.10.007

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

Alex Redner: "Measuring stress in glass production: a key quality control operation", Glass Production Technology International, 1995, pages 180-183, XP055437161, Extrait de l'Internet: URL:http://www.strainoptics.com/wp-content /uploads/2017/08/Measuring-Stress-In-Glass - Production.pdf [extrait le 2017-12-21]

A. AJOVALASIT ET AL: "Review of RGB photoelasticity", OPTICS AND LASERS IN ENGINEERING, vol. 68, 8 janvier 2015 (2015-01-08), pages 58-73, XP055437168, AMSTERDAM, NL ISSN: 0143-8166, DOI: 10.1016/j.optlaseng.2014.12.008

EP 3 088 573 A1 (SUMCO CORP [JP]) 2 novembre 2016 (2016-11-02)

US 8 264 675 B1 (DANYLUK STEVEN [US] ET AL) 11 septembre 2012 (2012-09-11)

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

NEANT