

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

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

**3 104 258**

②1 N° d'enregistrement national : **19 13869**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **G 01 N 21/88 (2019.12), G 02 B 27/01, B 60 K 35/00,  
G 02 B 26/06**

⑫

**DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 Date de dépôt : 06.12.19.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 11.06.21 Bulletin 21/23.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE  
SAS — FR.

⑦2 Inventeur(s) : DIOP Daouda Keita, CARLU Adrien et  
RYBARCZYK Théo.

⑦3 Titulaire(s) : SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE SAS.

⑦4 Mandataire(s) : SAINT-GOBAIN RECHERCHE.

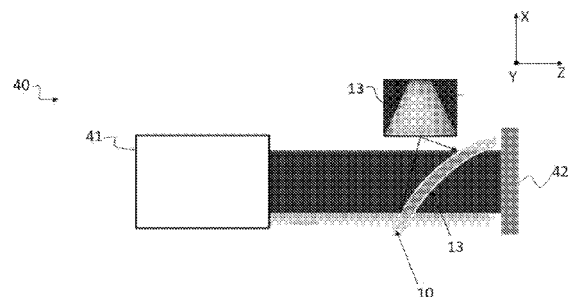
⑤4 **MÉTHODE DE MESURE DE LA QUALITÉ OPTIQUE D'UNE ZONE DONNÉE D'UN VITRAGE, DISPOSITIF DE  
MESURE ASSOCIÉ.**

⑤7 MÉTHODE DE MESURE DE LA QUALITÉ  
OPTIQUE D'UNE ZONE DONNÉE  
D'UN VITRAGE, DISPOSITIF DE MESURE ASSOCIÉ

Un aspect de l'invention concerne une méthode de mesure de la qualité optique d'une zone donnée (13) d'un vitrage (10) de véhicule routier ou ferroviaire, destinée à être positionnée dans le trajet optique d'un dispositif d'acquisition d'images, la méthode de mesure étant mise en œuvre par un dispositif de mesure (40) comprenant un émetteur (41) et un analyseur de front d'onde, la méthode de mesure comportant:

une étape d'émission, par l'émetteur (41), d'un faisceau de rayons lumineux en direction de ladite zone donnée (13),  
une étape d'analyse, par l'analyseur de front d'ondes, du front d'ondes des rayons lumineux transmis par ladite zone donnée (13) comportant:  
une sous-étape de génération d'une carte d'erreur de front d'ondes,  
une sous-étape de détermination d'au moins une carte de défaut optique présent dans ladite zone (13) du vitrage (10), à partir de la carte d'erreur de front d'ondes.

Figure à publier avec l'abrégé : Figure 3



**FR 3 104 258 - A1**



## **Description**

### **Titre de l'invention : MÉTHODE DE MESURE DE LA QUALITÉ OPTIQUE D'UNE ZONE DONNÉE D'UN VITRAGE, DISPOSITIF DE MESURE ASSOCIÉ**

#### **DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION**

- [0001] Le domaine technique de l'invention est celui des systèmes intelligents d'aide à la conduite.
- [0002] La présente invention concerne une méthode et un dispositif de mesure de la qualité optique d'une zone donnée d'un vitrage de véhicule de transport, destinée à être placée dans le trajet optique d'un dispositif d'acquisition d'images d'un système intelligent d'aide à la conduite.

#### **ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION**

- [0003] Les systèmes intelligents d'aide à la conduite (ADAS « advanced driver assistance system ») équipent de plus en plus de véhicules de transport, notamment des véhicules routiers.
- [0004] Entre autres fonctionnalités, ces systèmes embarqués peuvent fournir en temps réel des informations notamment sur l'état du trafic routier, détecter et anticiper d'éventuelles menaces de l'environnement extérieur du véhicule, ou encore aider le conducteur à réaliser certaines manœuvres difficiles comme le dépassement d'autres véhicules ou le stationnement. Pour ce faire, ces systèmes comportent de nombreux dispositifs ou capteurs permettant de collecter notamment des données sur l'environnement autour du véhicule. Certains systèmes, comme par exemple les systèmes d'aide au stationnement, les systèmes de conduite autonome ou encore les systèmes d'anticipation des collisions, mettent en œuvre un ou plusieurs dispositifs d'acquisition d'images.
- [0005] Les données acquises par les dispositifs d'acquisition d'images sont traitées par des systèmes embarqués pour obtenir la fonctionnalité recherchée. Par exemple, un système d'aide à la conduite nocturne permet d'afficher en temps réel sur le tableau de bord du véhicule une vidéo de l'environnement extérieur par l'intermédiaire d'une caméra infrarouge disposée derrière le pare-brise du véhicule. Un système de conduite autonome traite les images acquises par une caméra disposée derrière le pare-brise du véhicule afin d'y extraire des données nécessaires à l'unité de pilotage automatique du véhicule.
- [0006] Afin de protéger les dispositifs d'acquisition d'images de l'environnement extérieur, ces dispositifs sont le plus souvent disposés à l'intérieur du véhicule. Les dispositifs d'acquisition d'images sont généralement placés derrière l'un des vitrages du véhicule

par exemple le pare-brise, la lunette arrière ou encore les vitrages latéraux mais le plus souvent ces dispositifs sont disposés derrière le pare-brise afin d'acquérir des informations de l'avant du véhicule.

[0007] Afin que les systèmes intelligents embarqués qui mettent en œuvre des dispositifs d'acquisition d'images puissent fonctionner de manière optimale, il est nécessaire que les données acquises par lesdits dispositifs soient fiables. D'un point de vue optique, le positionnement des dispositifs d'acquisition d'images derrière l'un des vitrages du véhicule implique que les rayons lumineux reçus par ces dispositifs d'acquisition d'images traversent d'abord le vitrage avant d'atteindre lesdits dispositifs. Aussi, les vitrages doivent présenter une qualité optique suffisante pour éviter que l'image capturée par le dispositif d'acquisition d'images ne soit déformée.

[0008] Cependant, les vitrages présentent souvent des défauts optiques dont les origines sont diverses. Par exemple, les dispositifs d'acquisition d'images, notamment ceux situés au niveau du pare-brise, sont généralement disposés derrière des vitrages inclinés et, dans la majorité des cas dans une zone des vitrages délimitée par des éléments opaques. Ces éléments opaques permettant de cacher une partie des éléments des dispositifs d'acquisition d'images hormis les éléments actifs pour l'acquisition des images afin qu'ils ne soient pas visibles depuis l'extérieur des véhicules. Or, la présence de ces éléments opaques, généralement des émaux, à la surface des vitrages entraîne une diminution de la qualité optique du vitrage au niveau de la zone du vitrage bordant les éléments opaques, en particulier dans la zone du vitrage située à une distance comprise entre 5 et 8mm des éléments opaques. Par ailleurs, dans le cas particulier des zones délimitées par de l'émail déposé à haute température sur des vitrages en verre, les différences de coefficient de dilatation thermique ou les interactions physicochimiques entre les matériaux de l'émail et le verre peuvent provoquer des variations locales de la surface à proximité de leurs bords. Ces variations peuvent être exemple des variations d'indice de réfraction et/ou des déformations géométriques par rapport au reste de la surface du verre éloigné des bords des zones émaillées. De plus, les zones délimitées par des éléments opaques peuvent également comprendre sur leur surface des éléments fonctionnels qui se retrouvent directement placés dans le champs d'acquisition des dispositifs d'acquisition d'images. Ces éléments fonctionnels peuvent, par exemple, être des réseaux de fils chauffants avec différentes géométries, ou encore des couches fonctionnelles à propriétés optiques ou thermiques. Ces éléments fonctionnels provoquent également des défauts optiques.

[0009] Les vitrages destinés à être placés devant des dispositifs d'acquisition d'images sont fabriqués avant l'intégration de ces dispositifs. Il est donc nécessaire de vérifier la qualité optique du pare-brise et en particulier des zones délimitées par des éléments opaques afin d'éviter que la présence de défauts optiques, notamment dans lesdites

zones, ne soient à l'origine d'artefacts préjudiciables dans les images acquises par les dispositifs d'acquisition d'images.

[0010] Aujourd'hui, une des techniques utilisées pour mesurer la qualité optique des vitrages, en particulier des pare-brises de véhicules, est la déflectométrie. Si cette technique de mesure offre une grande répétabilité, elle ne permet pas de mesurer avec précision la qualité optique des vitrages. En effet, cette technique ne permet pas d'identifier et de quantifier avec précision les défauts optiques qui altèrent la qualité de l'image capturée par les dispositifs d'acquisition d'images et cette technique permet de déterminer uniquement la distorsion introduite par le vitrage. En outre, cette méthode ne permet pas de mesurer la qualité optique d'une zone réduite d'un vitrage, notamment lorsque des éléments opaques, tels que des émaux, entourant ladite zone sont à l'origine de distorsions optiques à leur proximité. En effet, cette méthode a une résolution spatiale telle que les mesures de la qualité optique sont limitées à une portion de surface de ladite zone donnée. Les bords de cette portion doivent être suffisamment éloignés des bords des éléments opaques de la zone délimitée afin d'éviter tout artefact de mesure.

### **Résumé de l'invention**

[0011] L'invention offre une solution aux problèmes évoqués précédemment, en permettant d'identifier et de quantifier avec précision les défauts optiques introduits par le vitrage, y compris une zone donnée dudit vitrage notamment délimitée par des éléments opaques qui amplifient les défauts optiques.

[0012] Un premier aspect de l'invention concerne une méthode de mesure de la qualité optique d'une zone donnée d'un vitrage de véhicule routier ou ferroviaire (zone étant tout ou partie du vitrage, notamment zone périphérique et même le long d'un bord de préférence longitudinal du vitrage, en particulier la zone centrale et/ou (classique) du rétroviseur), destinée à être positionnée dans le trajet optique d'un dispositif d'acquisition d'images (caméra), la méthode de mesure étant mise en œuvre par un dispositif de mesure comprenant un émetteur et un analyseur de front d'onde.

[0013] La méthode de mesure selon le premier aspect comporte :

- une étape d'émission, par l'émetteur, d'un faisceau de rayons lumineux en direction de ladite zone donnée, de préférence faisceau circulaire (plus simple à réaliser notamment de diamètre d'au moins 100mm)
- une étape d'analyse, par l'analyseur de front d'ondes, du front d'ondes des rayons lumineux transmis par ladite zone donnée comportant:
  - une sous-étape de génération d'une carte d'erreur de front d'ondes, notamment qui est une image en 2D correspondant à la projection de la zone dite caméra du vitrage sur l'analyseur (le capteur) de front

d'onde,

- une sous-étape de détermination d'au moins une carte de défaut optique présent dans ladite zone du vitrage (sur toute ou partie de cette zone, notamment sur une région utile), à partir de la carte d'erreur de front d'ondes.

[0014] Grâce à la méthode de mesure selon l'invention, et en particulier à l'étape d'analyse du front d'onde, il est possible d'identifier et de quantifier avec plus de précision les défauts optiques et en particulier d'accéder aux aberrations optiques introduites par au moins une zone donnée d'un vitrage, notamment des aberrations de sphéricité, de chromatisme, d'astigmatisme, de coma. De plus, la méthode de mesure permet également de déterminer avec précision la qualité optique d'une zone donnée du vitrage délimitée par des éléments opaques.

[0015] La détermination, de manière précise, des défauts optiques, notamment des aberrations optiques, introduits par le vitrage permettent de corriger les images capturées par des dispositifs d'acquisition d'images afin obtenir des images de qualité qui, dans le domaine des systèmes intelligents d'aide à la conduite, sont indispensables pour pouvoir interpréter correctement l'environnement extérieur du véhicule routier ou ferroviaire. L'invention peut servir pour tout type de capteur photographique ou de vision, par exemple de type CMOS (Complementary Metal Oxyde Semiconductor en anglais) ou CDD (Charge Coupled Device en anglais), intégré dans un dispositif d'acquisition d'images dans le véhicule ou déporté d'un système de traitement d'images fournies par le capteur photographique. L'invention convient tout particulièrement pour les vitrages (parebrise, lunette etc) aux véhicules (routiers) autonomes ou semi autonomes : niveau L2+, L3, L4 et L5 (full autonome) ainsi que les véhicules type Robot Taxi et navette (Shuttle). L'angle du vitrage notamment un pare-brise de véhicule routier peut être typiquement entre  $21^\circ$  et  $36^\circ$  par rapport au sol et en moyenne de  $30^\circ$ .

[0016] En outre, grâce à l'étape d'analyse du front d'ondes des rayons lumineux transmis par le vitrage, il est possible d'accéder à d'autres métriques permettant de caractériser le vitrage, notamment la puissance optique, la distorsion optique, la fonction de transfert de modulation ou encore la fonction d'étalement du point.

[0017] Outre les caractéristiques qui viennent d'être évoquées dans le paragraphe précédent, la méthode de mesure selon le premier aspect de l'invention peut présenter une ou plusieurs caractéristiques complémentaires parmi les suivantes, considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles.

[0018] De préférence, la taille du faisceau couvre une zone plus large que la zone dite caméra, zone caméra prévue pour être couplée à la caméra, le couplage est généralement seulement sur une région de cette zone. Par exemple cette zone caméra est de

largeur (base inférieure par exemple si trapézoïdale) d'au moins 20mm,30mm ou 50mm et mieux d'au plus 150mm ou 100mm et est de préférence trapézoïdale (base supérieure de largeur inférieure à la base inférieure) et la hauteur est d'au moins 8mm, 10mm voire 15mm et mieux d'au plus 30mm ou 25mm. Ainsi, le faisceau présente par exemple une largeur (diamètre si circulaire) supérieure ou égale à la largeur maximale de la zone caméra, en particulier largeur d'au moins 100mm. Le couplage avec la caméra (le dispositif d'acquisition d'images) est généralement sur une région de cette zone caméra. On parlera par la suite de région utile vue par la caméra comme étant la zone du vitrage (inclut dans la zone caméra) interceptée par le champ de vision de la caméra.

[0019] Selon un mode de réalisation non limitatif, l'émetteur et l'analyseur de front d'ondes sont disposés de part et d'autre du vitrage, l'étape d'analyse comprenant :

- une sous-étape de calcul d'une différence de phase entre le front d'ondes des rayons lumineux transmis par ladite zone donnée du vitrage et un front d'ondes de référence pour déterminer une erreur de front d'ondes finale utilisée pour générer la carte d'erreur de front d'ondes.

[0020] Selon un mode de réalisation non limitatif, le dispositif de mesure comprend un miroir-plan disposé d'un côté du vitrage et en ce que l'émetteur et l'analyseur de front d'ondes sont disposés de l'autre côté du vitrage, l'étape d'analyse comprenant :

- une sous-étape de calcul d'une différence de phase entre le front d'ondes des rayons lumineux transmis par ladite zone donnée du vitrage et un front d'ondes de référence pour déterminer une erreur de front d'ondes intermédiaire,
- une sous-étape de division de l'erreur de front d'ondes intermédiaire par deux pour déterminer une erreur de front d'ondes finale utilisée pour générer la carte d'erreur de front d'ondes.

[0021] Selon un mode de réalisation non limitatif, ladite carte de défaut optique est choisie dans la liste suivante :

- une carte d'aberration optique,
- une carte de pentes,
- une carte de puissance optique,
- une carte de la fonction d'étalement du point
- une carte de la fonction de transfert de modulation,
- une carte de distorsion horizontale,
- une carte de distorsion verticale.

[0022] Selon un mode de réalisation non limitatif, l'étape d'analyse comporte :

- une sous-étape de sélection d'une région utile dans la carte d'erreur de front d'onde générée, région (surface) utile de préférence circulaire, notamment de

taille prédéterminée en particulier de longueur (diamètre) d'au moins 4mm, et même d'au plus 20mm

- une sous-étape de décomposition de ladite région utile par traitement d'images (en particulier conversion de la surface du front d'onde en une somme de surfaces élémentaires par décomposition polynomiale) en une pluralité de cartes d'aberrations optiques.

[0023] La région utile i.e. vue par la caméra (le capteur de caméra) est de préférence circulaire. Elle est par exemple une zone relativement centrée de la zone dite caméra généralement sous forme d'une fenêtre trapézoïdale d'une couche opaque (émail etc), souvent noire, déposée sur une feuille de verre du vitrage (vitrage feuilleté en général) et/ou sur un intercalaire de feuilletage par exemple en polyvinylbutyral dit PVB). L'emplacement de la caméra dépend du constructeur automobile donc la région vue par la caméra décentrée dans la zone caméra aussi les bords de la fenêtre (en particulier émail) peuvent impacter la qualité de l'image de la scène.

[0024] Pour la sous-étape de décomposition de ladite région utile par traitement d'images on utilise de préférence les polynômes de Zernike bien connus des opticiens. Les polynômes de Zernike sont un ensemble de fonctions mathématiques polynomiales particulièrement adaptées aux zones circulaires qui permettant de décomposer des surfaces complexes en une somme infinie de surfaces élémentaires qui correspondent chacune à un degré et un type particulier d'aberration optique. Cette décomposition de la région utile permet de générer une pluralité de cartes d'aberrations optiques. Les polynômes de Zernike sont définis dans le document de Pierre Strock du 7 mars 2008 accessible sur internet (15 pages). Ces polynômes sont définis par la liste de Wyant. Les polynômes sont classés suivant deux indices n et m. On choisit les polynômes de numéro 1 à 8 en particulier et même d'ordre supérieur en particulier jusqu'à 36 (liste de Wyant page 13 du document).

[0025] Selon un mode de réalisation non limitatif, au moins une des cartes d'aberrations optiques de la pluralité de cartes d'aberrations optiques notamment de degré d'au moins 2 est choisie dans la liste suivante :

- une carte d'erreur de mise au point, (de préférence carte correspondant à la projection du polynôme d'ordre 3 de Zernicke)
- une carte d'astigmatisme orienté à  $0^\circ$ , (plan des axes X, Y normaux à l'axe de propagation Z du front d'onde, de préférence carte correspondant à la projection du polynôme d'ordre 4 de Zernicke)
- une carte d'astigmatisme orienté à  $45^\circ$  (du plan avec les axes X, Y normaux à l'axe de propagation Z du front d'onde, carte de préférence correspondant à la projection du polynôme d'ordre 5 de Zernicke)
- une carte de coma en X, (X perpendiculaire à l'axe de propagation Z du front

d'onde, par exemple X est l'axe vertical, de préférence correspondant à la projection du polynôme d'ordre 6 de Zernicke)

- une carte de coma en Y, (Y perpendiculaire à l'axe de propagation Z du front d'onde et à X, par exemple Y est l'axe horizontal, carte de préférence correspondant à la projection du polynôme d'ordre 7 de Zernicke)
- une carte d'aberration sphérique, (de préférence correspondant à la projection du polynômes d'ordre 4 de Zernicke).

[0026] Selon un mode de réalisation non limitatif, l'étape d'analyse comprend :

- une sous-étape de comparaison des amplitudes d'erreur de front d'onde (en  $\mu\text{m}$  de préférence) de la pluralité de cartes d'aberrations optiques,
- une sous-étape d'identification d'au moins une aberration optique présentant une amplitude d'erreur de front d'onde supérieure à l'amplitude d'erreur de front d'onde des autres aberrations optiques (pour identifier la ou les aberrations optiques dominantes).

[0027] On peut alors prévoir après ladite étape d'identification, la détermination d'une correction du dispositif d'acquisition d'images notamment de son positionnement.

[0028] Selon un mode de réalisation non limitatif, la méthode comporte une étape de stockage de ladite carte de défaut optique dans un dispositif de stockage de données.

[0029] Par ailleurs, l'invention selon un deuxième aspect concerne un dispositif de mesure de la qualité optique d'au moins une zone donnée d'un vitrage, apte à la mise en œuvre de la méthode de mesure selon le premier aspect, comportant :

- un émetteur configuré pour émettre un faisceau de rayons lumineux en direction de ladite zone donnée,
- un analyseur de front d'ondes configuré pour analyser le front d'ondes des rayons lumineux transmis par ladite zone donnée.

[0030] Outre les caractéristiques qui viennent d'être évoquées dans le paragraphe précédent, le dispositif de mesure selon le deuxième aspect de l'invention peut présenter une ou plusieurs caractéristiques complémentaires parmi les suivantes, considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles.

[0031] Selon un mode de réalisation non limitatif, la taille du faisceau couvre une zone plus large que la zone dite caméra, prévue pour être couplée à la caméra. Par exemple, cette zone est de largeur (base inférieure) d'au moins 30mm ou 50mm et d'au plus ?mm et est de préférence trapézoïdale (avec une base supérieure de largeur inférieure à la base inférieure) et la hauteur est d'au moins 10mm voire 15mm. Le faisceau présente par exemple une largeur supérieure ou égale à 100mm

[0032] Selon un mode de réalisation non limitatif, l'émetteur comprend une source de lumière monochromatique.

[0033] Selon un mode de réalisation non limitatif, l'émetteur et l'analyseur de front d'ondes



sont configurés pour être placés de part et d'autre du vitrage.

[0034] Selon un mode de réalisation non limitatif, le dispositif de mesure comporte un miroir-plan configuré pour être disposé d'un côté du vitrage et en ce que l'émetteur et l'analyseur de front d'ondes sont configurés pour être disposés de l'autre côté du vitrage.

[0035] En outre, l'invention selon un troisième aspect concerne un dispositif de stockage de données comportant au moins une carte de défauts optiques associée à ladite zone donnée du vitrage.

[0036] Outre les caractéristiques qui viennent d'être évoquées dans le paragraphe précédent, le dispositif de stockage selon le troisième aspect de l'invention peut présenter une ou plusieurs caractéristiques complémentaires parmi les suivantes, considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles.

[0037] Selon un mode de réalisation non limitatif, le dispositif de stockage de données se présente sous la forme d'une matrice de données.

[0038] Selon un mode de réalisation non limitatif, le dispositif de stockage de données se présente sous la forme d'un code-barre qui renvoie à une base de données.

[0039] Selon un mode de réalisation non limitatif, ladite carte de défauts optiques est choisie dans la liste suivante :

- une carte d'aberration optiques,
- une carte de pentes
- une carte de puissance optique
- une carte de la fonction d'étalement du point
- une carte de la fonction de transfert de modulation,
- une carte de distorsion horizontale,
- une carte de distorsion verticale.

[0040] Selon un mode de réalisation non limitatif, l'étape d'analyse comporte :

- une sous-étape de sélection d'une zone dite utile, de préférence circulaire, dans la carte d'erreur de front d'onde générée, de taille prédéterminée (correspondant sensiblement à la zone du vitrage captée par le dispositif d'acquisition d'images tel que le capteur de caméra) en particulier la région utile présente une longueur (diamètre) d'au moins 4mm, en particulier comprise entre 4 et 20mm
- une sous-étape de décomposition de ladite région utile par traitement d'images en une pluralité de cartes d'aberrations optiques, en particulier par conversion de la surface du front d'onde en une somme de surfaces élémentaires par décomposition polynomiale.

[0041] La zone vue par la caméra (le capteur de caméra) de l'analyseur de front d'onde est de préférence circulaire, par exemple une zone relativement centrée de la zone dite

caméra, généralement sous la forme d'une fenêtre trapézoïdale d'une couche opaque (émail etc), souvent noire, déposée sur une feuille de verre du vitrage 10 (feuilleté en général) et/ou sur un intercalaire de feuilletage par exemple en Poly(butyril vinylique).

[0042] L'emplacement de la caméra dépend du constructeur automobile ce n'est pas toujours le cas aussi, les bords de la fenêtre (en particulier émail) peuvent impacter la qualité de l'image de la scène.

[0043] Selon un mode de réalisation non limitatif, au moins une des cartes d'aberrations optiques de la pluralité de cartes d'aberrations optiques, notamment de degré d'au moins 2, est choisie dans la liste suivante :

- une carte d'erreur de mise au point,
- une carte d'astigmatisme orienté à  $0^\circ$ ,
- une carte d'astigmatisme orienté à  $45^\circ$
- une carte de coma en X (perpendiculaire à l'axe de propagation Z du front d'onde, par exemple X est l'axe vertical),
- une carte de coma en Y (perpendiculaire à l'axe de propagation Z du front d'onde et à X, par exemple Y est l'axe horizontal),
- une carte d'aberration sphérique.

[0044] Selon un mode de réalisation non limitatif, l'étape d'analyse comprend :

- une sous-étape de comparaison des amplitudes d'erreur de front d'onde, en  $\mu\text{m}$  de préférence, de la pluralité de cartes d'aberrations optiques,
- une sous-étape d'identification d'au moins une aberration optique présentant une amplitude supérieure à l'amplitude des autres aberrations optiques afin d'identifier la ou les aberration optiques dominantes.

[0045] On peut alors prévoir après la sous-étape d'identification, la détermination d'une correction du dispositif d'acquisition d'images notamment de son positionnement.

[0046] De plus, l'invention selon un quatrième aspect se rapporte à un vitrage, notamment de véhicule routier ou ferroviaire, intégrant le dispositif de stockage de données selon le troisième aspect.

[0047] Outre les caractéristiques qui viennent d'être évoquées dans le paragraphe précédent, le vitrage selon le quatrième aspect de l'invention peut présenter une ou plusieurs caractéristiques complémentaires parmi les suivantes, considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles.

[0048] Selon un mode de réalisation non limitatif, le dispositif de stockage de données est imprimé sur le vitrage.

[0049] Selon un mode de réalisation, le vitrage comprend une feuille en matériau transparent et un élément opaque recouvrant en partie la feuille de manière à délimiter une zone donnée de la feuille.

[0050] Selon un mode de réalisation non limitatif, la feuille est en verre.

- [0051] Selon un mode de réalisation non limitatif, la feuille est en plastique.
- [0052] Selon un mode de réalisation non limitatif, l'élément opaque est formé par une couche d'émail.
- [0053] Selon un mode de réalisation non limitatif, le vitrage est un pare-brise de véhicule routier.
- [0054] L'invention et ses différentes applications seront mieux comprises à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent.

### **BREVE DESCRIPTION DES FIGURES**

- [0055] Les figures sont présentées à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention.
- [0056] [fig.1] est une représentation schématique d'un pare-brise de véhicule routier comprenant une zone donnée délimitée par un élément opaque.
- [0057] [fig.2] est une représentation schématique d'un dispositif d'acquisition d'images placé derrière le pare-brise de la figure 1, de sorte que la zone donnée soit dans le trajet optique du dispositif d'acquisition d'images.
- [0058] [fig.3] est une représentation schématique d'un dispositif de mesure selon un mode de réalisation de l'invention, qui permet de mesurer la qualité optique de la zone donnée du pare-brise de la figure 1.
- [0059] [fig.4] est une représentation schématique sous forme de blocs illustrant des étapes d'une méthode de mesure selon un mode de réalisation de l'invention, permettant de mesurer la qualité optique de la zone donnée, au moyen du dispositif de mesure de la figure 3.
- [0060] [fig.5a] est une représentation schématique illustrant l'erreur de front d'ondes introduite par le vitrage.
- [0061] [fig.5b] est une représentation schématique de la carte d'erreur de front d'ondes générée par l'analyseur de front d'ondes du dispositif de mesure de la figure 3.
- [0062] [fig.6] représente une carte illustrant la région utile (vue par la caméra) sélectionnée dans la carte d'erreur de front d'onde représentée à la figure 5b.
- [0063] [fig.7a] représente une carte d'erreur de mise au point générée par l'analyseur de front d'ondes du dispositif de mesure de la figure 3
- [0064] [fig.7b] représente une carte d'astigmatisme  $0^\circ$  générée par l'analyseur de front d'ondes du dispositif de mesure de la figure 3
- [0065] [fig.7c] représente une carte d'astigmatisme  $45^\circ$  générée par l'analyseur de front d'ondes du dispositif de mesure de la figure 3
- [0066] [fig.7d] représente une carte de coma X générée par l'analyseur de front d'ondes du dispositif de mesure de la figure 3
- [0067] [fig.7e] représente une carte de coma Y générées par l'analyseur de front d'ondes du dispositif de mesure de la figure 3

- [0068] [fig.7f] représente une carte d'aberration sphérique générée par l'analyseur de front d'ondes du dispositif de mesure de la figure 3
- [0069] [fig.8] représente une carte de distorsion verticale générée par l'analyseur de front d'ondes du dispositif de mesure de la figure 3.
- [0070] [fig.9] représente une carte de distorsion horizontale générée par l'analyseur de front d'ondes du dispositif de mesure de la figure 3.
- [0071] Sauf précision contraire, un même élément apparaissant sur des figures différentes présente une référence unique.

## **DESCRIPTION DETAILLEE**

- [0072] Les figures sont présentées à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention.
- [0073] L'invention se rapporte à une méthode et à un dispositif de mesure de la qualité optique d'un vitrage. Par « vitrage », on entend une plaque formée à partir d'un matériau transparent tel que du verre ou encore du plastique. Avantageusement, le vitrage peut être un pare-brise, une lunette arrière ou encore des vitrages latéraux d'un véhicule routier ou ferroviaire.
- [0074] Dans la suite de la description, on admettra que le vitrage est un pare-brise de véhicule routier.
- [0075] La figure 1 illustre un exemple de pare-brise de véhicule routier.
- [0076] En référence à la figure 1, le pare-brise 10 comprend une feuille 11 de verre 11 et un élément opaque 12. L'élément opaque 12 permet notamment de cacher depuis l'extérieur du véhicule des éléments disposés à l'intérieur dudit véhicule, par exemple une partie d'un dispositif d'acquisition d'images. L'élément opaque 12 recouvre au moins une des faces principales de la feuille 11 de verre de manière à border tout le pare-brise 10. L'élément opaque 12 peut être disposé sur la surface d'une seule des deux faces principales de la feuille 11 de verre ou peut comprendre plusieurs portions, chacune des portions étant disposée sur l'une et sur l'autre des faces principales de la feuille 11 de verre. Dans le cas d'un vitrage multiple comprenant plusieurs feuilles de verre, tel qu'un vitrage feuilleté, l'élément opaque 12 peut aussi être formé de plusieurs portions, chaque portion étant disposée sur la surface de deux ou plusieurs feuilles de verre selon le nombre de portions. Par ailleurs, la feuille 11 de verre peut être inclinée par exemple d'un angle de 30°. De plus, la feuille 11 de verre peut être bombée suivant un ou deux axes, le rayon de courbure est par exemple compris entre 6m et 30m.
- [0077] De préférence, l'élément opaque 12 est une couche d'émail déposée à la surface de la feuille 11. Naturellement, la couche d'émail peut être remplacée par tout autre élément opaque qui permet de cacher depuis l'extérieur certains éléments disposés à l'intérieur du véhicule routier.

- [0078] Par ailleurs, comme on peut le voir sur la figure 1, l'élément opaque 12 délimite une zone donnée 13 de la feuille 11 de verre située au niveau de la bordure supérieure du pare-brise 10. La zone donnée 13 est destinée à être placée sur le trajet optique d'un dispositif d'acquisition d'images, telle qu'une caméra d'un système intelligent d'assistance à la conduite. De préférence, la surface de la zone donnée 13 est inférieure à 0,5m<sup>2</sup>.
- [0079] La figure 2 montre un dispositif d'acquisition d'images placé derrière le pare-brise 10 représenté à la figure 1.
- [0080] Comme on peut le voir sur la figure 2, le dispositif d'acquisition d'images 20 est placé derrière le pare-brise 10 de sorte que la zone donnée 13 soit placée sur le trajet optique du dispositif d'acquisition d'images 20, par exemple à l'aide d'un support adapté (non illustré). Avantageusement, le dispositif d'acquisition d'images 20 est une caméra numérique haute résolution adaptée pour opérer dans le visible, i.e. dans les longueurs d'onde comprises entre 390nm et 750nm.
- [0081] Avantageusement, un dispositif de mesure 40 est utilisé pour déterminer la qualité optique de la zone donnée 13 du pare-brise 10 qui est dans le champ de vision du dispositif d'acquisition d'images 20.
- [0082] La figure 3 est une représentation schématique du dispositif de mesure 40 selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0083] En référence à la figure 3, le dispositif de mesure 40 comprend un émetteur 41 et un miroir-plan 42. Le pare-brise 10 est positionné entre l'émetteur 41 et le miroir-plan 42, par exemple à une distance comprise entre 200mm et 250mm de l'émetteur 41 et à une distance comprise entre 250mm et 300mm du miroir-plan 42.
- [0084] L'émetteur 41 est configuré pour émettre un faisceau de rayons lumineux travers la zone donnée 13 du pare-brise 10. Pour ce faire, l'émetteur 41 comprend une source de lumière et un collimateur placé après la source de lumière afin d'obtenir un faisceau de rayons lumineux par exemple parallèles. Avantageusement, la source de lumière de l'émetteur 41 est monochromatique. De plus, la source de lumière de l'émetteur 41 est adaptée pour émettre dans le visible c'est à dire dans les longueurs d'onde comprises entre 400nm et 700nm, de préférence entre 640nm et 660nm. De manière avantageuse, la taille du faisceau permet de couvrir toute la zone donnée 13 en garantissant une résolution suffisante et un flux permettant d'obtenir des informations dans la totalité de la zone donnée 13 dite zone caméra. De préférence, la taille du faisceau couvre une zone plus large que la zone donnée 13. Ainsi, le faisceau circulaire ici présente par exemple une largeur supérieure ou égale à 100mm, par exemple ici 130mm.
- [0085] De plus, l'émetteur 41 comprend également un analyseur de front d'onde, appelé également aberromètre, qui permet de mesurer la forme du front d'ondes du faisceau émis par l'émetteur 41 et de déterminer la déformation subie par le front d'ondes lors

de son passage à travers la zone donnée 13. On rappelle qu'un front d'ondes est la surface d'onde en trois dimensions définie de façon que chaque rayon lumineux provenant de la même source lumineuse y soit orthogonal. L'analyseur de front d'ondes mesure la forme de cette surface d'onde. Avantageusement, l'analyseur de front d'ondes est composé d'un système connu sous la dénomination commerciale « Phasics-SID4-HR », qui repose sur le principe de l'interférométrie à quatre ondes, et d'une caméra couplée audit système. Ce système comprend un masque de Hartmann modifié à travers lequel le faisceau incident se propage et entraîne sa réplification en quatre faisceaux. Le système génère un interférogramme, capturé par la caméra, qui est déformé par les gradients de front d'onde récupérés par une analyse de Fourier. Dans la mesure où l'interférogramme enregistré est principalement sinusoïdal, une petite quantité de pixels est nécessaire pour récupérer un pixel de phase. Cela se traduit par une résolution accrue, au moins d'un facteur 4, par rapport aux autres analyseurs de front d'onde basés sur la récupération du gradient telles que la technique dite de Hartmann et la technique dite de Shack-Hartmann.

- [0086] Par ailleurs, le miroir-plan 42 est placé derrière le pare-brise 10 afin de réfléchir le faisceau transmis par le pare-brise 10. Avantageusement, le miroir-plan 42, par exemple à base d'argent, est calibré de manière à représenter un plan parfait, caractéristique d'une bonne qualité optique, c'est-à-dire avec une faible déformation et une faible rugosité de surface.
- [0087] Dans une variante de réalisation non illustrée, le dispositif de mesure 40 ne comprend pas de miroir-plan 42. Dans ce cas, l'émetteur 41 est placé d'un côté du pare-brise 10 tandis que l'analyseur de front d'ondes est placé de l'autre côté du pare-brise 10.
- [0088] La figure 4 est une représentation schématique en bloc illustrant des étapes de la méthode de mesure 100 selon un mode de réalisation de l'invention, de la qualité optique de la zone donnée 13 du pare-brise 10, au moyen du dispositif de mesure 40 décrit en référence à la figure 3.
- [0089] Dans une étape d'émission 101, un faisceau de rayons lumineux, de préférence parallèles, est émis par l'émetteur 41 en direction de la zone donnée 13 du pare-brise 10. Le faisceau traverse alors la zone donnée 13 avant d'atteindre le miroir-plan 42 qui réfléchit le faisceau vers le vitrage 10. Le faisceau traverse alors une deuxième fois la zone donnée 13 du vitrage 10 avant d'atteindre l'analyseur de front d'onde.
- [0090] Dans une étape d'analyse 102, le faisceau reçu par l'analyseur de front d'ondes est analysé par son microprocesseur. L'étape 102 d'analyse du front d'ondes comprend plusieurs sous-étapes.
- [0091] Ainsi, dans une sous-étape de calcul 1021, la différence de phase, entre le front d'ondes du faisceau réfléchi et un front d'ondes de référence est calculée pour déterminer une erreur de front d'ondes intermédiaire. Avantageusement, le front d'ondes

de référence est un front d'ondes plan. La figure 5a illustre l'écart de forme entre un front d'ondes de référence FR et un front d'ondes mesuré FM qui correspond à l'erreur de front d'ondes EF.

[0092] Dans une sous-étape de division 1022, l'erreur de front d'ondes est divisée par deux pour obtenir l'erreur de front d'ondes finale. En effet, dans la mesure où le faisceau traverse deux fois le pare-brise 10, une première fois lors de l'émission du faisceau par l'émetteur 41 et une deuxième fois lors de la réflexion du faisceau par le miroir-plan 42, l'erreur de front d'ondes intermédiaire déterminée dans la sous-étape 1021 correspond à l'erreur de front d'ondes résultant des deux passages du faisceau à travers la zone donnée 13 du pare-brise 10. Ainsi, la sous-étape 1022 permet de déterminer l'erreur de front d'ondes finale correspondant à un seul passage du faisceau à travers la zone donnée 13. Naturellement, la sous-étape 1022 de division n'est pas réalisée lorsque le dispositif de mesure 40 ne comprend pas de miroir-plan 42 et que l'émetteur 41 et l'analyseur de front d'onde sont placés de part et d'autre du pare-brise 10. En effet, dans ce cas l'erreur de front d'ondes calculée lors de la sous-étape de calcul 1021 correspond à l'erreur de front d'ondes finale relative à un seul passage du faisceau à travers la zone donnée 13.

[0093] Dans une sous-étape de génération 1023, une carte d'erreur de front d'ondes est générée à partir de l'erreur de front d'ondes finale. La carte d'erreur de front d'ondes traduit la déviation du front d'onde transmis, par exemple entre des points espacés de  $490\ \mu\text{m}$  (largeur du pixel de phase), à travers la zone donnée 13 par rapport au front d'onde de référence. La figure 5b illustre un exemple de carte d'erreur de front d'onde CEC générée à l'issue de la sous-étape 1023. Cette carte d'erreur de front d'onde est une image, matrice de pixels de phase, chacun de  $490\ \mu\text{m}$ , matrice en deux dimensions correspondant à la projection de la zone caméra 13 du vitrage 10 sur l'analyseur de front d'onde. Cette projection est de forme trapézoïdale avec une largeur au niveau de la base inférieure de 60 mm, une largeur au niveau de la base supérieure de 52mm et une hauteur de 17mm. Sur cette carte d'erreur de front d'onde, l'axe des abscisses  $L_Y$  représente le nombre de pixels suivant l'axe Y, i.e. horizontal, l'axe des ordonnées de gauche  $L_x$  représente le nombre de pixels suivant l'axe X, i.e. vertical et l'axe des ordonnées de droite représente l'erreur de front d'onde EF exprimée en microns.

[0094] Dans une sous-étape de sélection 1024, une région utile 14, visible à la figure 5b, est sélectionnée dans la carte d'erreur de front d'onde CEC générée. Avantagusement, la région utile 14 est une zone circulaire de taille prédéterminée correspondant à la zone du vitrage 10 réellement vue par le dispositif d'acquisition d'images 20. La zone circulaire présente par exemple un diamètre supérieur ou égal à 4mm, de préférence d'au plus 20mm lorsque la caméra est très proche du vitrage. Une carte illustrant la région utile CAO0 générée à l'issue de la sous-étape de sélection 1024 est illustrée à la

figure 6.

- [0095] Dans une sous-étape de décomposition 1025, la région utile 14 est décomposée, par un traitement d'images, en polynômes de préférence de Zernike. Les polynômes de Zernike sont un ensemble de fonctions mathématiques polynomiales particulièrement adaptées aux zones circulaires qui permettant de décomposer des surfaces complexes en une somme infinie de surfaces élémentaires qui correspondent chacune à un degré et un type particulier d'aberration optique. Cette décomposition de la région utile 14 permet de générer une pluralité de cartes d'aberrations optiques.
- [0096] Dans une sous-étape de détermination 1026, une pluralité de cartes d'aberration optique, de préférence de degré supérieur ou égal à 2, présentes dans la zone donnée 13 du vitrage 100 est déterminée à l'issue de la sous-étape de décomposition 1025.
- [0097] Les figures 7a, 7b, 7c, 7d, 7e et 7f illustrent des exemples de cartes d'aberrations optiques, en noir et blanc et en couleurs, qu'il est possible d'obtenir à l'issue de la sous-étape de décomposition 1025. Sur ces cartes d'aberrations optiques, l'axe des abscisses  $L_y$  représente le nombre de pixels suivant l'axe Y, i.e. horizontal, l'axe des ordonnées de gauche  $L_x$  représente le nombre de pixels suivant l'axe X, i.e. vertical et l'axe des ordonnées de droite représente l'erreur de front d'onde pour l'aberration optique choisie, exprimée en microns.
- [0098] Comme on peut le voir sur la figure 7a, il est possible d'obtenir une première carte CAO1, CAO1' illustrant une aberration de degré 2 : une erreur de mise au point appelé également « defocus ». La première carte CAO1, CAO1' est une alternance d'anneaux. Dans la première carte CAO1, CAO1', l'amplitude d'erreur de front d'onde de l'aberration optique est plus importante au niveau du bord mais l'inverse est possible.
- [0099] En outre, il est également possible d'obtenir une deuxième carte CAO2, CAO2' visible à la figure 7b et/ou une troisième carte CAO3, CAO3' visible à la figure 7c illustrant une aberration de degré 2, respectivement un astigmatisme  $0^\circ$  et un astigmatisme  $45^\circ$ . On rappelle que l'astigmatisme est lié à un défaut de courbure du verre qui est orienté suivant une direction.  $0^\circ$  signifie une différence de courbure suivant les directions x et y ce qui implique une mise au point différente suivant ces deux directions. L'astigmatisme  $45^\circ$  signifie une différence de courbure entre les directions orientées à  $+45^\circ$  et à  $-45^\circ$ .
- [0100] Il est également possible d'obtenir une quatrième carte CAO4, CAO4' visible à la figure 7d et/ou une cinquième carte CAO5, CAO5' visible à la figure 7e illustrant une aberration de degré 3, respectivement un coma X signifiant un décentrement latéral orienté suivant la direction X et un coma Y signifiant un décentrement latéral suivant la direction Y.
- [0101] Enfin, il est possible d'obtenir une sixième carte CAO6, CAO6' visible à la figure 7f illustrant une aberration de degré 4 : une aberration sphérique. La sixième carte CAO6,



CAO6' est une alternance d'anneaux. Dans la sixième carte CAO6, CAO6', l'amplitude d'erreur de front d'onde de l'aberration optique est plus importante au niveau du bord mais l'inverse est possible.

- [0102] Dans une sous-étape de comparaison 1027, les amplitudes de la pluralité d'aberrations optiques illustrées sur les cartes d'aberrations optiques sont comparées les unes aux autres. Il convient de noter que plus l'amplitude d'erreur de front d'onde de l'aberration optique est importante, plus ladite aberration optique est dominante et doit être corrigée.
- [0103] Dans une sous-étape d'identification 1028, au moins une aberration optique parmi la pluralité d'aberrations optiques est identifiée comme ayant une amplitude d'erreur de front d'onde supérieure à l'amplitude des autres aberrations optiques. Dans le cas de la zone donnée 13 du vitrage 10, c'est l'erreur de mise au point illustrée sur les cartes CAO1, CAO1' et l'astigmatisme à 0° illustré sur les cartes CAO2, CAO2' qui présentent les amplitudes d'erreur de front d'onde les plus importantes.
- [0104] Dans une étape d'établissement 103, ladite carte d'aberration optique établie lors de la sous-étape 1025 est stockée dans un dispositif de stockage de données. Avantageusement, l'étape 103 de stockage peut inclure l'enregistrement de certaines informations relatives au pare-brise 10, par exemple sa composition, sa date de fabrication etc. De préférence, le dispositif de stockage de données se présente sous la forme d'une matrice de données, appelée également « datamatrix ». Le dispositif de stockage de données peut également se présenter sous la forme d'un code-barre, par exemple un « flash code », un « TAGs », un « QR code » qui renvoie à une base données. Naturellement, le dispositif de stockage de données peut se présenter sous une autre forme, par exemple un disque dur, un serveur de stockage, une mémoire électronique etc.
- [0105] Dans une étape 104, le dispositif de stockage de données est crypté. L'étape 104 de cryptage peut être effectuée en utilisant n'importe quel algorithme de cryptage approprié connu. Un lecteur spécifique pourra alors être utilisé pour déverrouiller le dispositif de stockage de données et accéder au moins en partie aux données qu'il contient.
- [0106] Dans une étape 105, le dispositif de stockage de données est positionné voire imprimé sur le pare-brise 10. L'étape 105 d'impression est par exemple réalisée par gravure et/ou par impression par jet d'encre.
- [0107] Grâce aux cartes d'aberrations optiques obtenues par la méthode de mesure 100 selon l'invention, il est possible de discriminer les différentes formes d'aberrations présentes dans une zone donnée 13 balayée par le champ de vision d'un dispositif d'acquisition d'images 20 placé derrière le vitrage 10 du véhicule routier.
- [0108] Naturellement, l'invention n'est pas limitée aux différents modes de réalisation qui

ont été décrits, et des variantes de réalisation sont possible.

[0109] Ainsi, alternativement ou de préférence cumulativement aux cartes d'aberrations optiques, il est possible grâce à la méthode de mesure 100 selon l'invention de générer d'autres cartes permettant de caractériser la qualité optique de la zone donnée 13 du vitrage 10. Par exemple, il peut s'agir d'une carte de pentes qui correspond à la dérivée première de la carte d'erreur de front d'onde CEC, d'une carte de puissance optique qui correspond à la dérivée seconde de la carte d'erreur de front d'onde CEC, d'une carte de la fonction d'étalement du point en calculant le module au carré de la transformée de Fourier de la fonction de pupille généralisée ou encore une carte de la fonction de transfert de modulation par module de la transformée de Fourier de la fonction d'étalement du point.

[0110] Par ailleurs, toujours alternativement ou de préférence cumulativement aux cartes d'aberrations optiques, il est possible d'obtenir une carte de distorsion verticale ou encore une carte de distorsion horizontale. Ainsi, la figure 8 illustre un exemple de carte de distorsion verticale en noir et blanc CDV et en couleurs CDV' tandis que la figure 9 illustre un exemple de carte de distorsion horizontale en noir et blanc CDH et en couleurs CDH'. Sur ces cartes de distorsion, l'axe des abscisses représente le nombre de pixels suivant l'axe Y, i.e. horizontal, l'axe des ordonnées de gauche représente le nombre de pixels suivant l'axe X, i.e. vertical et l'axe des ordonnées de droite représente la distorsion  $D_s$  exprimée en millidioptries.

[0111] On note que la fonction de pupille de sortie généralisée  $P$  peut être déterminée à partir de la carte d'erreur de front d'onde CEC, selon l'équation suivante:

[0112] [Math.1]

$$P = e^{-i\frac{2\pi}{\lambda}EF}$$

[0113] Il convient également de noter que la fonction d'étalement du point et la fonction de transfert de modulation peuvent facilement être déduites de l'équation ci-dessus en appliquant une transformée de Fourier discrète de la fonction de pupille de sortie généralisée  $P$  selon les équations suivantes :

[0114] [Math.2]

$$FEP = ||TFD(P)||^2$$

[0115] [Math.3]

$$FTM = ||TFD(FEP)||$$

## Revendications

- [Revendication 1] Méthode de mesure (100) de la qualité optique d'une zone donnée (13) d'un vitrage (10) de véhicule routier ou ferroviaire, destinée à être positionnée dans le trajet optique d'un dispositif d'acquisition d'images (20), la méthode de mesure (100) étant mise en œuvre par un dispositif de mesure (40) comprenant un émetteur (41) et un analyseur de front d'onde, la méthode de mesure (100) étant caractérisée en ce qu'elle comporte :
- une étape d'émission (101), par l'émetteur (41), d'un faisceau de rayons lumineux en direction de ladite zone donnée (13),
  - une étape d'analyse (102), par l'analyseur de front d'ondes, du front d'ondes des rayons lumineux transmis par ladite zone donnée (13) comportant:
    - une sous-étape de génération (1023) d'une carte d'erreur de front d'ondes (CEC),
    - une sous-étape de détermination (1026) d'au moins une carte de défaut optique présent dans ladite zone (13) du vitrage (10), à partir de la carte d'erreur de front d'ondes (CEC).
- [Revendication 2] Méthode de mesure (100) selon la revendication précédente, caractérisée en ce que l'émetteur (41) et l'analyseur de front d'ondes sont disposés de part et d'autre du vitrage (10), l'étape d'analyse (102) comprend:
- une sous-étape de calcul (1021) d'une différence de phase entre le front d'ondes des rayons lumineux (FM) transmis par ladite zone donnée du vitrage (10) et un front d'ondes de référence (FR) pour déterminer une erreur de front d'ondes finale utilisée pour générer la carte d'erreur de front d'ondes (CEC).
- [Revendication 3] Méthode de mesure (100) selon la revendication 1, caractérisée en ce que le dispositif de mesure (40) comprend un miroir-plan (42) disposé d'un côté du vitrage (10) et en ce que l'émetteur (41) et l'analyseur de front d'ondes sont disposés de l'autre côté du vitrage (10), l'étape d'analyse (102) comprend :
- une sous-étape de calcul (1021) d'une différence de phase

entre le front d'ondes des rayons lumineux (FM) transmis par ladite zone donnée du vitrage (10) et un front d'ondes de référence (FR) pour déterminer une erreur de front d'ondes intermédiaire,

- une sous-étape de division (1022) de l'erreur de front d'ondes intermédiaire par deux pour déterminer une erreur de front d'ondes finale utilisée pour générer la carte d'erreur de front d'ondes (CEC).

[Revendication 4] Méthode de mesure (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que ladite carte de défaut optique est choisie parmi l'une au moins des cartes dans la liste suivante :

- une carte d'aberration optique,
- une carte de pentes,
- une carte de puissance optique,
- une carte de la fonction d'étalement du point
- une carte de la fonction de transfert de modulation,
- une carte de distorsion verticale,
- une carte de distorsion horizontale.

[Revendication 5] Méthode de mesure (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'étape d'analyse comporte :

- une sous-étape de sélection (1024) d'une région utile (14) dans la carte d'erreur de front d'onde (CEC) générée,
- une sous-étape de décomposition (1025) de ladite région utile (CAO0) par traitement d'images en une pluralité de cartes d'aberrations optiques (CAO1, CAO2, CAO3, CAO4, CAO5, CAO6).

[Revendication 6] Méthode de mesure (100) selon la revendication précédente, caractérisée en ce qu'au moins une des cartes d'aberrations optiques de la pluralité de cartes d'aberrations optiques (CAO1, CAO2, CAO3, CAO4, CAO5, CAO6) est choisie dans la liste suivante :

- une carte d'erreur de mise au point,
- une carte d'astigmatisme orienté à  $0^\circ$ ,
- une carte d'astigmatisme orienté à  $45^\circ$

- une carte de coma en X,
- une carte de coma en Y,
- une carte d'aberration sphérique.

[Revendication 7] Méthode de mesure (100) selon l'une quelconque des revendications 5 à 6, caractérisée en ce que l'étape d'analyse (102) comprend :

- une sous-étape de comparaison (1027) des amplitudes d'erreur de front d'onde de la pluralité de cartes d'aberrations optiques (CAO1, CAO2, CAO3, CAO4, CAO5, CAO6),
- une sous-étape d'identification (1028) d'au moins une aberration optique présentant une amplitude d'erreur de front d'onde supérieure à l'amplitude d'erreur de front d'onde des autres aberrations optiques.

[Revendication 8] Méthode de mesure (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comporte une étape de stockage (103) de ladite carte de défaut optiques (CAO1, CAO2, CAO3, CAO4, CAO5, CAO6) dans un dispositif de stockage de données.

[Revendication 9] Dispositif de mesure (40) de la qualité optique d'au moins une zone donnée (13) d'un vitrage (10), apte à la mise en œuvre de la méthode de mesure (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte :

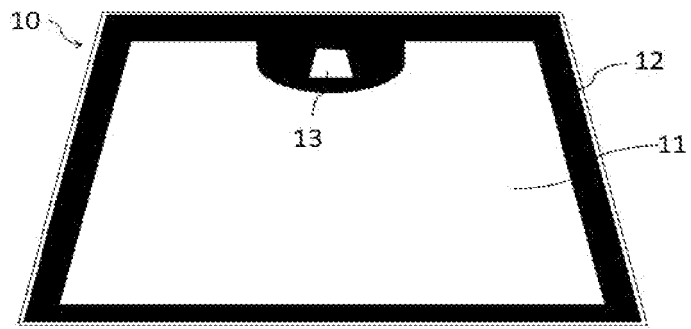
- un émetteur (41) configuré pour émettre un faisceau de rayons lumineux en direction de ladite zone donnée (13),
- un analyseur de front d'ondes configuré pour analyser le front d'ondes des rayons lumineux transmis par ladite zone donnée (13).

[Revendication 10] Dispositif de mesure (40) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'émetteur (41) et l'analyseur de front d'ondes sont configurés pour être placés de part et d'autre du vitrage (10).

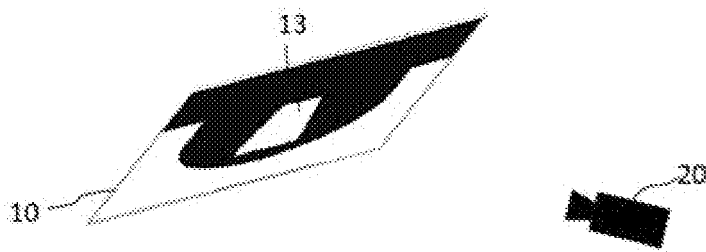
[Revendication 11] Dispositif de mesure (40) selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comporte un miroir-plan (42) configuré pour être disposé d'un côté du vitrage (10) et en ce que l'émetteur (41) et l'analyseur de front d'ondes sont configurés pour être disposés de l'autre côté du vitrage (10).

- [Revendication 12] Dispositif de stockage de données, caractérisé en ce qu'il comporte au moins une carte de défauts optiques (CAO1, CAO2, CAO3, CAO4, CAO5, CAO6) associée à ladite zone donnée (13) du vitrage (10).
- [Revendication 13] Dispositif de stockage de données selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ladite carte de défauts optiques (CAO1, CAO2, CAO3, CAO4, CAO5, CAO6) est choisie parmi l'une au moins des cartes dans la liste suivante :
- une carte d'aberration optique,
  - une carte de pentes
  - une carte de puissance optique
  - une carte de la fonction d'étalement du point
  - une carte de la fonction de transfert de modulation,
  - une carte de distorsion horizontale,
  - une carte de distorsion verticale.
- [Revendication 14] Dispositif de stockage de données selon la revendication précédente, caractérisée en ce qu'il se présente sous la forme d'une matrice de données ou d'un code-barre qui renvoie à une base de données.
- [Revendication 15] Vitrage (10) de véhicule routier ou ferroviaire, caractérisé en ce qu'il intègre le dispositif de stockage de données selon l'une quelconque des revendications 13 à 15.
- [Revendication 16] Vitrage (10) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le dispositif de stockage de données est sur ledit vitrage (10), notamment en périphérie, en particulier imprimé sur le vitrage.
- [Revendication 17] Vitrage (10) selon l'une quelconque des revendications 16 à 17, caractérisé en ce qu'il comprend une feuille (11) en matériau transparent et un élément opaque (12) recouvrant en partie la feuille (11) de manière à délimiter une zone donnée (13) de la feuille (11) qui est de préférence une zone caméra notamment qui est une épargne de l'élément opaque, de préférence trapézoïdale.
- [Revendication 18] Vitrage (10) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'élément opaque (12) est formé par une couche d'émail sur une feuille de verre du vitrage et/ou une couche sur un intercalaire de feuilletage.
- [Revendication 19] Vitrage (10) selon l'une quelconque des revendications 16 à 19, caractérisé en ce qu'il s'agit d'un pare-brise de véhicule routier notamment autonome.

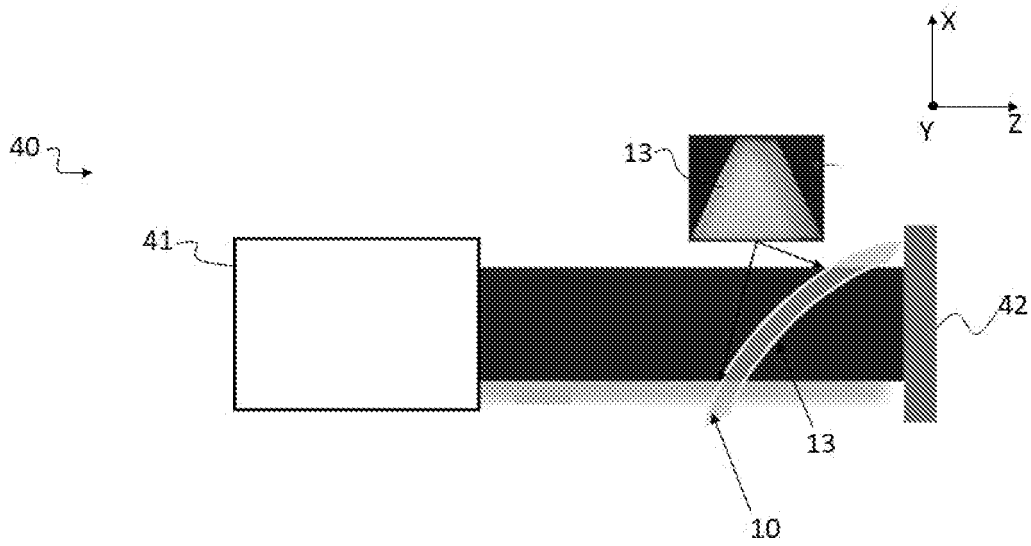
[Fig. 1]



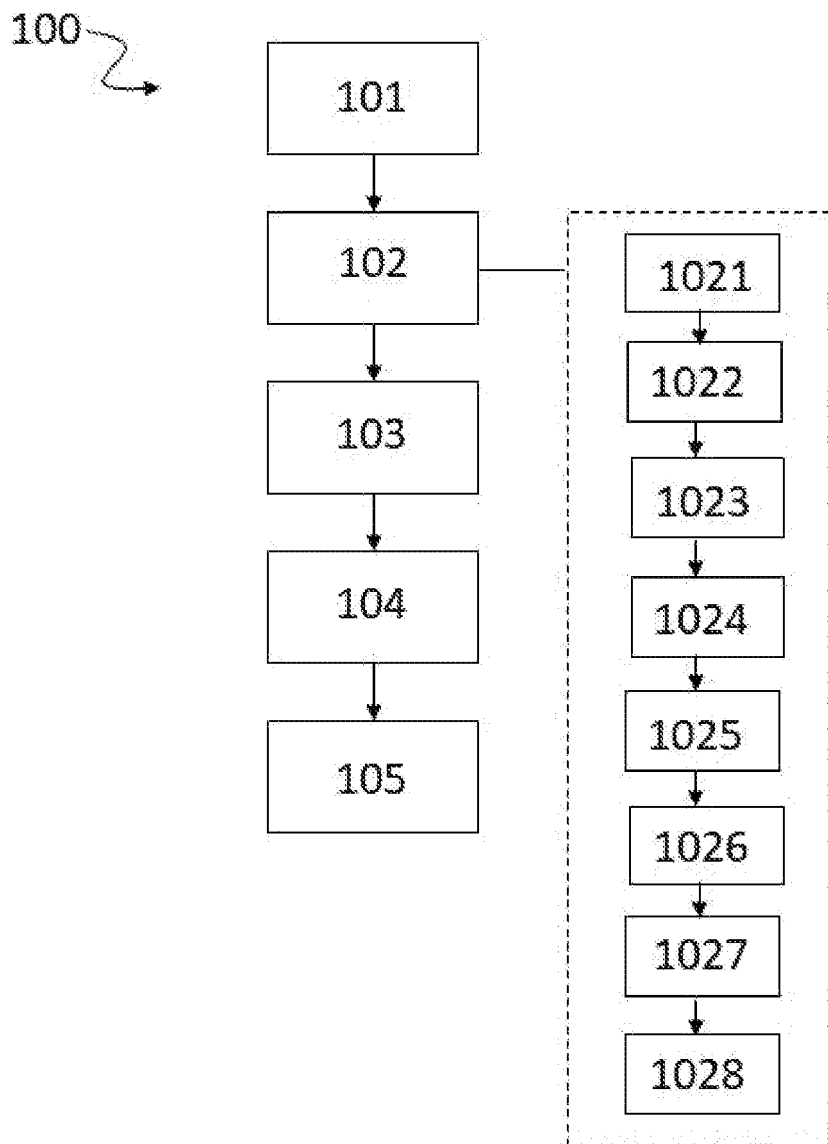
[Fig. 2]



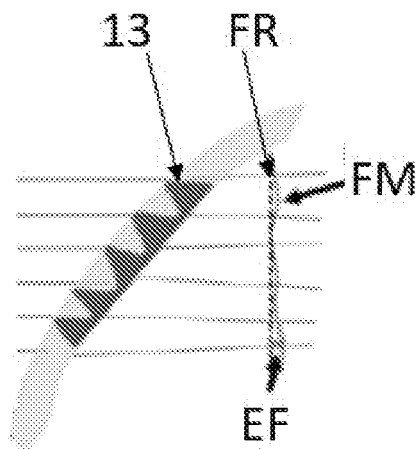
[Fig. 3]



[Fig. 4]

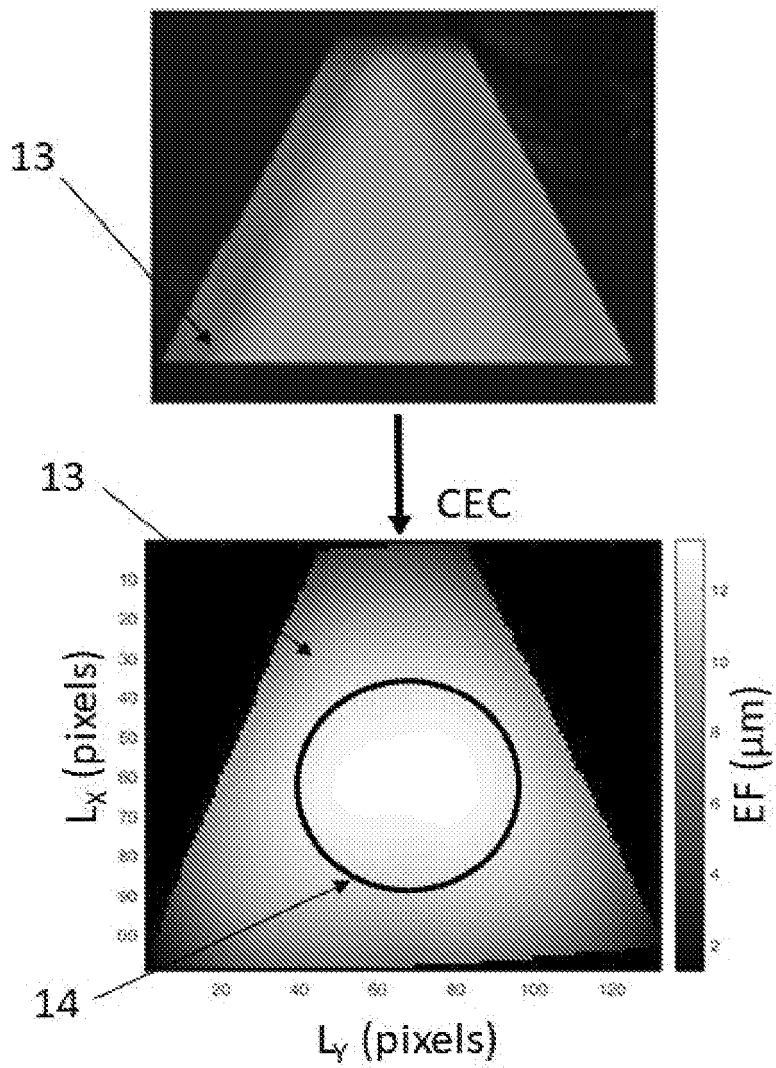


[Fig. 5a]

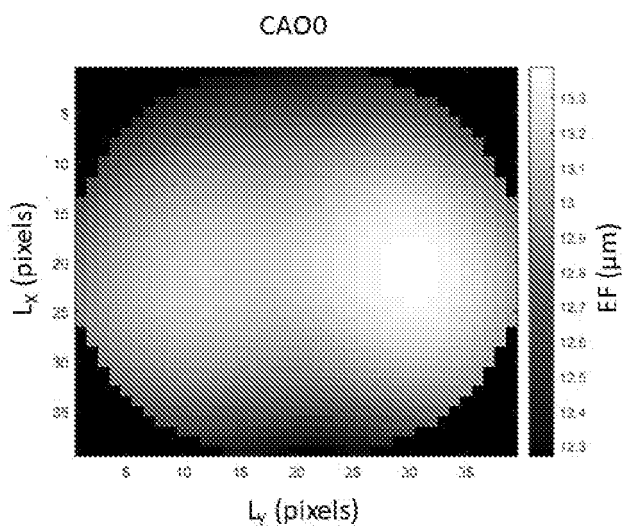




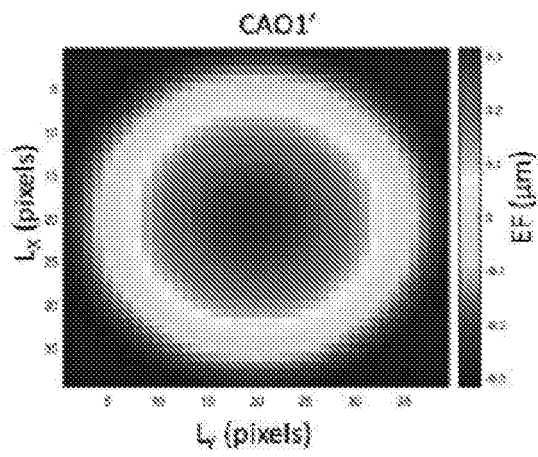
[Fig. 5b]



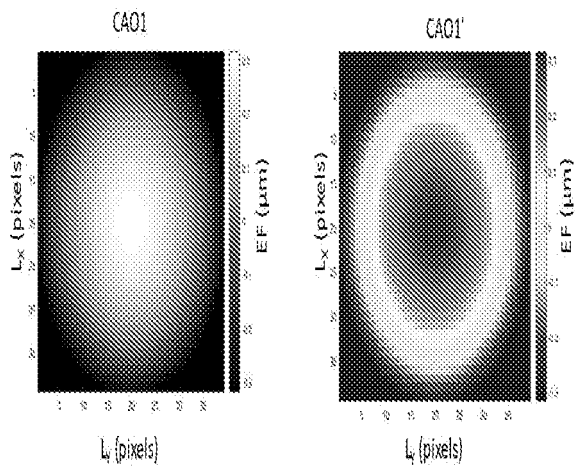
[Fig. 6]



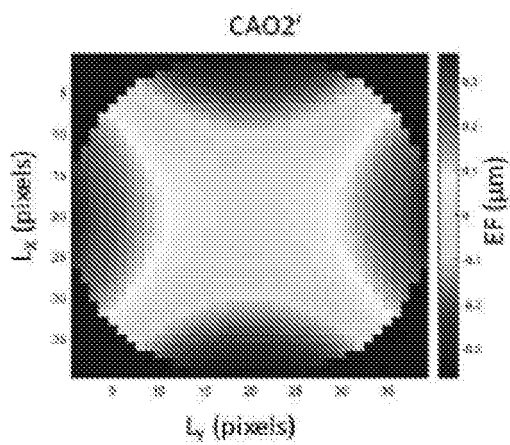
[Fig. 7a]



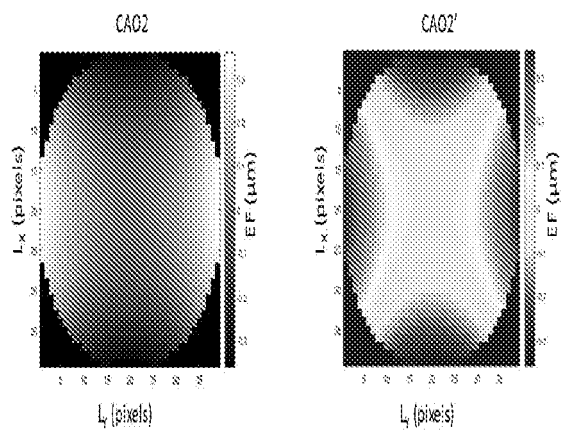
[Fig. 7a]



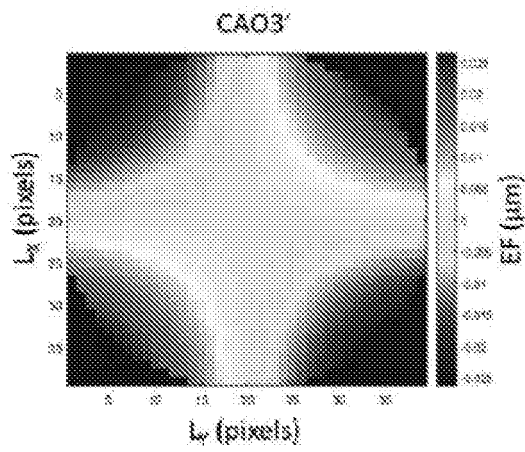
[Fig. 7b]



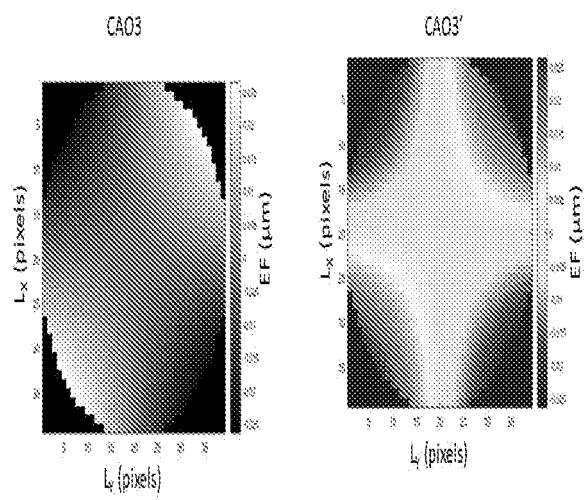
[Fig. 7b]



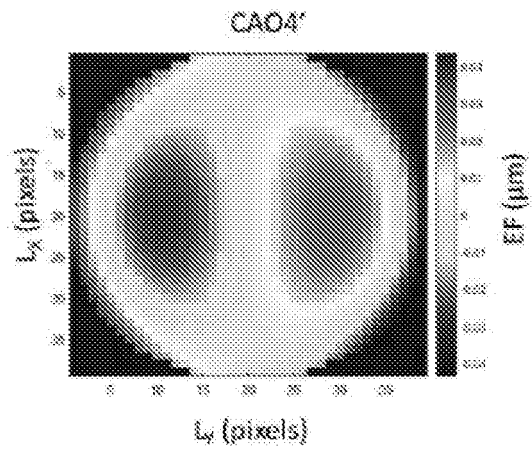
[Fig. 7c]



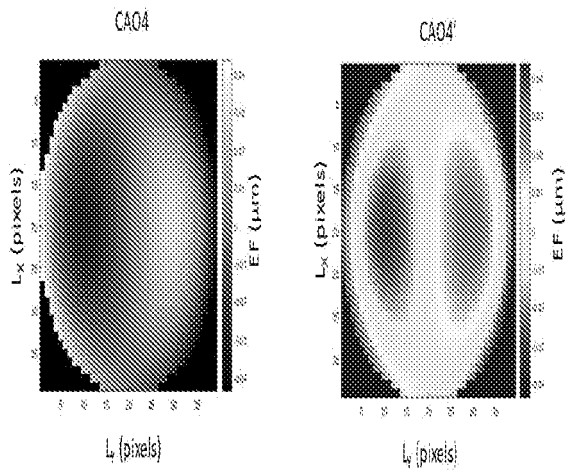
[Fig. 7c]



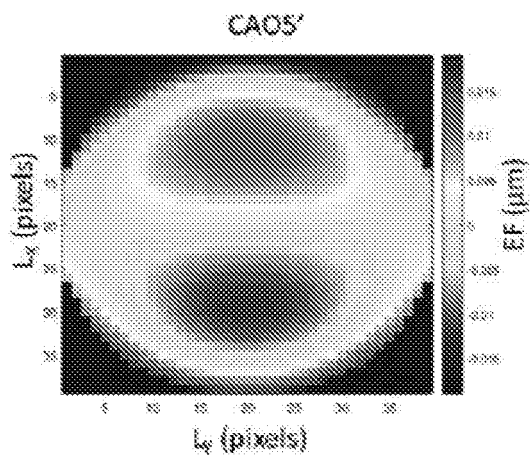
[Fig. 7d]



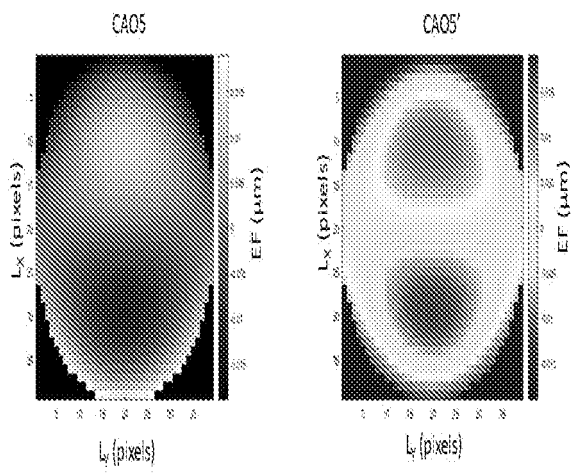
[Fig. 7d]



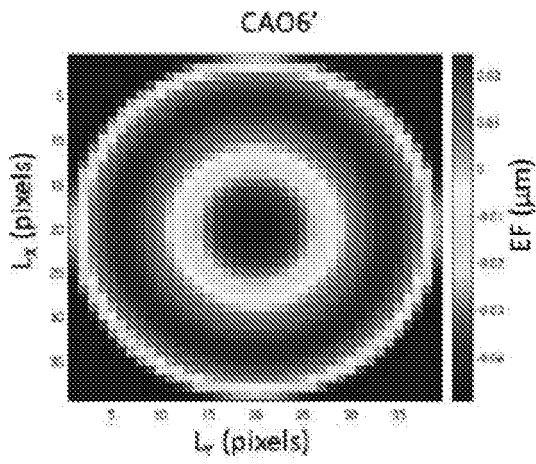
[Fig. 7e]



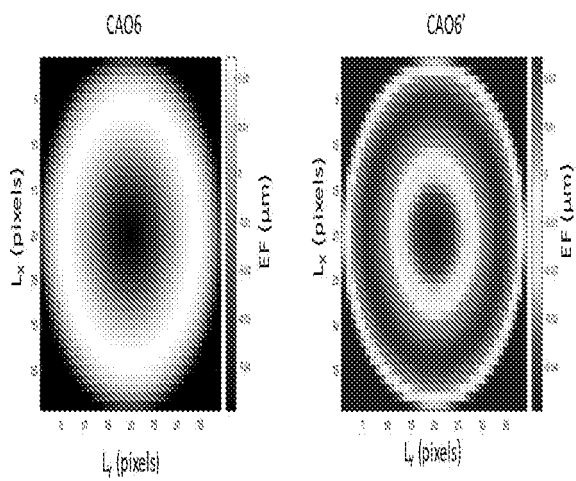
[Fig. 7e]



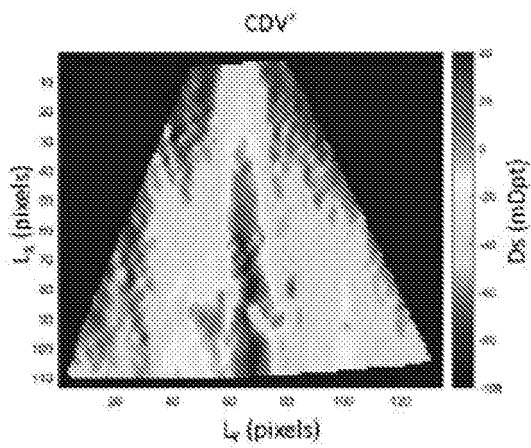
[Fig. 7f]



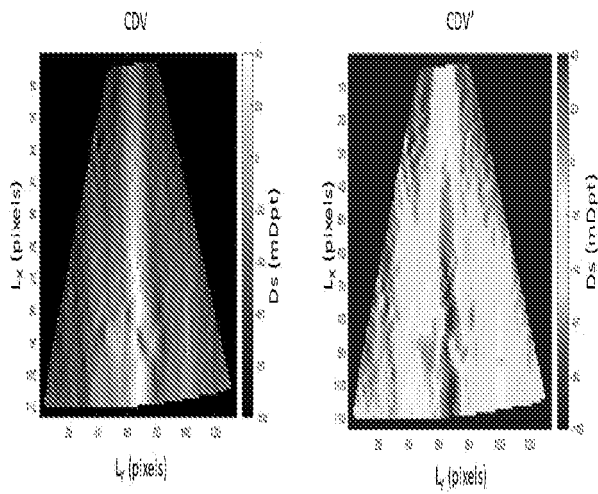
[Fig. 7f]



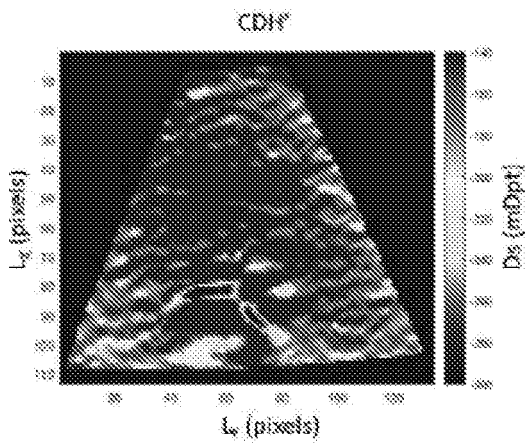
[Fig. 8]



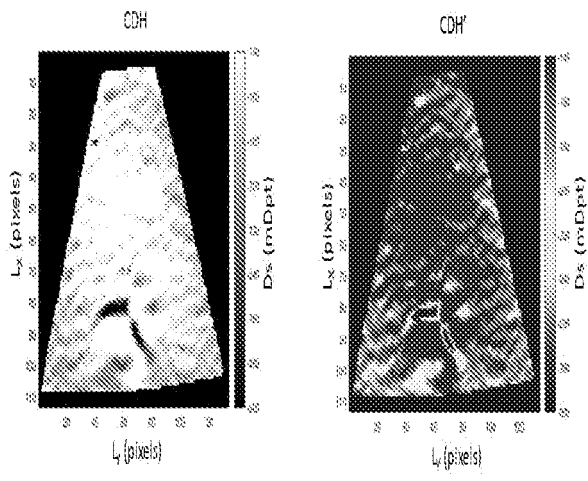
[Fig. 8]



[Fig. 9]



[Fig. 9]



**RAPPORT DE RECHERCHE  
 PRÉLIMINAIRE**

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

 N° d'enregistrement  
 national

 FA 875290  
 FR 1913869

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 1 582 854 A2 (LOCKHEED CORP [US]) 5 octobre 2005 (2005-10-05)	1,2,4,5, 8-10, 12-15	G01N21/88 G02B27/01 B60K35/00
Y	* alinéas [0004], [0060], [0009] - [0014], [0032] - [0035], [0041] - [0047]; revendication 1; figures 1A, 1B, 2A, 2B, 5, 7, 8, 14 *	3,11, 16-19	G02B26/06
X	US 2004/041978 A1 (NEAL DANIEL R [US] ET AL) 4 mars 2004 (2004-03-04) * alinéa [0042]; revendications 1, 5; figures 1-3, 7, 8 *	1,2,4-7, 9,10	
Y	US 2003/160968 A1 (DECK LESLIE L [US]) 28 août 2003 (2003-08-28) * abrégé; figures 1, 10 *	3,11	
Y	FR 3 077 761 A1 (SAINT GOBAIN [FR]) 16 août 2019 (2019-08-16) * abrégé; figures 1-3 *	16-19	
A	US 4 453 827 A (TABOADA JOHN [US]) 12 juin 1984 (1984-06-12) * abrégé; revendication 1; figure 1 *	1-19	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	US 5 233 174 A (ZMEK WILLIAM [US]) 3 août 1993 (1993-08-03) * abrégé; figures 1-6 *	1-19	G01N
A	US 2018/188016 A1 (CHENG CHAU-JERN [TW] ET AL) 5 juillet 2018 (2018-07-05) * abrégé; figure 1 *	1-19	
A	US 2019/337269 A1 (SARTENAER YANNICK [BE] ET AL) 7 novembre 2019 (2019-11-07) * abrégé; figure 5 *	1-19	
	----- -/--		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
10 août 2020		Koll, Hermann	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		.....	
		& : membre de la même famille, document correspondant	



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement  
national

FA 875290  
FR 1913869

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 2015/177160 A1 (ZOELLER III LEON ROBERT [US]) 25 juin 2015 (2015-06-25) * abrégé; figure 2 *	1-19	
A	US 2016/363531 A1 (SUGIMOTO TOMOHIRO [JP]) 15 décembre 2016 (2016-12-15) * abrégé; figure 1 *	1-19	
A	WO 2019/150021 A1 (SAINT GOBAIN [FR]) 8 août 2019 (2019-08-08) * abrégé; figures 1, 7 *	1-19	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		10 août 2020	Koll, Hermann
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1913869 FA 875290**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **10-08-2020**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1582854	A2	05-10-2005	EP 1582854 A2	05-10-2005
			US 2005219522 A1	06-10-2005
-----				
US 2004041978	A1	04-03-2004	AU 2003240945 A1	19-12-2003
			EP 1511978 A1	09-03-2005
			US 2004041978 A1	04-03-2004
			WO 03102519 A1	11-12-2003
-----				
US 2003160968	A1	28-08-2003	AU 2002353038 A1	23-06-2003
			EP 1451524 A2	01-09-2004
			JP 4250530 B2	08-04-2009
			JP 2005512075 A	28-04-2005
			KR 20040074069 A	21-08-2004
			TW 1269022 B	21-12-2006
			US 2003160968 A1	28-08-2003
			WO 03050470 A2	19-06-2003
-----				
FR 3077761	A1	16-08-2019	CN 110382227 A	25-10-2019
			FR 3077761 A1	16-08-2019
			WO 2019158855 A1	22-08-2019
-----				
US 4453827	A	12-06-1984	AUCUN	
-----				
US 5233174	A	03-08-1993	AUCUN	
-----				
US 2018188016	A1	05-07-2018	TW 201825890 A	16-07-2018
			US 2018188016 A1	05-07-2018
-----				
US 2019337269	A1	07-11-2019	CN 110114214 A	09-08-2019
			EA 201991482 A1	29-11-2019
			EP 3558670 A1	30-10-2019
			JP 2020514216 A	21-05-2020
			KR 20190098185 A	21-08-2019
			US 2019337269 A1	07-11-2019
			WO 2018115090 A1	28-06-2018
-----				
US 2015177160	A1	25-06-2015	CN 106461572 A	22-02-2017
			EP 3087374 A1	02-11-2016
			JP 2017502295 A	19-01-2017
			KR 20160102244 A	29-08-2016
			TW 201531693 A	16-08-2015
			US 2015177160 A1	25-06-2015
			WO 2015100068 A1	02-07-2015
-----				
US 2016363531	A1	15-12-2016	CN 106248623 A	21-12-2016
			JP 2017003434 A	05-01-2017

EPO FORM P0465

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1913869 FA 875290**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **10-08-2020**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
		KR 20160145496 A	20-12-2016
		US 2016363531 A1	15-12-2016
-----			
WO 2019150021 A1	08-08-2019	FR 3077386 A1	02-08-2019
		WO 2019150021 A1	08-08-2019
-----			

EPO FORM P0465

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82