

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
21 octobre 2010 (21.10.2010)

PCT

(10) Numéro de publication internationale

WO 2010/119183 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G02C 7/02 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2009/000458

(22) Date de dépôt international :
17 avril 2009 (17.04.2009)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
ESSILOR INTERNATIONAL (COMPAGNIE GÉNÉRALE D'OPTIQUE) [FR/FR]; 147 rue de Paris, F-94227 Charenton Cedex (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :
CHAUVEAU, Jean-Pierre [FR/FR]; C/O ESSILOR INTERNATIONAL (Compagnie Générale d'Optique), 147 rue de Paris, F-94227 Charenton Cedex (FR).
DUBOIS, Frédéric [FR/FR]; C/O ESSILOR

INTERNATIONAL (Compagnie Générale d'Optique), 147 rue de Paris, F-94227 Charenton Cedex (FR).

GUILLOUX, Cyril [FR/FR]; C/O ESSILOR INTERNATIONAL (Compagnie Générale d'Optique), 147 rue de Paris, F-94227 Charenton Cedex (FR).

JONCOUR, Christian [FR/FR]; C/O ESSILOR INTERNATIONAL (Compagnie Générale d'Optique), 147 rue de Paris, F-94227 Charenton Cedex (FR).

TESSIERES, Mélanie [FR/FR]; C/O ESSILOR INTERNATIONAL (Compagnie Générale d'Optique), 147 rue de Paris, F-94227 Charenton Cedex (FR).

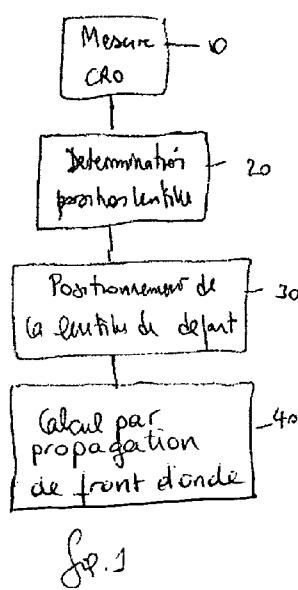
(74) Mandataire : POCHART, François; Cabinet HIRSCH-POCHART & ASSOCIES, 58, Avenue Marceau, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD FOR DETERMINING AN OPHTHALMIC LENS

(54) Titre : PROCÉDÉ DE DÉTERMINATION D'UNE LENTILLE OPHTALMIQUE



- 10 Center of rotation measured
- 20 Lens position determined
- 30 Starting lens positioned
- 40 Calculation by wavefront propagation

(57) Abstract : The invention relates to a method for determining an ophthalmic lens for an eye of a wearer, the method comprising the steps for: measuring, on the wearer with binocular vision, the three-dimensional coordinates of the center of rotation of the eye of the wearer; determining the desired position of the ophthalmic lens; calculating the characteristics of the ophthalmic lens through the use of the measured coordinates and the predetermined position. The measurement of the position of the center of rotation of the eye with binocular vision ensures that the resulting lens is best suited to the wearer.

(57) Abrégé : L'invention se rapporte à un procédé de détermination d'une lentille ophthalmique pour un œil d'un porteur, le procédé comportant les étapes de : mesure, sur le porteur en vision binoculaire, des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation de l'œil du porteur; détermination de la position souhaitée de la lentille ophthalmique; calcul des caractéristiques de la lentille ophthalmique en utilisant les coordonnées mesurées et la position déterminée. La mesure de la position du centre de rotation de l'œil en vision binoculaire assure que la lentille obtenue est mieux adaptée au porteur.



KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,

MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv))*

Publiée :

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

PROCEDE DE DETERMINATION D'UNE LENTILLE OPHTALMIQUE

La présente invention concerne un procédé de détermination d'une lentille ophtalmique pour un porteur. Le procédé peut être appliqué indifféremment pour une prescription 5 unifocale ou multifocale. Elle s'applique aussi aux verres microstructurés (verres pixelisés, verres diffractif, Fresnel...), aux verres adaptatifs, aux verres gradient d'indice et plus généralement tout autre type de lentille ophtalmique.

L'invention s'étend en outre au procédé de calcul des paramètres de détourage et de fabrication d'une lentille ophtalmique obtenue selon le procédé de détermination.

Il peut être prescrit à un porteur une correction en puissance, positive ou négative (porteur hypermétrope ou myope); la lentille utilisée pour ce type de prescription est une lentille sphérique ou asphérique. Un porteur astigmate présente, dans un plan perpendiculaire à la direction du regard, une prescription de puissance différente suivant des axes différents; la prescription est habituellement exprimée sous forme d'une prescription d'une première valeur 10 de puissance, correspondant à la puissance suivant un axe principal et d'une deuxième valeur de puissance suivant un axe perpendiculaire à l'axe principal. La lentille utilisée pour ce type 15 de prescription est une lentille torique ou atorique. On qualifie dans la suite de prescription unifocale la correction proposée pour de tels porteurs.

Pour les porteurs presbytes, la valeur de la correction de puissance est différente en 20 vision de loin et en vision de près, du fait des difficultés d'accommodation en vision de près. La prescription est alors composée d'une valeur de puissance en vision de loin et d'une addition représentative de l'incrément de puissance entre la vision de loin et la vision de près. Les lentilles ophtalmiques qui compensent la presbytie sont des lentilles multifocales; les plus 25 adaptées étant les lentilles multifocales progressives, sur lesquelles la puissance varie de façon continue. On connaît aussi des lentilles bifocales ou trifocales, avec des ruptures de continuité sur la surface de la lentille. On qualifie dans la suite de prescription multifocale la correction proposée pour de tels porteurs.

Il est connu de calculer par optimisation les faces avant et/ou arrière de lentilles multifocales et unifocales. Par exemple, le document WO-A-98/12590 décrit une méthode de 30 détermination par optimisation d'un jeu de lentilles ophtalmiques multifocales. Ce document propose de définir le jeu de lentilles en considérant les caractéristiques optiques des lentilles et notamment la puissance et l'astigmatisme oblique, dans les conditions du porté. La lentille est optimisée par tracé de rayons, à partir d'un ergorama associant à chaque direction du regard dans les conditions du porté un point objet visé.

Il est aussi connu du document EP-A-0 990 939 un procédé de détermination par optimisation d'une lentille ophtalmique pour un porteur ayant une prescription d'astigmatisme. Ce document propose de choisir une lentille cible et d'utiliser une méthode de tracé de rayons 35

et de minimiser la différence entre l'astigmatisme résiduel et l'astigmatisme de la lentille cible. L'astigmatisme résiduel est défini dans ce document comme l'écart en amplitude et en axe entre l'astigmatisme prescrit et l'astigmatisme généré par la lentille. Ce procédé permet une meilleure adaptation des lentilles aux porteurs astigmates, en évitant les aberrations optiques 5 induites par l'ajout d'une surface torique. Le calcul s'effectue dans un repère lié à l'œil, ce qui permet de tenir compte de l'effet de torsion de l'œil lorsque le porteur regarde dans une direction excentrée.

Par ailleurs, on a cherché ces dernières années à personnaliser les lentilles ophtalmiques progressives afin de répondre mieux aux besoins de chaque porteur. Il est ainsi connu du 10 document WO-A-2007/068819 un procédé de détermination par optimisation d'un jeu de lentilles ophtalmiques progressives pour un porteur donné auquel une addition de puissance a été prescrite en vision de près, le procédé comprenant une étape de mesure de paramètres physiologiques individuels du porteur en vision de près. Le procédé comporte aussi une étape de détermination d'un ergorama associant, sur chaque lentille, un point visé à chaque 15 direction du regard dans les conditions du porté et une étape de détermination d'une cible de défaut de puissance et d'une cible d'astigmatisme résultant pour chaque direction du regard dans les conditions du porté, le défaut de puissance cible et l'astigmatisme résultant cible étant déterminés à partir des paramètres physiologiques mesurés du porteur. Le procédé comprend en outre le calcul de la puissance requise sur chaque lentille pour ledit ergorama par 20 itérations successives pour atteindre le défaut de puissance cible et le défaut d'astigmatisme cible pour chaque direction du regard.

Il est également connu du document WO-A-2007/068818 un procédé de personnalisation de la longueur de progression d'une lentille de progression.

Il est en outre connu des documents de mesures de paramètres physiologiques et 25 notamment la position du centre de rotation de l'œil. Ainsi, le document WO-A-2008/132356 décrit un procédé de détermination de la position du centre de rotation de l'œil

Le document US-B-6 637 880 décrit un procédé de tracé de rayons et d'optimisation 30 d'une lentille, prenant en compte la distance entre un point de référence de la surface arrière de la lentille et le centre de rotation de l'œil d'un porteur. Cette distance est obtenue en additionnant la distance entre le point de référence de la surface arrière et le sommet de la cornée d'une part, et la distance entre le sommet de la cornée et le centre de rotation de l'œil, d'autre part. La distance entre le point de référence de la surface arrière et le sommet de la cornée est calculée à partir de données relatives à la monture choisie; le document propose uniquement de prendre en compte la forme de la tête du porteur, des données sur la lentille, 35 des caractéristiques de la monture et des conditions du porté, sans fournir de détails sur le calcul. La distance entre le sommet de la cornée et le centre de rotation de l'œil est obtenue par mesure de la profondeur de l'œil et par application d'une d'une loi statistique, reliant la

profondeur de l'œil et la distance entre le sommet de la cornée et le centre de rotation de l'œil. Dans ce document, la position du centre de rotation de l'œil prise en compte n'est donc pas la position réelle. Il en résulte que la lentille obtenue par optimisation ne satisfait pas parfaitement le porteur.

5 Il existe donc un besoin pour un procédé de détermination d'une lentille ophtalmique qui satisfasse mieux les porteurs.

Pour cela, l'invention propose un procédé de détermination d'une lentille ophtalmique pour un œil d'un porteur, le procédé comportant les étapes de :

- mesure, sur le porteur en vision binoculaire, des coordonnées tridimensionnelles du 10 centre de rotation de l'œil du porteur;

- détermination de la position souhaitée de la lentille ophtalmique;
- calcul des caractéristiques de la lentille ophtalmique en utilisant les coordonnées mesurées et la position déterminée.

Selon une variante, l'étape de calcul comprend:

15 - une étape de positionnement d'une lentille ophtalmique de départ dans la position déterminée;

- une étape de modification de la lentille ophtalmique de départ par analyse de fronts d'onde.

Selon une variante, l'étape de calcul comprend:

20 - une étape de positionnement d'une lentille ophtalmique de départ dans la position déterminée;

- une étape d'optimisation, à partir de la lentille de départ, par tracé de rayons dépendant des coordonnées mesurées et la position déterminée.

Selon une variante, le procédé comporte une étape de mesure sur le porteur en vision 25 binoculaire de la position de la pupille de l'œil par rapport au centre de rotation de l'œil et dans lequel l'étape de calcul utilise la position de la pupille mesurée.

Selon une variante, l'étape de calcul s'effectue dans un repère lié à la tête du porteur, et/ou dans un repère lié à une monture, et/ou dans un repère lié à l'œil du porteur.

Selon une variante, le procédé comprend en outre une étape de mesure sur le porteur en 30 vision binoculaire, des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation de chaque œil du porteur et dans lequel l'étape de calcul s'effectue dans un repère qui est fonction des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation de chaque œil du porteur.

Selon une variante, l'étape de mesure s'effectue dans des conditions de posture naturelle du porteur.

35 Selon une variante, le centre de rotation de l'œil est le centre de rotation optique.

L'invention se rapporte aussi à un procédé de calcul des paramètres de montage et/ou de détourage d'une lentille ophtalmique pour un porteur et une monture choisie par le porteur, comprenant les étapes de :

- détermination d'une lentille ophtalmique selon le procédé tel que décrit précédemment;

5 - mesure de la position de la monture dans le repère utilisé pour les étapes de mesure et de détermination;

- calcul des paramètres de montage et/ou de détourage de la lentille ophtalmique en fonction de la position de la lentille et de la monture dans le repère.

L'invention se rapporte aussi à un procédé de simulation d'une image vue par un porteur 10 à travers une lentille ophtalmique, comprenant les étapes de :

- mesure, sur le porteur en vision binoculaire, des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation d'un œil du porteur;

- positionnement de la lentille;

15 les étapes de mesure et de positionnement s'effectuant ou étant ramenées dans le même repère,

- calcul d'une image vue par le porteur par tracé de rayons en tenant compte de la position mesurée du centre de rotation de l'œil et de la position de la lentille.

Selon une variante, le procédé comporte une étape de mesure dans le repère de la position de la pupille de l'œil et dans lequel l'étape de calcul utilise la position de la pupille 20 mesurée.

L'invention se rapporte aussi à un procédé de fabrication d'une lentille ophtalmique, comprenant les étapes de :

- la mesure en un premier point sur le porteur en vision binoculaire, des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation d'un œil du porteur et de la position d'une monture 25 choisie par le porteur, dans un même repère;

- la transmission vers un deuxième point des coordonnées et de la position mesurées;

- la détermination, au deuxième point, de la lentille par calcul en utilisant les coordonnées et la position mesurées; et

- la fabrication de la lentille ainsi déterminée.

30 Selon une variante, le procédé comprend en outre une étape de mesure au premier point d'angles représentatifs de la posture naturelle du porteur dans le repère, dans lequel

- l'étape de transmission comprend la transmission des angles de posture mesurés et

- l'étape de détermination utilise les angles de posture mesurés.

Selon une variante, le procédé comprend en outre une étape de :

35 - mesure de la position de la monture dans le repère utilisé pour la détermination;

- calcul des paramètres de détourage de la lentille ophtalmique en fonction de la position de la lentille et de la monture dans le repère ; et

- détourage de la lentille.

L'invention se rapporte aussi à un ensemble de données comprenant:

- les coordonnées tridimensionnelles mesurées, sur le porteur en vision binoculaire, dans un repère, du centre de rotation d'un œil d'un porteur;

5 - la position d'une monture dans le même repère.

Selon une variante, l'ensemble de données comprend en outre:

- des angles représentatifs de la posture naturelle du porteur dans le même repère.

L'invention se rapporte aussi à un simulateur d'une image vue par un porteur à travers une lentille ophtalmique, le simulateur comprenant des moyens de calculs adaptés à mettre en œuvre le procédé de simulation tel que décrit précédemment et des moyens de visualisation de l'image calculée par les moyens de calcul.

10 L'invention se rapporte aussi à un programme d'ordinateur adapté à mettre en œuvre le procédé tel que décrit précédemment.

Selon une variante, le procédé de détermination d'une lentille ophtalmique tel que décrit 15 précédemment est caractérisé en ce que durant l'étape de calcul, les caractéristiques de la lentille ophtalmique sont calculées par modification locale de la lentille ophtalmique au point d'impact avec le rayon moyen passant par le centre de rotation de l'œil mesuré pour une direction de regard donnée.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la 20 description détaillée qui suit des modes de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemple uniquement et en références aux dessins qui montrent :

- figure 1, un ordinogramme d'un exemple de mise en œuvre d'un procédé de détermination d'une lentille ophtalmique par analyse de propagation du front d'onde;
- figure 2, un ordinogramme d'un autre exemple de mise en œuvre d'un procédé de détermination d'une lentille ophtalmique par optimisation par tracé de rayons;
- figure 3, un ordinogramme d'un exemple de mise en œuvre d'un procédé de calcul des paramètres de détourage d'une lentille ophtalmique;
- figure 4, un ordinogramme d'un exemple de mise en œuvre d'un procédé de fabrication d'une lentille ophtalmique;
- figure 5, un ordinogramme d'un exemple de mise en œuvre d'un procédé de simulation d'une lentille ophtalmique ;
- figures 6 et 7, des représentations graphiques des caractéristiques optiques d'une lentille de l'art antérieur pour un porteur moyen ;
- figures 8 à 10, des représentations graphiques des caractéristiques optiques d'une lentille de l'art antérieur pour un porteur réel ; et

- figures 11 à 13, des représentations graphiques des caractéristiques optiques d'une lentille déterminée par le procédé de détermination pour un porteur réel.

L'invention utilise, pour déterminer les caractéristiques d'une lentille ophtalmique, la position du centre de rotation de l'œil et la position souhaitée de la lentille ophtalmique par rapport au centre de rotation de l'œil. La position du centre de rotation de l'œil est mesurée sur le porteur en vision binoculaire. Les caractéristiques de la lentille sont calculées en utilisant les coordonnées du centre de rotation de l'œil mesurées et la position de la lentille souhaitée déterminée par rapport au centre de rotation de l'œil.

La lentille obtenue par un tel procédé de détermination présente l'avantage de prendre en considération une position très précise du centre de rotation de l'œil. Cela permet d'obtenir des lentilles mieux adaptées au porteur: les caractéristiques de la lentille sont calculées par zones sur la lentille adaptées chacune à une direction de regard donnée qui dans le cas de l'invention est la direction de regard réelle du porteur. Cela permet une correction en puissance exacte pour le porteur considéré puisque pour chaque direction de regard le porteur utilisera une zone particulière de la lentille qui aura été calculée pour être utilisée précisément de cette façon.

La solution proposée s'applique non seulement à des lentilles progressives multifocales, mais aussi à des lentilles destinées à une prescription unifocale. Il est également possible d'utiliser la méthode avec les lentilles multifocales, telles que les lentilles bifocales ou trifocales. Le procédé de détermination s'applique aussi à une lentille optimisée pour des conditions de port particulières.

On décrit dans la suite l'application du procédé à la détermination d'une lentille pour un œil du porteur; le procédé peut s'appliquer à la détermination d'une lentille pour chacun des yeux d'un porteur. Il suffit pour cela de calculer successivement chacune des lentilles, étant entendu que la mesure de la position du centre de rotation de chaque œil est mesurée en vision binoculaire.

La figure 1 illustre un ordinogramme d'un exemple de mise en œuvre d'un procédé de détermination d'une lentille ophtalmique pour un porteur par analyse de propagation de front d'onde. Le procédé de détermination comporte une étape 10 de mesure, sur le porteur en vision binoculaire, des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation d'un œil du porteur.

La position du centre de rotation d'un œil mesurée dépend des conditions de mesure. En particulier, une mesure des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation de l'œil sur un porteur en vision binoculaire donne une mesure plus précise de la position réelle des centres de rotation dans un même repère.

On peut utiliser pour la mesure des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation de l'œil l'appareil dans le document WO-A-2008/132356. L'invention n'est pas

limitée à l'utilisation de cet appareil, et on peut utiliser un autre appareil permettant de mesurer les coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation de l'œil. En tout état de cause, il est essentiel selon l'invention que la mesure du centre de rotation d'un œil s'effectue en vision binoculaire. Avantageusement, la détermination de la position du centre de rotation de l'œil peut se faire par plusieurs mesures successives, ce afin d'affiner la précision de l'appareil de mesure si nécessaire.

5 On peut procéder à des mesures successives de la position dans l'espace (i.e. des coordonnées tridimensionnelles) d'un œil puis de l'autre œil – toujours en vision binoculaire. Il peut aussi être avantageux de mesurer simultanément la position du centre de rotation de l'œil droit et de l'œil gauche.

10 On connaît, après cette étape 10, la position du centre de rotation de l'œil dans l'espace. Cette position est donnée par des coordonnées tridimensionnelles dans un repère. Comme expliqué plus bas, on peut effectuer un changement de repère pour faciliter les calculs de la lentille.

15 A l'étape 20, on procède à une détermination de la position souhaitée de la lentille ophthalmique. Pour cette détermination, on peut à nouveau utiliser l'appareil décrit dans le document WO-A-2008/132356 en munissant le porteur d'une monture qu'il a choisie, avec des lentilles de test. On peut aussi utiliser toute autre méthode, comme par exemple une mesure traditionnelle de la position de la lentille dans la monture choisie par le porteur.

20 Il est avantageux de procéder à cette détermination sur la monture choisie par le porteur, ce qui permet l'adaptation de la monture au porteur, et donc une mesure plus précise de la position souhaitée de la lentille dans la monture; on pourrait aussi mesurer les caractéristiques physiques du porteur, et utiliser les dimensions mesurées à l'avance de la monture choisie; cette solution de simulation de la position de la lentille présente l'avantage de ne pas 25 nécessiter de disposer de la monture. La détermination de la position de la lentille peut donc résulter d'une mesure ou d'une simulation.

30 On peut, dès cette étape de positionnement, prendre en compte les paramètres de montage et/ou de détourage de la lentille dans une monture. En effet, ces paramètres peuvent modifier la position spatiale de la lentille dans la monture. On peut citer, par exemple, l'emplacement du biseau : la distance lentille-œil (ou lentille –centre de rotation de l'œil) n'est pas la même si le biseau est positionné en face avant du verre ou en face arrière. La courbure 35 du verre peut, elle aussi, influer sur la position (surtout si l'opticien ne fait pas de rhabillage de la monture).

Cette étape permet également de calculer les côtes nécessaires au centrage des verres

35 - distance entre les deux centres de rotation de l'œil (CROg, CROd) (qui remplace avantageusement la mesure de la distance interpupillaire (norme ISO 13666) avec un pupillomètre classique)

- demi-écart inter CRO dans le plan de la monture (par demi-écart inter CRO il faut entendre la distance qui sépare la projection du centre de rotation de l'œil (CRO) selon la direction de regard lorsque l'œil regarde droit devant un objet situé au niveau de l'œil avec la ligne médiane de la monture des lunettes)

5 - hauteurs de montage œil droit et œil gauche dans le plan de la monture

Il est aussi avantageux d'utiliser le même appareil pour la mesure des coordonnées du centre de rotation de l'œil et pour la détermination de la position souhaitée de la lentille ophtalmique, puisque ceci évite un changement de repère pour disposer, dans un même repère, de la position dans l'espace, du centre de rotation de l'œil et de la lentille souhaitée.

10 Des mesures avec des appareils différents sont néanmoins possibles avec un simple changement de repère.

On connaît, après les étapes 10 et 20, la position souhaitée de la lentille ophtalmique, ainsi que la position du centre de rotation de l'œil. On connaît donc la position relative, dans l'espace, de la lentille souhaitée et du centre de rotation de l'œil du porteur. Dans l'exemple, on 15 a déterminé d'abord la position du centre de rotation de l'œil à l'étape 10, puis la position souhaitée de la lentille à l'étape 20. On peut bien entendu procéder dans l'ordre inverse: on obtiendrait de la même façon une position relative, dans l'espace, de la lentille souhaitée et du centre de rotation de l'œil du porteur.

Le procédé de détermination comporte également une étape de calcul des 20 caractéristiques de la lentille, en utilisant les coordonnées du centre de rotation de l'œil et la position déterminée de la lentille souhaitée. Dans l'exemple de la figure 1, on peut par exemple adapter cette étape de calcul d'une lentille unifocale, c'est-à-dire d'une lentille destinée à un porteur myope ou hypermétrope, à qui l'on fournirait traditionnellement une lentille sphérique ou torique.

25 L'étape de calcul comprend le choix d'une lentille de départ, qui est par exemple, pour le cas d'une prescription unifocale, la lentille sphérique ou torique correspondant à la prescription du porteur. Cette lentille de départ est celle qui simplifie le plus l'étape de calcul, mais on pourrait utiliser une autre lentille de départ.

30 A l'étape 30, la lentille de départ est ensuite positionnée dans la position déterminée à l'étape 20. Cette étape de positionnement n'implique pas de disposer physiquement la lentille dans la monture; elle consiste simplement à placer, pour le calcul, la lentille de départ dans la position relative souhaitée par rapport au centre de rotation de l'œil. En pratique, on peut utiliser pour ce positionnement une représentation de la lentille de départ sous forme d'une représentation informatique. On peut procéder à l'étape de positionnement en utilisant l'un ou 35 l'autre des repères proposés plus bas et en définissant la position de la représentation informatique de la lentille dans ce repère. Pour une prescription d'astigmatisme, on tient bien entendu compte de la position des axes principaux de la lentille. On peut, comme expliqué en

référence à l'étape 20, prendre en considération les paramètres de détourage / montage pour positionner la lentille de départ.

A l'étape 40, on procède au calcul de la lentille, à partir de la lentille de départ ainsi positionnée, et connaissant la position du centre de rotation de l'œil. A cette fin, on peut procéder à une analyse des fronts d'ondes à travers la lentille. La propagation des fronts d'onde à travers la lentille permet de modéliser la fonction optique de la lentille de même que ses défauts et aberrations associés. Les effets des modifications apportées à la lentille (modification par exemple de la surface avant ou arrière dans le cas d'une lentille classique caractérisée par les phénomènes de réfraction de la lumière ou modification par exemple de la fonction de phase dans le cas d'une lentille diffractive) peuvent donc être étudiés et quantifiés de façon à obtenir les caractéristiques optiques souhaitées pour la lentille pour le porteur considéré.

Si l'on prend en considération les paramètres de détourage / montage de la lentille, la modification géométrique de la lentille peut conduire à une modification de la position spatiale, si on applique à nouveau les paramètres de détourage / montage à la lentille modifiée. On peut recalculer les paramètres puis modifier à nouveau la lentille. La boucle de calcul peut être arrêtée dès lors que la différence entre les anciens et les nouveaux paramètres est dans un ordre de grandeur qui n'influence plus significativement la géométrie de la nouvelle lentille. On peut aussi arrêter la boucle de calcul en cas de divergence, et dans ce dernier cas imposer d'autres paramètres de détourage / montage.

A l'issue de l'étape 40, on a déterminé les caractéristiques de la lentille. Comme le procédé prend en considération la position du centre de rotation de l'œil mesuré en vision binoculaire, on assure que le centre de rotation de l'œil utilisé pour le calcul de la lentille est très proche du centre de rotation de l'œil réel, de sorte que la lentille est réellement adaptée au porteur.

La prise en compte de la mesure, sur le porteur en vision binoculaire, des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation de l'œil du porteur, dans le cadre du procédé de détermination d'une lentille ophtalmique pour un œil d'un porteur (détermination monoculaire d'une lentille ophtalmique) permet également d'améliorer de façon importante le confort du porteur. Cette amélioration du confort est liée notamment au fait qu'il est ainsi possible de prendre en compte le segment défini par le centre de rotation de l'œil gauche et le centre de rotation de l'œil droit (CROg-CROd). Ce segment est en effet une donnée qui peut être ainsi avantageusement prise en compte dans la détermination monoculaire de la lentille ophtalmique. Ce segment permet de relier spatialement les deux yeux du porteur entre eux de façon précise et donc malgré un calcul monoculaire de la lentille, la position relative des deux yeux du porteur peut être prise en compte pour préciser encore plus le calcul en prenant en compte des notions de vision binoculaire. Les deux verres pour un même porteur sont calculés

séparément mais ces calculs peuvent grâce à cette mesure être faits de façon inter-dépendante pour améliorer le confort visuel du porteur en vision binoculaire.

5 Comme le procédé utilise aussi la détermination de la position souhaitée de la lentille, la lentille obtenue selon le procédé n'est pas affectée par une variation de la position due à la monture. Si par exemple un porteur a une monture présentant une inclinaison importante, cette inclinaison est prise en compte dans la détermination des caractéristiques de la lentille; le porteur dispose donc d'une lentille adaptée à sa prescription.

La figure 2 illustre un ordinogramme d'un exemple de mise en œuvre d'un procédé de détermination d'une lentille ophtalmique par optimisation par tracé de rayons.

10 Comme dans l'exemple de la figure 1, le procédé de détermination comporte une étape 10 de mesure, sur le porteur en vision binoculaire, des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation d'un œil du porteur, ainsi qu'une étape 20 de détermination de la position souhaitée de la lentille ophtalmique. A l'issue de ces deux étapes, on dispose de la position relative, dans l'espace, du centre de rotation de l'œil et de la lentille, telle qu'elle sera 15 effectivement portée par le porteur.

L'étape de calcul comprend le choix d'une lentille de départ. Cette lentille de départ ne correspond pas à une lentille physique mais à une modélisation informatique. Cette lentille de départ peut être choisie de différentes manières. Il peut s'agir de celle qui simplifie le plus l'étape d'optimisation qui suit. Mais on pourrait utiliser également une autre lentille de départ, 20 par exemple, correspondant à des contraintes données, par exemple de types géométriques.

A l'étape 60, la lentille de départ est ensuite positionnée dans la position déterminée à l'étape 20. Les remarques faites ci-dessus s'agissant de l'étape 30 s'appliquent, *mutatis mutandis*.

25 A l'étape 70, on procède au calcul de la lentille, à partir de la lentille de départ ainsi positionnée, et connaissant la position du centre de rotation de l'œil. A cette fin, on peut procéder par optimisation, à partir de la lentille de départ, par tracé de rayons. Les rayons utilisés sont déterminés en fonction du centre de rotation de l'œil mesuré et de la position de la lentille.

30 L'étape 70 de calcul peut être réalisée de différentes manières et notamment par optimisation optique par un programme d'optimisation tel que décrit dans les documents EP-A-0 990 939 ou WO-A-2007/017766. Comme expliqué en référence à la figure 1, il est aussi possible pour une meilleure précision, de prendre en considération les paramètres de détourage / montage de la lentille dans une monture choisie.

35 L'étape de calcul des caractéristiques de la lentille (étapes 30 et 40 à la figure 1, étapes 60 et 70 à la figure 2) permet de prendre en compte, dans la détermination de la lentille, la mesure binoculaire plus précise de la position réelle du centre de rotation de l'œil dans un repère obtenu à l'étape 10 de mesure. Il en résulte une lentille présentant des propriétés

optiques améliorées par rapport à une lentille déterminée sans une prise en compte précise des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation de l'œil du porteur, en vision binoculaire. On entend ici par propriétés optiques la qualité de l'image perçue par le porteur. Les propriétés optiques comprennent ainsi le défaut de puissance ou le défaut d'astigmatisme.

5 L'étape de calcul prend aussi en compte la position de la lentille, telle qu'elle sera effectivement portée par le porteur, qui est déterminée à l'étape 20.

La lentille est ainsi mieux adaptée au porteur auquel elle est destinée. Le confort visuel du porteur est ainsi maximisé.

10 Dans l'exemple de la figure 1 on a considéré une prescription unifocale pour illustrer le choix de la lentille de départ. On peut toutefois appliquer la solution d'une analyse de fronts d'onde à d'autres types de prescriptions (multifocale par exemple) et ce pour tous types de lentilles (lentilles classiques de mêmes que les verres microstructurés, verres adaptatifs ou verres à gradient d'indice).

15 L'exemple de la figure 2 est quant à lui particulièrement adapté à une prescription multifocale: la distribution des rayons lors du tracé de rayons dépendant de la zone de vision considérée. On peut aussi appliquer la méthode d'optimisation par tracé de rayons à des prescriptions unifocales, ou encore pour une lentille atorique, pour des verres microstructurés (verres pixelisés, verres diffractif, Fresnel), des verres adaptatifs ou des verres à gradient d'indice.

20 L'amélioration des propriétés optiques précédemment mentionnées est illustrée par les exemples des figures 6 à 13. Dans cet exemple, on cherche à déterminer une lentille progressive pour la prescription suivante :

- sphère prescrite : 4 dioptries,
- cylindre prescrit : 0 dioptries,
- 25 - axe de 0°,
- addition : 2 dioptries.

L'indice du verre vaut 1,665 et le diamètre du verre est de 65 mm.

Les caractéristiques optiques présentées ensuite dans les figures 6 à 13 ont été obtenues par calcul.

30 Les figures 6 et 7 concernent une lentille de l'art antérieur pour un porteur moyen pour lequel la lentille a été optimisée en tenant compte d'une position théorique du centre de rotation de l'œil . On entend ici par porteur moyen un porteur dont la distance entre le centre de rotation de l'œil et le verre est de 26mm; cette distance correspond à la somme de la distance entre le centre de rotation de l'œil et le vertex de la cornée et la distance entre le 35 vertex de la cornée et le verre, cette dernière étant également appelée distance verre-œil. La figure 6 est une représentation graphique des lignes d'égale puissance, i.e. des lignes formées des points ayant une valeur de puissance identique. La figure 6 permet ainsi de visualiser une

carte de puissance. La figure 7 montre les lignes d'égal astigmatisme. La figure 7 est ainsi une représentation graphique du défaut d'astigmatisme. La puissance au point de vision de loin est de 4,00 dioptries et de 6,04 dioptries au point de vision de près. Le défaut d'astigmatisme est de 0,00 dioptries au point de vision de loin et de 0,13 dioptries au point de vision de près.

5 Les figures 8 et 9 présentent respectivement une carte de puissance et une carte du défaut d'astigmatisme pour la même lentille de l'art antérieur (donc toujours optimisée pour le porteur moyen) dans le cas d'un porteur réel. Pour le porteur réel choisi, la distance entre le centre de rotation de l'œil et le sommet de la cornée est de 11 mm et la distance verre-œil est de 10 mm. Par ailleurs, la figure 10 montre la puissance selon la méridienne, avec une 10 définition de puissance similaire à celle donnée dans le document EP-A-0 990 939. Les abscisses sont graduées en dioptries, et les ordonnées donnent la direction de regard ; le trait plein montre la puissance, et les traits interrompus les quantités 1/JT et 1/JS définies à la 15 figure 1 du document EP-A-0 990 939, pour des distances objets correspondant à un ergorama représentatif des distances des points objets dans chaque direction du regard et simulant un espace objet moyen. La figure 10 donne ainsi accès au défaut de puissance et d'astigmatisme selon la méridienne.

La puissance dans la direction de vision de loin est de 4,02 dioptries et de 6,35 dioptries dans la direction de vision de près. Le défaut d'astigmatisme est de 0,03 dioptries dans la direction de vision de loin et de 0,59 dioptries dans la direction de vision de près. La 20 comparaison entre les figures 6 et 8 montre notamment l'apparition d'une erreur de puissance en vision de près. La comparaison des figures 7 et 9 montrent que lorsqu'un porteur réel est considéré, l'astigmatisme augmente. Notamment, les champs d'astigmatisme ne sont pas aussi dégagés en vision de loin et en vision de près que lorsqu'un porteur moyen était considéré.

25 Les figures 11 et 12 présentent respectivement une carte de puissance et une carte du défaut d'astigmatisme pour une lentille obtenue par le procédé de détermination selon l'invention pour le même porteur réel. La figure 13 illustre le défaut de puissance et d'astigmatisme selon la méridienne pour la lentille pour le même porteur réel. La lentille a été déterminée comme proposé en référence à la figure 2 par tracé de rayons en positionnant dans 30 l'espace la lentille dans la position souhaitée par rapport au centre de rotation de l'œil, mesuré pour le porteur réel en vision binoculaire. Sur la figure 11, la puissance dans la direction de vision de loin est de 4,00 dioptries et de 6,03 dioptries dans la direction de vision de près. Sur la figure 13, le défaut d'astigmatisme est de 0,00 dioptries dans la direction de vision de loin et de 0,20 dioptries dans la direction de vision de près. Les performances optiques obtenues 35 par la lentille obtenue par le procédé de détermination selon l'invention sont donc comparables aux performances obtenues dans le cas des figures 6 et 7. La comparaison de la figure 10 à la figure 13 montre également que la lentille optimisée selon le procédé de

détermination présente des propriétés optiques meilleures que la lentille de l'art antérieur. Il en résulte qu'une lentille obtenue par le procédé de détermination est mieux adaptée au porteur que la lentille de l'art antérieur.

Afin d'améliorer encore les propriétés optiques de la lentille, il est avantageux que le

5 centre de rotation de l'œil mesuré à l'étape 10 de mesure soit le centre de rotation optique plutôt que le centre de rotation mécanique. Heinz DIEPES, Refraktionsbestimmung, ISBN 3-922269-50-8, DOZ Verlag, Optische Fachveröffentlichung GmbH Heidelberg contient la définition connue de l'homme du métier pour le centre de rotation optique et le centre de rotation mécanique. En effet, en pratique, le rayon moyen qui arrive dans l'œil du porteur 10 passe par le centre de rotation optique. Les coordonnées tridimensionnelles de ce centre de rotation optique peuvent être déterminées, en vision binoculaire par fixation binoculaire simultanée d'une cible.

Dans l'exemple de la figure 2, le procédé peut comporter également une étape de mesure dans le repère de la position de la pupille de l'œil. L'étape de calcul peut alors utiliser 15 la position de la pupille mesurée. Cela permet de mieux prendre en compte les aberrations qui dépendent de la pupille et en particulier l'astigmatisme et la déviation. Il en résulte une amélioration de l'image perçue par le porteur qui comporte ainsi moins d'aberrations.

Plusieurs repères différents peuvent être envisagés pour la mise en œuvre de l'étape de calcul. Notamment, le repère peut être un repère lié à la tête du porteur. Un tel repère présente 20 l'avantage d'être facilement accessible lors de l'étape de mesure de la position du centre de rotation de l'œil; il reste aussi facilement accessible pour l'étape de détermination.

Lorsque l'étape 10 de mesure s'effectue sur un porteur portant une monture, le repère peut être lié à la monture. Cela permet d'obtenir un repère indépendant du porteur. La mesure 25 de la position du centre de rotation de l'œil peut s'effectuer directement dans un repère lié à la monture. La détermination de la position de la lentille consiste alors simplement à centrer la lentille dans la monture, soit en utilisant les paramètres de boxing habituels, soit, comme expliqué ci-dessous, avec une mesure dans les conditions de posture naturelle des directions de regard du porteur.

La mise en œuvre de la fabrication de la lentille est aussi facilitée par l'utilisation d'un 30 tel repère, notamment si l'étape 10 de mesure de la position du centre de rotation de l'œil n'est pas effectuée au même endroit que l'étape de calcul; il suffit en effet que les deux endroits impliqués dans la fabrication puissent disposer d'une monture du même modèle.

Il est également possible que le repère soit un repère lié à l'œil. Un repère lié à l'œil est 35 un repère dont un des axes est la direction primaire du regard. Cela permet d'obtenir une étape de calcul plus simple à mettre en œuvre parce que les tracés de rayons se font dans un repère dont un des axes est l'axe optique du système optique œil-lentille.

On peut encore utiliser un repère calculé en fonction des coordonnées tridimensionnelles de chacun des centres de rotation du porteur. On peut définir un tel repère notamment de la façon suivante :

- choix du premier axe passant par les deux centres de rotation mesurés
- choix du deuxième axe tel que comprenant la médiatrice du segment défini par les deux centres de rotation et parallèle au plan de Francfort
- choix du troisième axe tel qu'il soit perpendiculaire aux deux axes précédents.

Ceci présente l'avantage de permettre de positionner la tête par rapport à l'espace objet et de gouverner la cinématique des deux yeux tournants autour de leur centre de rotation.

L'étape 10 de mesure peut s'effectuer dans des conditions de posture naturelle du porteur. On entend par posture naturelle la tendance naturelle d'un porteur à prendre une position préférentielle de la tête qui n'est pas celle d'une tête droite lorsqu'il regarde un point de référence. La position préférentielle peut être caractérisée par des angles de posture par rapport à une posture de référence qui peut par exemple être la posture de tête droite. La prise en compte des conditions de la posture naturelle permet d'obtenir une lentille qui est encore mieux adaptée aux besoins du porteur. Par rapport à la méthode traditionnelle, dans laquelle on suppose que le porteur a toujours la tête droite en vision de loin, la mesure dans les conditions de posture naturelle permet de mieux prendre en considération la position réelle du porteur. Si par exemple le porteur a en vision de loin la tête légèrement penchée vers l'avant, la zone de vision de loin sera plus haute sur la lentille que par rapport à la position de la zone de vision de loin dans une lentille traditionnelle. La position de la lentille par rapport au centre de rotation de l'œil et notamment les directions du regard retenues pour les calculs de puissance et d'astigmatisme sont plus représentatives de la réalité lorsque l'on prend en considération la posture naturelle, plutôt qu'une posture moyenne déterminée par des méthodes statistiques.

L'utilisation de la mesure du centre de rotation de l'œil en vision binoculaire est également proposée dans un procédé de calcul des paramètres de détourage d'une lentille ophthalmique pour un porteur et une monture choisie par le porteur.

La figure 3 illustre un ordinogramme de mise en œuvre d'un tel procédé. Le procédé comprend une étape 100 de détermination d'une lentille ophthalmique selon le procédé de détermination décrit précédemment en référence aux figures 1 et 2. Ainsi, selon l'exemple de la figure 3, l'étape 100 comprend trois étapes que sont l'étape 105 de mesure de la position du centre de rotation de l'œil en vision binoculaire dans un repère, l'étape 110 de mesure de la position de la pupille dans le repère, et l'étape 120 de détermination de la position de la monture par rapport au centre de rotation de l'œil.

L'étape 130 est l'étape de calcul des caractéristiques de la lentille, à partir d'une lentille de départ positionnée dans la position souhaitée par rapport au centre de rotation de l'œil.

Le procédé comporte également une étape 140 de calcul des paramètres de détourage de la lentille ophtalmique en fonction de la position de la lentille et de la monture dans le repère. La connaissance des paramètres de détourage de la lentille permet d'usiner ou de découper le contour de la lentille pour l'adapter à la monture choisie par le porteur. Une fois utilisées, les 5 informations de détourage obtenues permettent d'obtenir des lentilles particulièrement bien adaptées au porteur.

C'est notamment le cas lorsque l'on utilise une mesure des directions du regard du porteur dans une posture naturelle. Au lieu de considérer des directions du regard pour un porteur moyen – par exemple une direction du regard en vision de loin correspondant à la tête 10 droite – on peut considérer la posture naturelle du porteur, horizontalement ou verticalement.

L'utilisation des informations ou données de détourage se fait lors d'une étape de détourage de la lentille pouvant être réalisée dans le même lieu que le lieu où a été réalisé l'étape 130 de calcul ou dans un lieu différent.

Plus généralement, d'autres ensembles de données peuvent être utilisés pour la 15 fabrication d'une lentille. Par exemple, un ensemble de données peut comporter les coordonnées tridimensionnelles, mesurées sur un porteur en vision binoculaire, du centre de rotation d'un œil d'un porteur, exprimées dans un repère. L'ensemble de données comprend également la position dans le même repère d'une monture. L'ensemble de données peut également comprendre des angles représentatifs de la posture naturelle du porteur dans le 20 même repère. De tels ensembles de données présentent l'avantage de permettre d'obtenir par calcul des lentilles bien adaptées au porteur.

Ainsi, les ensembles de données précédemment décrits peuvent notamment être utilisés dans un procédé de fabrication d'une lentille. La figure 4 est un ordinogramme d'un exemple de mise en œuvre d'un tel procédé de fabrication. Le procédé comprend une étape 200 de 25 mesure en un premier point, sur le porteur en vision binoculaire, des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation d'un œil du porteur dans un repère. Le premier point peut notamment être un lieu de vente de lentilles. A cette étape 200 de mesure, la position d'une monture choisie par le porteur est également mesurée dans le même repère.

Le procédé de fabrication comporte en outre une étape 220 de la transmission vers un 30 deuxième point des coordonnées et de la position mesurées. Le deuxième point peut être en particulier un laboratoire de prescription qui, à partir de verres semi-finis quelconques, obtient des lentilles ayant les caractéristiques de la prescription du porteur. A l'étape 220 de transmission, il est possible de transmettre d'autres données comme la prescription du porteur que l'ophtalmologiste ou l'opticien note usuellement sous la forme d'un triplet (sphère, 35 cylindre, axe) dans une convention donnée, soit dite « cylindre positif », soit « cylindre négatif ». Comme l'ophtalmologiste (ou l'opticien) peut aussi mesurer les conditions de port

de monture spécifiques au porteur, notamment la distance verre-œil, l'angle pantoscopique et le galbe de la monture choisie peuvent également être transmise à l'étape 220 de transmission.

Le procédé de fabrication comprend également une étape 230 de détermination, au deuxième point, de la lentille par calcul des caractéristiques de la lentille par tracé de rayons 5 passant par le centre de rotation de l'œil mesuré à partir d'une lentille initiale positionnée dans le repère par rapport au centre de rotation de l'œil.

Le procédé de fabrication comporte en outre une étape 240 de fabrication de la lentille ainsi déterminée. La fabrication peut être mise en œuvre dans n'importe quel lieu. Il peut s'agir du premier et du deuxième lieu mais un autre lieu est envisageable. Par exemple, le 10 laboratoire de prescription peut recevoir les données transmises à l'étape 220 de transmission dans le deuxième lieu et mettre en œuvre la fabrication dans un troisième lieu. Le deuxième lieu peut alors être un central de traitement des données transmises et le troisième lieu une usine de fabrication de lentilles. Un tel procédé a l'avantage de permettre une fabrication plus rapide des verres, la lentille pouvant être fabriquée juste après la mesure.

15 Le procédé de fabrication peut également comporter les étapes de mesure de la position de la monture dans le repère utilisé pour la détermination, de calcul des paramètres de détourage de la lentille ophthalmique en fonction de la position de la lentille et de la monture dans le repère et de détourage de la lentille. Cela permet d'obtenir une lentille détournée adaptée au porteur.

20 Le procédé peut en outre comporter une étape 210 de mesure au premier point d'angles représentatifs de la posture naturelle du porteur dans le repère. Selon l'exemple de la figure 4, l'étape 210 de mesure de la posture naturelle a lieu après la mesure, pour le porteur en vision binoculaire des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation d'un œil du porteur. Il est néanmoins envisageable d'effectuer ces deux étapes 200, 210 de mesure dans un ordre 25 distincts.

L'étape 220 de transmission peut alors comprendre la transmission des angles de postures mesurés et l'étape 230 de détermination peut utiliser les angles de postures mesurés. La lentille fabriquée est ainsi mieux adaptée au porteur.

30 L'utilisation de la mesure du centre de rotation de l'œil en vision binoculaire est également proposée pour un simulateur d'une image vue par un porteur à travers une lentille ophthalmique. Un tel simulateur est ainsi adapté à mettre en œuvre un procédé de simulation d'une image vue par un porteur à travers une lentille ophthalmique. La figure 5 illustre un ordinogramme d'exemple de mise en œuvre d'un tel procédé de simulation. Le procédé de simulation comprend une étape 300 de mesure, sur le porteur en vision binoculaire, des 35 coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation d'un œil du porteur dans un repère. A titre d'illustration, de même que pour le procédé de détermination décrit précédemment, le

repère peut être un repère lié à la tête du porteur, un repère peut être lié à la monture lorsqu'une monture a été choisie ou un repère lié à l'œil.

Le procédé de simulation comporte en outre une étape 310 de positionnement de la lentille dans le même repère.

5 Le procédé comprend également une étape 320 de calcul d'une image vue par le porteur par tracé de rayons passant par le centre de rotation de l'œil et par la lentille. Le procédé de simulation prenant en compte la position réelle du centre de rotation de l'œil, l'image simulée est plus proche de la réalité que si une position approchée du centre de rotation de l'œil avait été prise en compte.

10 Le procédé de simulation peut en outre comporter une étape de mesure dans le repère de la position de la pupille de l'œil. L'étape 320 de calcul utilise alors la position de la pupille mesurée. Cela permet de mieux simuler l'image parce que l'impact des aberrations hors champ qui dépendent de la taille de la pupille sur l'image est calculé avec plus de précision.

15 Le simulateur permettant la mise en œuvre de ce procédé comprend des moyens de calculs adaptés à mettre en œuvre le procédé de simulation; on peut y associer des moyens connus en soi d'entrée de donnés. Le simulateur comprend en outre des moyens de visualisation de l'image calculée. On peut ainsi montrer à un porteur la différence entre une lentille selon l'invention et une lentille classique, pour lui permettre d'apprécier les effets de l'invention.

20 Dans la description ci-dessus, nous avons vu que le procédé de détermination d'une lentille ophtalmique pour un œil d'un porteur comprend une étape de calcul des caractéristiques de la lentille ophtalmique utilisant les coordonnées mesurées et la position déterminée. Nous avons vu également que cette étape de calcul pouvait se décliner selon soit une étape de modification de la lentille ophtalmique de départ par analyse de fronts d'onde soit alternativement par optimisation, à partir de la lentille de départ, par tracé de rayons dépendants des coordonnées mesurées et de la position déterminée. D'autres variantes sont également possibles. Par exemple, selon une troisième alternative, durant l'étape de calcul, les caractéristiques de la lentille ophtalmique sont calculées par modification locale de la lentille ophtalmique au point d'impact avec le rayon moyen passant par le centre de rotation de l'œil 25 mesuré pour une direction de regard donnée. Selon cette troisième alternative, il est ainsi possible d'obtenir des propriétés optiques voulues à partir, par exemple, de données pré calculées, stockées dans une base de données. Ces données pré calculées peuvent être, par exemple, des morceaux de surfaces ou des caractéristiques géométriques à appliquer localement à la surface comme, par exemple, un rayon de courbure ou des coefficients 30 35 d'asphéricité.

revendications

1. Un procédé de détermination d'une lentille ophtalmique pour un œil d'un porteur, le procédé comportant les étapes de :

5 - mesure (10), sur le porteur en vision binoculaire, des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation de l'œil du porteur;
- détermination (20) de la position souhaitée de la lentille ophtalmique;
- calcul des caractéristiques de la lentille ophtalmique en utilisant les coordonnées mesurées et la position déterminée.

10 **2.** Le procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape de calcul comprend:

- une étape de positionnement (30) d'une lentille ophtalmique de départ dans la position déterminée;
- une étape de modification (40) de la lentille ophtalmique de départ par analyse de fronts d'onde.

15 **3.** Le procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape de calcul comprend:

- une étape de positionnement d'une lentille ophtalmique de départ dans la position déterminée;
- une étape d'optimisation, à partir de la lentille de départ, par tracé de rayons dépendant des coordonnées mesurées et la position déterminée.

20 **4.** Le procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, dans lequel le procédé comporte une étape de mesure sur le porteur en vision binoculaire de la position de la pupille de l'œil par rapport au centre de rotation de l'œil et dans lequel l'étape de calcul utilise la position de la pupille mesurée.

25 **5.** Le procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel l'étape de calcul s'effectue dans un repère lié à la tête du porteur, et/ou dans un repère lié à une monture, et/ou dans un repère lié à l'œil du porteur.

30 **6.** Le procédé selon l'une des revendications 1 à 4, comprenant en outre une étape de mesure sur le porteur en vision binoculaire, des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation de chaque œil du porteur et dans lequel l'étape de calcul s'effectue dans un repère qui est fonction des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation de chaque œil du porteur.

7. Le procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel l'étape de mesure s'effectue dans des conditions de posture naturelle du porteur.

8. Le procédé selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le centre de rotation de l'œil est le centre de rotation optique.

5 9. Un procédé de calcul des paramètres de montage et/ou de détourage d'une lentille ophtalmique pour un porteur et une monture choisie par le porteur, comprenant les étapes de :
- détermination d'une lentille ophtalmique selon le procédé de l'une des revendications 1 à 8;

- mesure de la position de la monture dans le repère utilisé pour les étapes de mesure et de détermination;

10 - calcul des paramètres de montage et/ou de détourage de la lentille ophtalmique en fonction de la position de la lentille et de la monture dans le repère.

10. Un procédé de simulation d'une image vue par un porteur à travers une lentille ophtalmique, comprenant les étapes de :

- mesure, sur le porteur en vision binoculaire, des coordonnées tridimensionnelles du centre

15 de rotation d'un œil du porteur;

- positionnement de la lentille;

les étapes de mesure et de positionnement s'effectuant ou étant ramenées dans le même repère,

- calcul d'une image vue par le porteur par tracé de rayons en tenant compte de la position 20 mesurée du centre de rotation de l'œil et de la position de la lentille.

11. Le procédé de simulation selon la revendication 10, dans lequel le procédé comporte une étape de mesure dans le repère de la position de la pupille de l'œil et dans lequel l'étape de calcul utilise la position de la pupille mesurée.

12. Un procédé de fabrication d'une lentille ophtalmique, comprenant les étapes de :

25 - la mesure en un premier point sur le porteur en vision binoculaire, des coordonnées tridimensionnelles du centre de rotation d'un œil du porteur et de la position d'une monture choisie par le porteur, dans un même repère;

- la transmission vers un deuxième point des coordonnées et de la position mesurées;

- la détermination, au deuxième point, de la lentille par calcul en utilisant les coordonnées et

30 la position mesurées; et

- la fabrication de la lentille ainsi déterminée.

13. Le procédé selon la revendication 12, comprenant en outre une étape de mesure au premier point d'angles représentatifs de la posture naturelle du porteur dans le repère, dans lequel

- l'étape de transmission comprend la transmission des angles de posture mesurés et

5 - l'étape de détermination utilise les angles de posture mesurés.

14. Le procédé selon l'une des revendications 12 ou 13, comprenant en outre une étape de :

- mesure de la position de la monture dans le repère utilisé pour la détermination;

- calcul des paramètres de détourage de la lentille ophtalmique en fonction de la position de la lentille et de la monture dans le repère ; et

10 - détourage de la lentille.

15. Un ensemble de données comprenant:

- les coordonnées tridimensionnelles mesurées, sur le porteur en vision binoculaire, dans un repère, du centre de rotation d'un œil d'un porteur;

- la position d'une monture dans le même repère.

15 **16.** L'ensemble de données de la revendication 15, comprenant en outre:

- des angles représentatifs de la posture naturelle du porteur dans le même repère.

17. Un simulateur d'une image vue par un porteur à travers une lentille ophtalmique, le

simulateur comprenant des moyens de calculs adaptés à mettre en œuvre le procédé de

20 simulation selon l'une des revendications 10 ou 11 et des moyens de visualisation de l'image calculée par les moyens de calcul.

18. Un programme d'ordinateur adapté à mettre en œuvre le procédé selon le procédé de l'une des revendications 1 à 9.

19. Le procédé de détermination d'une lentille ophtalmique selon la revendication 1,

caractérisé en ce que durant l'étape de calcul, les caractéristiques de la lentille ophtalmique

25 sont calculées par modification locale de la lentille ophtalmique au point d'impact avec le rayon moyen passant par le centre de rotation de l'œil mesuré pour une direction de regard donnée.

1/10

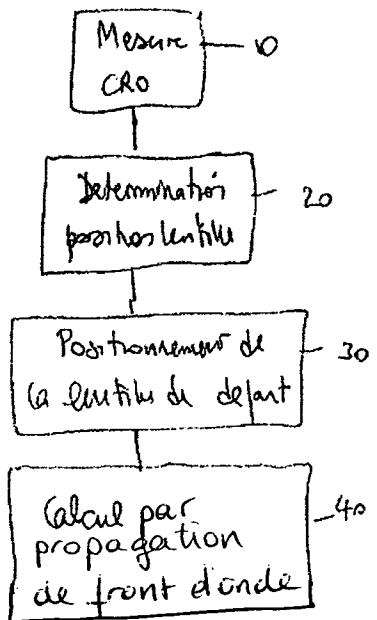


Fig. 1

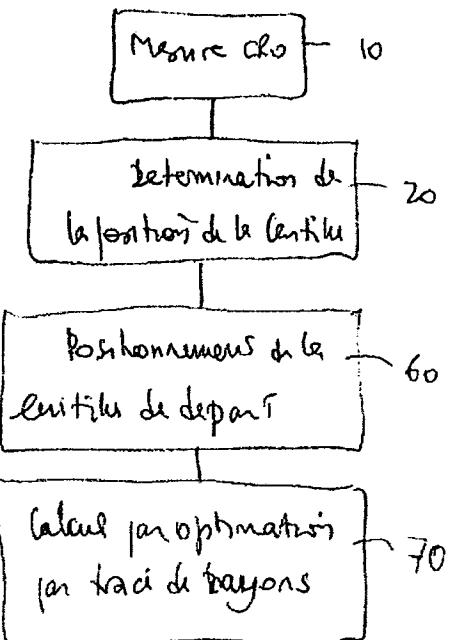


Fig. 2

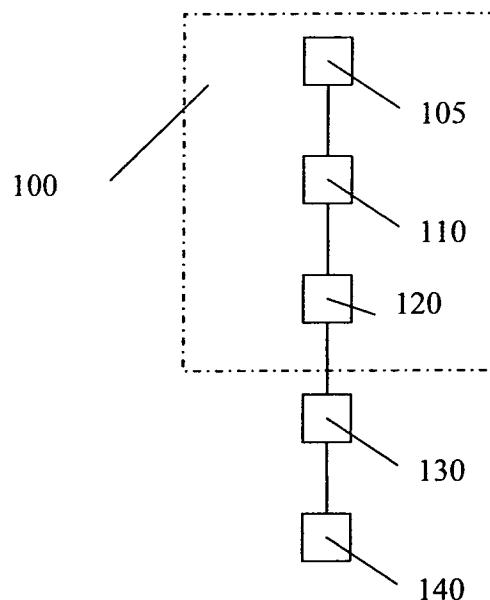


Fig. 3

2/10

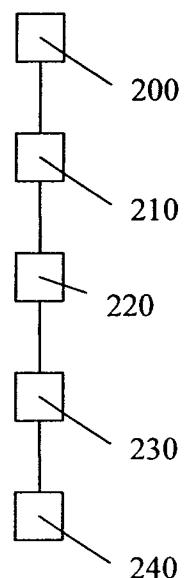


Fig. 4

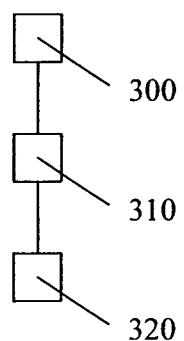


Fig. 5

3/10

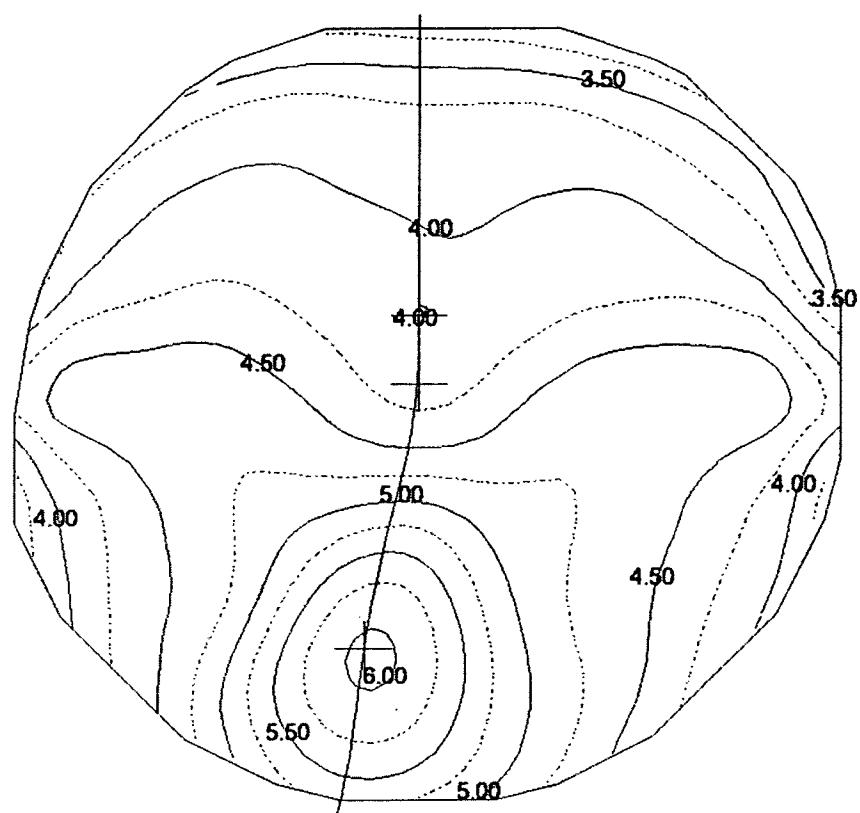


Fig. 6

4/10

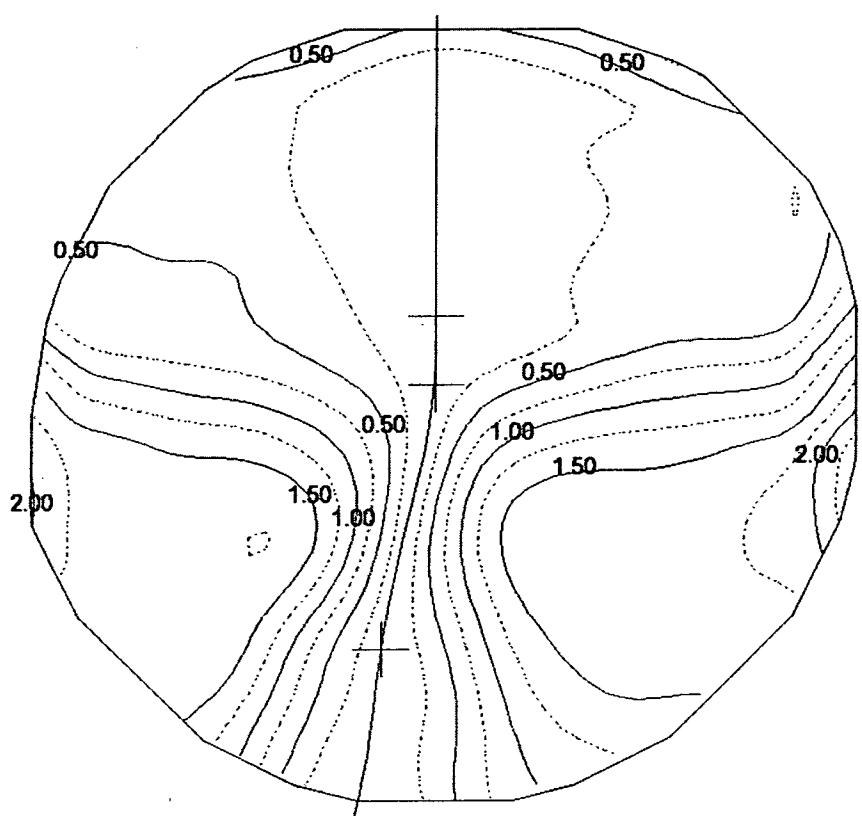


Fig. 7

5/10

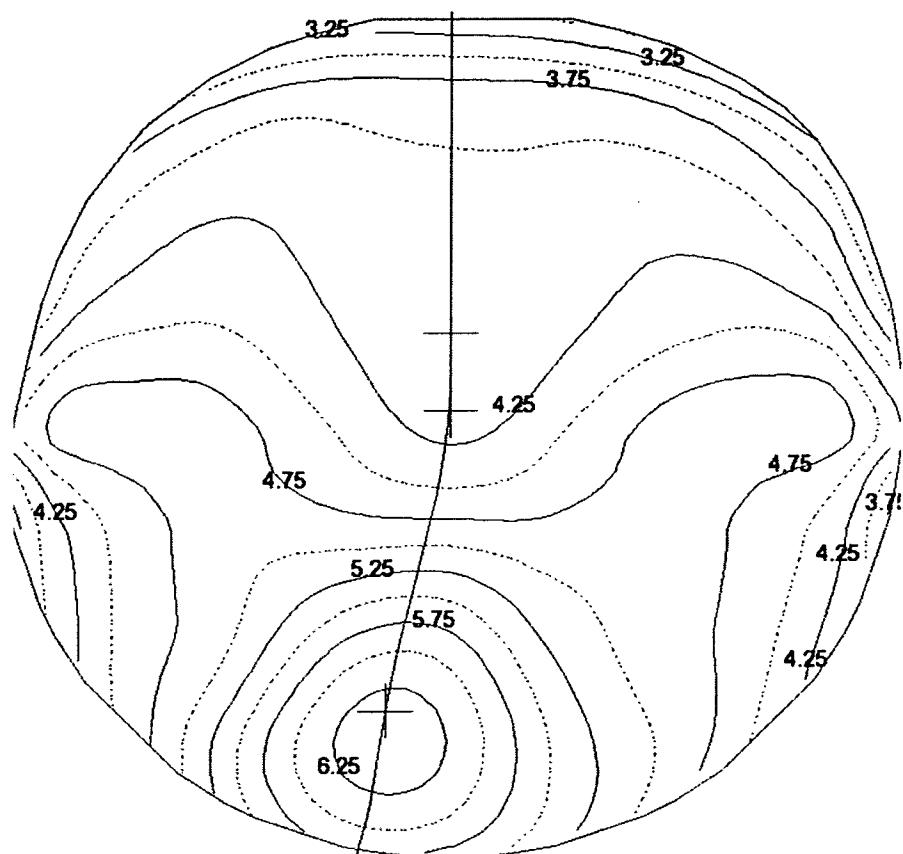


Fig. 8

6/10

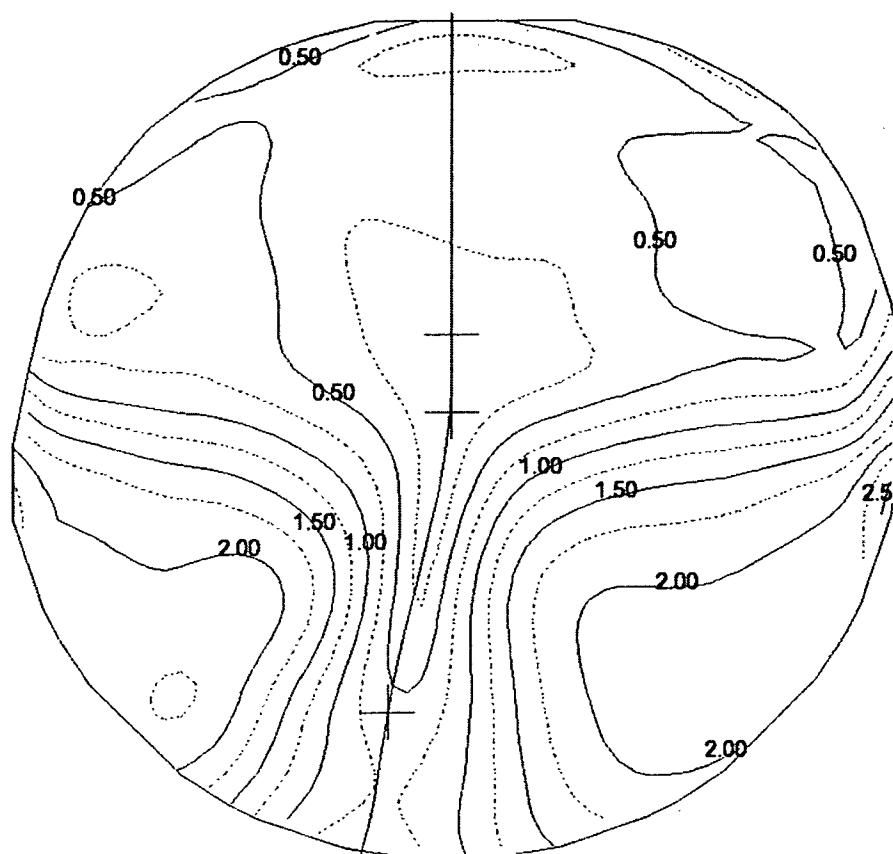


Fig. 9

7/10

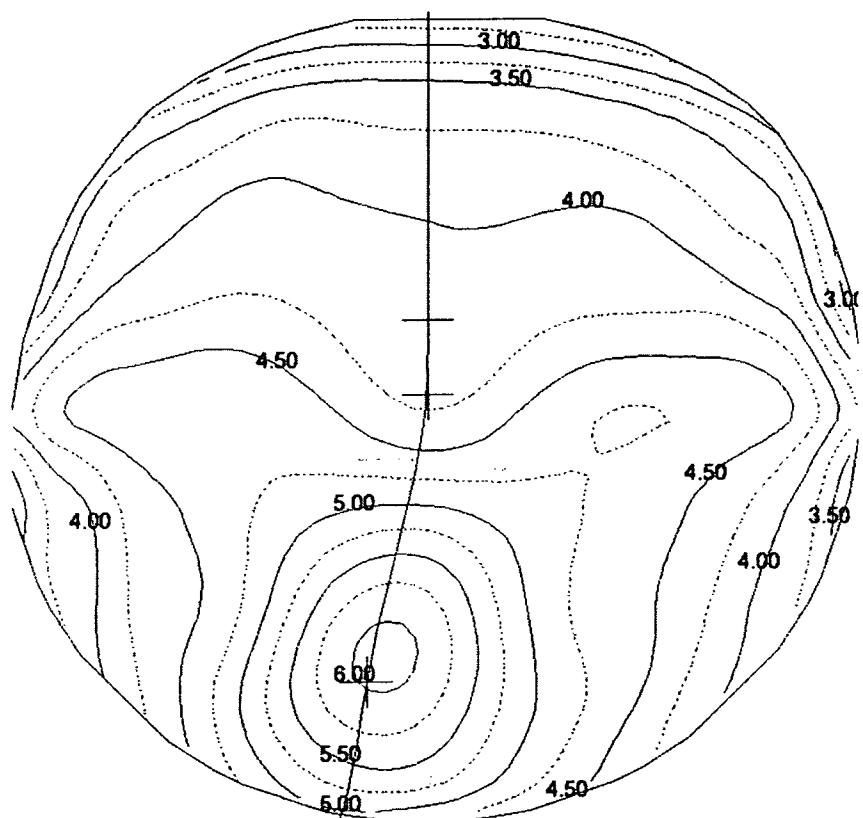


Fig. 11

8/10

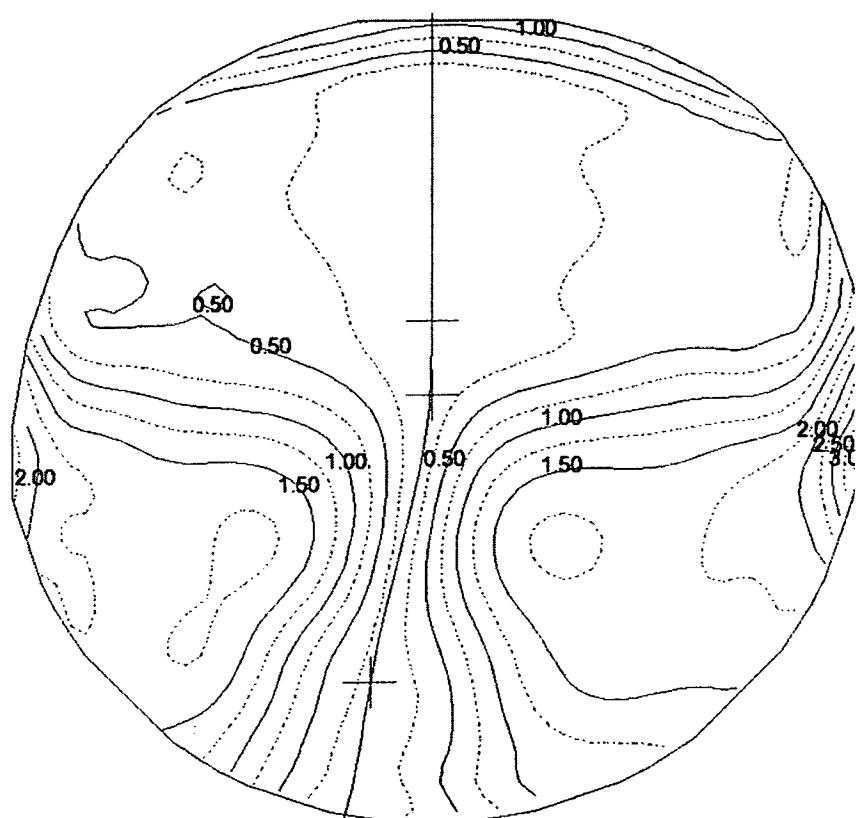


Fig. 12

9/10

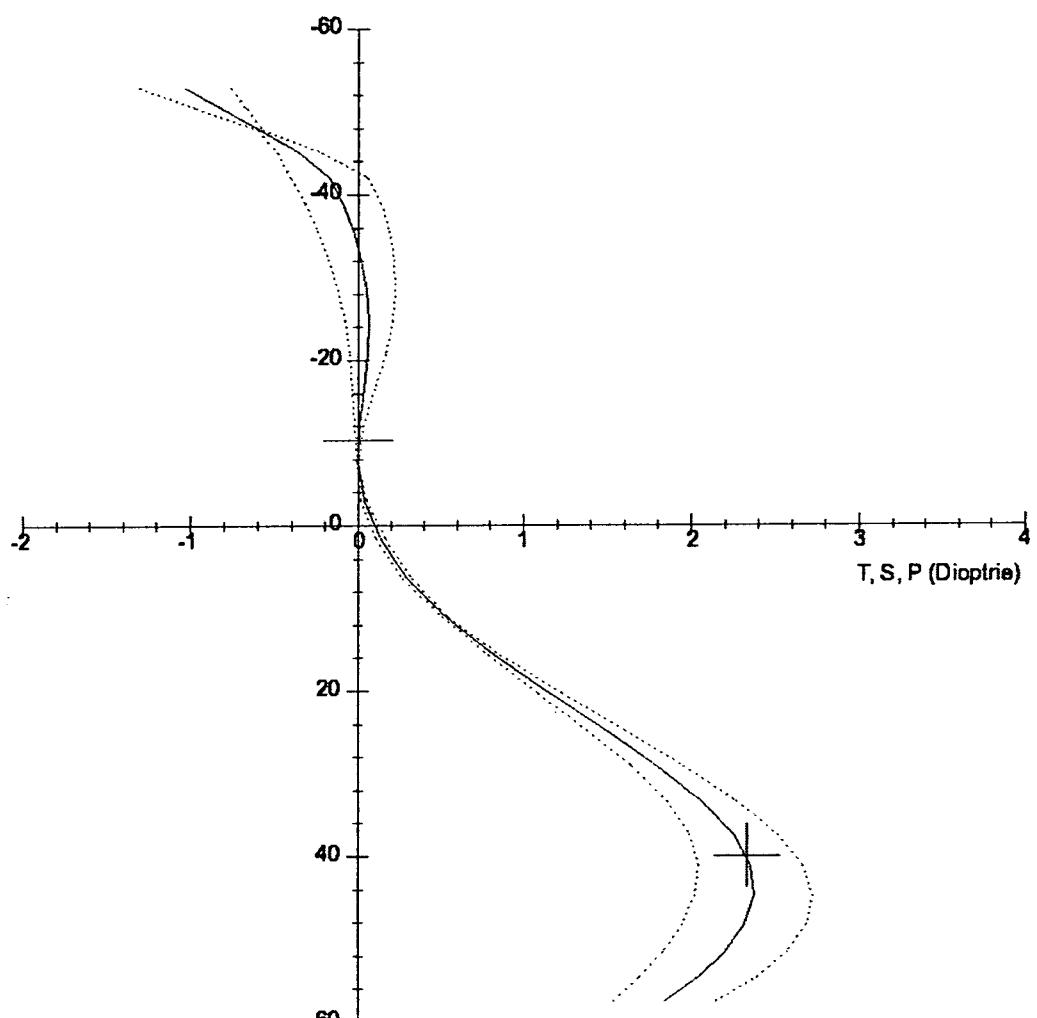


Fig. 10

10/10

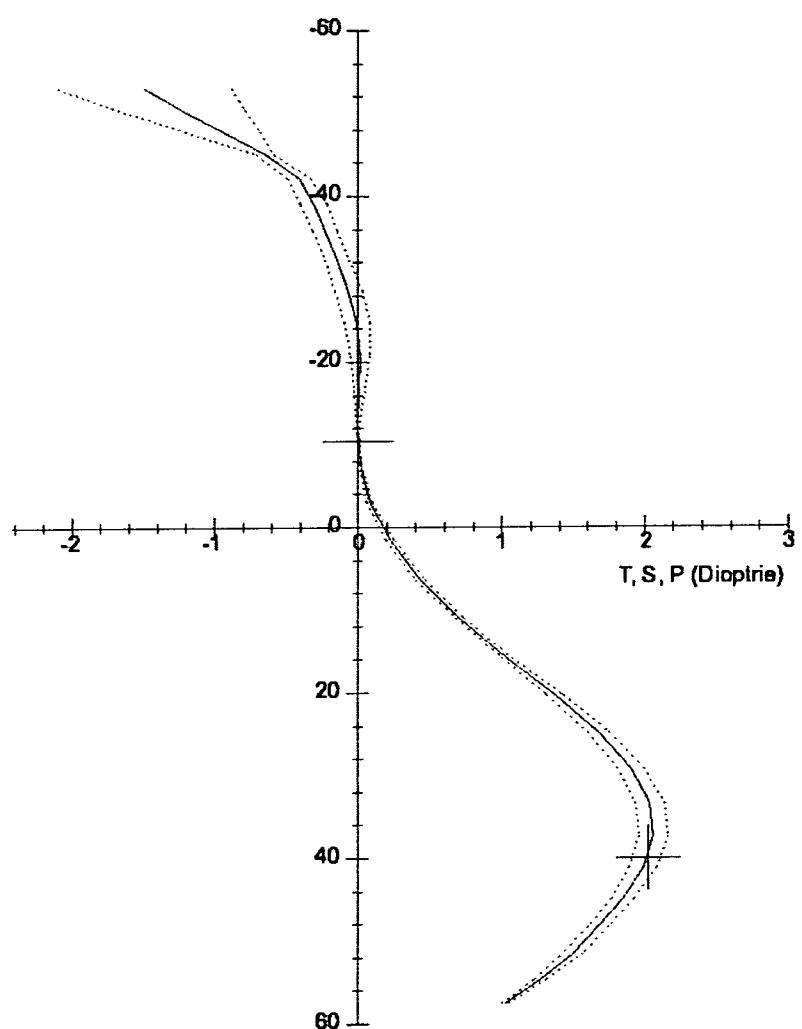


Fig. 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2009/000458

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G02C7/02

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G02C A61B

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

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

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>WO 2008/132356 A (ESSILOR INT [FR]; CHAUVEAU JEAN-PIERRE [FR]) 6 November 2008 (2008-11-06) cited in the application page 1, line 12 – page 2, line 20 page 4, line 11 – page 6, line 31 page 7, line 27 – page 33, line 25; figures 1-11</p> <p>-----</p> <p>WO 2006/106248 A (ESSILOR INT [FR]; BONNIN THIERRY [FR]; DECRETON BRUNO [FR]; MARIN GILD) 12 October 2006 (2006-10-12) page 1, line 3 – page 2, line 11 page 5, line 19 – page 11, line 15; figures 1-3</p> <p>-----</p> <p style="text-align: right;">-/-</p>	1-9,12, 16,18,19
X		1-19

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

9 décembre 2009

17/12/2009

Name and mailing address of the ISA/
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL – 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Bratfisch, Knut

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/FR2009/000458

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 837 699 A (ESSILOR INT [FR]) 26 September 2007 (2007-09-26) paragraph [0014] – paragraph [0022] paragraph [0025] – paragraph [0052]; figures 1-10 -----	1-9, 12-16, 18,19
X	EP 1 793 262 A (HOYA CORP [JP]) 6 June 2007 (2007-06-06) paragraph [0017] – paragraph [0030] paragraph [0032] – paragraph [0112]; figures 1-26 -----	1-9, 12-16, 18,19
X	WO 2008/009355 A (RODENSTOCK GMBH [DE]; SESSNER RAINER [DE]; MUELLER WERNER [DE]) 24 January 2008 (2008-01-24) page 11, line 18 – page 35, line 11; figures 1-10 -----	1-9, 12-16, 18,19
X	US 2004/257527 A1 (QI HUA [JP] ET AL) 23 December 2004 (2004-12-23) paragraph [0088] – paragraph [0175]; figures 1-25 -----	1-9, 12-16, 18,19
A	DE 10 2004 020356 A1 (CHRONOS VISION GMBH [DE]) 10 November 2005 (2005-11-10) paragraph [0014] – paragraph [0040] paragraph [0047] – paragraph [0067]; figures 1-5 -----	1-19
A	STEFANIE SCHULDT: "ysis – Natürliches sehen erleben" DEUTSCHE OPTIKER ZEITUNG, XX, DE, no. 5/2004, 1 May 2004 (2004-05-01), pages 38-43, XP002398937 the whole document -----	1-19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

 International application No
 PCT/FR2009/000458

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
WO 2008132356	A	06-11-2008	AU CA FR	2008244155 A1 2682239 A1 2914173 A1		06-11-2008 06-11-2008 03-10-2008
WO 2006106248	A	12-10-2006	AU CA EP FR JP US	2006231140 A1 2601877 A1 1865828 A1 2884130 A1 2008534200 T 2009040460 A1		12-10-2006 12-10-2006 19-12-2007 13-10-2006 28-08-2008 12-02-2009
EP 1837699	A	26-09-2007	BR CA CN FR JP US	PI0705900 A2 2581650 A1 101042470 A 2898993 A1 2007256957 A 2007242218 A1		23-12-2008 24-09-2007 26-09-2007 28-09-2007 04-10-2007 18-10-2007
EP 1793262	A	06-06-2007		NONE		
WO 2008009355	A	24-01-2008	DE EP	102006033491 A1 2047322 A1		31-01-2008 15-04-2009
US 2004257527	A1	23-12-2004	EP WO JP	1553438 A1 2004034131 A1 4124468 B2		13-07-2005 22-04-2004 23-07-2008
DE 102004020356	A1	10-11-2005		NONE		

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2009/000458

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. G02C7/02

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

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

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

G02C A61B

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

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

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 2008/132356 A (ESSILOR INT [FR]; CHAUVEAU JEAN-PIERRE [FR]) 6 novembre 2008 (2008-11-06) cité dans la demande page 1, ligne 12 – page 2, ligne 20 page 4, ligne 11 – page 6, ligne 31 page 7, ligne 27 – page 33, ligne 25; figures 1-11 ----- WO 2006/106248 A (ESSILOR INT [FR]; BONNIN THIERRY [FR]; DECRETON BRUNO [FR]; MARIN GILD) 12 octobre 2006 (2006-10-12) page 1, ligne 3 – page 2, ligne 11 page 5, ligne 19 – page 11, ligne 15; figures 1-3 ----- -/-	1-9, 12, 16, 18, 19
X		1-19



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



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

9 décembre 2009

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

17/12/2009

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL – 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Bratfisch, Knut

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2009/000458

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 1 837 699 A (ESSILOR INT [FR]) 26 septembre 2007 (2007-09-26) alinéa [0014] - alinéa [0022] alinéa [0025] - alinéa [0052]; figures 1-10 -----	1-9, 12-16, 18,19
X	EP 1 793 262 A (HOYA CORP [JP]) 6 juin 2007 (2007-06-06) alinéa [0017] - alinéa [0030] alinéa [0032] - alinéa [0112]; figures 1-26 -----	1-9, 12-16, 18,19
X	WO 2008/009355 A (RODENSTOCK GMBH [DE]; SESSNER RAINER [DE]; MUELLER WERNER [DE]) 24 janvier 2008 (2008-01-24) page 11, ligne 18 - page 35, ligne 11; figures 1-10 -----	1-9, 12-16, 18,19
X	US 2004/257527 A1 (QI HUA [JP] ET AL) 23 décembre 2004 (2004-12-23) alinéa [0088] - alinéa [0175]; figures 1-25 -----	1-9, 12-16, 18,19
A	DE 10 2004 020356 A1 (CHRONOS VISION GMBH [DE]) 10 novembre 2005 (2005-11-10) alinéa [0014] - alinéa [0040] alinéa [0047] - alinéa [0067]; figures 1-5 -----	1-19
A	STEFANIE SCHULDT: "ysis - Natürliches sehen erleben" DEUTSCHE OPTIKER ZEITUNG, XX, DE, no. 5/2004, 1 mai 2004 (2004-05-01), pages 38-43, XP002398937 1e document en entier -----	1-19

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2009/000458

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
WO 2008132356	A	06-11-2008	AU CA FR	2008244155 A1 2682239 A1 2914173 A1		06-11-2008 06-11-2008 03-10-2008
WO 2006106248	A	12-10-2006	AU CA EP FR JP US	2006231140 A1 2601877 A1 1865828 A1 2884130 A1 2008534200 T 2009040460 A1		12-10-2006 12-10-2006 19-12-2007 13-10-2006 28-08-2008 12-02-2009
EP 1837699	A	26-09-2007	BR CA CN FR JP US	PI0705900 A2 2581650 A1 101042470 A 2898993 A1 2007256957 A 2007242218 A1		23-12-2008 24-09-2007 26-09-2007 28-09-2007 04-10-2007 18-10-2007
EP 1793262	A	06-06-2007		AUCUN		
WO 2008009355	A	24-01-2008	DE EP	102006033491 A1 2047322 A1		31-01-2008 15-04-2009
US 2004257527	A1	23-12-2004	EP WO JP	1553438 A1 2004034131 A1 4124468 B2		13-07-2005 22-04-2004 23-07-2008
DE 102004020356	A1	10-11-2005		AUCUN		