

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION BELGE

- (41) Date de publication : 02/04/2021
(21) Numéro de demande : BE2019/5669
(22) Date de dépôt : 09/10/2019
(62) Divisée de la demande de base :
(62) Date de dépôt demande de base :
(51) Classification internationale : A61F 2/16
(30) Données de priorité :

11/09/2019 ES 201930791

- (71) Demandeur(s) :

PHYSIOL SA4031, ANGLEUR
Belgique**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS (CSIC)**28006, MADRID
Espagne

- (72) Inventeur(s) :

MARCOS CELESTINO Susana28015 MADRID
Espagne**DORRONSORO DIAZ Carlos**28005 MADRID
Espagne**REDZOVIC Suad**4020 JUPILLE SUR MEUSE
Belgique**PAGNOULLE Christophe**4800 VERVIERS
Belgique**(54) Lentille intraoculaire avec profondeur de champ étendue**

(57)L'invention concerne une lentille intraoculaire (1) à profondeur de champ étendue comprenant des surfaces optiques asphériques antérieure et postérieure (2, 3).

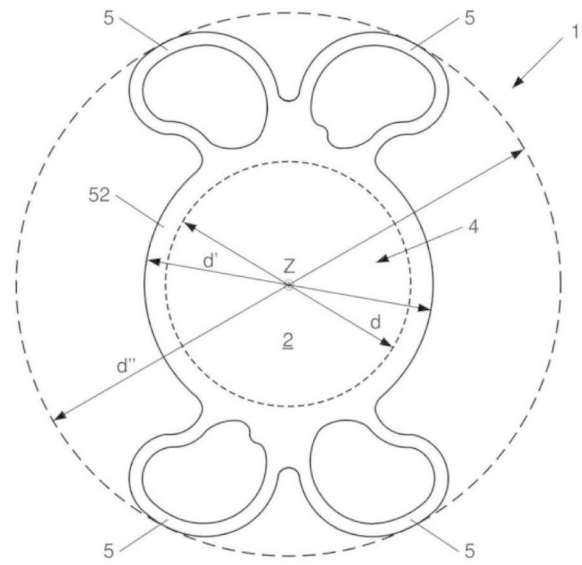


Fig. 1

Lentille intraoculaire avec profondeur de champ étendue

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne une lentille intraoculaire (LIO). Plus spécifiquement, il s'agit d'une lentille intraoculaire à profondeur de champ étendue (EDOF - pour « extended depth of focus » en anglais).

État de la technique

[0002] Les changements liés à l'âge des protéines dans le cristallin naturel d'un œil peuvent entraîner la formation d'une cataracte. En chirurgie de la cataracte, le cristallin naturel est généralement remplacé par une LIO.

[0003] Une implantation d'une LIO monofocale fournit généralement une vision de bonne qualité en sélectionnant une puissance de LIO appropriée, généralement ajustée aux distances lointaines.

[0004] Néanmoins, un œil avec une LIO implantée perd la capacité d'accommodation résiduelle. Il s'ensuit que le patient porteur d'une LIO monofocale implantée doit habituellement porter des lunettes pour des distances proches et intermédiaires pendant les activités nécessitant des capacités de vision plus fine. Il s'agit d'un large éventail d'activités telles que la lecture et le travail à l'ordinateur, qui peuvent avoir de lourdes conséquences dans la vie quotidienne du patient.

[0005] De nos jours, les patients veulent de plus en plus éviter de porter des lunettes pour la vision de près après une chirurgie de la cataracte. Les LIO multifocales sont alors de plus en plus utilisées pour tenter de compenser la faiblesse des LIO monofocales mentionnée ci-dessus.

[0006] Cependant, les LIO multifocales ont généralement un nombre limité de deux ou trois points focaux tout en offrant une mauvaise qualité de vision pour les distances non focales. Cela peut entraîner des difficultés de vision intermédiaire dans le cas, par exemple, des LIO

bifocales qui sont conçues avec deux points focaux pour les distances proches et lointaines, respectivement, et ensuite la nécessité pour le patient de porter des lunettes. Un autre inconvénient dans le cas spécifique des LIO multifocales diffractives est lié à l'existence d'une proportion de lumière incidente perdue (environ 18 %) aux ordres de diffraction élevés, qui génère des points focaux hors de la plage de distance utile pour la vision. Les LIO multifocales présentent en outre d'autres effets secondaires désavantageux tels que la lumière diffusée, les halos et l'éblouissement.

10

Résumé de l'invention

[0007] Un objet de la présente invention est de fournir une lentille intraoculaire présentant une meilleure qualité de vision à distances lointaines et intermédiaires, tout en minimisant les effets secondaires mentionnés plus haut.

15

[0008] A cette fin, la présente invention fournit une lentille intraoculaire comprenant :

- une surface optique antérieure (unique), et
- une surface optique postérieure (unique),

20

les deux s'étendant autour et sensiblement radialement vers l'extérieur par rapport à un axe optique ;

caractérisée en ce que :

- une première surface parmi les surfaces optiques antérieure et postérieure est définie par l'équation :

$$z_{st}(r) = \frac{r^2}{R_{st} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{(1 + \kappa_{st}(R_{st})) r^2}{R_{st}^2}} \right)} + \sum_{i \geq 2} a_{2i}^{st} r^{2i}$$

25

où :

- $z_{st}(r)$ est une composante, mesurée le long de l'axe optique, d'un vecteur de déplacement depuis un sommet de la première surface, jusqu'à un point quelconque de cette

dernière à un rayon r (considéré comme une variable radiale) de l'axe optique ;

- R_{st} ($\in \mathbb{R} \setminus \{0\}$) est un rayon de courbure de la première surface évaluée au (à son) sommet ;
- 5 • $\kappa_{st}(R_{st})$ est une constante de conicité de la première surface évaluée au (à son) sommet et définie en fonction dudit rayon de courbure de la première surface par la relation :

$$\kappa_{st}(R_{st}) = \begin{cases} a R_{st}^2 + b R_{st} + c & \text{if } R_{st} < 0 \\ A[\operatorname{erf}(BR_{st} + C) + D] & \text{if } R_{st} > 0 \end{cases}$$

où erf désigne une (la) fonction d'erreur de Gauss, et où a, b, c, A, B, C, D sont des nombres réels constants ;

- 10 • (pour chaque $i \geq 2$) α_{2i}^{st} ($\in \mathbb{R}$) est un coefficient d'asphéricité d'ordre $2i$ de la première surface ;

- une seconde surface parmi les surfaces optiques antérieure et postérieure est définie par l'équation :

$$z_{nd}(r) = \frac{r^2}{R_{nd} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{(1 + \kappa_{nd}(R_{nd})) r^2}{R_{nd}^2}} \right)} + \sum_{i \geq 2} \alpha_{2i}^{nd} r^{2i}$$

où :

- 15 • $z_{nd}(r)$ est une composante, mesurée le long de l'axe optique, d'un vecteur de déplacement depuis un sommet de la seconde surface jusqu'à un point quelconque de cette dernière à un rayon r (considéré comme une variable radiale) de l'axe optique ;
- 20 • $R_{nd} < 0$ est un rayon de courbure de la seconde surface évalué au (à son) sommet ;
- $\kappa_{nd}(R_{nd})$ est une constante de conicité de la seconde surface évaluée au (à son) sommet et définie en fonction

dudit rayon de courbure de la seconde surface par la relation :

$$\kappa_{nd}(R_{nd}) = f R_{nd}^2 + g R_{nd} + h$$

où f, g, h sont des nombres réels constants ;

- (pour chaque $i \geq 2$) $\alpha_{2i}^{nd} (\in \mathbb{R})$ est un coefficient d'asphéricité d'ordre $2i$ de la seconde surface.

5

Les surfaces optiques antérieure et postérieure (ou de manière équivalente, lesdites première et seconde surfaces) sont telles que la lentille intraoculaire offre une profondeur de champ étendue.

[0009] La lentille intraoculaire (LIO) selon l'invention présente une meilleure qualité de vision à distances lointaines et intermédiaires (qu'une LIO bifocale avec deux points focaux pour les distances lointaines et proches, par exemple), tout en minimisant les effets secondaires tels que la lumière diffusée, les halos et l'éblouissement, et offrant une meilleure qualité de vision à distances lointaines (qu'une LIO monofocale standard, par exemple).

15

[0010] En effet, la LIO comprend une optique (ou partie optique centrale) comprenant une surface antérieure (dite surface optique antérieure) et une surface postérieure (dite surface optique postérieure) décrites par une équation de la même forme. Il est bien connu de l'homme du métier qu'une telle équation définit une surface asphérique (telle que revue dans la description détaillée, à la lumière de la figure 4 ci-après présentée). Par conséquent, les surfaces optiques antérieure et postérieure sont asphériques, ce qui donne une optique au design entièrement asphérique qui génère plus d'aberrations sphériques négatives et permet, grâce aux paramètres des équations de surface, d'étendre la profondeur de champ (c'est-à-dire de fournir un seul point focal allongé pour améliorer « l'étendue de vision »), en comparaison avec une LIO monofocale standard. Ceci est également commenté et illustré dans la description détaillée, compte tenu des figures 6A-C, 7, 8, 9A-C, ci-après présentées, qui présentent les résultats de mesures expérimentales.

30

[0011] La LIO selon l'invention pourrait être considérée comme une LIO monofocale car elle entraîne l'allongement d'un point focal unique (comme pour une LIO monofocale) afin d'améliorer la profondeur de champ (ou l'étendue de vision). Elle n'est pas conçue comme une LIO multifocale avec fonction de puissance optique régularisée entre les points focaux, ni comme une LIO de puissance optique multizonale. Cela se remarque, car la plupart des LIO monofocales ne corrigent la vision que pour aider des patients avec des cataractes à voir les choses à distances (lointaines), et n'améliorent donc pas la vision intermédiaire nécessaire à de nombreuses tâches quotidiennes importantes. De manière différente, la présente LIO monofocale(avec un point focal allongé) offre une vision intermédiaire de meilleure qualité, ainsi qu'une bonne vision à distances (lointaines), ce qui est un progrès majeur pour permettre aux patients d'effectuer plus facilement des activités dans leur vie quotidienne.

[0012] La LIO selon l'invention procure avantageusement une profondeur de champ étendue (EDOF) tout en affectant le moins possible la résolution de crête (c.-à-d. meilleure focalisation), offrant une vision claire à distances intermédiaires et minimisant les effets secondaires, tels que la lumière diffusée, les halos et l'éblouissement, qui sont courants pour les LIO multifocales. En effet, les LIO multifocales réfractives comprennent généralement une optique multizonale (et donc des surfaces optiques antérieure et postérieure) divisée(s) en différentes sections (avec des géométries de surface qui sont potentiellement décrites par différentes équations) qui peuvent causer des problèmes de diffraction tels que des halos dus à des changements brusques de géométrie et/ou de puissance optique entre ces sections. De manière différente, la LIO de l'invention comprend une surface optique antérieure continue et régulière (ou, en d'autres termes, au moins différentiable ou lisse) unique et une surface postérieure continue et régulière unique, chaque surface étant asphérique et décrite par une seule équation lisse, ce qui empêche de tels halos.

[0013] La LIO selon l'invention est préférentiellement réfractive, plus préférentiellement purement réfractive. Plus précisément, les caractéristiques optiques fournies par les surfaces antérieure et postérieure sont de préférence réfractives. Néanmoins, une LIO
5 comportant une caractéristique diffractive (telle qu'un composant, une partie de surface optique, ...) n'est pas exclue de la portée de l'invention.

[0014] Un autre aspect important de la présente invention est que l'EDOF revendiquée dépend d'une façon limitée (ou, en d'autres termes, en est relativement indépendante) de :

- 10 - la puissance optique de la LIO,
- une ouverture (c.-à-d. une ouverture par laquelle la lumière circule ; par exemple, un diamètre de pupille d'un œil lorsque la LIO est utilisée normalement dans un œil aphaque), et
- d'aberrations sphériques cornéennes (par exemple, aberrations
15 sphériques d'un modèle de cornée, ou aberrations sphériques d'une cornée d'un œil lorsque la LIO est utilisée normalement dans un œil aphaque).

Ceci est également commenté dans la description détaillée, compte tenu des figures 6A-B et 7, ci-après introduites. Néanmoins, la bonne
20 maîtrise de la dépendance de l'EDOF, de l'ouverture et des aberrations sphériques cornéennes à la puissance optique de la LIO peut également être comprise à partir des équations asphériques définissant pour les surfaces optiques antérieure et postérieure. En effet, il est connu par un
25 homme du métier que la puissance optique d'une surface optique en général dépend de l'indice de réfraction associé à une matière première constituant cette surface, ainsi que de la géométrie de cette surface. Cette dernière est déterminée (au moins pour les petits ordres de r) par le rayon de courbure et (optionnellement) par la constante de conicité de cette surface optique évaluée à son sommet. Dans le présent contexte, il est
30 rationnel de supposer que cet indice de réfraction et la contribution de chacune des surfaces optiques antérieure et postérieure sur la puissance

optique globale de la LIO sont connus. De plus, chacune des constantes de conicités des surfaces optiques antérieure et postérieure est définie en fonction du rayon de courbure de cette surface par une relation lisse totalement nouvelle, spécifique et très avantageuse. Par conséquent, au moins pour des petits ordres, pour chaque puissance optique de la LIO, chacune des surfaces optiques antérieure et postérieure est caractérisée par son rayon de courbure. Toutes les relations entre ces paramètres et la puissance optique de la LIO étant régulières, les variations de la géométrie des surfaces optiques antérieure et postérieure par rapport à la puissance optique de la LIO sont alors prédéterminées et régulières, ce qui permet (au moins localement) une variation contrôlée et régulière très avantageuse de l'EDOF par rapport à la puissance optique de la LIO, l'ouverture et des aberrations sphériques cornéennes.

[0015] Ces variations régulières contrôlées directes ou indirectes des paramètres des équations de surfaces optiques antérieure et postérieure par rapport à la puissance optique de la LIO sont très importantes pour obtenir cet effet technique. En particulier, il convient de souligner que la présente invention propose une optimisation globale des paramètres des équations en prenant en compte cet objectif de dépendance à l'EDOF limitée. Elle n'utilise pas d'optimisation séparée de chacun des paramètres indépendamment pour chaque puissance optique de la LIO, ce qui serait une approche plus naïve mais générerait également une forte dépendance d'EDOF à la puissance optique de la LIO.

[0016] De plus, et avantageusement, l'invention tient également compte de la fonction de transfert de modulation (FTM) (c.-à-d. une mesure de banc optique utilisée pour évaluer la performance d'une lentille, grosso modo une fonction de résolution d'image ; plus précisément, cette fonction est connue d'un homme du métier et précise combien de contraste est saisi en fonction de la fréquence spatiale) qui est associée à la LIO. En général, la FTM à la meilleur focalisation (c.-à-d. pour les

distances lointaines) est inversement liée à l'EDOF, ce qui rend très difficile l'obtention d'une dépendance limitée à la fois de la FTM et de l'EDOF à la puissance optique de la LIO, aux aberrations sphériques d'un modèle de cornée qui équipe un banc optique et à l'ouverture. Mais, dans
5 le cas de la présente invention, les paramètres d'équations définissant les surfaces optiques antérieure et postérieure varient de manière à obtenir une dépendance aussi limitée. Ceci est illustré dans la description détaillée, compte tenu des figures 6C et 8, ci-après présentées.

[0017] Un autre avantage de la présente invention est que ces
10 relations entre l'EDOF, la puissance optique de la LIO et les paramètres d'équations facilitent la conception de LIO de différentes puissances optiques en vue de la fabrication en utilisant les technologies actuelles car elle peut être configurée en utilisant lesdites équations ainsi que les relations $\kappa_{st}(R_{st})$ et $\kappa_{nd}(R_{nd})$. De manière plus générale, il convient de
15 souligner que ces nouvelles relations exprimant la constante de conicité des surfaces optiques antérieure et postérieure de la LIO selon l'invention en fonction du rayon de courbure de cette surface ouvre avantageusement des perspectives techniques dans la conception et/ou la fabrication des LIO, notamment des LIO monofocales comprenant une
20 surface optique dont la constante de conicité est exprimée en fonction de son rayon de courbure par une de ces relations.

[0018] Dans le cadre du présent document, un « axe optique » d'un
œil consiste préférentiellement en un vecteur traversant l'œil d'un côté à l'autre, dirigé par son segment antérieur, comprenant successivement, la
25 cornée, l'iris et le cristallin naturel ou la lentille intraoculaire revendiquée, vers son segment postérieur, comprenant notamment la rétine. Pour une LIO selon l'invention dans une position d'implantation dans un œil, l'axe optique de l'œil est dirigé de la surface antérieure à la surface postérieure et correspond de préférence à l'axe optique défini intrinsèquement par
30 rapport à la LIO. En particulier, le terme axe optique est présentement et

préférentiellement utilisé dans ce document comme l'axe de référence par rapport à l'œil et/ou à la LIO.

[0019] Dans le cadre du présent document, un côté et/ou une surface « antérieure » (ou respectivement « postérieure ») d'une partie
5 d'un œil ou d'une LIO consiste préférentiellement en un côté et/ou une surface située en amont (ou respectivement, en aval) de la partie de l'œil ou de la LIO par rapport au vecteur défini par l'axe optique. Par exemple, dans un œil, l'iris est situé antérieurement par rapport au cristallin naturel ou à la lentille intraoculaire revendiquée ; une surface postérieure de l'iris
10 est donc une partie de l'iris qui est la plus proche de ce cristallin ou de cette lentille. De même, lorsqu'une première partie d'un œil ou d'une LIO est antérieurement (ou respectivement postérieurement) au-dessus d'une seconde partie d'un œil ou d'une LIO, il s'ensuit que cette première partie est située antérieurement (ou respectivement postérieurement) par
15 rapport à cette seconde partie. De même, une surface optique est dite « antérieurement concave (resp. convexe) » lorsqu'elle est vue comme concave (resp. convexe) en regardant la surface optique dans la même direction et dans le même sens que le vecteur défini par l'axe optique (c'est-à-dire en suivant les propagations des rayons lumineux), et une
20 surface optique est dite « postérieurement concave (resp. convexe) » quand on regarde la surface optique dans la même direction et le sens opposé que le vecteur défini par l'axe optique. Les notions susmentionnées d'antériorité, de postériorité ou même d'axe optique par rapport à des parties d'un œil et/ou d'une LIO sont connues de l'homme
25 du métier.

[0020] Dans le cadre de la présente invention, les première et seconde surfaces sont toujours différentes. De préférence, dans le cadre de l'ensemble du document, la première surface est la surface optique antérieure et la seconde surface est la surface optique postérieure.
30 Néanmoins, il est possible d'inverser les surfaces de LIO dans le cadre de l'invention tout en conservant les principales propriétés optiques

avantageuses détaillées ci-dessus. Pour la facilité de lecture, dans le cadre de ce document, les indices *st* et *nd* des paramètres d'équations sont remplacés par les indices *ant* et *post* lorsqu'il est spécifiquement fait référence aux paramètres de surface optique antérieurs ou postérieurs.

5 Par exemple, R_{ant} et R_{post} correspondent aux rayons de courbure des surfaces optiques antérieure et postérieure respectivement (évaluées à leur sommet respectif). Les indices *st* et *nd* sont également remplacés respectivement par les indices *ant* et *post* dans le cadre du présent document, lorsque les première et seconde surfaces sont considérées
10 comme étant respectivement les surfaces optiques antérieure et postérieure.

[0021] Dans le cadre de la présente invention, telle qu'il est généralement connu par l'homme du métier, le « sommet » d'une surface optique (par exemple, la surface optique antérieure ou la surface optique
15 postérieure) est défini de préférence comme un point d'intersection de cette surface optique avec l'axe optique.

[0022] Dans le cadre de cette invention, le « rayon de courbure » d'une surface asphérique (par exemple, les surfaces optiques antérieure ou postérieure) évalué au sommet de cette surface est la distance entre
20 ledit sommet et un centre de courbure de la surface à ce sommet. Le signe conventionnel de ce rayon de courbure est défini préférentiellement comme étant le signe de la composante, mesurée le long de l'axe optique, du (vecteur de) déplacement depuis ledit sommet jusqu'audit centre de courbure. Alors, la surface optique antérieure est antérieurement concave
25 (resp. antérieurement convexe) à son sommet si et seulement si son rayon de courbure évalué à son sommet est négatif (resp. positif), et la surface optique postérieure est postérieurement concave (resp. postérieurement convexe) à son sommet si et seulement si son rayon de courbure évalué à son sommet est positif (resp. négatif). En particulier,
30 pour la LIO selon la présente invention, comme $R_{nd} < 0$, la seconde

surface de la LIO est postérieurement convexe et antérieurement concave à son sommet et autour de ce dernier.

[0023] Selon la terminologie d'un homme du métier, la LIO selon l'invention est dite « bi-convexe » si $R_{ant} > 0$ et $R_{post} < 0$, c'est-à-dire si et
5 seulement si la surface optique antérieure est antérieurement convexe et si la surface optique postérieure est postérieurement convexe. Selon la terminologie d'un homme du métier, la LIO selon l'invention est dite « concave-convexe » si $R_{ant} < 0$ et $R_{post} < 0$, c'est-à-dire si la surface
10 optique antérieure est antérieurement concave et si la surface optique postérieure est postérieurement convexe. Ces terminologies d'un homme du métier rendent compte de l'aspect extérieur de la LIO, la surface optique antérieure étant vue antérieurement et la surface optique postérieure étant vue postérieurement.

[0024] Dans le cadre de la présente invention, il est dit que la partie
15 d'une LIO s'étend « radialement vers l'extérieur » lorsqu'elle s'étend préférentiellement selon des vecteurs perpendiculaires à l'axe optique, dirigés depuis un point commun avec l'axe optique vers des points d'un cercle centré en ce point commun. De même, on dit qu'une partie d'une LIO s'étend « circonférentiellement » lorsqu'elle s'étend préférentiellement
20 le long d'au moins un arc de cercle sur un plan perpendiculaire à l'axe optique et centré sur un point d'intersection du plan et de l'axe optique.

[0025] Il est connu d'un homme du métier que l'adjectif « distal » désigne une partie d'une portion d'un corps la plus éloignée d'un organe de référence ou du tronc corporel, et que l'adjectif « proximal » désigne
25 une autre portion d'une partie d'un corps la plus proche d'un organe de référence ou du tronc corporel. Dans le cadre du présent document, ces deux définitions s'appliqueront préférentiellement aux parties d'un œil et/ou aux parties d'une LIO selon l'invention, par rapport à une distance par rapport à l'axe optique de référence.

[0026] Dans le cadre de cette invention, le terme "distances intermédiaires" se rapporte de préférence à des distances (autour et/ou
30

approximativement à et/ou) à longueur de bras, telles que le travail sur ordinateur ou le fait de regarder un compteur de vitesse de voiture. Plus préférentiellement, ce terme fait référence à une distance entre 0,2 et 1,6 mètre, plus préférentiellement entre 0,4 et 1,0 mètre.

5 **[0027]** Dans le cadre de cette invention, certaines expressions mathématiques usuelles sont rappelées comme signifiant :

- « < 0 » signifie « strictement négatif », c'est-à-dire strictement inférieur à 0 ;
- « > 0 » signifie « strictement positif », c'est-à-dire strictement supérieur à 0 ;
- 10 • « ≤ 0 » signifie « négatif », c'est-à-dire inférieur ou égal à 0 ;
- « ≥ 0 » signifie « positif », c'est-à-dire supérieur ou égal à 0 ;
- « \in » signifie « appartient à » ;
- « \mathbb{R} » fait référence à l'ensemble des nombres réels ;
- 15 • « $\mathbb{R} \setminus \{0\}$ » fait référence à l'ensemble des nombres réels non nuls ;
- pour $\gamma \in \mathbb{R}$ et $\delta \in \mathbb{R}$ de sorte que $\gamma < \delta$, « $[\gamma, \delta]$ » se rapporte à l'intervalle fermé des nombres entre γ et δ , ceux-ci étant inclus.

En outre, il est également bien connu par la convention de sommation d'Einstein que :

$$\sum_{i \geq 2} \alpha_{2i} r^{2i} = \alpha_4 r^4 + \alpha_6 r^6 + \alpha_8 r^8 + \alpha_{10} r^{10} + \dots,$$

20 l'indice « i » étant ici un entier supérieur ou égal à 2.

[0028] Dans le cadre du présent document, la « fonction d'erreur de Gauss » dénotée par erf se réfère à la fonction spéciale entière inversible bien connue de forme sigmoïde définie (en particulier) sur les nombres réels par

$$\text{erf} : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} : x \mapsto \text{erf}(x) := \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt.$$

25 **[0029]** Dans le cadre de cette invention, le terme « régulier » pour une fonction ou une surface se rapporte préférentiellement à une fonction ou une surface au moins différentiable (ou lisse).

[0030] Dans le cadre de ce document, l'utilisation de l'article indéfini « un », « une » ou de l'article défini « le » pour introduire un élément n'exclut pas la présence d'une pluralité de ces éléments. Dans le présent document, les termes « premier », « second », « troisième » et autres
5 termes similaires sont utilisés uniquement pour différencier les éléments et n'impliquent aucun ordre dans ces éléments.

[0031] Dans le cadre du présent document, l'emploi des verbes « comprendre », « inclure », « impliquer » ou toute autre variante, ainsi que leurs formes conjugales, ne peut en aucun cas exclure la présence
10 d'éléments autres que ceux mentionnés.

[0032] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, la LIO a une puissance optique comprise entre 10D et 35D.

[0033] Dans le cadre du présent document, une « puissance optique » d'une LIO est de préférence une puissance optique moyenne
15 mesurée sans correction dans une fenêtre (de lecture) centrée sur l'axe optique avec un diamètre de 3 mm.

[0034] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les nombres réels constants qui sont impliqués dans la définition des relations $\kappa_{st}(R_{st})$ et $\kappa_{nd}(R_{nd})$ sont dans les intervalles de valeurs suivants :

20 $a \in [0,050 ; 0,075]$ et/ou $b \in [-1 ; 0]$ et/ou $c \in [-20 ; 0]$ et/ou
 $A \in [-41 ; -39]$ et/ou $B \in [0,07 ; 0,13]$ et/ou $C \in [-2,6 ; -2,0]$ et/ou
 $D \in [0,75 ; 1,25]$ et/ou $f \in [0,08 ; 0,12]$ et/ou $g \in [1,0 ; 1,6]$ et/ou
 $h \in [0 ; 9]$.

Dans ce cas, ces intervalles sont considérés de préférence en
25 combinaison, tous les termes « et/ou » étant de préférence « et ». Plus préférentiellement, ces nombres réels constants se situent dans des intervalles plus petits de valeurs telles que : $a \in [0,055 ; 0,070]$ et/ou
 $b \in [-0,7 ; -0,2]$ et/ou $c \in [-15 ; -5]$ et/ou $A \in [-40,5 ; -39,5]$ et/ou
 $B \in [0,08 ; 0,10]$ et/ou $C \in [-2,4 ; -2,2]$ et/ou $D \in [0,85 ; 1,15]$ et/ou
30 $f \in [0,09 ; 0,11]$ et/ou $g \in [1,20 ; 1,45]$ et/ou $h \in [3 ; 7]$. Dans ce cas, de préférence, ces intervalles sont considérés en combinaison, tous les

termes « et/ou » étant de préférence « et ». Plus préférentiellement encore, ces nombres réels constants sont dans des intervalles encore plus petits de valeurs telles que : $a \in [0,060 ; 0,065]$ et/ou $b \in [-0,5 ; -0,3]$ et/ou $c \in [-12 ; -10]$ et/ou $A \in [-40,1 ; -39,9]$ et/ou $B \in [0,090 ; 0,095]$ et/ou $C \in [-2,35 ; -2,25]$ et/ou $D \in [0,9 ; 1,1]$ et/ou $f \in [0,095 ; 0,105]$ et/ou $g \in [1,25 ; 1,40]$ et/ou $h \in [4 ; 6]$. Dans ce cas, encore une fois de préférence, ces intervalles sont considérés en combinaison, tous les termes "et/ou" étant de préférence « et ».

[0035] Les valeurs exactes pour chacun de ces nombres réels constants peuvent être données optionnellement comme suit : $a = 0,0621$ et/ou $b = -0,396$ et/ou $c = -11,035$ et/ou $A = -40$ et/ou $B = 0,092$ et/ou $C = -2,29$ et/ou $D = 1$ et/ou $f = 0,0989$ et/ou $g = 1,277$ et/ou $h = 4,663$. Chacune de ces valeurs peut être considérée seule ou en combinaison avec une ou plusieurs autres valeurs, tous les termes « et/ou » étant de préférence « et ». Il faut souligner que ces valeurs peuvent être obtenues par des courbes d'interpolation et/ou d'approximation de valeurs réelles particulières choisies pour le rayon de courbure et la constante de conicité des équations asphériques définissant les surfaces optiques antérieure et postérieure. En particulier, bien qu'un tel choix de valeurs exactes fournisse une LIO selon l'invention, les variations autour de ces valeurs exactes restent pleinement dans la portée de l'invention. Ceci est en outre commenté dans la description détaillée compte tenu des figures 5A-C, ci-après introduites.

[0036] En particulier, d'autres valeurs exactes peuvent être considérées comme plus fidèles en ce qui concerne le choix spécifique du rayon de courbure et de la constante de conicité pour les surfaces optiques antérieure et postérieure. Par exemple, pour une LIO dont la puissance optique est inférieure ou égale à 27,5 D, les nombres réels constants f , g et h sont plus préférentiellement exactement donnés par : $f = 0,1032$ et/ou $g = 1,372$ et/ou $h = 5,1353$. Ces valeurs sont de préférence considérées en combinaison, les termes « et/ou » étant de

préférence « et ». Ceci est particulièrement commenté ci-après au vu de la figure 5C.

[0037] Selon un premier mode de réalisation préféré de l'invention, la LIO présente une puissance optique inférieure ou égale à 14D, et $R_{st} < 0$. En particulier, la première surface est alors antérieurement concave et postérieurement convexe à son sommet. Selon un deuxième mode de réalisation préféré de l'invention, la LIO présente une puissance optique strictement supérieure à 14D, et $R_{st} > 0$. En particulier, la première surface est alors antérieurement convexe et postérieurement concave à son sommet. En d'autres termes, en combinant ces deux modes de réalisation préférés, de préférence, la puissance optique de la LIO est inférieure ou égale à 14D si et seulement si $R_{st} < 0$.

[0038] De préférence, selon l'un quelconque de ces modes de réalisations préférés, le rayon de courbure R_{st} de la première surface dépend de façon continue et régulière de la puissance optique (sur l'intervalle considéré de définition de la puissance optique mentionné ci-dessus). De préférence et indépendamment de ces modes de réalisation préférés, le rayon de courbure R_{nd} de la seconde surface dépend de façon continue et régulière de la puissance optique de la lentille intraoculaire. La continuité et la régularité de la variation du rayon de courbure de chacune des surfaces optiques est une option naturellement préférée pour mettre en œuvre l'effet technique souhaité de l'invention. Elle implique également une régularité de la variation de la constante de conicité de chacune des surfaces optiques telle qu'elle s'exprime de façon régulière en fonction du rayon de courbure associé.

[0039] Dans le cadre de l'invention, au moins un des coefficients d'asphéricité d'au moins une des équations de surfaces optiques antérieure et postérieure (de préférence des deux équations de surfaces optiques) est non nul. L'optique de l'LIO est dotée d'un design asphérique qui permet une extension de la profondeur de champ grâce à l'apport de ces coefficients d'asphéricité non nuls. Selon un mode de réalisation

préféré de l'invention, les coefficients d'asphéricité d'ordre inférieur ou égal à 10 des surfaces optiques antérieure et/ou postérieure sont non nuls. L'apport de tous ces coefficients d'asphéricité non nuls permet d'obtenir une performance d'EDOF très élevée. Il induit notamment une géométrie
 5 asphérique complète pour les surfaces optiques antérieure et/ou postérieure comprenant un anneau de point de retournement de courbure (c'est-à-dire des points d'inflexion) à mi diamètre optique. De préférence, les coefficients d'asphéricité suivent les relations :

$$0 < |\alpha_{10}^{st}| < |\alpha_8^{st}| < |\alpha_6^{st}| < |\alpha_4^{st}| < 0,01$$

et/ou

$$0 < |\alpha_{10}^{nd}| < |\alpha_8^{nd}| < |\alpha_6^{nd}| < |\alpha_4^{nd}| < 0,01.$$

10 Ces coefficients d'asphéricité correspondent à une perturbation de bord de la forme générale des surfaces asphériques autour de leur sommet. De préférence, les coefficients d'asphéricité d'ordre strictement supérieurs à 10 des surfaces optiques antérieure et/ou postérieure sont négligeables et/ou approximés par et/ou égaux à zéro.

15 **[0040]** De préférence, les coefficients d'asphéricité des surfaces optiques antérieure et/ou postérieure dépendent de façon continue et régulière d'une puissance optique de la lentille intraoculaire. En particulier, de préférence, tous les paramètres (rayon de courbure, constante de conicité et coefficients d'asphéricité) définissant les surfaces optiques
 20 antérieure et/ou postérieure dépendent de façon régulière de la puissance optique de la LIO.

[0041] En tant que modes de réalisation spécifiques de l'invention, il est maintenant fourni des équations exactes pour les surfaces optiques antérieure et postérieure (asphériques) d'une LIO d'une sélection de
 25 puissances optiques prédéterminées :

- selon un premier mode de réalisation spécifique de l'invention, une puissance optique de la LIO est de 15 D et

$$R_{ant} = 79,63 \text{ mm} \text{ et/ou } \kappa_{ant}(R_{ant}) = -80,00 \text{ et/ou}$$

$$\alpha_4^{ant} = -0,0028436 \text{ et/ou } \alpha_6^{ant} = 0,0011285 \text{ et/ou}$$

$$\alpha_8^{ant} = -0,0003426 \text{ et/ou } \alpha_{10}^{ant} = 0,0000385 \text{ et/ou}$$

$$R_{post} = -13,82 \text{ mm et/ou } \kappa_{post}(R_{post}) = 5,95 \text{ et/ou}$$

$$\alpha_4^{post} = -0,0019988 \text{ et/ou } \alpha_6^{post} = 0,0012797 \text{ et/ou}$$

$$\alpha_8^{post} = -0,0004066 \text{ et/ou } \alpha_{10}^{post} = 0,0000483 ;$$

- 5 • selon un second mode de réalisation spécifique de l'invention, une puissance optique de la LIO est de 20 D et

$$R_{ant} = 21,60 \text{ mm et/ou } \kappa_{ant}(R_{ant}) = -25,61 \text{ et/ou}$$

$$\alpha_4^{ant} = -0,0045458 \text{ et/ou } \alpha_6^{ant} = 0,0024547 \text{ et/ou}$$

$$\alpha_8^{ant} = -0,0007700 \text{ et/ou } \alpha_{10}^{ant} = 0,0000865 \text{ et/ou}$$

10 $R_{post} = -15,21 \text{ mm et/ou } \kappa_{post}(R_{post}) = 8,10 \text{ et/ou}$

$$\alpha_4^{post} = -0,0035812 \text{ et/ou } \alpha_6^{post} = 0,0025087 \text{ et/ou}$$

$$\alpha_8^{post} = -0,0008240 \text{ et/ou } \alpha_{10}^{post} = 0,0000988 ;$$

- selon un troisième mode de réalisation spécifique de l'invention, une puissance optique de la LIO est de 25 D et

15 $R_{ant} = 11,47 \text{ mm et/ou } \kappa_{ant}(R_{ant}) = -3,67 \text{ et/ou}$

$$\alpha_4^{ant} = -0,0050469 \text{ et/ou } \alpha_6^{ant} = 0,0030927 \text{ et/ou}$$

$$\alpha_8^{ant} = -0,0009930 \text{ et/ou } \alpha_{10}^{ant} = 0,0001136 \text{ et/ou}$$

$$R_{post} = -19,47 \text{ mm et/ou } \kappa_{post}(R_{post}) = 17,61 \text{ et/ou}$$

$$\alpha_4^{post} = -0,0040138 \text{ et/ou } \alpha_6^{post} = 0,0031780 \text{ et/ou}$$

20 $\alpha_8^{post} = -0,0010891 \text{ et/ou } \alpha_{10}^{post} = 0,0001352.$

Pour chacune des puissances optiques mentionnées ci-dessus, ces données explicites sont de préférence considérées en combinaison. Dans le cadre du présent document, toutes les données explicites mentionnées en tant que paramètres géométriques pour les surfaces optiques antérieure et postérieure sont données pour la LIO à l'état sec.

[0042] La géométrie apparente des surfaces optiques antérieure et postérieure est maintenant décrite. De préférence, selon le mode de réalisation de l'invention pour laquelle la puissance optique de la LIO est strictement supérieure à 14D :

- une fonction d'élévation évaluée sur une coordonnée radiale sur la surface optique antérieure, prenant un plan perpendiculaire à l'axe optique comme plan de référence d'élévation nulle et prenant l'axe optique comme axe de référence pour une évaluation d'élévation :

- 5
- présente un minimum local au sommet de la surface optique antérieure,
 - est croissante depuis le sommet de la surface optique antérieure jusqu'à un bord de cette surface ;

- une fonction d'élévation évaluée sur une coordonnée radiale sur la surface optique postérieure, prenant le plan perpendiculaire à l'axe optique comme plan de référence d'élévation nulle et prenant l'axe optique comme axe de référence pour une évaluation d'élévation, présente :

- 10
- un maximum local au sommet de la surface optique postérieure,
 - un minimum local périphérique à une distance positive d'un bord de la surface optique postérieure,
 - un point d'inflexion situé entre ledit maximum local et ledit minimum local périphérique,
- 15

et :

- est décroissante depuis le sommet de la surface optique postérieure jusqu'au minimum local périphérique,
 - est croissante depuis le minimum local périphérique jusqu'à un bord de cette surface optique postérieure.
- 20

[0043] De préférence, selon des modes de réalisation de l'invention pour lesquels la puissance optique de la LIO est strictement supérieure à 12D et inférieure ou égale à 14D :

25

- une fonction d'élévation évaluée sur une coordonnée radiale sur la surface optique antérieure, prenant un plan perpendiculaire à l'axe optique comme plan de référence d'élévation nulle et prenant l'axe optique comme axe de référence pour une évaluation d'élévation, présente :

- 30
- un maximum local au sommet de la surface optique antérieure,

- un minimum local périphérique à une distance positive d'un bord de la surface optique antérieure,
- un point d'inflexion situé entre ledit maximum local et ledit minimum local périphérique,

5 et :

- est décroissante depuis le sommet de la surface optique antérieure jusqu'audit minimum local périphérique,
- est croissante depuis ledit minimum local périphérique jusqu'à un bord de la surface optique antérieure.

10 - une fonction d'élévation évaluée sur une coordonnée radiale sur la surface optique postérieure, prenant le plan perpendiculaire à l'axe optique comme plan de référence d'élévation nulle et prenant l'axe optique comme axe de référence pour une évaluation d'élévation, présente :

- un maximum local au sommet de la surface optique postérieure,
- 15 • un minimum local périphérique à une distance positive d'un bord de la surface optique postérieure,
- un point d'inflexion situé entre ledit maximum local et ledit minimum local périphérique,

et :

- 20 • est décroissante depuis le sommet de la surface optique postérieure jusqu'au minimum local périphérique,
- est croissante depuis le minimum local périphérique jusqu'à un bord de cette surface optique postérieure.

25 En particulier, dans ce cas, les deux fonctions d'élévation des surfaces optiques antérieure et postérieure ont un profil similaire.

[0044] De préférence, selon les modes de réalisation de l'invention pour lesquels la puissance optique de la LIO est inférieure ou égale à 12D :

30 - une fonction d'élévation évaluée sur une coordonnée radiale sur la surface optique antérieure, prenant un plan perpendiculaire à l'axe optique

comme plan de référence d'élévation nulle et prenant l'axe optique comme axe de référence pour une évaluation d'élévation :

- présente un maximum local au sommet de la surface optique antérieure,
- 5 • est décroissante du sommet de la surface optique antérieure à un bord de cette surface ;

- une fonction d'élévation évaluée sur une coordonnée radiale sur la surface optique postérieure, prenant le plan perpendiculaire à l'axe optique comme plan de référence d'élévation nulle et prenant l'axe optique
10 comme axe de référence pour une évaluation d'élévation :

- présente un maximum local au sommet de la surface optique postérieure,
- est décroissante depuis le sommet de la surface optique postérieure jusqu'à un bord de cette surface.

15 En particulier, dans ce cas, les deux fonctions d'élévation des surfaces optiques antérieure et postérieure ont des profils similaires.

[0045] Ces propriétés géométriques des surfaces optiques antérieure et postérieure décrites dans les trois paragraphes précédents sont dues à l'asphéricité de ces surfaces régie par l'équation (asphérique)
20 pour ces surfaces, en particulier pour les modes de réalisation préférés de l'invention pour lesquelles les coefficients d'asphéricité d'ordre inférieur ou égal à 10 des surfaces optiques antérieure et postérieure sont non nuls. Ces propriétés géométriques confèrent à la LIO une qualité optique élevée (décrite par une FTM élevé) et font que l'EDOF ne dépend que
25 marginalement de la puissance optique, de l'ouverture et des aberrations sphériques cornéennes.

[0046] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les surfaces optiques antérieure et postérieure sont découpées dans un biomatériau brut hydrophobe d'indice de réfraction compris entre 1,40 et
30 1,65. De préférence, ce biomatériau brut ne scintille pas. Les scintillements aussi appelés microvacuoles remplis de liquide se forment

dans certains matériaux de LIO et peuvent se développer après l'implantation de LIO sous diverses formes, tailles et densités. Certaines LIO sur le marché développent des scintillements après implantation qui peuvent avoir un impact sur la qualité de la vision. De préférence, le biomatériau brut contient un bloqueur UV (dans la gamme strictement inférieure à 400 nm) et/ou un chromophore jaune pour réduire la transmission d'une lumière potentiellement phototoxique dans la gamme bleu-violet (entre 400 et 500 nm). De préférence, l'indice de réfraction est égal à 1,52.

10 **[0047]** Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les surfaces optiques antérieure et postérieure sont séparées par un corps interne d'une épaisseur centrale prédéterminée, mesurée le long de l'axe optique, et comprend entre 0,30 et 0,70 mm. Avantageusement, cette épaisseur centrale permet d'attacher des haptiques flexibles à une

15 périphérie d'une optique composée du corps interne et des surfaces optiques antérieure et postérieure.

[0048] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les surfaces optiques antérieure et postérieure ont toutes deux un diamètre, mesuré perpendiculairement à l'axe optique, compris entre 4,70 et 5,00

20 mm, de préférence entre 4,80 et 4,95 mm, plus préférentiellement entre 4,85 et 4,91 mm. Ce diamètre se réfère de préférence à l'optique dite claire. Il est ciblé autour de la valeur 5 mm lors de la fabrication de l'optique de LIO (ou partie optique centrale). Néanmoins, comme il est décrit ci-après, la jonction entre les haptiques de la LIO et son optique doit

25 être optimisée, ce qui génère une réduction potentielle de l'optique claire qui est plus généralement d'environ 4,85 mm après la fabrication de LIO. En particulier, la géométrie des surfaces optiques antérieure et postérieure s'arrête aux bords de l'optique de LIO définis par sa jonction avec les haptiques.

30 **[0049]** Selon un mode de réalisation de l'invention, une réfraction optique combinée des surfaces optiques antérieure et postérieure avec un

modèle de cornée (antérieurement externe à la LIO) fournit une fonction continue et régulière de puissance optique comprenant un maximum global central (puissance dioptrique) (qui peut être associé à une vision à distance plus proche, par exemple une distance intermédiaire) le long de l'axe optique entouré par une région centrale étendue de puissance optique inférieure (pour une vision à distance plus éloignée, par exemple, lointaine). Le terme « inférieur » doit être interprété par rapport au maximum global central (puissance de crête). Cette fonction régulière est illustrée dans les figures 10A-B, ci-après présentées. Il en résulte naturellement un EDOF fourni par la LIO. Il est avantageux de signaler que la fonction de puissance optique est régulière. En particulier, la LIO fournit au patient une qualité optique élevée pour différentes distances simultanément, sans changement brusque de la puissance optique suivant l'optique susceptible de provoquer des effets secondaires tels que lumière diffusée, halos ou éblouissement.

[0050] Selon un mode de réalisation très préféré de l'invention, la lentille intraoculaire selon l'invention comprend :

- une partie optique centrale (ou optique) dont :
 - une surface antérieure est la surface optique antérieure, et
 - une surface postérieure est la surface optique postérieure ;
- une pluralité d'haptiques flexibles reliées à la partie optique centrale, et configurées pour stabiliser la lentille intraoculaire dans un sac capsulaire d'un œil aphaque.

Le terme « central » se rapporte à l'extension de l'optique autour et/ou centrée sur l'axe optique. Le terme « central » ne se réfère de préférence pas à une partie de l'optique de la LIO et consiste de préférence à toute la partie optique de l'optique de la LIO. De préférence, la première surface est la surface optique antérieure.

[0051] De préférence, la LIO comprend quatre haptiques flexibles fermées, chacune formant une boucle basée sur la partie optique centrale. De préférence, une épaisseur haptique mesurée le long de l'axe optique

est comprise entre 0,20 et 0,50 mm, de préférence égale à 0,34 mm. De préférence, les haptiques sont constituées d'un même biomatériau brut hydrophobe que la partie optique centrale. De préférence, les haptiques sont découpées par une fraiseuse. De préférence, la pluralité d'haptiques flexibles consiste en quatre haptiques flexibles fermées, chacune formant une boucle basée sur la partie optique centrale. Ces quatre haptiques flexibles fermées sont disposées de préférence symétriquement autour de la partie optique centrale, le long des diagonales d'un rectangle, fournissent quatre points de contact, permettant un angle de contact maximal entre les haptiques et les tissus oculaires environnants lorsque la LIO est utilisée normalement dans un œil aphaque. Par conséquent, la compensation contrôlée des variations de taille des sacs capsulaires est avantageusement possible grâce à la déformation radiale des haptiques.

[0052] De préférence, une distance, mesurée le long de l'axe optique, entre un sommet (antérieur) d'une haptique flexible et un plan optique principal (ou médian) de la partie optique centrale dépend de façon continue et régulière d'une puissance optique de la lentille intraoculaire. Il est avantageux et important de prendre en compte cette distance et de la calculer comme une fonction de la puissance optique de la LIO. En effet, comme mentionné précédemment, la géométrie asphérique des surfaces optiques antérieure et postérieure varie de façon régulière en fonction de la puissance optique de la LIO. Ceci implique que le plan optique principal n'est pas constant et change de position en fonction de la puissance optique de la LIO. Il est alors d'une importance majeure d'adapter également la liaison entre les haptiques et la partie optique centrale en position parallèle à l'axe optique (créant alors un décalage) et en angle entre le plan optique principal et une partie proximale des haptiques à leur liaison avec la partie optique centrale. C'est aussi important que d'adapter correctement les branches des lunettes à un corps. Avantageusement, la présente invention propose d'en tenir compte à travers la distance mentionnée ci-dessus. De plus, la

géométrie des haptiques et la distance sont également choisies de préférence pour assurer la stabilité de la LIO parallèlement à l'axe optique lorsqu'elle est implantée dans un sac capsulaire d'un œil aphaque. De préférence, elle est limitée à (bornée par) 0,45 mm et augmente de façon continue pour des puissances optiques croissantes. Cette distance en fonction de la puissance optique de la LIO est également commentée dans la description détaillée, compte tenu des figures 12A-B, ci-après présentées.

[0053] Cette distance et les avantages qui en découlent font partie intégrante de l'invention. En particulier, la présente invention fournit également une lentille intraoculaire (LIO) comprenant :

- une partie optique centrale (ou optique) comprenant :
 - une surface optique antérieure asphérique, et
 - une surface optique postérieure asphérique ;
- une pluralité d'haptiques flexibles reliés à la partie optique centrale ;

où une distance, mesurée le long de l'axe optique, entre un sommet d'une haptique flexible et un plan optique principal de la partie optique centrale dépend de façon continue et régulière d'une puissance optique de la LIO. L'un quelconque des modes de réalisation et/ou avantages de la LIO du paragraphe [0008] décrit précédemment peut être étendu à cette autre LIO selon l'invention.

[0054] Selon un mode de réalisation préféré de la présente invention, la LIO est de forme invariante sous une rotation de 180° autour de l'axe optique. Il est alors plus facile d'insérer et de manipuler la LIO dans un œil car sa forme et, en particulier, la forme des haptiques, suit naturellement l'ajustement potentiel de position en rotation au moment de l'intervention.

[0055] La présente invention prévoit également un procédé de fabrication d'une lentille intraoculaire selon l'invention comprenant les étapes :

(a) modéliser une optique ayant une configuration de profil de surface optique asphérique ;

(b) calculer une distribution d'efficacité de réfraction pour la lumière se propageant à travers l'optique modélisée ;

5 (c) sélectionner des paramètres de profil de surfaces optiques asphériques en fonction de la distribution d'efficacité de réfraction calculée, de façon à obtenir l'efficacité de réfraction souhaitée ; et

(d) former l'optique modélisée avec les paramètres sélectionnés à partir d'un biomatériau brut.

10 **[0056]** Le procédé de fabrication selon l'invention fournit facilement aux LIO des paramètres optimisés pour une vision de qualité améliorée à des distances lointaines et intermédiaires. Les modes de réalisation et les avantages de la LIO selon l'invention sont transposés mutatis mutandis au procédé selon l'invention. De préférence, l'étape (c) est réalisée à partir
15 d'un tableau de paramètres comprenant des paramètres de profil de surfaces asphériques optimisés pour chaque puissance optique de la LIO souhaités associée aux efficacités réfractives souhaitées, ces paramètres étant déterminés très facilement en fonction des relations prédéterminées $\kappa_{st}(R_{st})$ et $\kappa_{nd}(R_{nd})$.

20

Brève description des figures

[0057] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaissent à la lecture de la description détaillée suivante, pour la compréhension de laquelle, il est renvoyé aux figures ci-jointes
25 où :

- la figure 1 illustre une représentation plane simplifiée d'une surface antérieure d'une LIO selon un mode de réalisation préféré de l'invention ;

30 - la figure 2 illustre une comparaison simplifiée entre la focalisation de la lumière par une lentille monofocale et la focalisation de la lumière par la LIO selon l'invention ;

- les figures 3A-D illustrent des vues en coupe des surfaces optiques antérieure et postérieure d'une LIO selon des modes de réalisation préférés de l'invention ;

- la figure 4 illustre une vue schématique d'une surface asphérique ;

5 - la figure 5A illustre une représentation graphique de la constante de conicité de la première surface selon des modes de réalisation préférés de l'invention, définie en fonction de son rayon de courbure lorsque ce dernier est positif ;

10 - la figure 5B illustre une représentation graphique de la constante de conicité de la première surface selon des modes de réalisation préférés de l'invention, définie en fonction de son rayon de courbure lorsque ce dernier est négatif ;

15 - la figure 5C illustre une représentation graphique de la constante de conicité de la seconde surface en fonction des modes de réalisation préférés de l'invention, définie en fonction de son rayon de courbure ;

20 - les figures 6A-C illustrent des représentations graphiques expérimentales (sur banc optique) et interpolées de l'EDOF, de l'aberration sphérique (de quatrième ordre) et de la FTM des LIO en fonction de leur puissance optique nominale, selon des modes de réalisation préférés de l'invention ;

- la figure 7 illustre des représentations graphiques de l'EDOF d'une LIO de puissance dioptrique moyenne selon un mode de réalisation préféré de l'invention, en conjonction avec une ouverture, pour trois modèles différents d'aberrations sphériques cornéennes ;

25 - la figure 8 illustre des représentations graphiques de la FTM d'une LIO de puissance dioptrique moyenne selon un mode de réalisation préféré de l'invention, en fonction d'une ouverture, pour trois modèles différents d'aberrations sphériques cornéennes ;

30 - chacune des figures 9A-C illustre des représentations graphiques d'aberrations sphériques (de quatrième ordre) en fonction d'une ouverture,

pour un modèle de cornée, pour une LIO selon un mode de réalisation préféré de l'invention, et pour la combinaison de ces deux ;

5 - les figures 10A-B illustrent des fonctions de puissance optique obtenues par réfraction optique combinée des surfaces optiques antérieure et postérieure selon des modes de réalisation de l'invention avec un modèle de cornée ;

- les figures 11A-C illustrent des représentations en coupe simplifiées des LIO selon des modes de réalisation préférés de l'invention ;

10 - la figure 12A illustre un lien entre une haptique et la partie optique centrale d'une LIO selon un mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 12B illustre une représentation graphique de la distance mesurée le long de l'axe optique, entre un sommet d'haptique flexible et un plan optique principal d'une partie optique centrale de LIO selon des modes de réalisation préférés de l'invention, en fonction de la puissance optique de la LIO ;

- la figure 13 illustre des représentations graphiques de mesures sur un banc optique d'une FTM par foyer d'une LIO selon un mode de réalisation préféré de l'invention et d'une LIO monofocale standard.

20 **[0058]** Les dessins des figures ne sont pas à l'échelle. En général, des éléments similaires sont assignés avec des références similaires dans les figures. Dans le cadre du présent document, des éléments identiques ou analogues peuvent avoir les mêmes références. En outre, la présence de numéros de référence dans les dessins ne peut pas être considérée
25 comme limitative, notamment lorsque ces numéros sont indiqués dans les revendications.

[0059] Néanmoins, les figures 5A-C, 6A-C, 7, 8 et 9A-C qui illustrent des représentations graphiques sont réputées reproduire fidèlement des données de mesures et/ou des courbes d'interpolation (ou
30 d'approximation) de telle sorte que ces figures divulguent chaque valeur

ou intervalle de valeurs pouvant dériver de ces représentations graphiques.

5 Description détaillée des modes de réalisation spécifiques de l'invention

[0060] Cette partie présente une description détaillée des modes de réalisation préférés spécifiques de l'invention. Ceux-ci sont décrits avec des références à des figures, mais l'invention n'est pas limitée par ces références. En particulier, les dessins ou figures décrits ci-dessous ne sont que schématiques et ne sont en aucun cas limitatifs. La présente description détaillée ne se réfère qu'au mode de réalisation préféré de l'invention dans lequel les première et seconde surfaces sont respectivement les surfaces optiques antérieure et postérieure. Donc, pour la facilité de lecture, les indices *st* et *nd* sont respectivement remplacés par les indices *ant* et *post*. De plus, le numéro de référence 2 (resp. 3) est utilisé dans la description détaillée et les figures pour désigner la surface optique antérieure (resp. postérieure) qui correspond alors à la première (resp. seconde) surface.

[0061] Comme l'illustrent les figures suivantes, la présente invention fournit une lentille intraoculaire réfractive (LIO) 1 à profondeur de champ étendue (EDOF) comprenant une seule surface optique antérieure asphérique 2 et une seule surface optique postérieure asphérique 3 s'étendant radialement vers l'extérieur par rapport à un axe optique Z, et symétrique en rotation autour de cet axe optique Z. Cet axe optique Z est dirigé depuis la surface optique antérieure 2 à la surface optique postérieure 3, autrement dit, d'une surface antérieure globale de la LIO 1 à une surface postérieure globale de la LIO 1. Les numéros de référence 21 et 31 représentent respectivement le sommet des surfaces optiques 2 et 3.

[0062] Chacune des surfaces optiques 2 et 3 est définie par une seule équation de forme

$$z(r) = \frac{r^2}{R \left(1 + \sqrt{1 - \frac{(1 + \kappa) r^2}{R^2}} \right)} + \sum_{i \geq 2} \alpha_{2i} r^{2i}$$

tel que décrit dans le résumé de l'invention. Pour une surface asphérique arbitraire (par exemple, la surface optique antérieure 2 ou postérieure 3) désignée plus généralement par S, qui comprend un sommet désigné plus généralement par V, la figure 4 illustre comment est définie une telle surface asphérique d'après une équation de cette forme. Cette figure illustre un cercle oscillant d'une section de la surface S (définissant alors une courbe) comprenant l'axe optique Z, au sommet V. En particulier, ce cercle se rapproche de la section de la surface S autour du sommet V. Le centre de courbure C de ce cercle est sur l'axe optique Z. Ce cercle a un rayon correspondant au rayon de courbure R de la section de la surface S évaluée au sommet V. Dans le mode de réalisation illustré à la figure 4, le signe conventionnel de ce rayon de courbure R est positif étant donné que la composante, mesurée sur l'axe optique Z, du déplacement (vecteur) du sommet V au centre de courbure C est positive. En effet, ce déplacement (vecteur) est dirigé à la fois dans la même direction et dans le même sens que l'axe optique Z. L'homme du métier sait qu'une constante de conicité de la section de la surface S, évaluée au sommet V, a défini un écart global (par exemple, un profil hyperbolique, parabolique ou elliptique) de la section de la surface S du cercle osculateur. Ces notions de rayon de courbure R et de constante de conicité κ s'étendent directement à la surface S lorsqu'elles sont évaluées au sommet V étant donné qu'une surface asphérique est symétrique en rotation autour de l'axe optique Z, au moins localement dans un voisinage du sommet V. En particulier, le rayon de courbure R correspond alors à un rayon d'une sphère osculante évalué au sommet V. Pour chaque $i \geq 2$, α_{2i} est un coefficient réel (dit coefficient d'asphéricité) d'ordre $2i$ de la surface S. Ces coefficients correspondent sensiblement aux variations (latérales) de la surface définies par le rayon de courbure R et la constante de conicité κ . En

fonction de tous ces paramètres $R, \kappa, \alpha_4, \alpha_6, \alpha_8, \dots$ l'équation définit la surface S en exprimant une donnée $z(r)$ en fonction d'une variable radiale r , les deux illustrées dans la figure 4. Les données $z(r)$ correspondent à la composante, mesurée le long de l'axe optique Z, d'un déplacement (vecteur) du sommet V à n'importe quel point de la surface à un rayon r de l'axe optique Z. De même, les données $z(r)$ correspondent à la composante Z d'un vecteur \overrightarrow{VP} où P est un point quelconque de la surface S à un rayon r de l'axe optique Z. Si l'on considère les coordonnées locales polaires (r, z) sur la surface S, également équivalentes, les données $z(r)$ correspondent à la coordonnée le long de l'axe optique Z d'un point de la surface S dont la coordonnée radiale est r (calculée à partir du sommet V). Le sommet V correspond généralement au point $(r = 0; z(r) = 0)$. Dans le mode de réalisation illustré dans la figure 4, les données $z(r)$ sont positives car ce déplacement (vecteur) est dirigé dans la même direction et dans le même sens que l'axe optique Z. Dans ce cas, la surface S est convexe antérieurement (et concave postérieurement). La figure 4 a été décrite comme une illustration très générale de l'équation susmentionnée pour les surfaces asphériques. Elle n'est pas limitative de la forme exacte des surfaces optiques revendiquées antérieure 2 et postérieure 3, de leur concavité ou convexité, du signe de leur rayon de courbure R_{ant} et R_{post} , ou du signe de leurs données $z(r)$.

[0063] Comme l'illustre la figure 1, la LIO 1 selon l'invention comprend une partie optique centrale 4 (ou optique) dont la surface antérieure est constituée par la surface optique antérieure 2, et la surface postérieure par la surface optique postérieure 3. La LIO 1 comprend également quatre haptiques flexibles fermées 5 (sous forme d'oreille de souris), chacun formant une boucle basée sur et connectée à la partie optique centrale 4. Comme expliqué dans le résumé de l'invention, ces haptiques 5 sont spécifiquement conçues pour stabiliser la LIO 1 dans un sac capsulaire d'un œil aphaque lorsque la LIO 1 est dans un état implanté. Une extension circulaire 52 des haptiques 5 s'étend autour de la

partie optique centrale 4 pour la fixation de cette dernière. Un diamètre d de la partie optique centrale 4, mesuré perpendiculairement à l'axe optique Z, est compris entre 4,70 et 5,00 mm, de préférence 4,85 mm. Un diamètre d' de la partie optique centrale 4 entourée par l'extension 52, mesuré perpendiculairement à l'axe optique Z, est compris entre 5,65 et 6,10 mm. De préférence, le diamètre d' est compris entre 5,90 et 6,10 mm, il est plus préférablement de 6,00 mm, si la puissance optique de la LIO 1 est strictement inférieure à 25D. De préférence, le diamètre d' est compris entre 5,65 et 5,85 mm, il est plus préférablement de 5,75 mm, si la puissance optique de la LIO 1 est supérieure ou égale à 25D. Un diamètre d'' de la LIO 1 (comprenant alors la partie optique centrale 4, l'extension 52 et les haptiques 5), mesuré perpendiculairement à l'axe optique Z, est compris entre 10,55 et 11,20 mm. De préférence, le diamètre d'' est compris entre 10,80 et 11,20 mm, il est plus préférablement 11,00 mm, si la puissance optique de la LIO 1 est strictement inférieure à 25D. De préférence, le diamètre d'' est compris entre 10,55 et 10,95 mm, il est plus préférablement 10,75 mm, si la puissance optique de la LIO 1 est supérieure ou égale à 25D. Avantageusement, la conception des haptiques 5 est adaptée en fonction de la puissance optique de la LIO. La flexibilité des haptiques 5 déduite de leur faible épaisseur (entre 0,30 et 0,40 mm, mesurée le long de l'axe optique Z) et de leur position autour de la partie optique centrale 4 comme illustré sur la figure 1 leur permet de se déformer radialement pour compenser les variations de taille de sac capsulaire lorsque la LIO 1 est dans un état implanté.

[0064] La géométrie asphérique avantageuse des surfaces optiques antérieure 2 et postérieure 3 de la LIO 1 selon l'invention donne une EDOF. Comme l'illustre la figure 2, la LIO 1 focalise la lumière sur un point focal "étendu", tandis qu'une LIO monofocale 1' standard focalise la lumière sur un seul point focal FP. La LIO monofocale 1' fournit une vision de qualité pour des distances lointaines sélectionnées autour du point focal FP, mais pas pour des distances proches ou intermédiaires écartées

de ce point focal FP. La LIO 1 selon l'invention permet avantageusement une extension (asymétrique) de ce point focal FP vers des distances plus proches afin de créer un EDOF fournissant une vision de qualité globalement meilleure pour une large gamme de distances intermédiaires et lointaines.

[0065] Pour obtenir cet EDOF, la LIO 1 selon l'invention comprend une surface optique antérieure 2 et une surface optique postérieure 3 qui sont toutes deux asphériques. Les figures 3A-D illustrent les profils en coupe (comprenant l'axe optique Z) des surfaces optiques antérieure 2 et postérieure 3 pour quatre puissances optiques différentes : 10D (figure 3A), 15D (figure 3B), 20D (figure 3C) et 35D (figure 3D). Pour chacune de ces figures, les axes 81 et 82 définissent un système de coordonnées cartésiennes pour définir la position des points des surfaces optiques antérieure 2 et postérieure 3 dans un plan dans lequel les profils de section sont représentés. Chacun des axes 81 et 82 est gradué en mm. L'axe 81 permet de mesurer des positions le long de l'axe optique Z. L'axe 82 permet de mesurer des positions perpendiculairement à l'axe optique Z. Les axes 81 et 82 se coupent au sommet 21 de la surface antérieure 2. Comme le diamètre d de la partie optique centrale 4, mesuré perpendiculairement à l'axe optique Z, est compris entre 4,70 et 5,00 mm, il apparaît que les profils en coupe illustrés dans les figures 3A-D sont plus étendus que les surfaces optiques antérieure 2 et postérieure 3 finalement réellement conçues et découpées pour la LIO 1.

[0066] Les surfaces optiques 2, 3 déduites de la figure 3A définissent un profil de LIO concave-convexe. La surface optique antérieure 2 est antérieurement concave tandis que la surface optique postérieure 3 est postérieurement convexe. En particulier, le rayon de courbure R_{ant} et R_{post} des surfaces optiques antérieure 2 et postérieure 3 évaluées à leur sommet 21 et 31 respectif sont négatifs, et la constante de conicité κ_{ant} et κ_{post} des surfaces optiques antérieure 2 et postérieure 3 évaluées à leur sommet 21 et 31 respectif sont positifs. Une fonction

d'élévation évaluée sur une coordonnée radiale sur l'une quelconque des surfaces optiques antérieure 2 ou postérieure 3, prenant un plan perpendiculaire à l'axe optique Z comme plan de référence d'élévation nulle et prenant l'axe optique Z comme axe de référence pour une

5 évaluation d'élévation :

- présente un maximum local à son sommet 21 ou 31,
 - est décroissante depuis son sommet 21 ou 31 jusqu'à un bord (dans la limite de la surface optique finalement coupée 2 ou 3, dont les dimensions sont associées au diamètre d) de la surface optique 2 ou
- 10 3.

[0067] Les surfaces optiques 2, 3 déduites des figures 3B-D définissent un profil de LIO biconvexe. La surface optique antérieure 2 est convexe antérieurement tandis que la surface optique postérieure 3 est convexe postérieurement. Le rayon de courbure R_{ant} de la surface optique

15 antérieure 2 évalué à son sommet 21 est positif, le rayon de courbure R_{post} de la surface optique postérieure 3 évalué à son sommet 31 est négatif, la constante de conicité κ_{ant} de la surface optique antérieure 2 évaluée à son sommet 21 est négative et la constante de conicité κ_{post} de la surface optique postérieure 3 évaluée à son sommet 31 est positive.

20 Une fonction d'élévation évaluée sur une coordonnée radiale sur la surface optique antérieure 2, prenant un plan perpendiculaire à l'axe optique Z comme plan de référence d'élévation nulle et prenant l'axe optique Z comme axe de référence pour une évaluation d'élévation :

- présente un minimum local à son sommet 21,
 - est croissante depuis son sommet 21 jusqu'à un bord (dans la limite de la surface optique antérieure finalement coupée 2, dont les dimensions sont associées au diamètre d) de la surface optique antérieure 2.
- 25

Une fonction d'élévation évaluée sur une coordonnée radiale sur la surface optique postérieure 3, prenant le plan perpendiculaire à l'axe

30 optique Z comme plan de référence d'élévation nulle et prenant l'axe

optique Z comme axe de référence pour une évaluation d'élévation, présente :

- un maximum local à son sommet 31,
- un minimum local périphérique 32 à une distance positive d'un bord (dans la limite de la surface optique postérieure finalement coupée 3, dont les dimensions sont associées au diamètre d) de la surface optique postérieure 3,
- un point d'inflexion 33 situé entre le maximum local et le minimum local périphérique 32,

10 et :

- est décroissante depuis son sommet 31 jusqu'au minimum local périphérique 32,
- est croissante depuis le minimum local périphérique 32 jusqu'au bord de la surface optique postérieure 3.

15 Etant donné que la fonction d'élévation est évaluée sur une coordonnée radiale sur la surface optique postérieure 3, sa lecture sur les points de toute la surface optique postérieure 3 (et non sur une coordonnée radiale) définit un anneau de ce minimum local périphérique 32 et un anneau de points d'inflexion 33 environ au diamètre optique moyen. Ces points d'inflexion 33 correspondent à des points de retournement de courbure où la surface optique postérieure 3 (comme l'illustrent les figures 3B-D) passe du concave au convexe ou du convexe au concave. Plus précisément, la surface optique postérieure 3 est postérieurement convexe autour du sommet 31 et postérieurement concave autour de l'anneau du minimum local périphérique 32.

20 [0068] Bien que les surfaces optiques antérieure 2 et postérieure 3 présentent clairement une variation de courbure, il faut souligner que les surfaces optiques antérieure 2 et postérieure 3 sont lisses, continues et régulières. Elles ne présentent pas de point de rupture ou de limitation zonale abrupte.

30

[0069] La LIO 1 selon l'invention présente une puissance optique dépendant de l'indice de réfraction associé à un matériau constituant les surfaces optiques antérieure 2 et postérieure 3, et de la géométrie de ces surfaces 2 et 3. Cette dernière est déterminée (au moins autour de leurs sommets 21 et 31) par les rayons de courbure R_{ant} et R_{post} et par les constantes de conicités κ_{ant} et κ_{post} . Selon des modes de réalisation préférés de l'invention, $R_{ant} > 0$ si et seulement si la puissance optique est strictement supérieure à 14D, et $R_{post} < 0$ pour toute la puissance optique de la LIO. Le rayon de courbure R_{ant} dépend de façon continue et régulière de la puissance optique sur chacun des intervalles]0D, 14D] et [14.5D, 40D[. Le rayon de courbure de R_{post} dépend à la fois de façon continue et régulière de la puissance optique. L'invention fournit très avantageusement de nouvelles relations lisses, continues et régulières pour exprimer les constantes de conicités κ_{ant} et κ_{post} en fonction des rayons de courbure R_{ant} et R_{post} . Celles-ci sont illustrées par des représentations graphiques dans les figures 5A-C. Pour chacune de ces figures, les axes 83 et 84 définissent un système de coordonnées cartésiennes correspondant respectivement à un rayon de courbure mesuré en mm et à une constante de conicité. La figure 5A représente les représentations graphiques d'une fonction $\kappa_{ant}(R_{ant})$ définissant la constante de conicité κ_{ant} en fonction du rayon de courbure R_{ant} pour la surface optique antérieure 2 d'une LIO 1 dont la puissance optique est strictement supérieure à 14D. La figure 5B représente les représentations graphiques d'une fonction $\kappa_{ant}(R_{ant})$ définissant la constante de conicité κ_{ant} en fonction du rayon de courbure R_{ant} pour la surface optique antérieure 2 d'une LIO 1 dont la puissance optique est inférieure ou égale à 14D. La figure 5C représente des représentations graphiques d'une fonction $\kappa_{post}(R_{post})$ définissant la constante de conicité κ_{post} en fonction du rayon de courbure R_{post} pour la surface optique postérieure 3 d'une LIO 1. Chacune de ces figures 5A-C représente à la fois un ensemble (ou

graphe) de points correspondant aux valeurs mesurées de constantes de conicités en fonction des rayons de courbure, et le graphique d'une très bonne interpolation et/ou fonction d'approximation de cet ensemble de points.

5 **[0070]** Le graphique de la figure 5A représente la fonction

$$\kappa_{ant}(R_{ant}) = -40 [\operatorname{erf}(0,092 R_{ant} - 2,29) + 1]$$

qui correspond presque parfaitement aux points tracés comme on peut le voir dans les représentations graphiques. Cette fonction est complètement nouvelle et très spécifique dans le domaine technique de l'invention. Elle définit une sigmoïde continue et régulière qui peut être utilisée pour définir
10 toute constante de conicité appropriée κ_{ant} en fonction du rayon de courbure R_{ant} pour une surface optique antérieure 2 d'une LIO 1 dont la puissance optique est strictement supérieure à 14D.

[0071] Le graphique de la figure 5B représente la fonction

$$\kappa_{ant}(R_{ant}) = 0,0621 R_{ant}^2 - 0,396 R_{ant} - 11,035$$

qui correspond à une interpolation parfaite (avec un coefficient de
15 corrélation égal à 1) des points tracés comme on peut le voir dans les représentations graphiques. Cette fonction est complètement nouvelle et très spécifique dans le domaine technique de l'invention. Elle définit un polynôme continu et régulier qui permet de définir toute constante de conicité appropriée κ_{ant} en fonction du rayon de courbure R_{ant} pour une
20 surface optique antérieure 2 d'une LIO 1 dont la puissance optique est inférieure ou égale à 14D.

[0072] Le graphique de la figure 5C représente la fonction

$$\kappa_{post}(R_{post}) = 0,1032 R_{post}^2 + 1,372 R_{post} + 5,1353$$

qui correspond à une interpolation presque parfaite (avec un coefficient de
25 corrélation égal à 0,99) des points représentés (par exemple) pour une puissance optique comprise entre 10D et 27,5D, comme on peut le voir dans les représentations graphiques. Cette fonction est complètement nouvelle et très spécifique dans le domaine technique de l'invention. Elle définit un polynôme continu et régulier qui peut être utilisé pour définir

toute constante de conicité appropriée κ_{post} en fonction du rayon de courbure R_{post} pour une surface optique postérieure 3 d'une LIO 1.

[0073] L'invention ne se limite pas aux valeurs spécifiques des paramètres des fonctions $\kappa_{ant}(R_{ant})$ et $\kappa_{post}(R_{post})$ mentionnées ci-dessus. Toutes les fonctions sigmoïdes ou polynomiales similaires peuvent être utilisées, l'esprit de l'invention étant dans l'utilisation de relations de ce type pour exprimer la constante de conicité en fonction du rayon de courbure de chacune des surfaces optiques antérieure 2 et postérieure 3. Des exemples de fonctions sigmoïdes ou polynomiales similaires sont fournis dans le résumé de l'invention sous la forme d'intervalles appropriés dans lesquels les paramètres numériques ($A, B, C, D, a, b, c, f, g$ et h , comme indiqué dans le présent document) de ces fonctions varient. Ces intervalles ne limitent pas la portée de l'invention. De plus, d'autres fonctions polynomiales de degrés autres que deux peuvent être utilisées. Par exemple, la fonction $\kappa_{ant}(R_{ant})$ représentée dans la figure 5B pourrait être remplacée par

$$\begin{aligned} \kappa_{ant}(R_{ant}) = & -0,000009 R_{ant}^4 - 0,0012 R_{ant}^3 + 0,0128 R_{ant}^2 \\ & -1,2186 R_{ant} - 15,757 \end{aligned}$$

fournissant une autre très bonne interpolation des points tracés dans la figure 5B. Néanmoins, l'utilisation de polynômes d'ordre 2 est préférable pour des raisons de calcul.

[0074] La figure 6A illustre une représentation graphique d'un ensemble de points dotés de barres d'erreur qui correspondent à des mesures optiques expérimentales de l'EDOF de la LIO 1, lues sur l'axe 86 et mesurées en dioptrie (D), en fonction de la puissance optique de la LIO lue sur l'axe 85 et mesurée en dioptrie (D). L'EDOF est défini comme l'addition de puissance en dioptrie d'une crête FTM maximum à une valeur FTM de 0,17 à 50 Lp/mm. Les mesures sont effectuées pour une ouverture de 3 mm avec un modèle de cornée présentant une aberration sphérique de 0 μm (ISO1). Cette représentation graphique est interpolée par une courbe polynomiale d'équation

$$EDOF = -0,00002 x^3 + 0,0004 x^2 + 0,0288 x + 0,3104$$

où x est la puissance optique de la LIO. Comme on peut le voir sur la figure 6A, l'invention fournit une LIO 1 dont l'EDOF dépend de manière très limitée de la puissance optique de la LIO.

[0075] La figure 6B illustre une représentation graphique d'un ensemble de points dotés de barres d'erreur qui correspondent à des mesures expérimentales sur banc optique d'une aberration sphérique longitudinale de quatrième ordre (ASL) de la LIO 1, lue sur l'axe 87 et mesurée en micron (μm), en fonction de la puissance optique de la LIO lue sur l'axe 85, mesurée en dioptrie (D). La AS est mesurée à 50 Lp/mm et 4 mm d'ouverture. Cette représentation graphique est interpolée par une courbe polynomiale d'équation

$$AS = -0,00002 x^3 + 0,0008 x^2 - 0,0025 x + 0,1982$$

où x est la puissance optique de la LIO. Comme on peut le voir sur la figure 6B, l'invention fournit une LIO 1 dont la AS dépend de manière très limitée de la puissance optique de la LIO. Une légère diminution de la AS est constatée avec la diminution de puissance optique. En effet, les LIO de faible puissance sont en fait plus plates et plus difficiles à rendre asphériques. Les valeurs EDOF et les valeurs AS suivent la même tendance, celles-ci étant fortement corrélées.

[0076] La figure 6C illustre une représentation graphique d'un ensemble de points dotés de barres d'erreur qui correspondent à des mesures expérimentales de banc optique de FTM de la LIO 1, lues sur l'axe 88 et évaluées à 50 cy/mm, en fonction de la puissance optique de la LIO lue sur l'axe 85 et mesurée en dioptrie (D). La FTM est mesurée à 50 Lp/mm et 3 mm d'ouverture, en présence d'un modèle de cornée présentant une aberration sphérique de 0,28 μm (ISO2). Cette représentation graphique peut être interpolée (assez faiblement) par une courbe polynomiale d'équation

$$FTM = 0,0006 x^2 - 0,0222 x + 0,6994$$

où x est la puissance optique de la LIO. Comme on peut le voir sur la figure 6C, l'invention fournit une LIO 1 dont la FTM dépend de manière très limitée de la puissance optique de la LIO.

[0077] La figure 7 illustre trois représentations graphiques des mesures expérimentales moyennes sur banc optique de l'EDOF des LIO 1 selon l'invention, lues sur l'axe 86 et mesurées en dioptrie (D), en fonction d'une ouverture (étant ici le diamètre pupillaire), lues sur l'axe 89 et mesurées en millimètres (mm). L'EDOF est défini comme l'addition de puissance en dioptrie d'une crête FTM maximum à une valeur FTM de 0,17 à 50 Lp/mm. La moyenne est calculée pour les mesures sur une LIO 1 de chacune des puissances optiques 10D, 15D, 20D, 25D, 30D et 35D. Les trois représentations graphiques correspondent à l'utilisation de trois modèles de cornées différents fournissant trois aberrations sphériques cornéennes différentes :

- 15 - un modèle de cornée présentant une aberration sphérique cornéenne de $0,00 \mu\text{m}$ (correspondant au numéro de référence 71 ou ISO1),
- un modèle de cornée présentant une aberration sphérique cornéenne de $0,13 \mu\text{m} (\pm 0,2 \mu\text{m})$ (à une ouverture de 5,15 mm et selon le plan de la LIO) (correspondant au numéro de référence 72),
- 20 - un modèle de cornée présentant une aberration sphérique cornéenne de $0,28 \mu\text{m} (\pm 0,2 \mu\text{m})$ (à une ouverture de 5,15 mm et selon le plan de la LIO) (correspondant au numéro de référence 73 ou ISO2).

Ces représentations graphiques montrent clairement que l'EDOF de la LIO 1 dépend de manière limitée de l'ouverture et des aberrations sphériques cornéennes. De plus, pour la LIO monofocale classique connue dans l'état de la technique, suite à la dilatation de la pupille, l'élargissement d'un effet de trou d'épingle diminue rapidement, tout comme l'EDOF résultant. Cette tendance est fondamentalement différente pour la LIO 1 selon l'invention car l'EDOF reste relativement élevée malgré

un élargissement du diamètre de pupille, et ce pour l'un quelconque des trois modèles de cornées mentionnés ci-dessus.

[0078] La figure 8 illustre trois représentations graphiques de la moyenne des mesures optiques expérimentales sur banc de la FTM des LIO 1 selon l'invention, lues sur l'axe 88, en fonction d'une ouverture (étant ici le diamètre de la pupille), lues sur l'axe 89 et mesurées en millimètres (mm). La FTM est mesurée à 50 Lp/mm. La moyenne est calculée pour les mesures sur une LIO 1 de chacune des puissances optiques 10D, 15D, 20D, 25D, 30D et 35D. Les trois représentations graphiques correspondent à l'utilisation des trois modèles de cornées mentionnés ci-dessus (correspondant aux numéros de référence 71, 72 et 73). Ces représentations graphiques montrent que la FTM de la LIO 1 dépend de manière limitée de l'ouverture et des aberrations sphériques cornéennes.

[0079] La Figure 13 illustre les représentations graphiques des courbes FTM par traversée de foyer de deux LIO (correspondant respectivement aux courbes 7A et 7B), lues sur l'axe 88, en fonction des puissances optiques des LIO, lues sur l'axe 85 et mesurées en dioptrie (D), dans une gamme moyenne (de loin) de puissance optique (environ 20D). La FTM est mesurée sur un banc optique équipé d'un modèle de cornée présentant une aberration sphérique de 0,00 μm (ISO1), à 50 Lp/mm et une ouverture de 3 mm. Ces courbes 7A et 7B correspondent respectivement aux mesures FTM d'une LIO monofocale standard et de la LIO 1. La focalisation allongée de la LIO 1 selon l'invention est visible sur la figure 13. Une crête FTM asymétrique est clairement montrée dans le cas de la LIO 1 selon l'invention avec une focalisation allongée vers des puissances plus élevées (distances plus proches), tandis que la crête FTM de la lentille monofocale standard est fondamentalement symétrique par rapport à la puissance à la meilleure focalisation, cette focalisation étant affectée aux distances éloignées. Ces différences, telles que mises en évidence sur le banc optique, expliqueraient une EDOF supérieure et une

meilleure acuité visuelle clinique à la distance intermédiaire de la LIO 1 selon l'invention.

[0080] Chacune des figures 9A-C illustre des représentations graphiques de mesures expérimentales sur banc optique de l'aberration sphérique de quatrième ordre (désignée ci-après par AS), lue sur l'axe 90 et mesurée en micron (μm), en fonction d'une ouverture (étant le diamètre pupillaire), lue sur l'axe 89 et mesurée en millimètres (mm). Pour chacun de ces chiffres, l'AS est mesurée à 50 Lp/mm et pour :

- l'un des trois modèles de cornées susmentionnés considéré seul (correspondant au numéro de référence 74)
- une LIO 1 selon l'invention considérée seule (correspondant au numéro de référence 75)
- ledit modèle de cornée spécifique combiné avec ladite LIO 1 (correspondant au numéro de référence 76)

Les modèles de cornées considérés dans les figures 9A, 9B et 9C sont respectivement :

- le modèle de cornée fournissant une aberration sphérique cornéenne de $0,28 \mu\text{m}$ ($\pm 0,2 \mu\text{m}$) (à une ouverture de 5,15 mm et selon le plan de la LIO),
- le modèle de cornée fournissant une aberration sphérique cornéenne de $0,13 \mu\text{m}$ ($\pm 0,2 \mu\text{m}$) (à une ouverture de 5,15 mm et selon le plan de la LIO), et
- le modèle de cornée fournissant une aberration sphérique cornéenne de $0,00 \mu\text{m}$.

En ce qui concerne les LIO monofocales connues classiques, la LIO 1 diffère par la quantité d'AS qu'elle fournit seule. L'AS de la LIO 1 est négative et décroît rapidement avec l'ouverture. L'AS est beaucoup plus négative pour la LIO 1 que l'AS des LIO monofocales classiques connues. Par conséquent, l'AS résultante de la combinaison de n'importe quel modèle de cornée et de la LIO 1 est essentiellement déterminée par l'AS de la LIO 1, puisque l'AS de la LIO 1 surcompense l'AS positive (petite) de

n'importe lequel des modèles de cornées. L'AS résiduelle n'est alors avantageusement que très peu affectée par le choix du modèle de cornée.

[0081] Suite à l'existence de l'EDOF pour la LIO 1 selon l'invention, une réfraction optique combinée des surfaces optiques antérieure 2 et postérieure 3 avec un modèle de cornée moyen (disposé sur l'axe optique Z antérieurement par rapport à la LIO 1) fournit une fonction 9 continue et régulière de puissance optique comprenant un maximum global central 91 le long de l'axe optique Z entouré par une région centrale étalée 92 de faible puissance optique (correspondant à l'EDOF). Cette fonction 9 est illustrée sur les figures 10A et 10B, pour une puissance optique de la LIO de 35D et 20D respectivement, dans une fenêtre (de lecture) centrée sur l'axe optique Z avec un diamètre de 4 mm. Il est rappelé que ladite puissance optique de la LIO est définie comme une puissance optique moyenne (la puissance optique représentée par la fonction 9) mesurée sans correction dans une fenêtre (de lecture) centrée sur l'axe optique Z avec un diamètre de 3 mm. La figure 10B illustre plus fidèlement une telle fonction générale 9 de puissance optique pour une puissance optique d'environ 20D. Dans ce cas, la fonction 9 comprend également :

- un anneau 93 de minima locaux de puissance optique entourant la région centrale étalée 92, et
- un anneau 94 de maxima locaux de puissance optique autour de l'anneau 93.

Plus généralement, les LIO 1 selon certains modes de réalisation de l'invention comprennent une collection d'anneaux tels que les anneaux 93 et 94, de puissance optique maximale et minimale variable alternant progressivement. Il faut souligner que la fonction 9 pour toute puissance optique de la LIO est très lisse, à la fois continue et régulière. Elle ne se divise pas en partition de zone avec une puissance optique fixe.

[0082] Les représentations en coupe de la LIO 1 selon des modes de réalisation préférés de l'invention sont également illustrées à la figure 11A (pour une puissance optique égale à 10D), à la figure 11B (pour une

puissance optique égale à 24D) et à la figure 11C (pour une puissance optique égale à 35D). La section de ces LIO 1 est réalisée le long d'un plan comprenant l'axe optique Z. La géométrie et la concavité ou convexité des surfaces optiques antérieure 2 et postérieure 3 mentionnées ci-dessus sont visibles sur ces figures 11A-C. Ces surfaces optiques antérieure 2 et postérieure 3 sont séparées par un corps interne 41 de la partie optique centrale 4 qui est constitué d'un biomatériau brut. Le corps interne 41 présente une épaisseur centrale E prédéterminée, mesurée le long de l'axe optique Z, comprise entre 0,3 et 0,7 mm, dépendant de façon régulière de la puissance optique de la LIO, de telle sorte qu'il est prévu une épaisseur périphérique de LIO comprise entre 0,2 et 0,3 mm (de préférence environ 0,25 mm) pour relier les haptiques flexibles 5 à la partie optique centrale 4.

[0083] Comme l'illustre la figure 12A, la partie optique centrale 4 de la LIO 1 présente de préférence un plan optique principal (M) séparé du sommet (51) des haptiques flexibles (5) par une distance prédéterminée (HC) mesurée le long de l'axe optique (Z), comprise entre 0,00 et 0,45 mm. Cette distance (HC) dépend de façon continue et régulière de la puissance optique de la LIO 1 à travers une fonction dont le graphique est représenté sur la figure 12B. La distance (HC) est lue sur l'axe 62, mesurée en millimètres (mm), en fonction de la puissance optique lue sur l'axe 61, mesurée en dioptrie (D). Cette fonction croît continument pour des puissances optiques croissantes et son graphique présente un profil sigmoïde. Cette distance (HC) est avantageusement calculée compte tenu de la géométrie des surfaces optiques antérieure 2 et postérieure 3 pour garantir la stabilité longitudinale (invariante en fonction de la puissance de LIO) du plan optique principal de la LIO 1 par rapport à l'axe optique Z quand elle est implantée dans un œil.

[0084] En d'autres termes, la présente invention concerne une lentille intraoculaire 1 avec une profondeur de champ étendue comprenant des surfaces optiques asphériques antérieure 2 et postérieure 3. Une

géométrie asphérique spécifique de ces surfaces optiques 2 et 3 est décrite dans le cadre de cette invention.

[0085] La présente invention a été décrite en relation avec les modes de réalisation spécifiques qui ont une valeur purement illustrative et qui ne devraient pas être considérées comme limitatifs. L'homme du métier remarquera que la présente invention ne se limite pas aux exemples illustrés et/ou décrits ci-dessus. L'invention comprend chacune des nouvelles caractéristiques techniques décrites dans le présent document, ainsi que leurs combinaisons.

Revendications

1. Lentille intraoculaire (1) comprenant :

- une surface optique antérieure, et

5 - une surface optique postérieure,

les deux s'étendant radialement vers l'extérieur par rapport à un axe optique (Z) ;

caractérisée en ce que :

10 - une première surface (2) parmi les surfaces optiques antérieure et postérieure est définie par l'équation :

$$z_{st}(r) = \frac{r^2}{R_{st} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{(1 + \kappa_{st}(R_{st})) r^2}{R_{st}^2}} \right)} + \sum_{i \geq 2} \alpha_{2i}^{st} r^{2i}$$

où :

- $z_{st}(r)$ est une composante, mesurée le long de l'axe optique (Z), d'un vecteur de déplacement

depuis un sommet (21) de la première surface (2),

15 jusqu'à un point quelconque de cette dernière à un rayon r de l'axe optique (Z) ;

- R_{st} est un rayon de courbure de la première surface (2) évalué audit sommet (21) ;

20 • $\kappa_{st}(R_{st})$ est une constante de conicité de la première surface (2) évaluée audit sommet (21) et définie en fonction dudit rayon de courbure de la première surface (2) par la relation :

$$\kappa_{st}(R_{st}) = \begin{cases} a R_{st}^2 + b R_{st} + c & \text{if } R_{st} < 0 \\ A[\text{erf}(BR_{st} + C) + D] & \text{if } R_{st} > 0 \end{cases}$$

où erf désigne une fonction d'erreur de Gauss, et où a, b, c, A, B, C, D sont des nombres réels constants ;

25 • α_{2i}^{st} est un coefficient d'asphéricité d'ordre $2i$ de la première surface (2) ;

- une seconde surface (3) parmi les surfaces optiques antérieure et postérieure est définie par l'équation :

$$z_{nd}(r) = \frac{r^2}{R_{nd} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{(1 + \kappa_{nd}(R_{nd})) r^2}{R_{nd}^2}} \right)} + \sum_{i \geq 2} \alpha_{2i}^{nd} r^{2i}$$

où :

- $z_{nd}(r)$ est une composante, mesurée le long de l'axe optique (Z), d'un vecteur de déplacement

depuis un sommet (31) de la seconde surface (3), jusqu'à un point quelconque de cette dernière à un rayon r de l'axe optique (Z) ;

- $R_{nd} < 0$ est un rayon de courbure de la seconde surface (3) évalué audit sommet (31) ;
- $\kappa_{nd}(R_{nd})$ est une constante de conicité de la seconde surface (3) évaluée audit sommet (31) et définie en fonction dudit rayon de courbure de la seconde surface (3) par la relation :

$$\kappa_{nd}(R_{nd}) = f R_{nd}^2 + g R_{nd} + h$$

où f, g, h sont des nombres réels constants ;

- α_{2i}^{nd} est un coefficient d'asphéricité d'ordre $2i$ de la seconde surface (3).

2. Lentille intraoculaire (1) selon la revendication précédente, caractérisée en ce que :

- $a \in [0,050 ; 0,075]$ et/ou $b \in [-1 ; 0]$ et/ou $c \in [-20 ; 0]$ et/ou $A \in [-41 ; -39]$ et/ou $B \in [0,07 ; 0,13]$ et/ou $C \in [-2,6 ; -2,0]$ et/ou $D \in [0,75 ; 1,25]$ et/ou $f \in [0,08 ; 0,12]$ et/ou $g \in [1,0 ; 1,6]$ et/ou $h \in [0 ; 9]$.

- 3. Lentille intraoculaire (1) selon la revendication précédente,

caractérisée en ce que : $a \in [0,060 ; 0,065]$ et/ou $b \in [-0,5 ; -0,3]$ et/ou $c \in [-12 ; -10]$ et/ou $A \in [-40,1 ; -39,9]$ et/ou $B \in [0,090 ; 0,095]$ et/ou $C \in [-2,35 ; -2,25]$ et/ou $D \in [0,9 ; 1,1]$ et/ou $f \in [0,095 ; 0,105]$ et/ou $g \in [1,25 ; 1,40]$ et/ou $h \in [4 ; 6]$.

5

4. Lentille intraoculaire (1) selon la revendication précédente, caractérisée en ce que

$a = 0,0621$ et/ou $b = -0,396$ et/ou $c = -11,035$ et/ou $A = -40$ et/ou $B = 0,092$ et/ou $C = -2,29$ et/ou $D = 1$ et/ou $f = 0,0989$ et/ou $g = 1,277$ et/ou $h = 4,663$.

10

5. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle présente une puissance optique comprise entre 10D et 35D.

15

6. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 ou 5, caractérisée en ce qu'elle présente une puissance optique inférieure ou égale à 27,5 D, et en ce que $f = 0,1032$ et/ou $g = 1,372$ et/ou $h = 5,1353$

20

7. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle présente une puissance optique inférieure ou égale à 14D, et en ce que $R_{st} < 0$.

25

8. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce qu'elle présente une puissance optique strictement supérieure à 14D, et en ce que $R_{st} > 0$.

9. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des revendications 7 ou 8, caractérisée en ce que le rayon de courbure R_{st} de

30

la première surface (2) dépend de façon continue et régulière de la puissance optique.

5 10. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le rayon de courbure R_{nd} de la seconde surface (3) dépend de façon continue et régulière d'une puissance optique de la lentille intraoculaire (1).

10 11. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que les coefficients d'asphéricité d'ordre inférieur ou égal à 10 des première (2) et/ou seconde (3) surfaces sont non nuls.

15 12. Lentille intraoculaire (1) selon la revendication précédente, caractérisée en ce que

$$0 < |\alpha_{10}^{st}| < |\alpha_8^{st}| < |\alpha_6^{st}| < |\alpha_4^{st}| < 0,01$$

et/ou

$$0 < |\alpha_{10}^{nd}| < |\alpha_8^{nd}| < |\alpha_6^{nd}| < |\alpha_4^{nd}| < 0,01.$$

20 13. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des revendications 11 ou 12, caractérisée en ce que les coefficients d'asphéricité d'ordre strictement supérieurs à 10 des première (2) et/ou seconde (3) surfaces sont nuls.

25 14. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que les coefficients d'asphéricité des première (2) et/ou seconde (3) surfaces dépendent de façon continue et régulière d'une puissance optique de la lentille intraoculaire (1).

30

15. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la première surface (2) est la surface optique antérieure, et la seconde surface (3) est la surface optique postérieure.

5

16. Lentille intraoculaire (1) selon la revendication 15 et l'une quelconque des revendications 1 à 6 et 8 à 14, caractérisée en ce qu'elle présente une puissance optique de 15D et en ce que

$$R_{st} = 79,63 \text{ mm et/ou } \kappa_{st}(R_{st}) = -80,00 \text{ et/ou}$$

$$10 \quad \alpha_4^{st} = -0,0028436 \text{ et/ou } \alpha_6^{st} = 0,0011285 \text{ et/ou}$$

$$\alpha_8^{st} = -0,0003426 \text{ et/ou } \alpha_{10}^{st} = 0,0000385 \text{ et/ou}$$

$$R_{nd} = -13,82 \text{ mm et/ou } \kappa_{nd}(R_{nd}) = 5,95 \text{ et/ou}$$

$$\alpha_4^{nd} = -0,0019988 \text{ et/ou } \alpha_6^{nd} = 0,0012797 \text{ et/ou}$$

$$\alpha_8^{nd} = -0,0004066 \text{ et/ou } \alpha_{10}^{nd} = 0,0000483.$$

15

17. Lentille intraoculaire (1) selon la revendication 15 et l'une quelconque des revendications 1 à 6 et 8 à 14, caractérisée en ce qu'elle présente une puissance optique de 20D et en ce que

$$R_{st} = 21,60 \text{ mm et/ou } \kappa_{st}(R_{st}) = -25,61 \text{ et/ou}$$

$$20 \quad \alpha_4^{st} = -0,0045458 \text{ et/ou } \alpha_6^{st} = 0,0024547 \text{ et/ou}$$

$$\alpha_8^{st} = -0,0007700 \text{ et/ou } \alpha_{10}^{st} = 0,0000865 \text{ et/ou}$$

$$R_{nd} = -15,21 \text{ mm et/ou } \kappa_{nd}(R_{nd}) = 8,10 \text{ et/ou}$$

$$\alpha_4^{nd} = -0,0035812 \text{ et/ou } \alpha_6^{nd} = 0,0025087 \text{ et/ou}$$

$$\alpha_8^{nd} = -0,0008240 \text{ et/ou } \alpha_{10}^{nd} = 0,0000988.$$

25

18. Lentille intraoculaire (1) selon la revendication 15 et l'une quelconque des revendications 1 à 6 et 8 à 14, caractérisée en ce qu'elle présente une puissance optique de 25D et en ce que

$$R_{st} = 11,47 \text{ mm et/ou } \kappa_{st}(R_{st}) = -3,67 \text{ et/ou}$$

$$30 \quad \alpha_4^{st} = -0,0050469 \text{ et/ou } \alpha_6^{st} = 0,0030927 \text{ et/ou}$$

$$\alpha_8^{st} = -0,0009930 \text{ et/ou } \alpha_{10}^{st} = 0,0001136 \text{ et/ou}$$

$R_{nd} = -19,47 \text{ mm}$ et/ou $\kappa_{nd}(R_{nd}) = 17,61$ et/ou

$\alpha_4^{nd} = -0,0040138$ et/ou $\alpha_6^{nd} = 0,0031780$ et/ou

$\alpha_8^{nd} = -0,0010891$ et/ou $\alpha_{10}^{nd} = 0,0001352$.

5 19. Lentille intraoculaire (1) selon la revendication 15 et l'une quelconque des revendications 1 à 6 et 8 à 17, caractérisée en ce qu'elle présente une puissance optique strictement supérieure à 14D, et en ce que :

10 - une fonction d'élévation évaluée sur une coordonnée radiale sur la première surface (2), prenant un plan perpendiculaire à l'axe optique (Z) comme plan de référence d'élévation nulle et prenant l'axe optique (Z) comme axe de référence pour une évaluation d'élévation :

- présente un minimum local au sommet (21) de la première surface (2),
- 15 • est croissante depuis le sommet (21) de la première surface (2) jusqu'à un bord de cette surface (2) ;

20 - une fonction d'élévation évaluée sur une coordonnée radiale sur la seconde surface (3), prenant le plan perpendiculaire à l'axe optique (Z) comme plan de référence d'élévation nulle et prenant l'axe optique (Z) comme axe de référence pour une évaluation d'élévation, présente :

- un maximum local au sommet (31) de la seconde surface (3),
- un minimum local périphérique (32) à une distance positive d'un bord de la seconde surface (3),
- un point d'inflexion (33) situé entre ledit maximum local et ledit
- 25 minimum local périphérique (32),

et :

- est décroissante depuis le sommet (31) de la seconde surface (3) jusqu'au minimum local périphérique (32),
- est croissante depuis le minimum local périphérique (32) jusqu'à
- 30 un bord de cette seconde surface (3).

20. Lentille intraoculaire (1) selon la revendication 15 et l'une quelconque des revendications 1 à 7 et 9 à 14, caractérisée en ce qu'elle présente une puissance optique strictement supérieure à 12D et inférieure ou égale à 14D, et en ce que :

5 - une fonction d'élévation évaluée sur une coordonnée radiale sur la première surface (2), prenant un plan perpendiculaire à l'axe optique (Z) comme plan de référence d'élévation nulle et prenant l'axe optique (Z) comme axe de référence pour une évaluation d'élévation, présente :

- un maximum local au sommet (21) de la première surface (2),
- 10 • un minimum local périphérique à une distance positive d'un bord de la première surface (2),
- un point d'inflexion situé entre ledit maximum local et ledit minimum local périphérique,

et :

- 15 • est décroissante depuis le sommet (21) de la première surface (2) jusqu'audit minimum local périphérique,
- est croissante depuis ledit minimum local périphérique jusqu'à un bord de la première surface (2).

20 - une fonction d'élévation évaluée sur une coordonnée radiale sur la seconde surface (3), prenant le plan perpendiculaire à l'axe optique (Z) comme plan de référence d'élévation nulle et prenant l'axe optique (Z) comme axe de référence pour une évaluation d'élévation, présente :

- un maximum local au sommet (31) de la seconde surface (3),
- un minimum local périphérique (32) à une distance positive d'un
- 25 bord de la seconde surface (3),
- un point d'inflexion (33) situé entre ledit maximum local et ledit minimum local périphérique (32),

et :

- est décroissante depuis le sommet (31) de la seconde surface
- 30 (3) jusqu'au minimum local périphérique (32),

- est croissante depuis le minimum local périphérique (32) jusqu'à un bord de cette seconde surface (3).

21. Lentille intraoculaire (1) selon la revendication 15 et l'une
5 quelconque des revendications 1 à 7 et 9 à 14, caractérisée en ce qu'elle a une puissance optique inférieure ou égale à 12D, et en ce que :

- une fonction d'élévation évaluée sur une coordonnée radiale sur la première surface (2), prenant un plan perpendiculaire à l'axe optique (Z) comme plan de référence d'élévation nulle et prenant l'axe optique (Z)
10 comme axe de référence pour une évaluation d'élévation :

- présente un maximum local au sommet (21) de la première surface (2),
- est décroissante depuis le sommet (21) de la première surface (2) jusqu'à un bord de cette surface (2) ;

15 - une fonction d'élévation évaluée sur une coordonnée radiale sur la seconde surface (3), prenant le plan perpendiculaire à l'axe optique (Z) comme plan de référence d'élévation nulle et prenant l'axe optique (Z) comme axe de référence pour une évaluation d'élévation :

- présente un maximum local au sommet (31) de la seconde
20 surface (3),
- est décroissante depuis le sommet (31) de la seconde surface (3) jusqu'à un bord de cette surface (3).

22. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des
25 revendications précédentes, caractérisée en ce que les surfaces optiques antérieure et postérieure sont découpées dans un biomatériau brut hydrophobe d'indice de réfraction compris entre 1,40 et 1,65.

23. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des
30 revendications précédentes, caractérisée en ce que les surfaces optiques antérieure et postérieure sont séparées par un corps interne (41) d'une

épaisseur centrale (E) prédéterminée, mesurée le long de l'axe optique (Z), comprise entre 0,30 et 0,70 mm.

5 24. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que les surfaces optiques antérieure et postérieure ont un diamètre (d), mesuré perpendiculairement à l'axe optique (Z), compris entre 4,70 et 5,00 mm.

10 25. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'une réfraction optique combinée des surfaces optiques antérieure et postérieure avec un modèle de cornée antérieurement externe à la lentille intraoculaire (1) fournit une fonction (9) continue et régulière de puissance optique comprenant un maximum global central (91) le long de l'axe optique (Z) entouré par une
15 région centrale étalée (92) de puissance optique inférieure.

26. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comprend :

- 20 - une partie optique centrale (4) dont :
- une surface antérieure est la surface optique antérieure, et
 - une surface postérieure est la surface optique postérieure ;
- une pluralité d'haptiques flexibles (5) reliées à la partie optique centrale (4), configurées pour stabiliser la lentille intraoculaire (1) dans un sac capsulaire d'un œil aphaque.

25

27. Lentille intraoculaire (1) selon la revendication précédente, caractérisée en ce qu'une distance (HC), mesurée le long de l'axe optique (Z), entre un sommet (51) d'haptique flexible (5) et un plan optique principal (M) de la partie optique centrale (4) dépend de façon continue et
30 régulière d'une puissance optique de la lentille intraoculaire (1).

28. Lentille intraoculaire (1) selon la revendication précédente, caractérisée en ce que ladite distance (HC) est limitée à 0,45 mm et augmente de façon continue pour des puissances optiques croissantes.

5 29. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des revendications 26 à 28, caractérisée en ce qu'elle comprend quatre haptiques flexibles fermées (5) formant chacune une boucle basée sur la partie optique centrale (4).

10 30. Lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle est de forme invariante sous une rotation de 180° autour de l'axe optique (Z).

15 31. Procédé de fabrication d'une lentille intraoculaire (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant les étapes :

(a) modéliser une optique ayant une configuration de profil de surface optique asphérique ;

(b) calculer une distribution d'efficacité de réfraction pour la lumière se propageant à travers l'optique modélisée ;

20 (c) sélectionner des paramètres de profil de surfaces optiques asphériques en fonction de la distribution d'efficacité de réfraction calculée,

de façon à obtenir des efficacités de réfraction souhaitées ; et

25 (d) former l'optique modélisée avec les paramètres sélectionnés à partir d'un biomatériau brut.

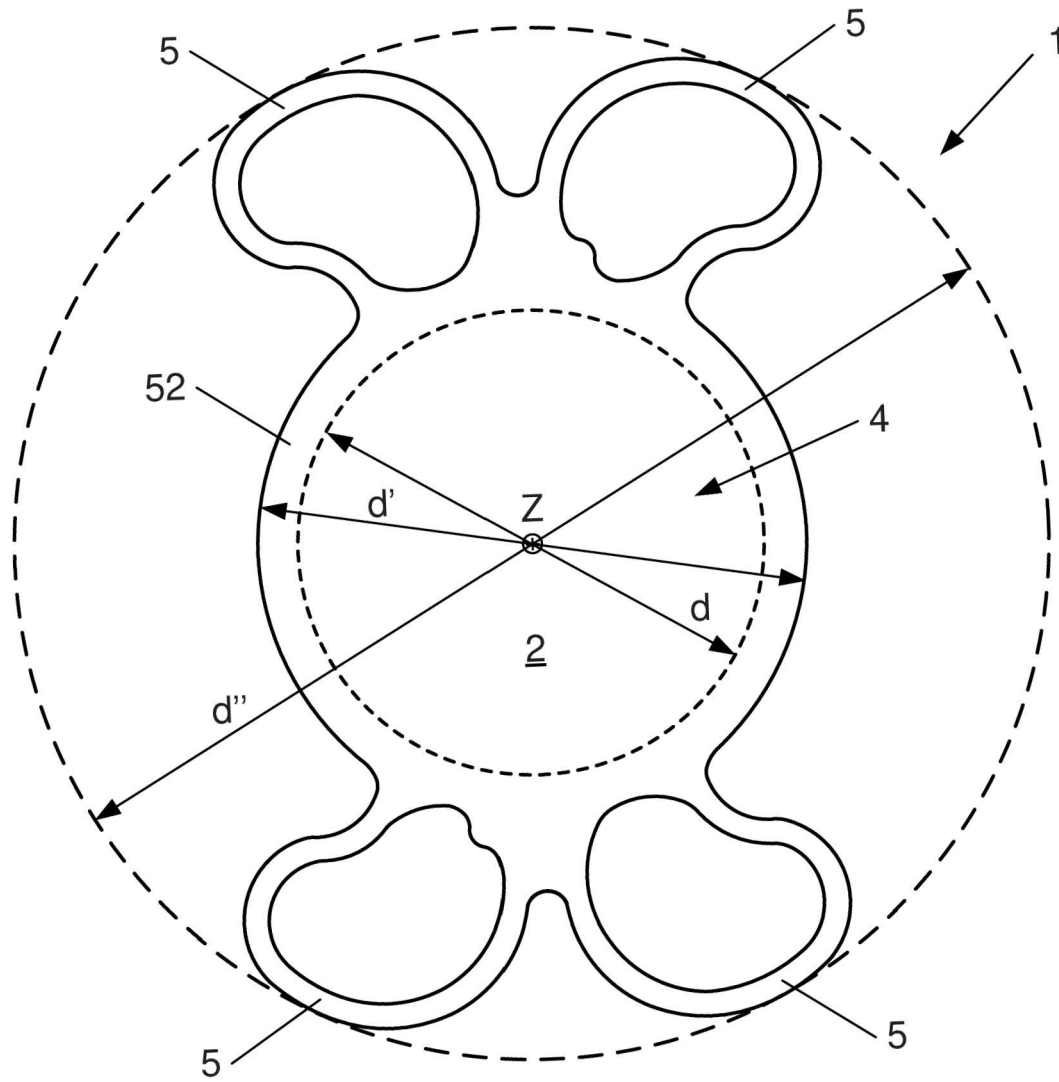


Fig. 1

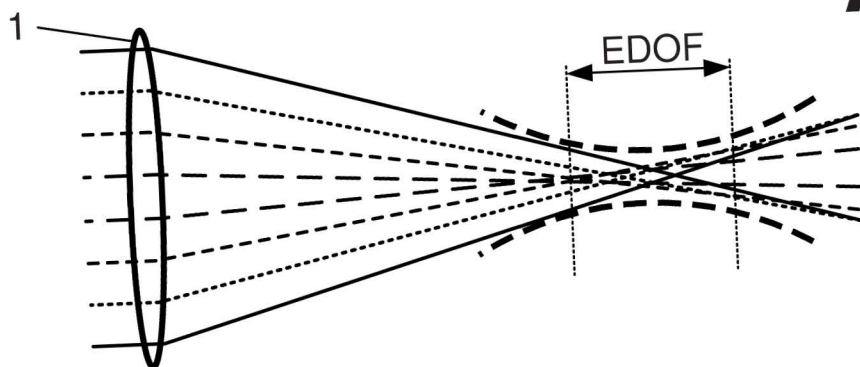
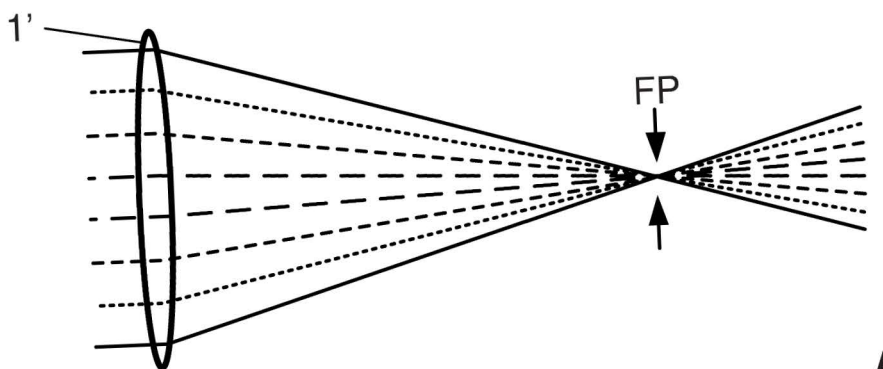


Fig. 2

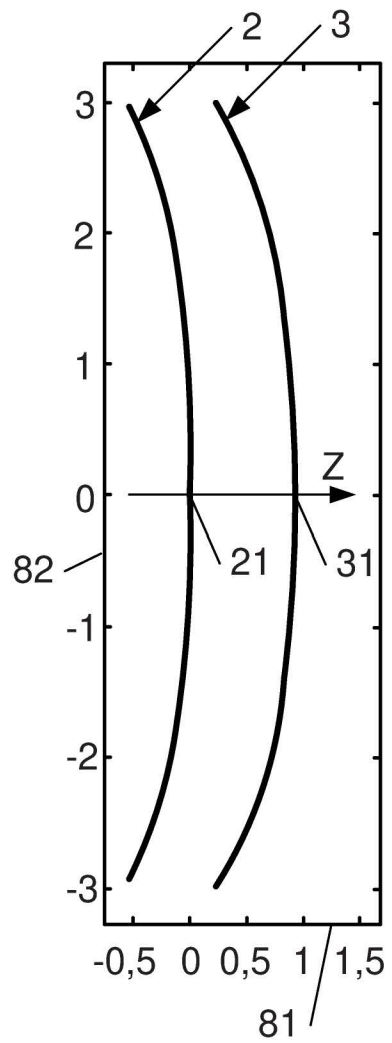


Fig. 3A

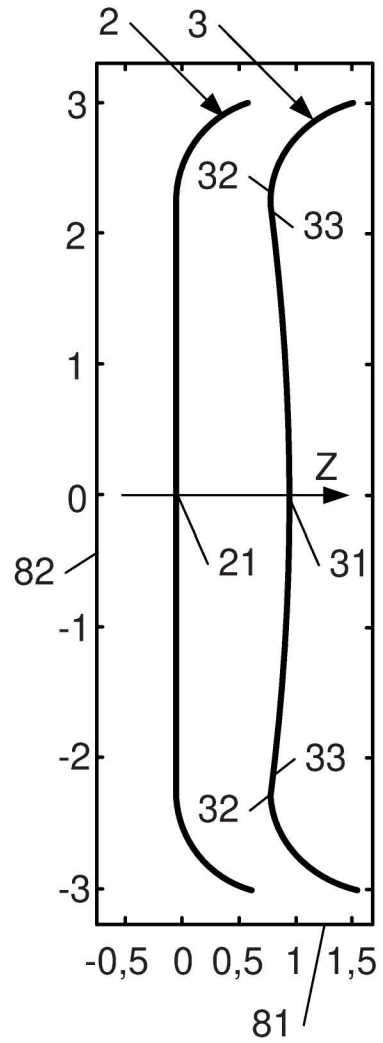


Fig. 3B

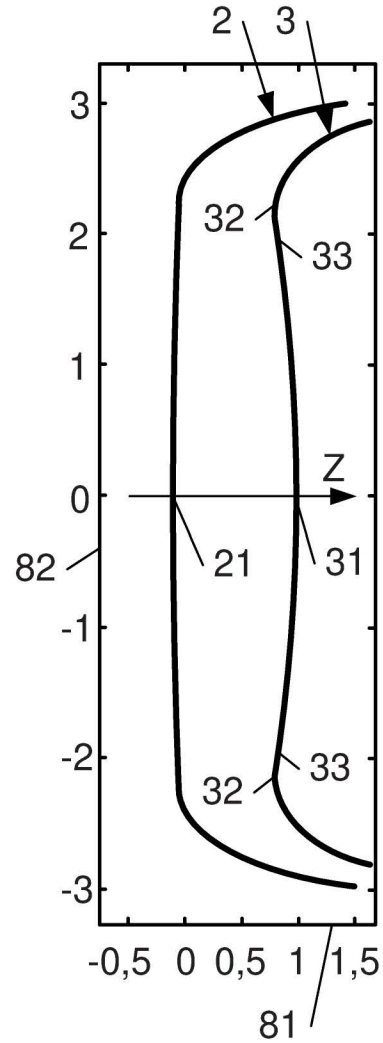


Fig. 3C

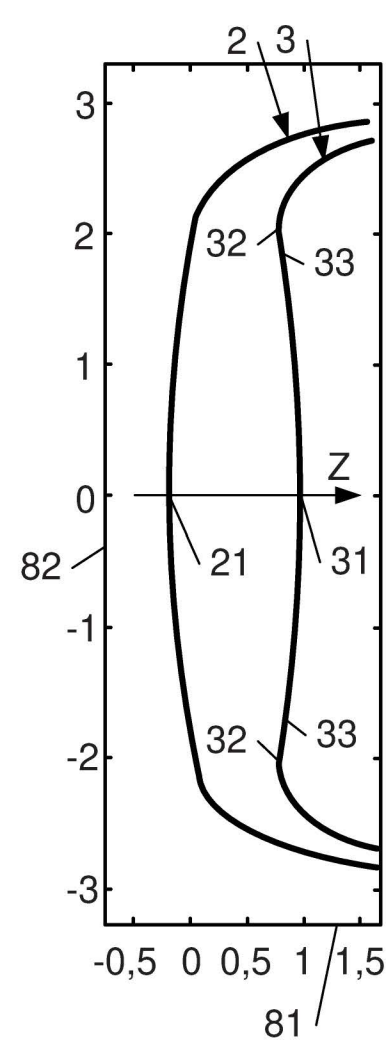


Fig. 3D

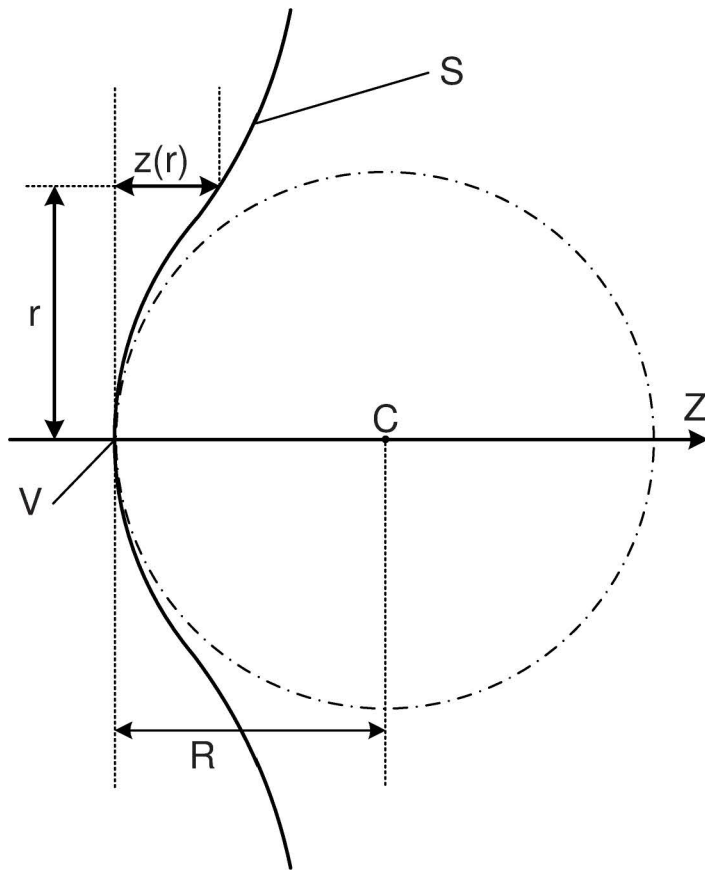


Fig. 4

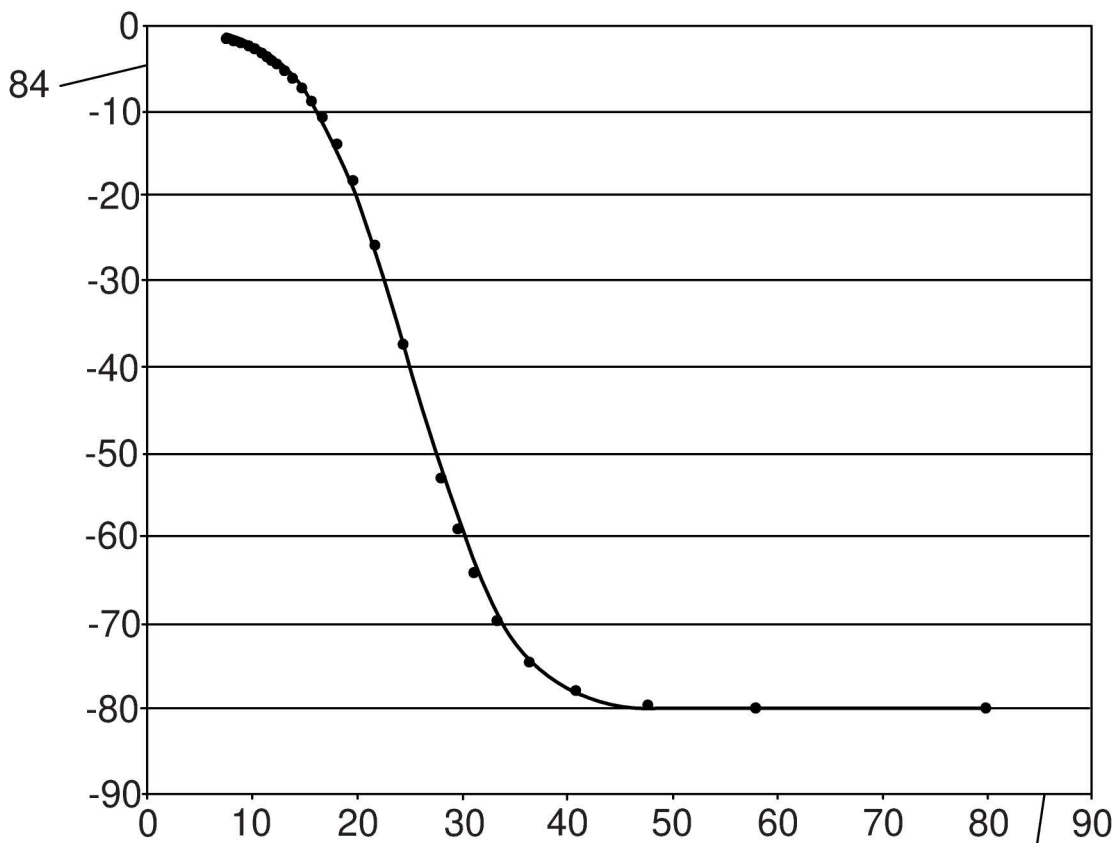


Fig. 5A

83

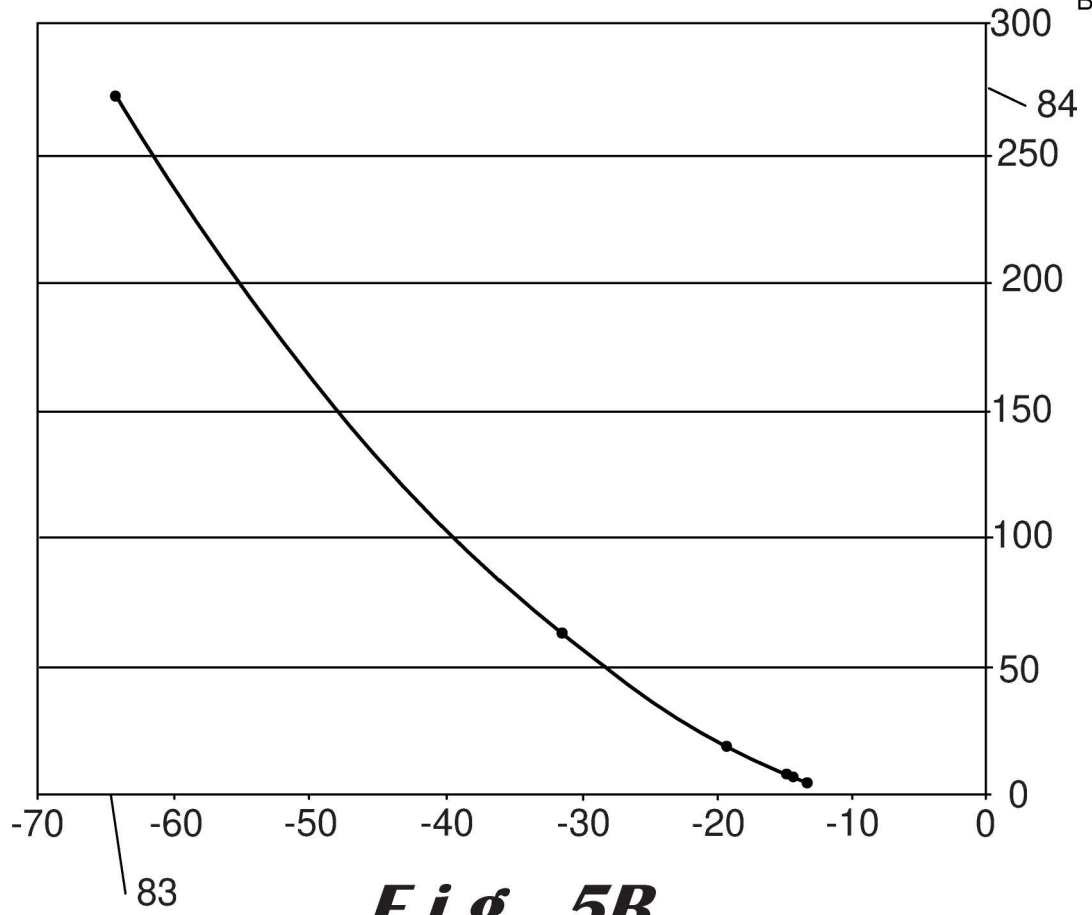


Fig. 5B

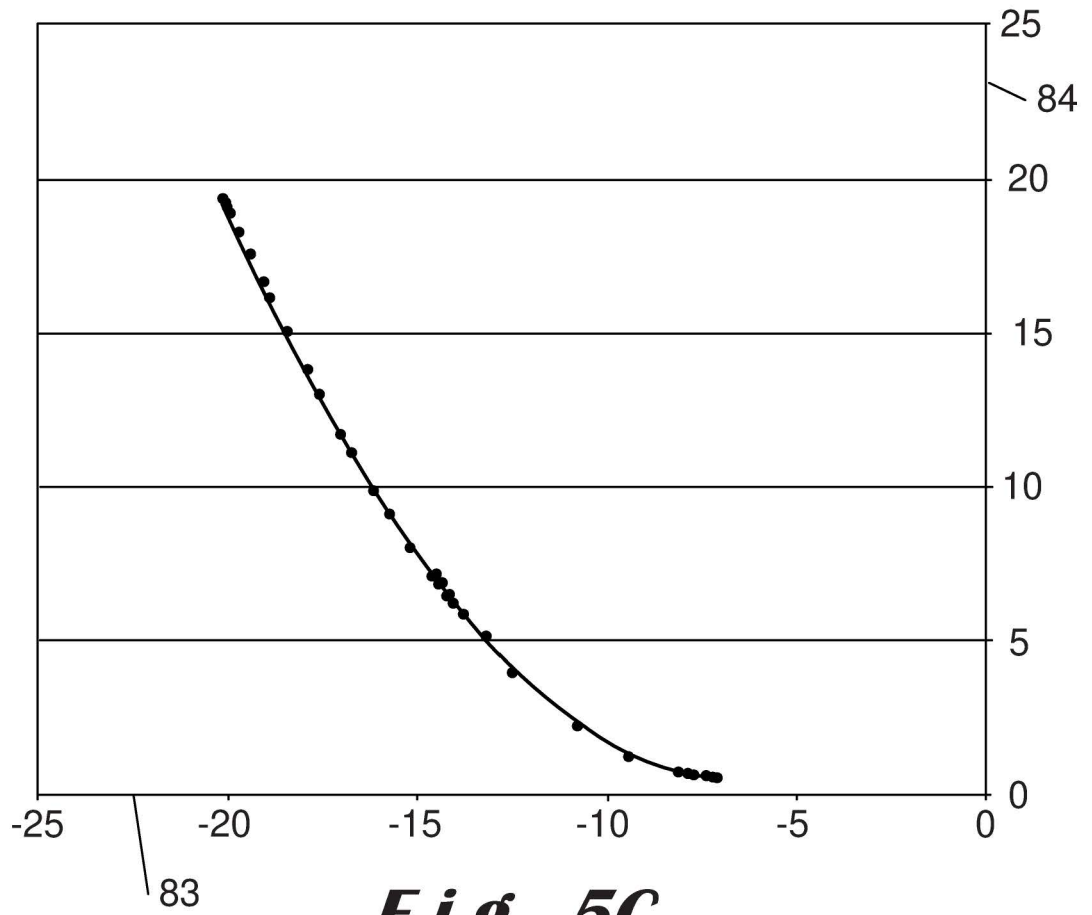
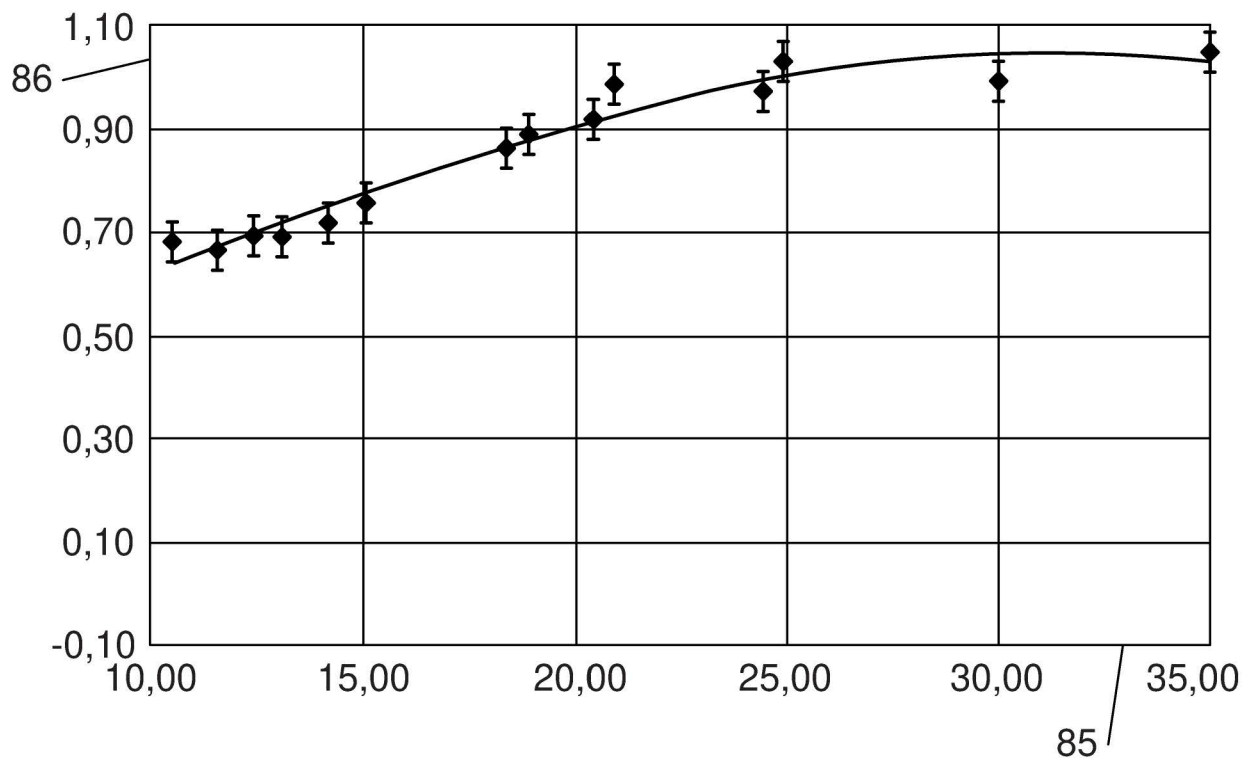
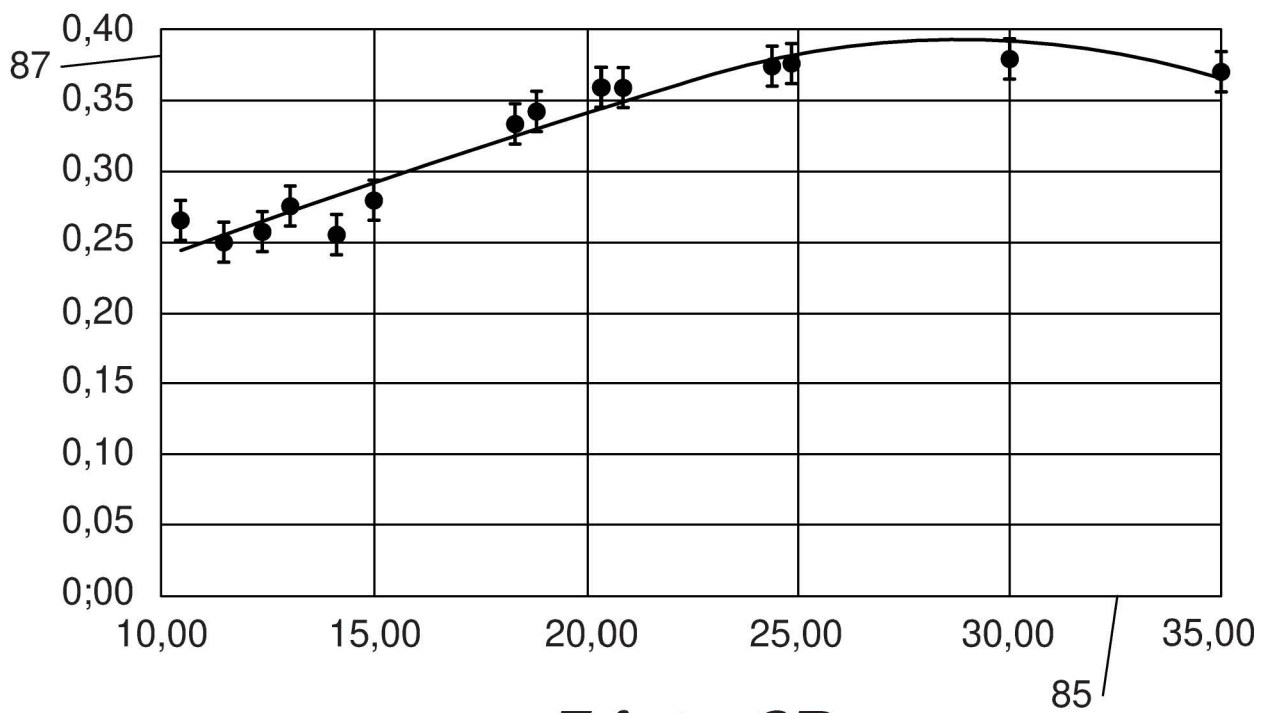
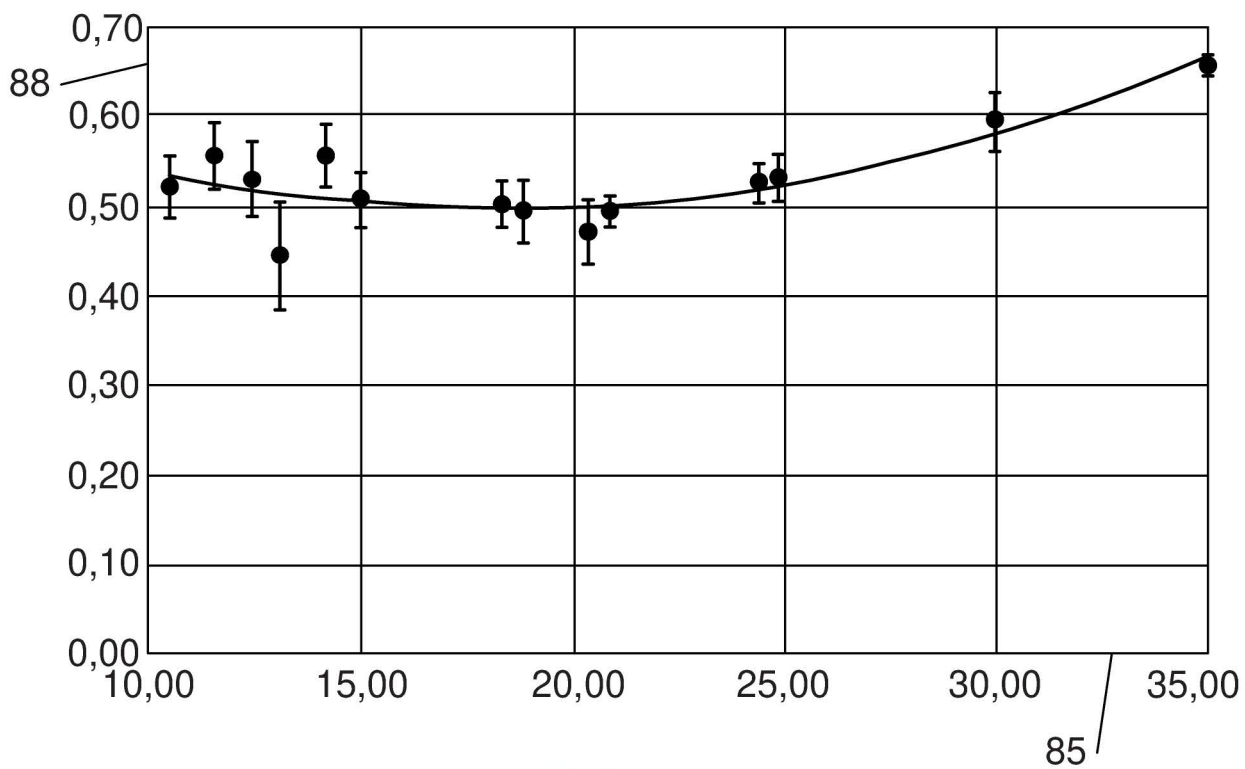
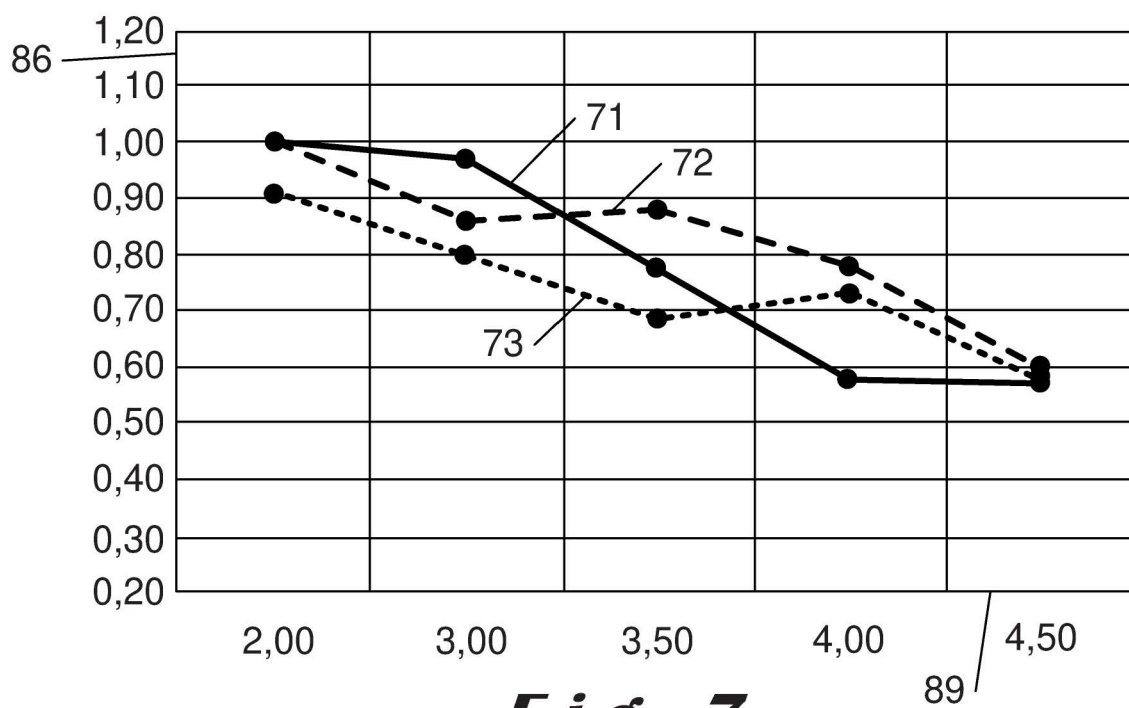
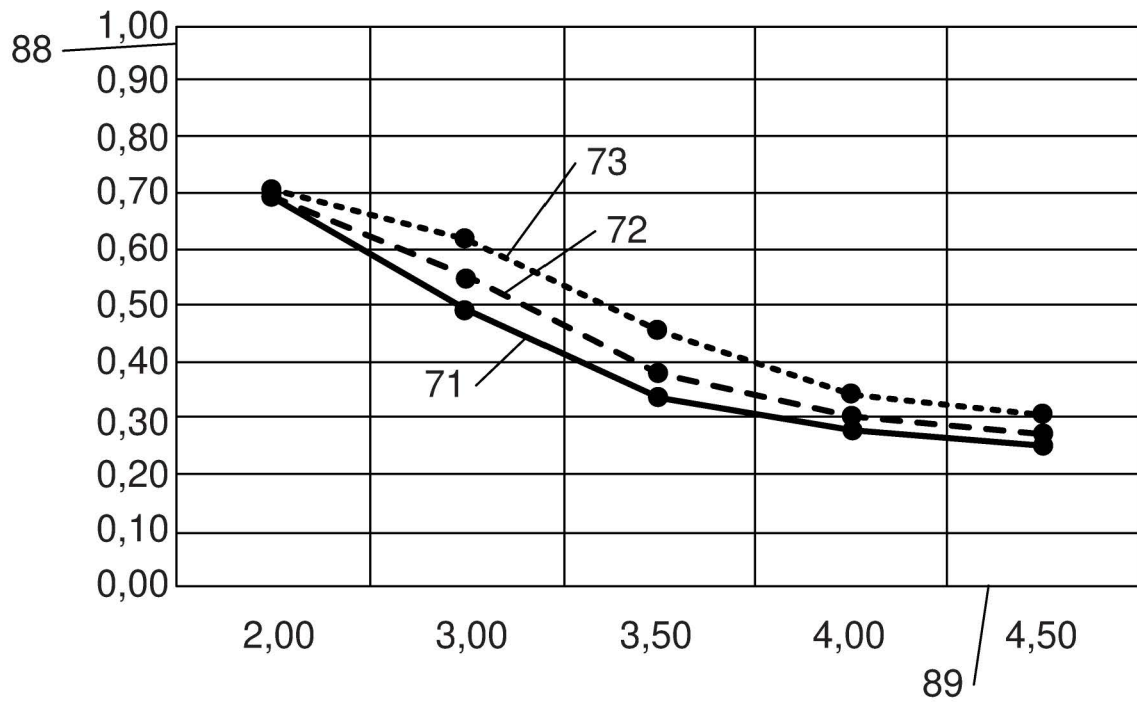
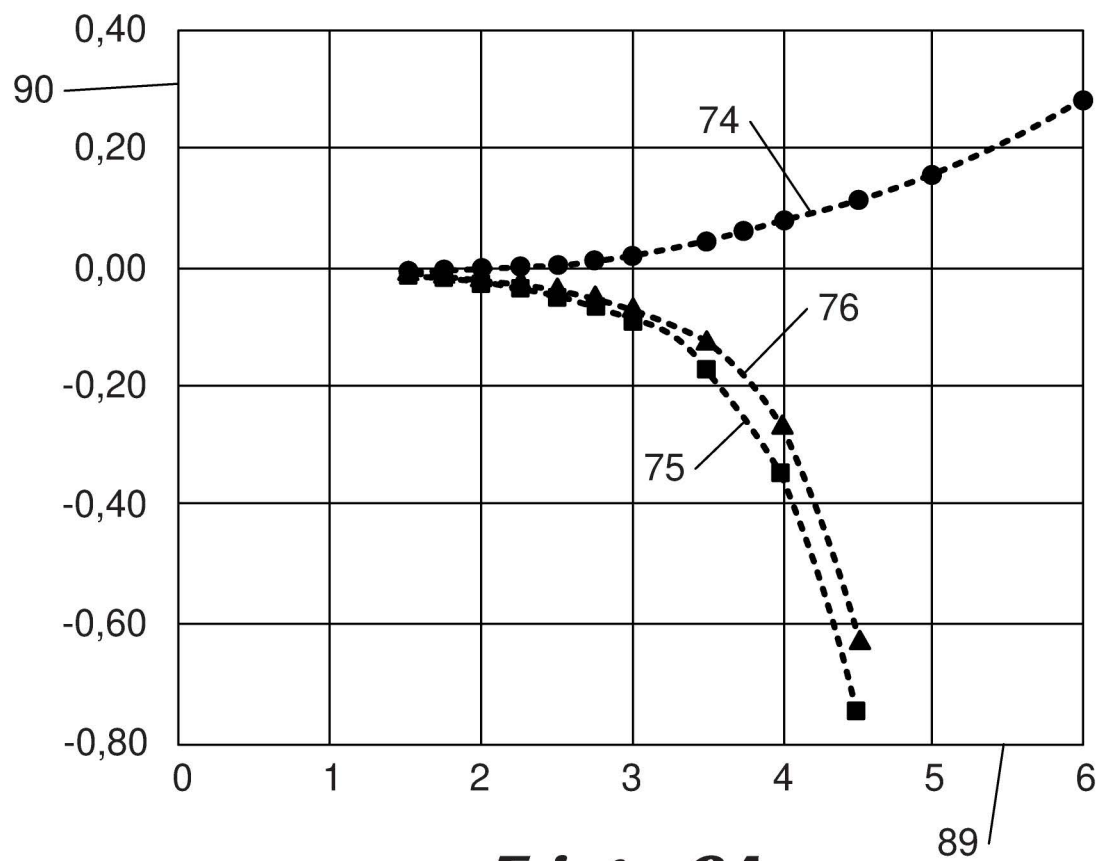
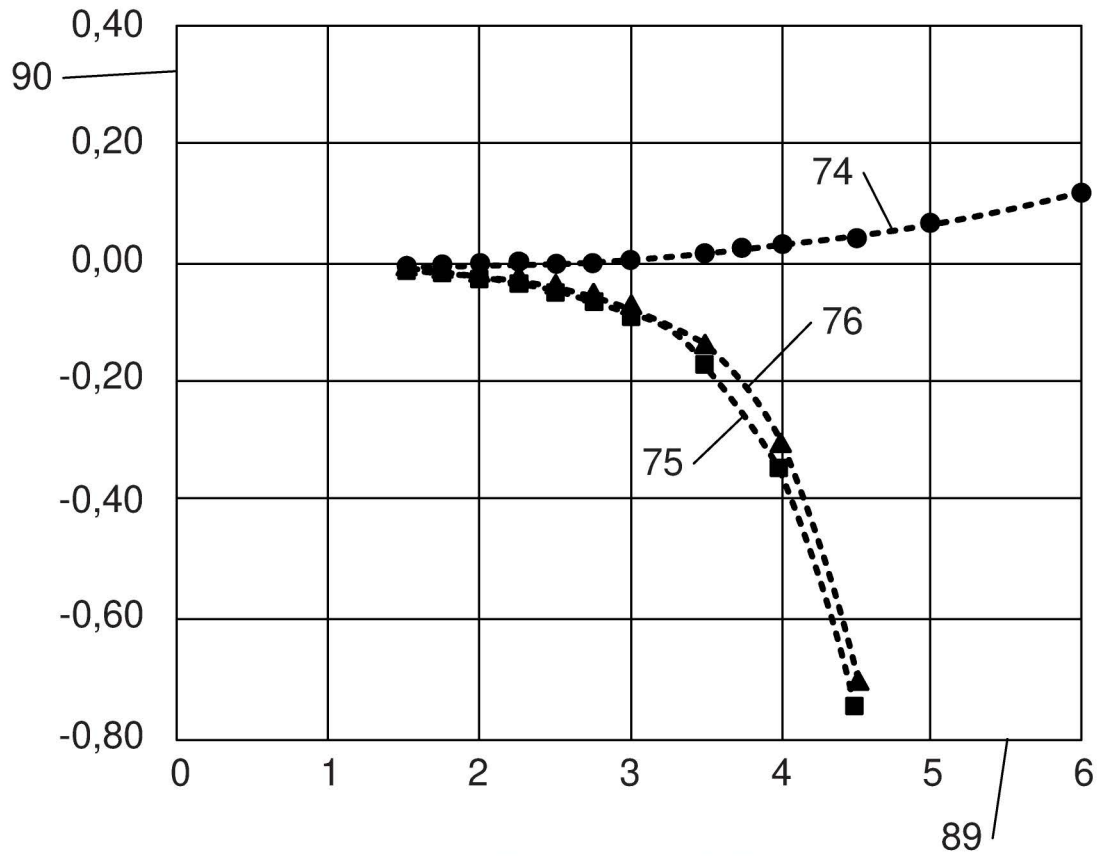
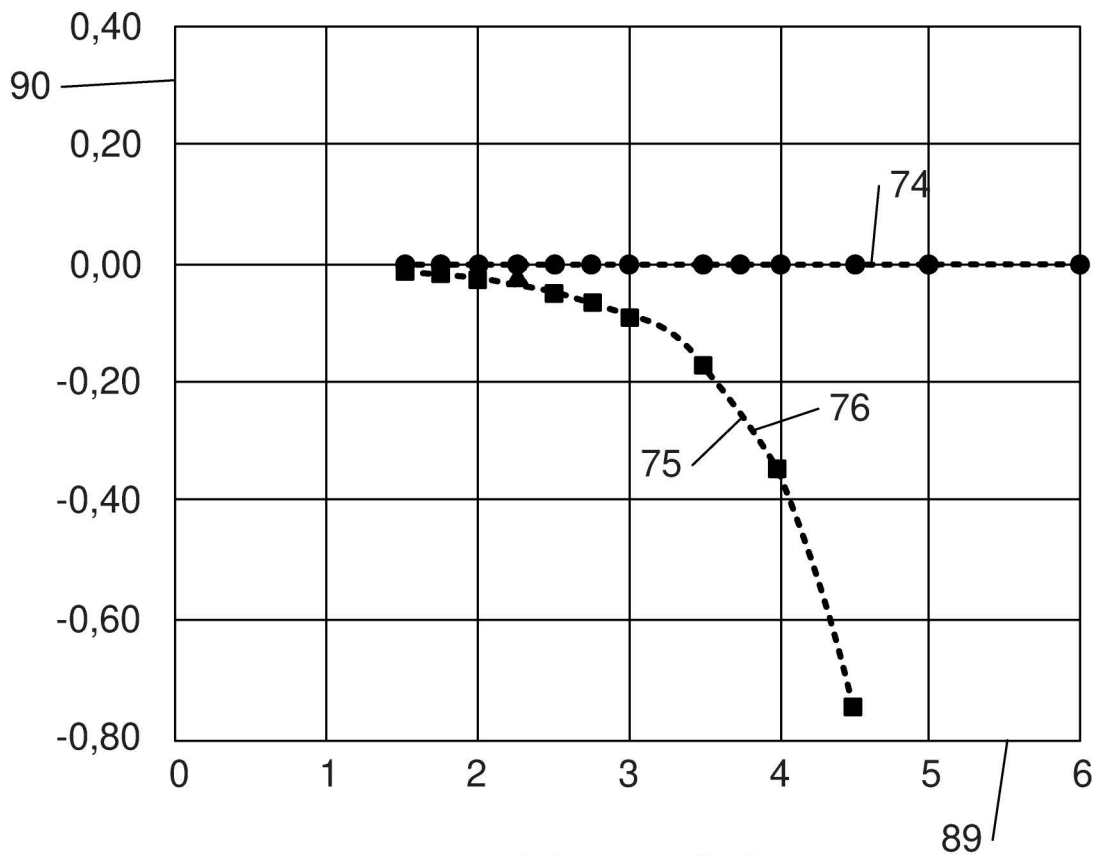


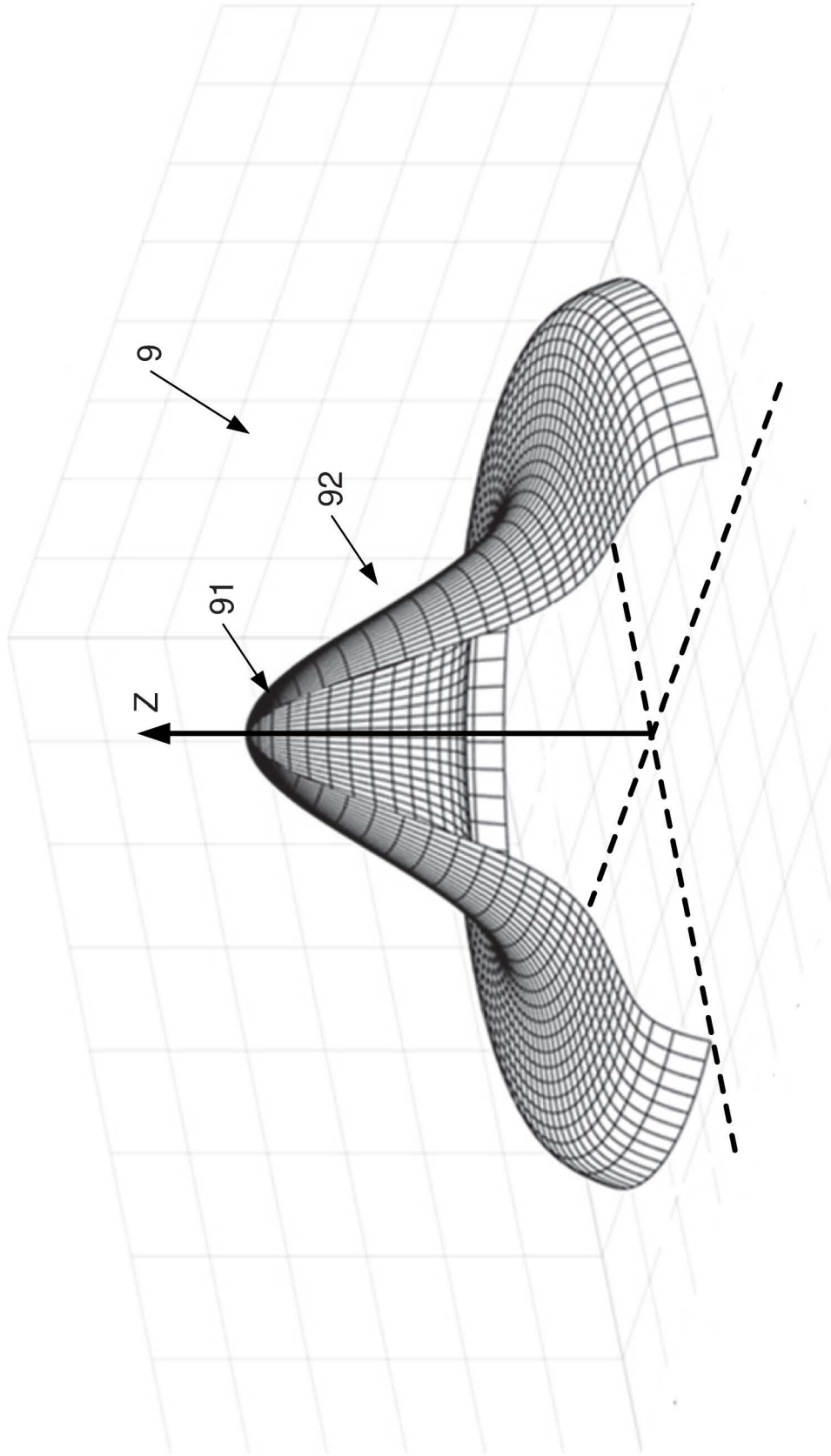
Fig. 5C

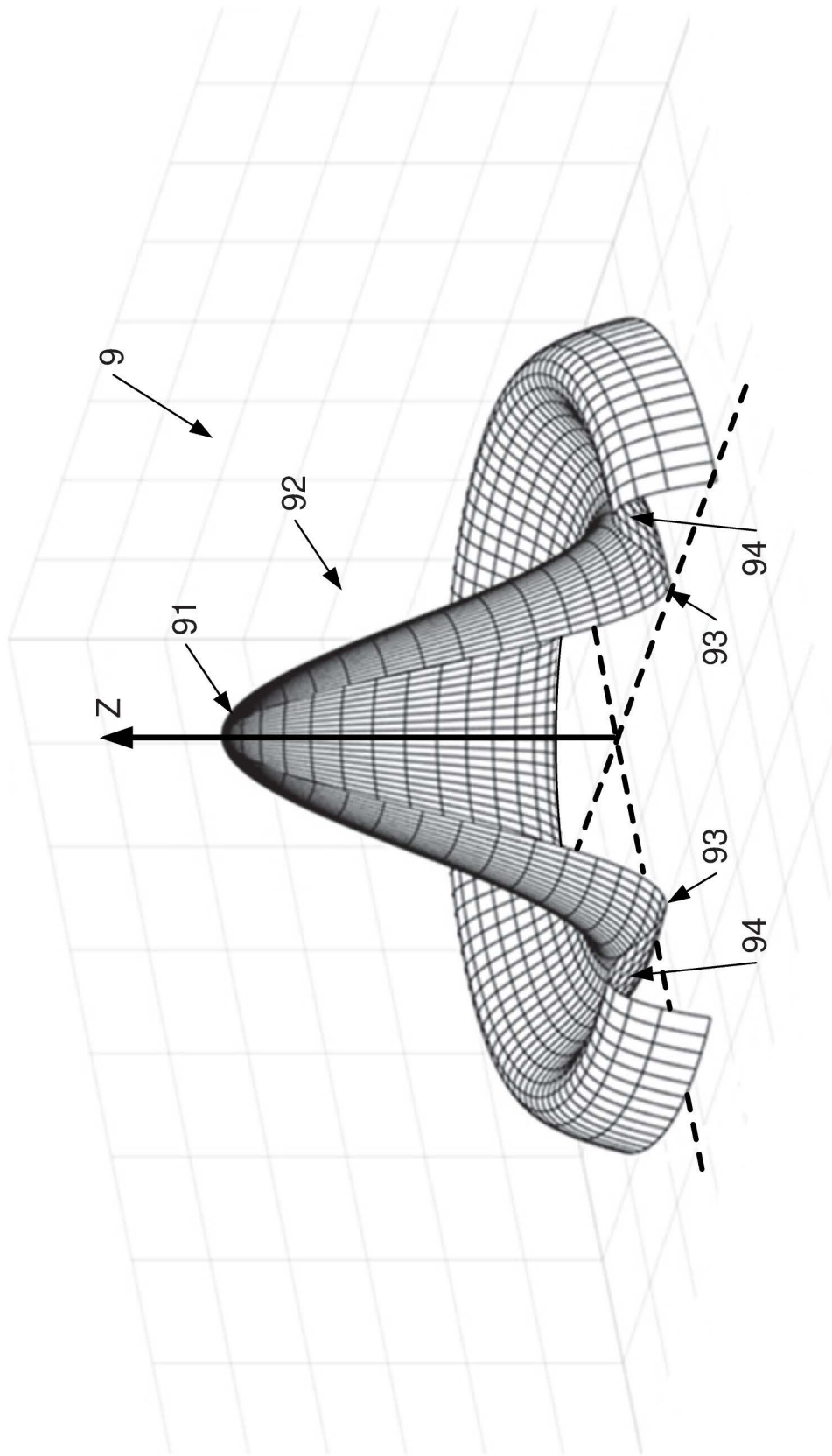
**Fig. 6A****Fig. 6B**

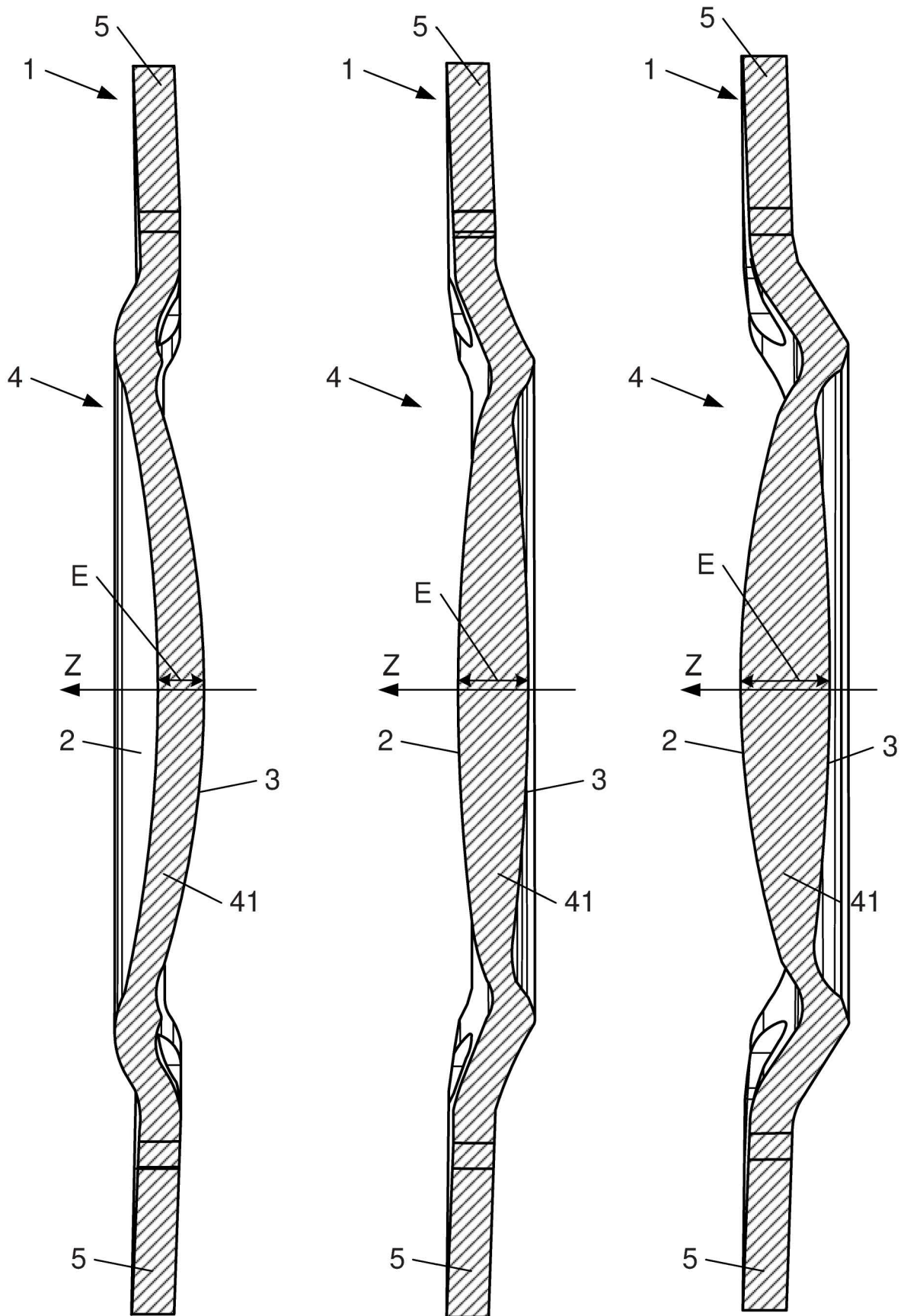
**Fig. 6C****Fig. 7**

**Fig. 8****Fig. 9A**

***Fig. 9B******Fig. 9C***

**Fig. 10A**

**Fig. 10B**

**Fig. 11A****Fig. 11B****Fig. 11C**

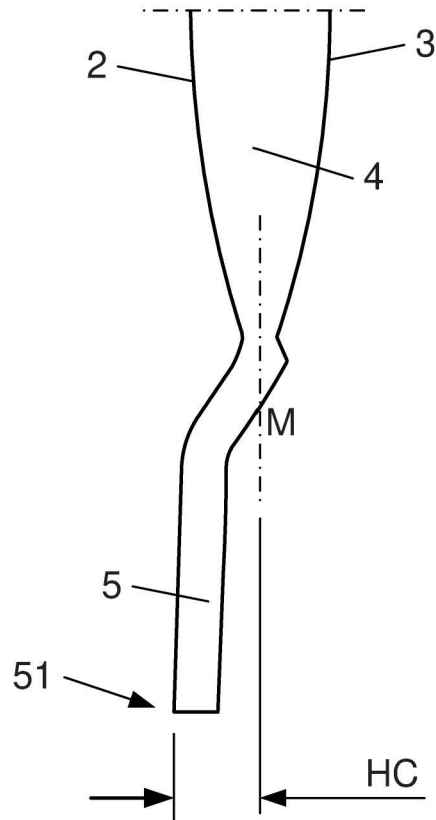


Fig. 12A

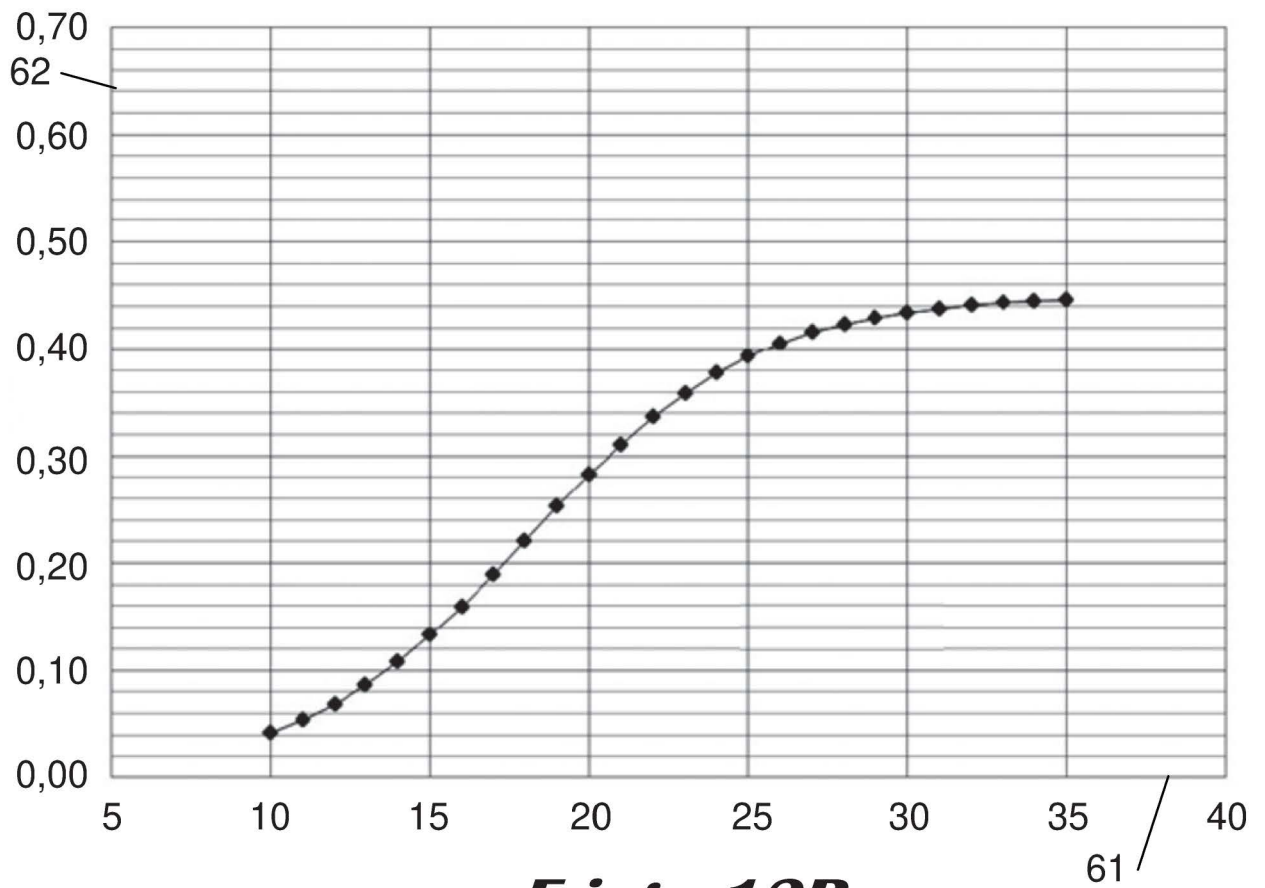


Fig. 12B

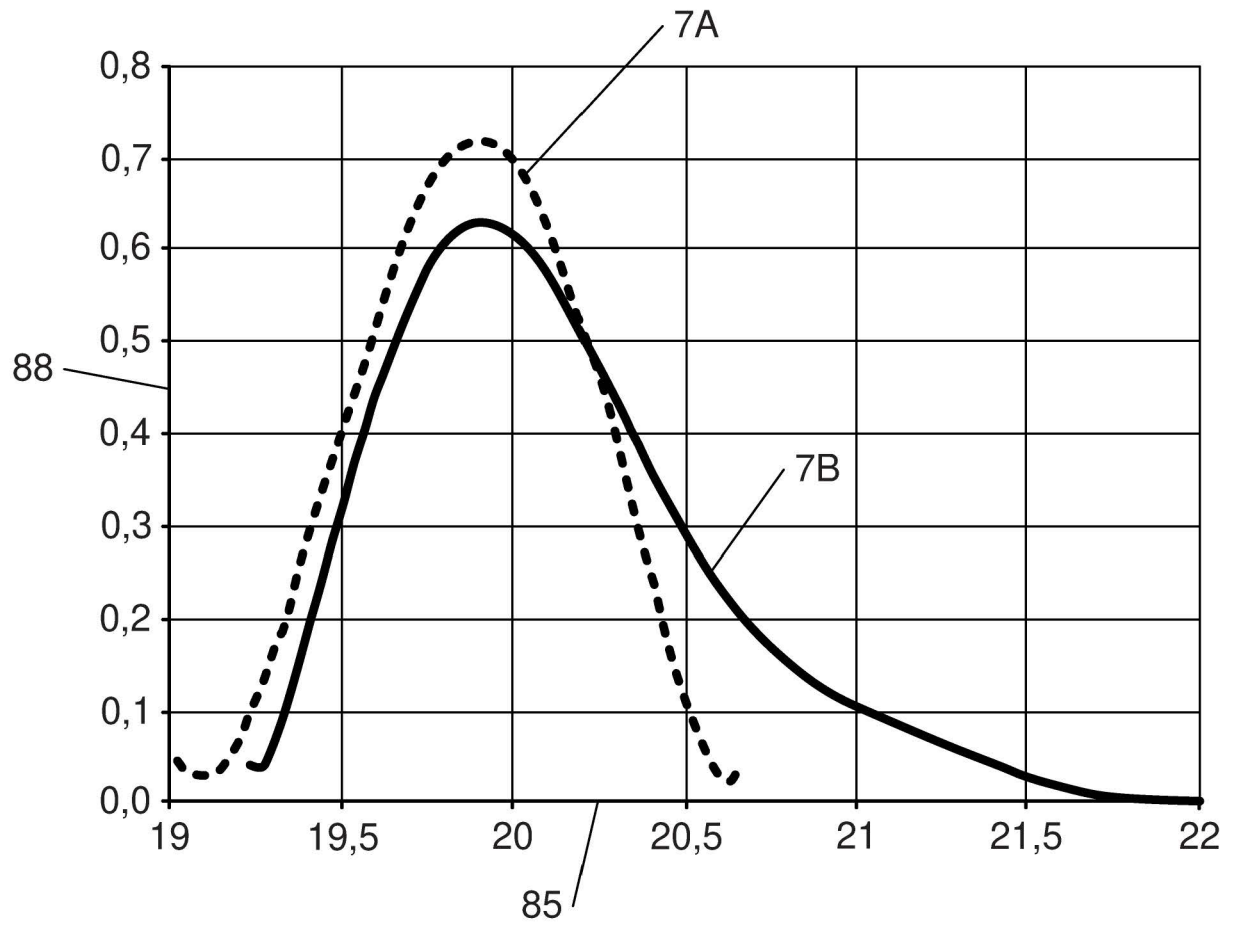


Fig. 13

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL ÉTABLI EN VERTU DE L'ARTICLE XI.23., §10 DU CODE DE DROIT ÉCONOMIQUE BELGE

IDENTIFICATION DE LA DEMANDE INTERNATIONALE	REFERENCE DU DEPOSANT OU DU MANDATAIRE PAT2540731BE00
Demande nationale belge n° 201905669	Date du dépôt 09-10-2019
	Date de priorité revendiquée 11-09-2019
Déposant (Nom) PHYSIOL SA, et al	
Date de la requête d'une recherche de type international 05-11-2019	Numéro attribué par l'administration chargée de la recherche internationale à la requête d'une recherche de type international SN74754
I. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE (en cas de plusieurs symboles de la classification, les indiquer tous) Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB Voir rapport de recherche	
II. DOMAINES RECHERCHES	
Documentation minimale consultée	
Système de classification	Symboles de la classification
IPC	Voir rapport de recherche
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents font partie des domaines consultés	
III. <input type="checkbox"/> IL A ÉTÉ ESTIMÉ QUE CERTAINES REVENDECTIONS NE POUVAIENT FAIRE L'OBJET D'UNE RECHERCHE (Observations sur la feuille supplémentaire)	
IV. <input type="checkbox"/> ABSENCE D'UNITÉ DE L'INVENTION ET/OU CONSTATATION RELATIVE À L'ÉTENDUE DE LA RECHERCHE (Observations sur la feuille supplémentaire)	

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. A61F2/16
ADD.

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

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
A61F

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 réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	CN 107 468 377 A (UNIV NANKAI) 15 décembre 2017 (2017-12-15) * figure 1 * -/--	1-31

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:

<p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p>	<p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt 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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&" document qui fait partie de la même famille de brevets</p>
---	--

Date à laquelle la recherche de type international a été effectivement achevée	Date d'expédition du rapport de recherche de type international
8 avril 2020	

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

C.(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie °	Documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
	<p>& Rp: "08 Translation On The Fly -result: CN107468377A -LARGE-FOCUS-DEPTH ASPHERIC INTRAOCULAR LENS FOR CORRECTING PRESBYOPIA", Applicant Nankai University Address 300071 Tianjin No. 94 Weijin Road, Nankai District, Shanghai (72) Inventor Liu Yongji Bian Yayan Jianglai (74) Patent agency Tianjin Yaoda Law Firm 12223, 15 décembre 2017 (2017-12-15), XP055684365, Extrait de l'Internet: URL:www.translation.cn [extrait le 2020-04-08] * revendications 1-5 * * alinéa [0032] *</p>	
X	<p>----- US 2014/358225 A1 (WANG ZHAO [CN]) 4 décembre 2014 (2014-12-04) * figure 5 *</p>	1-31
X	<p>----- EP 1 257 236 A1 (PHARMACIA GRONINGEN BV [NL]) 20 novembre 2002 (2002-11-20) * figure 8 *</p>	1-31
X	<p>----- US 6 926 744 B1 (BOS GILLES [FR] ET AL) 9 août 2005 (2005-08-09) * figures 1A, 2A, 2B * -----</p>	1-31

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande de recherche n

BE 201905669

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 107468377	A	15-12-2017	AUCUN

US 2014358225	A1	04-12-2014	EP 2805694 A1 26-11-2014
			JP 6450190 B2 09-01-2019
			JP 2015503977 A 05-02-2015
			US 2014358225 A1 04-12-2014
			WO 2013107288 A1 25-07-2013

EP 1257236	A1	20-11-2002	AR 033964 A1 21-01-2004
			AT 363244 T 15-06-2007
			AU 5030501 A 03-09-2001
			AU 2001250305 B2 20-10-2005
			CA 2399285 A1 30-08-2001
			CO 5280212 A1 30-05-2003
			DE 60128654 T2 31-01-2008
			EP 1257236 A1 20-11-2002
			JP 4253154 B2 08-04-2009
			JP 2003523261 A 05-08-2003
			MX PA02008225 A 05-04-2004
			WO 0162188 A1 30-08-2001

US 6926744	B1	09-08-2005	CA 2378575 A1 18-01-2001
			DE 60017132 T2 12-01-2006
			EP 1194084 A1 10-04-2002
			ES 2234641 T3 01-07-2005
			FR 2795944 A1 12-01-2001
			JP 2003504115 A 04-02-2003
			US 6926744 B1 09-08-2005
			WO 0103610 A1 18-01-2001



OPINION ÉCRITE

Dossier N° SN74754	Date du dépôt (<i>jour/mois/année</i>) 09.10.2019	Date de priorité (<i>jour/mois/année</i>) 11.09.2019	Demande n° BE201905669
Classification internationale des brevets (CIB) INV. A61F2/16			
Déposant PHYSIOL SA, et al			

La présente opinion contient des indications et les pages correspondantes relatives aux points suivants :

- Cadre n° I Base de l'opinion
- Cadre n° II Priorité
- Cadre n° III Absence de formulation d'opinion quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle
- Cadre n° IV Absence d'unité de l'invention
- Cadre n° V Déclaration motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration
- Cadre n° VI Certains documents cités
- Cadre n° VII Irrégularités dans la demande
- Cadre n° VIII Observations relatives à la demande

Formulaire BE237A (feuille de couverture) (Janvier 2007)	Examineur de Lajarte, Gilles
--	---------------------------------

OPINION ÉCRITE

Demande n°
BE201905669

Cadre n° I Base de l'opinion

1. Cette opinion a été établie sur la base des revendications déposées avant le commencement de la recherche.
2. En ce qui concerne **la ou les séquences de nucléotides ou d'acides aminés** divulguées dans la demande, le cas échéant, cette opinion a été effectuée sur la base des éléments suivants :
 - a. Nature de l'élément:
 - un listage de la ou des séquences
 - un ou des tableaux relatifs au listage de la ou des séquences
 - b. Type de support:
 - sur papier
 - sous forme électronique
 - c. Moment du dépôt ou de la remise:
 - contenu(s) dans la demande telle que déposée
 - déposé(s) avec la demande, sous forme électronique
 - remis ultérieurement
3. De plus, lorsque plus d'une version ou d'une copie d'un listage des séquences ou d'un ou plusieurs tableaux y relatifs a été déposée, les déclarations requises selon lesquelles les informations fournies ultérieurement ou au titre de copies supplémentaires sont identiques à celles initialement fournies et ne vont pas au-delà de la divulgation faite dans la demande internationale telle que déposée initialement, selon le cas, ont été remises.
4. Commentaires complémentaires :

OPINION ÉCRITE

Demande n°
BE201905669

Cadre n° V Opinion motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1. Déclaration

Nouveauté	Oui : Revendications	
	Non : Revendications	1-31
Activité inventive	Oui : Revendications	
	Non : Revendications	1-31
Possibilité d'application industrielle	Oui : Revendications	1-31
	Non : Revendications	

2. Citations et explications

voir feuille séparée

Cadre n° VIII Observations relatives à la demande

voir feuille séparée

Les pièces suivantes de la demande servent de fondement à l'examen:

Description, Pages

1-44 version initiale

Revendications, No.

1-31 version initiale

Dessins, Feuilles

1/13-13/13 version initiale

Item VIII

Certaines observations relatives à la demande

1 Clarté

La demande ne satisfait pas aux exigences de clarté pour les raisons suivantes :

1.1 Il n'est pas clair quelles sont les caractéristiques structurelles définies par l'équation de la revendication 1, à part une symétrie de rotation des deux surfaces.

1.1.1 Comme aucun des valeurs des coefficients n'est définie et tout ou presque tout les coefficients peuvent être nuls, la limitation des surfaces définie par les équations est uniquement que les surfaces ont une symétrie de rotation. Ces surfaces incluent une surface plane ou une surface sphérique, ce qui est tellement large que cela manque de clarté.

1.1.1.1 Ceci est tellement peu limitant qu'il y a aussi un manque de nouveauté vis à vis de la majorité des LIO de l'art antérieur.

1.1.2 De plus, même en supposant que quelques coefficients soient non nuls - par exemple pour le terme avec la conique - la surface reste vague. La série de Taylor a des coefficients en r^{2i} non définis pouvant être choisis de manière arbitraire, il est donc possible de représenter avec la série infinie de Taylor n'importe quelle surface de symétrie de rotation, y compris une surface conique annulant l'autre surface conique définie dans l'équation. Ceci résulte alors par exemple en une surface purement sphérique ou plane.

- 1.1.3 La constante κ (R_{st}) dépend de R_{st} , qui est une constante pour une lentille donnée. Tant que les paramètres a , b et c ne sont pas simultanément connus, il est toujours possible de choisir une valeur de a , b ou c telle que la constante κ prenne une valeur arbitraire, quelque soit la valeur (fixe pour une IOL donnée) de R_{st} au sommet. Il s'ensuit que la valeur de la constante de conicité n'est pas limitée du tout.
- 1.1.3.1 La même remarque s'applique aux groupes de coefficients (A , B , C , D) et (f , g , h)
- 1.1.4 Il s'ensuit que la revendication 1 n'est pas claire.
- 1.2 La revendication 2 définit un trop grand nombre de plages de valeurs reliées par "et/ou" ($2^9 = 512$ combinaisons possibles) rendant le domaine de protection obscure.
- 1.2.1 Certaines de ces combinaisons avec uniquement des "ou" incluent la définition d'un seul coefficient dont l'effet peut être annulé par tous les autres coefficients pouvant être choisis de manière arbitraire.
- 1.2.1.1 De plus, certains paramètres peuvent prendre la valeur zéro. Par exemple $h = 0$ - comme unique limitation définie dans une des options de la revendication 2 - n'est pas limitant.
- 1.2.2 Il s'ensuit que l'objet de la revendication 2 est tellement large et peu clair qu'il en devient non limitant.
- 1.2.3 Cette objection s'applique aussi aux revendications 3, 4, 6, 16 à 18.
- 1.3 Les revendications 9, 10, 14, 27, 28 portent sur une lentille et non une méthode de design par ordinateur d'une LIO. En conséquence, le rayon au sommet de la première surface R_{st} n'a qu'une valeur pour une LIO donnée, et il n'est pas possible de savoir - avec uniquement la lentille de la revendication 9 - sans ambiguïté si cette lentille a été optimisée avec certaines conditions liant R_{st} avec la puissance optique. Les revendications 9, 10, 14 ne sont donc pas claires et pas limitantes.
- 1.4 Les revendications 19 à 21 n'indiquent pas de position (ni relative, ni absolue) par rapport au diamètre de la surface optique. La surface optique elle-même n'est pas clairement définie dans le sens où la frontière entre la surface optique et la surface correspondant aux haptiques n'est pas définie.

- 1.4.1 La revendication 19 ne définit pas la position de la surface antérieure vis à vis de sa position future dans l'œil du patient - voir [0018] de la description de la demande de brevet pour une suggestion de direction). Même dans ce cas, la question se pose si l'homme du métier saurait dire sans ambiguïté où est la surface antérieure au vu de la lentille seule (sans connaître l'œil du patient).
- 1.5 La revendication 25 fait référence à un modèle de cornée non-défini et n'est pas claire. La caractéristique "région centrale étalée de puissance optique inférieure" n'est pas claire non plus, car le type d'étalement n'est pas défini ni la référence permettant de décider s'il y a un étalement ou non).

Item V

Déclaration motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle ; citations et explications à l'appui de cette déclaration.

2 Nouveauté et activité inventive

Il est fait référence aux documents suivants :

- D1 CN 107 468 377 A (UNIV NANKAI) 15 décembre 2017 (2017-12-15);
& Rp: "08 Translation On The Fly -result: CN107468377A -LARGE-FOCUS-DEPTH ASPHERIC INTRAOCULAR LENS FOR CORRECTING PRESBYOPIA",
Applicant Nankai University Address 300071 Tianjin No. 94 Weijin Road, Nankai District, Shanghai (72) Inventor Liu Yongji Bian Yayan Jianglai (74) Patent agency Tianjin Yaoda Law Firm 12223,
15 décembre 2017 (2017-12-15), XP055684365,
[extrait le 2020-04-08]
- D2 US 2014/358225 A1 (WANG ZHAO [CN]) 4 décembre 2014 (2014-12-04)
- D3 EP 1 257 236 A1 (PHARMACIA GRONINGEN BV [NL]) 20 novembre 2002 (2002-11-20)
- D4 US 6 926 744 B1 (BOS GILLES [FR] ET AL) 9 août 2005 (2005-08-09)

2.1 Revendication indépendante 1

D1 divulgue une lentille intraoculaire (Fig 1; P 2, revendication 1, "big depth of focus aspheric intraocular lens") comprenant :

- une surface optique antérieure, et
- une surface optique postérieure,

les deux s'étendant radialement vers l'extérieur par rapport à un axe optique (Fig 1) ;

caractérisée en ce que :

- une première surface (2) parmi les surfaces optiques antérieure et postérieure est définie par l'équation ([0032]) :

$$z_{st}(r) = \frac{r^2}{R_{st} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{(1 + \kappa_{st}(R_{st})) r^2}{R_{st}^2}} \right)} + \sum_{i \geq 2} \alpha_{2i}^{st} r^{2i}$$

où :

- $z_{st}(r)$ est une composante, mesurée le long de l'axe optique (Z), d'un vecteur de déplacement

depuis un sommet (Fig 1, (2)) de la première surface (2), jusqu'à un point quelconque de cette dernière à un rayon r de l'axe optique (Z) ;

- R_{st} est un rayon de courbure de la première surface (2) évalué audit sommet (2) ;

- $\kappa_{st}(R_{st})$ est une constante de conicité de la première surface (2) évaluée audit sommet (2) et définie en fonction dudit rayon de courbure de la première surface (2) par la relation :

$$\kappa_{st}(R_{st}) = \begin{cases} a R_{st}^2 + b R_{st} + c & \text{if } R_{st} < 0 \\ A[\text{erf}(BR_{st} + C) + D] & \text{if } R_{st} > 0 \end{cases}$$

où erf désigne une fonction d'erreur de Gauss, et où a, b, c, A, B, C, D sont des nombres réels constants (voir objections de clarté au § 1.1 ci-dessus; P 2, revendications 1-3, "rear surface (2)");

- α_{2i}^{st} est un coefficient d'asphéricité d'ordre $2i$ de la première surface (revendication 4) ;

- une seconde surface (1) parmi les surfaces optiques antérieure et postérieure est définie par l'équation :

$$z_{nd}(r) = \frac{r^2}{R_{nd} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{(1 + \kappa_{nd}(R_{nd})) r^2}{R_{nd}^2}} \right)} + \sum_{i \geq 2} \alpha_{2i}^{nd} r^{2i}$$

où :

- $z_{nd}(r)$ est une composante, mesurée le long de l'axe optique (Z), d'un vecteur de déplacement depuis un sommet (1) de la seconde surface (1), jusqu'à un point quelconque de cette dernière à un rayon r de l'axe optique (Z) ;
- $R_{nd} < 0$ est un rayon de courbure de la seconde surface (1) évalué audit sommet (Fig 1, (1) montre une courbure fortement négative; revendication 5) ;
- $\kappa_{nd}(R_{nd})$ est une constante de conicité de la seconde surface (1) évaluée audit sommet (1) et définie en fonction dudit rayon de courbure de la seconde surface (1) par la relation :

$$\kappa_{nd}(R_{nd}) = f R_{nd}^2 + g R_{nd} + h$$

où f, g, h sont des nombres réels constants (voir objection de clarté au § 1.1 ci-dessus);

- α_{2i}^{nd} est un coefficient d'asphéricité d'ordre $2i$ de la seconde surface (revendication 3).

Ainsi, le dispositif de D1 a toutes les caractéristiques de la revendication 1, et son objet n'est donc pas nouveau.

2.1.1 Remarque : les première et seconde surfaces peuvent être inversées et l'objection ci-dessus répétée *mutatis mutandis*.

2.2 La même objection est faite avec D2 (Fig 5), D3 (Fig 8), D4 (Fig 1B, 2A, 2B) au lieu de D1.

2.3 Autres revendications

L'objet des revendications restantes ne semble pas contenir de caractéristiques supplémentaires qui, en combinaison avec les caractéristiques de n'importe quelle revendication dont il dépend, satisfait aux exigences de nouveauté et d'activité inventive, pour les raisons suivantes :

- Revendications 2 à 4 : paramètres liant la constante de conicité d'une surface à l'autre (voir objection de clarté au § 1.2 ci-dessus; les constantes de conicités sont définies dans D1, revendication 5, "quadratic surface coefficient" et remplissent la majorité - voir peut être la totalité - de ces conditions),
- Revendication 5 : puissance optique entre 10 D et 35 D (D1, implicite de part [0012], "IOL [avec un rayon de courbure de] 2.8[...] mm [et un rayon presque infini]"; la valeur typique d'une LIO de ce type est 15 D à 20 D),
- Revendication 6 : voir revendication 5 ci-dessus et § 1.2 ci-dessus,

- Revendication 7 : $P \leq 14 D$ (D3, Fig 3),

- Revendication 8 : $P > 14 D$ (D1, revendication 5; voir aussi objection sur la revendication 5 ci-dessus),
- Revendications 9, 10, 14, 27, 28 : voir objection au § 1.3 ci-dessus,
- Revendication 11 : coefficients d'ordre inférieur ou égal à 10 sont non nuls (D1, revendications 3, 4, avec $\alpha_2 (D1) = \alpha_4$ dans la demande de brevet),
- Revendication 12 : valeur absolue des coefficients asphériques décroissant, $|\alpha_4| < 0.01$ (D1, revendications 3, 4, pas d'activité inventive pour réduire $|\alpha_{2(D1)}| = |\alpha_4|$ de 0.016 à une valeur strictement inférieure à 0.01; face au problème de faciliter la production de la LIO - tolérances plus larges, surface variant plus doucement / réduire les coûts, l'homme du métier diminuerait la valeur des coefficients asphériques dans le cadre de ses connaissances générales et arriverait à l'objet de la revendication 12 sans nécessiter d'activité inventive),
- Revendication 13 : coefs d'ordre supérieur à 10 sont nuls (D1, revendications 3, 4, avec $\alpha_{5(D1)} = \alpha_{10}$),
- Revendication 15 : 1^{ère} surface = surface antérieure (D1, Fig 1),
- Revendications 16-18 : voir objection au § 1.2 ci-dessus - trop de "ou" dans ces revendications; par d'activité inventive pour modifier légèrement la LIO de D1 pour une valeur précise de puissance nécessité par un patient particulier,

- Revendication 19 : surface postérieure avec $R_{nd} < 0$, $P > 14 D$,
surface antérieure avec un minimum local au sommet et croissante jusqu'au bord (voir objection de clarté au § 1.4 ci-dessus; tant que la direction des surfaces n'est pas définie de manière non-ambigüe, la lentille bi-convex ou essentiellement bi-convexe de D1 peut être interprétée comme ayant comme surface antérieure la surface Fig 1, (2)),
surface postérieure avec maximum local au sommet, décroissant jusqu'à un minimum local périphérique à une distance positive du bord de la deuxième surface (postérieure) avec un point d'inflexion entre, puis croissant jusqu'au bord de la lentille (D1, Fig 1, (1)),

- Revendication 20 : surface postérieure avec $R_{nd} < 0$, $12 D < P \leq 14 D$, surfaces antérieures et postérieures inversées (voir objections vis à vis de la revendication 19 ci-dessus et au § 1.4 ci-dessus),

- Revendication 21 : surface postérieure avec $R_{nd} < 0$, $P \leq 12 D$, les deux surfaces décroissantes (D3, Fig 8),

- Revendication 22 : $1.4 \leq n \leq 1.65$ (refractive index normal pour une LIO; D1, [0031], D2, [0244], D3, [0053]),

- Revendication 23 : épaisseur entre 0.3 mm et 0.7 mm (valeurs normales divulguées explicitement ou implicitement dans D1-D3 ou faisant part des modifications routinières de l'homme du métier),

- Revendication 24 : diameter entre 4.7 mm et 5 mm (valeurs normales divulguées explicitement ou implicitement dans D1-D3 ou faisant part des modifications routinières de l'homme du métier),

- Revendication 25 : voir objection de clarté au § 1.5 ci-dessus,

- Revendications 26 à 30 : 4 haptiques (D4, Fig 2A),

- Revendication 31 : procédé de fabrication d'une lentille intraoculaire (voir objection vis à vis de la revendication 1, qui s'applique *mutatis mutandi*).