
**Optique et instruments ophtalmiques —
Méthodes de présentation des
aberrations de l'œil humain**

*Ophthalmic optics and instruments — Reporting aberrations of the
human eye*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 24157:2008](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4481b634-f3c9-4805-879e-ef20b0e72a1/iso-24157-2008)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4481b634-f3c9-4805-879e-ef20b0e72a1/iso-24157-2008>



PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 24157:2008

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4481b634-3c9-4805-879e-ee20b0e72a1/iso-24157-2008>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2008

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Système de coordonnées	5
5 Représentation des données relatives au front d'onde	6
5.1 Représentation des données relatives au front d'onde au moyen des coefficients de la fonction du polynôme de Zernike	6
5.2 Représentation des données de front d'onde sous forme de gradients ou de valeurs de fonction d'erreur de front d'onde	9
5.3 Erreur d'ajustement du gradient	10
6 Présentation des données représentant les aberrations de l'œil humain	10
6.1 Généralités	10
6.2 Données d'aberration présentées sous forme de coefficients de Zernike normalisés	11
6.3 Données d'aberration présentées sous forme de coefficients de Zernike normalisés par amplitude/axe	12
6.4 Données d'aberration présentées sous forme de cartes topographiques	12
6.5 Présentation des données d'aberration collectives	14
Annexe A (informative) Méthodes de génération des coefficients de Zernike	16
Annexe B (informative) Conversion des coefficients de Zernike prenant en compte les différences de tailles d'ouverture, le décentrement et la rotation du système de coordonnées	18
Annexe C (informative) Conversion entre les coefficients de Zernike représentés dans différents systèmes de notation	26
Annexe D (informative) Algorithme informatique permettant de générer des matrices de pondération de dérivée partielle pour des fonctions polynomiales de Zernike non normalisées	28
Annexe E (informative) Tableau de fonctions polynomiales de Zernike normalisées (au 6^e ordre radial)	30
Bibliographie	32

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

L'ISO 24157 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 172, *Optique et photonique*, sous-comité SC 7, *Optique et instruments ophtalmiques*.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)
ISO 24157:2008
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4481b634-f3c9-4805-879e-ef20b0e72a1/iso-24157-2008>

Optique et instruments ophtalmiques — Méthodes de présentation des aberrations de l'œil humain

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les méthodes normalisées permettant de consigner les aberrations de l'œil humain.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 8429, *Optique et instruments d'optique — Ophtalmologie — Échelle graduée*

3 Termes et définitions (standards.iteh.ai)

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent. Les symboles utilisés sont récapitulés dans le Tableau 1. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4481b634-3c9-4805-879e-ef20b0e72a1/iso-24157-2008>

3.1

ligne de visée

ligne partant du point étudié dans l'espace objet au centre de la pupille d'entrée de l'œil et continuant du centre de la pupille de la pupille de sortie au point de fixation rétinien (appelé foveola)

3.2

polynômes de Zernike

ensemble de fonctions définies et orthogonales sur un cercle de rayon unité, définies par le produit de trois termes, un terme de normalisation, un terme radial et un terme méridien, paramétrées par un paramètre radial sans dimension, ρ , ainsi que par un paramètre méridien sans dimension, θ , et par un indice entier positif ou nul, n , et un indice méridien entier signé, m , obtenues par l'équation suivante:

$$Z_n^m = N_n^m R_n^{|m|}(\rho) M(m\theta) \quad (1)$$

où

N_n^m est le terme de normalisation;

$R_n^{|m|}$ est le terme radial;

$M(m\theta)$ est le terme méridien;

le paramètre ρ est un nombre réel continu sur la plage de 0 à 1,0;

le paramètre θ est un nombre réel continu sur la plage de 0 à 2π ;

NOTE Pour une valeur donnée d'indice radial, n , l'indice méridien, m , peut prendre uniquement les valeurs $-n$, $-n+2$, ..., $n-2$ et n .

3.2.1

terme radial

terme de la fonction polynomiale de Zernike avec les indices n et m obtenus par l'équation suivante:

$$R_n^{|m|}(\rho) = \sum_{s=0}^{0,5(n-|m|)} \frac{(-1)^s (n-s)!}{s!(0,5(n+|m|)-s)! (0,5(n-|m|)-s)!} \rho^{n-2s} \tag{2}$$

où s est un indice de sommation en nombre entier incrémenté par une unité.

3.2.2

paramètre radial

ρ

nombre sans dimension dont la valeur est comprise entre 0 et 1; sa valeur à une distance radiale, r , du centre de l'ouverture est obtenue par l'expression

$$\rho = \frac{r}{a} \tag{3}$$

où a est la valeur du rayon de l'ouverture

3.2.3

terme méridien

terme de la fonction de polynôme de Zernike avec l'indice m obtenu par l'équation

$$M(m\theta) = \cos(m\theta) \quad \text{si } m \geq 0 \tag{4}$$

$$M(m\theta) = \sin(|m|\theta) \quad \text{si } m < 0 \tag{5}$$

iTech STANDARD PREVIEW
(standards.itech.ai)

ISO 24157:2008

NOTE Le terme méridien est également désigné par le terme «azimutal».

3.2.4

paramètre méridien

θ

valeur angulaire dont les valeurs sont comprises entre 0 et 2π (0° et 360°), elles sont exprimées par le système de coordonnées défini dans l'Article 4

NOTE Il peut également être désigné angle azimutal.

3.2.5

terme de normalisation

fonction polynomiale de Zernike dont les indices n et m sont égaux à 1,0 pour les fonctions «non normalisées» (3.2.7) et pour les «fonctions normalisées» (3.2.6); elle est obtenue par l'équation suivante:

$$N_n^m = \sqrt{(2 - \delta_{0,m})(n+1)} \tag{6}$$

où $\delta_{0,m} = 1$ si $m = 0$, $\delta_{0,m} = 0$ si $m \neq 0$

3.2.6

fonction polynomiale de Zernike normalisée

fonction polynomiale de Zernike dont le terme de normalisation prend la forme indiquée en 3.2.5 pour les fonctions «normalisées» définies comme orthogonales dans le sens qu'elle satisfait l'équation suivante:

$$\int_0^1 \rho d\rho \int_0^{2\pi} Z_n^m Z_{n'}^{m'} d\theta = \pi \delta_{n,n'} \delta_{m,m'} \tag{7}$$

où

$$\delta_{n,n'} = 1 \text{ si } n = n', \delta_{n,n'} = 0 \text{ si } n \neq n',$$

$$\delta_{m,m'} = 1 \text{ si } m = m', \delta_{m,m'} = 0 \text{ si } m \neq m'.$$

3.2.7

fonction polynomiale de Zernike non normalisée

fonction polynomiale de Zernike dont le terme de normalisation est égal à 1,0 et défini comme orthogonal dans le sens qu'il satisfait l'équation

$$(2 - \delta_{0,m})(n+1) \int_0^1 \rho d\rho \int_0^{2\pi} Z_n^m Z_n^{m'} d\theta = \pi \delta_{n,n'} \delta_{m,m'} \quad (8)$$

où

$$\delta_{n,n'} = 1 \text{ si } n = n', \delta_{n,n'} = 0 \text{ si } n \neq n';$$

$$\delta_{m,m'} = 1 \text{ si } m = m', \delta_{m,m'} = 0 \text{ si } m \neq m';$$

$$\delta_{0,m} = 1 \text{ si } m = 0, \delta_{0,m} = 0 \text{ si } m \neq 0.$$

3.2.8

ordre

valeur de l'indice radial, n , d'une fonction polynomiale de Zernike

3.3

coefficient de Zernike

membre d'un ensemble de nombres réels, c_n^m , multiplié par la fonction de Zernike qui lui est associée pour fournir un terme qui est, par la suite, utilisé dans une somme de termes permettant d'obtenir une valeur égale à la meilleure estimation de la surface $S(\rho, \theta)$, qui utilise les termes de Zernike, cette somme est représentée par

$$S(\rho, \theta) = \sum_{\text{tout } n \text{ et } m} c_n^m Z_n^m \quad (9)$$

NOTE 1 Chaque ensemble de coefficients de Zernike est associé au diamètre de l'ouverture qui a été utilisé pour générer l'ensemble à partir des données relative à l'élévation de la surface. L'ensemble est incomplet s'il manque l'information relative à l'ouverture.

NOTE 2 L'Annexe A regroupe des informations concernant une méthode permettant de trouver les coefficients de Zernike à partir des données de la pente d'un front d'onde (gradient).

3.3.1

coefficient de Zernike normalisé

coefficient de Zernike généré à l'aide des fonctions de Zernike normalisées et conçu pour être utilisé avec eux pour reconstruire une surface

NOTE Les coefficients de Zernike normalisés ont des unités dimensionnelles de longueur.

3.3.2

coefficient de Zernike non normalisé

coefficient de Zernike généré à l'aide des fonctions de Zernike non normalisées et conçu pour être utilisé avec eux pour reconstruire une surface

NOTE Les coefficients de Zernike non normalisés ont des unités dimensionnelles de longueur.

**3.4
erreur de front d'onde**

$W(x,y)$ ou $W(r,\theta)$

⟨œil⟩ longueur du chemin optique (c'est-à-dire l'indice de réfraction multiplié par la distance de propagation) entre un front d'onde plan dans la pupille, à l'entrée de l'œil, et le front d'onde de la lumière, à la sortie de l'œil, provenant d'une source ponctuelle sur la rétine et qui est spécifiée comme une fonction (fonction d'erreur de front d'onde) des coordonnées (x,y) ou (r,θ) de la pupille d'entrée

NOTE 1 L'erreur de front d'onde est mesurée dans la direction axiale (c'est-à-dire parallèlement à l'axe Z défini dans l'Article 4) depuis le plan contenant la pupille vers le front d'onde.

NOTE 2 Par convention, l'erreur de front d'onde est réglée à zéro au centre de la pupille en retranchant la valeur centrale à partir des valeurs à tous les autres emplacements de la pupille.

NOTE 3 L'erreur de front d'onde s'exprime en unités physiques métriques (généralement consignées en micromètres) et se rapporte à une longueur d'onde spécifiée.

**3.5
différence de marche
OPD**

négatif de l'erreur de front d'onde (3.4) en chaque point d'un front d'onde (3.4), représentant la correction de la longueur de parcours optique nécessaire pour corriger l'erreur de front d'onde

**3.6
moyenne quadratique de l'erreur de front d'onde**

⟨œil⟩ quantité calculée comme étant la racine carrée de l'écart de la fonction d'erreur de front d'onde (3.4) et définie comme étant

$$RMS_{WFE} = \sqrt{\frac{\iint_{\text{pupille}} [W(x,y)]^2 dx dy}{A}} \tag{10}$$

(standards.iteh.ai)
ISO 24157:2008
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4481b634-3c9-4805-879e-ef20b0e72a1/iso-24157-2008>

où A est la surface de la pupille

ou bien, si la fonction d'erreur de front d'onde est exprimée en termes de coefficients de Zernike normalisés, une quantité égale à la racine carrée de la somme des carrés des coefficients avec un indice radial supérieur ou égal à 2

$$RMS_{WFE} = \sqrt{\sum_{n>1, \text{ tout } m} (c_n^m)^2} \tag{11}$$

NOTE 1 Il convient que la valeur de piston et l'inclinaison moyenne soient exclues de ce calcul, car elles correspondent plus à des déplacements latéraux de l'image qu'à une dégradation de l'image en tant que telle.

NOTE 2 La moyenne quadratique de l'erreur peut également être calculée en utilisant un ensemble discret de valeurs d'erreur de front d'onde qui avaient été utilisées pour obtenir les coefficients de Zernike et les méthodes statistiques normalisées. Le calcul ainsi effectué, il peut s'avérer que cette valeur de moyenne quadratique ne correspond pas exactement à la valeur obtenue à l'aide de la formule figurant ci-dessus. Cette situation tend surtout à se produire lorsque les points de la pupille utilisés pour échantillonner l'erreur de front d'onde ne sont pas répartis de manière uniforme. Les données établies ne résultent donc pas en des fonctions de Zernike orthogonales, discrètes.

**3.7
aberrations d'ordre supérieur**

aberrations subies par l'œil en plus des erreurs de réfraction sphéro-cylindriques et prismatiques et donc, si l'erreur de front d'onde est exprimée en termes de coefficients de fonction polynomiale de Zernike, aberrations d'ordre supérieur ou égal à 3

3.8

gradient du front d'onde $\partial W(x,y)$

vecteur donnant les valeurs du gradient du front d'onde $\partial W(x,y)/\partial x$ et $\partial W(x,y)/\partial y$ aux emplacements x et y et lorsqu'il est exprimé en termes de coefficients de polynôme de Zernike, il est obtenu par les formules suivantes

$$\frac{\partial W(x,y)}{\partial x} = \sum_{\text{tout } n \text{ et } m} c_n^m \frac{\partial Z_n^m(x,y)}{\partial x} \quad \text{et} \quad \frac{\partial W(x,y)}{\partial y} = \sum_{\text{tout } n \text{ et } m} c_n^m \frac{\partial Z_n^m(x,y)}{\partial y} \quad (12)$$

NOTE $\beta_x(x,y)$ et $\beta_y(x,y)$ aux emplacements x, y font référence aux valeurs du gradient mesurées.

Tableau 1 — Symboles

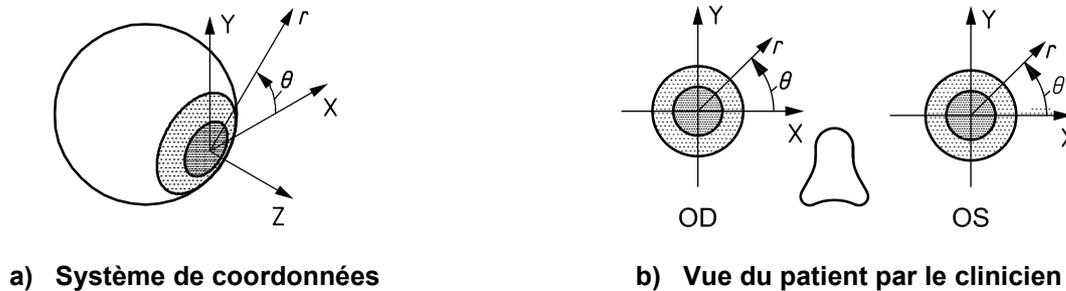
Symbole	Nom	Définition donnée en
$A(m\theta, \alpha)$	terme méridien pour les fonctions de Zernike forme amplitude/axe	5.1.9
c_n^m	coefficient de Zernike	3.3
c_{nm}	coefficient de Zernike – amplitude	5.1.9
m	indice méridien pour les fonctions de Zernike	3.2
$M_n^m(m\theta)$	indice méridien pour les fonctions de Zernike	3.2.3
n	indice radial pour les fonctions de Zernike	3.2
N_n^m	terme de normalisation pour les fonctions de Zernike	3.2.5
$R_n^{ m }(\rho)$	terme radial pour les fonctions de Zernike	3.2.1
Z_n^m	fonction de Zernike [notation alternée: $Z(n,m)$]	3.2
Z_{nm}	fonction de Zernike – forme amplitude/axe	5.1.9
α	paramètre de l'axe pour les fonctions de Zernike de forme amplitude/axe	5.1.9
ρ	paramètre radial pour les fonctions de Zernike	3.2.2
θ	paramètre du méridien pour les fonctions de Zernike	3.2.4
$W(x,y)$	erreur de front d'onde	3.4
$\beta_{x,y}$	gradient mesuré à un emplacement x,y	3.8
$\partial W_{x,y}$	gradient du front d'onde à un emplacement x,y	3.8
β_{fit}	erreur d'ajustement du gradient	5.3

4 Système de coordonnées

Le système de coordonnées utilisé pour représenter les surfaces de front d'onde doit correspondre au système de coordonnées ophtalmique normalisé conformément à l'ISO 8429, dans lequel l'axe X correspondant à l'horizontale locale avec son sens positif étant vers la droite lorsque l'examineur observe l'œil mesuré, l'axe Y correspondant à l'horizontale locale avec son sens positif supérieur par rapport à l'œil mesuré et l'axe Z étant la ligne de visée de l'œil mesuré, avec son sens positif vers la droite lorsque l'examineur regarde l'œil mesuré. L'origine horizontale et verticale du système de coordonnées est le centre de la pupille visible de l'œil. L'origine du système de coordonnées se trouve dans le plan de la pupille de sortie de l'œil (la lumière se forme dans la rétine et passe à travers la pupille). La Figure 1 illustre ce système de coordonnées.

La convention des signes utilisée pour les valeurs d'erreur de front d'onde reportée à un quelconque emplacement sur le front d'onde doit être utilisée pour ce système de coordonnées.

Lorsque les coefficients de Zernike sont utilisés pour représenter un front d'onde ou pour consigner une erreur de front d'onde, la convention des signes utilisée pour décrire chaque fonction de Zernike doit être celle qui est utilisée pour ce système de coordonnées.



Légende

- OD œil droit
- OS œil gauche

Figure 1 — Système de coordonnées ophtalmiques (ISO 8429)

5 Représentation des données relatives au front d'onde

5.1 Représentation des données relatives au front d'onde au moyen des coefficients de la fonction du polynôme de Zernike

5.1.1 Symboles des fonctions du polynôme de Zernike

Les fonctions du polynôme de Zernike doivent être désignées par la lettre majuscule *Z* suivie d'un indice supérieur et d'un indice inférieur. L'indice supérieur doit être un nombre entier signé représentant l'indice méridien de la fonction, *m*. L'indice inférieur doit être un entier non négatif représentant l'indice radial de la fonction, *n*. Une fonction polynomiale de Zernike doit, par conséquent, être représentée comme suit:

$$Z_n^m$$

Si, pour des raisons de police, il n'est pas possible d'écrire l'indice supérieur et les indices inférieurs, les fonctions polynomiales de Zernike peuvent être représentés par une lettre majuscule *Z*, suivie de parenthèses dans lesquelles l'indice radial, *n*, apparaît en premier, suivi après une virgule de l'indice méridien, *m*.

$$Z(n,m)$$

5.1.2 Indice radial

L'indice radial doit être désigné par la lettre minuscule, *n*.

5.1.3 Indice méridien

L'indice méridien doit être désigné par la lettre minuscule, *m*.

5.1.4 Paramètre radial

Le paramètre radial doit être désigné par la lettre grecque ρ .

5.1.5 Paramètre méridien

Le paramètre méridien doit être désigné par la lettre grecque θ .

5.1.6 Coefficients

Lorsqu'une surface est représentée par les coefficients de Zernike, ces coefficients doivent être désignés par la lettre minuscule, c , suivie d'un indice supérieur et d'un indice inférieur. L'indice supérieur doit être un nombre entier signé représentant l'indice méridien de la fonction, m . L'indice inférieur doit être un entier non négatif représentant l'indice radial de la fonction, n . Un coefficient de Zernike doit, par conséquent, être représenté comme suit:

$$c_n^m$$

5.1.7 Désignations courantes des fonctions polynomiales de Zernike

Les fonctions polynomiales de Zernike sont généralement désignées par leur désignation courante. Ces désignations figurent dans le Tableau 2, à condition qu'une désignation courante ait été attribuée aux fonctions.

Tableau 2 — Désignations courantes des fonctions polynomiales de Zernike

Fonction de Zernike	Désignation courante
Z_0^0	piston
Z_1^{-1}	inclinaison verticale
Z_1^1	inclinaison horizontale
Z_2^{-2}	astigmatisme oblique
Z_2^0	défocalisation myopique (valeur positive du coefficient) défocalisation hypermétrope (valeur négative du coefficient)
Z_2^2	astigmatisme inverse (valeur positive du coefficient) astigmatisme direct (valeur négative du coefficient)
Z_3^{-3}	astigmatisme en trèfle oblique
Z_3^{-1}	coma vertical – raidissement supérieur (valeur positive du coefficient) coma vertical – raidissement inférieur (valeur négative du coefficient)
Z_3^1	coma horizontal
Z_3^3	astigmatisme en trèfle horizontal
Z_4^{-4}	astigmatisme quadratique oblique
Z_4^{-2}	astigmatisme secondaire oblique
Z_4^0	aberration sphérique valeur positive du coefficient – contour de la pupille plus myope que le centre valeur négative du coefficient – contour de la pupille plus hypermétrope que le centre
Z_4^2	astigmatisme secondaire
Z_4^4	astigmatisme quadratique
Z_5^{-1}	verticale secondaire
Z_5^1	horizontale secondaire

5.1.8 Comparaison des données exprimées comme étant des coefficients de Zernike générés à l'aide de tailles d'ouverture différentes

Les valeurs du coefficient de Zernike décrivant une erreur de front d'onde donnée dépendent de la taille de l'ouverture utilisée lorsqu'elles sont générées à partir des données de mesure. En raison de cette dépendance par rapport au diamètre de la pupille, les différentes valeurs du coefficient seront calculées afin de décrire l'erreur de front d'onde d'un œil donné si la taille de la pupille change d'un mesurage à l'autre. Par conséquent, pour pouvoir comparer l'erreur de front d'onde d'un même œil à des moments différents ou pour comparer les erreurs de front d'onde de deux yeux à l'aide des coefficients de Zernike, les coefficients comparés doivent avoir été générés avec le même diamètre de pupille même si les mesurages ont été effectués avec des diamètres différents. Les coefficients de Zernike relevés à un diamètre de pupille donné peuvent être convertis en des valeurs pour un second diamètre plus petit, au moyen de la méthode indiquée à l'Annexe B ou d'une méthode similaire.

Les comparaisons d'erreur de front d'onde s'appuyant sur les coefficients de Zernike trouvés conformément à la présente Norme internationale doivent être effectuées entre des ensembles de coefficients de Zernike qui ont été convertis en un diamètre de pupille commun.

5.1.9 Représentation des données d'erreur de front d'onde comme coefficients de Zernike sous forme d'amplitude/d'axe

Les termes de Zernike du même ordre radial, n , et présentant les indices méridiens, m , avec une amplitude similaire, mais des signes opposés, peuvent être considérés comme représentant les deux composants d'un vecteur dans un espace angulaire avec une multiplicité égale à l'amplitude de m . Il est donc possible de définir les fonctions de Zernike combinant les fonctions définies en 3.2 avec le même ordre radial, n , et les indices méridiens présentant la même amplitude dans un nouvel ensemble de fonctions définies par

$$Z_{nm}(\rho, \theta, \alpha) = N_n^m R_n^{|m|}(\rho) A(m\theta, \alpha) \tag{13}$$

où

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4481b634-3c9-4805-879e-ef20b0e72a1/iso-24157-2008>

$$R_n^{|m|}(\rho) \text{ est défini par 3.2.1;}$$

$$N_n^m \text{ est défini par 3.2.5;}$$

et

$$A(m\theta, \alpha) = \cos[m(\theta - \alpha)]$$

où α est un paramètre angulaire indiquant l'orientation du vecteur dans l'espace.

Une surface $S(\rho, \theta)$, telle qu'une erreur de front d'onde, est exprimée en utilisant ces fonctions de Zernike telles que

$$S(\rho, \theta) = \sum_{\text{tout } n \text{ et } m} c_{nm} Z_{nm}(\rho, \theta, \alpha_{nm})$$

où les coefficients c_{nm} et les paramètres angulaires α_{nm} sont liés aux coefficients définis en 3.3 par les équations suivantes:

$$c_{nm} = \sqrt{\left(c_n^{-m}\right)^2 + \left(c_n^m\right)^2} \tag{14}$$

$$\alpha_{nm} = \frac{a \tan\left(\frac{c_n^{-m}}{c_n^m}\right)}{|m|} \tag{15}$$