

RÉFRACTION SUBJECTIVE : UNE NOUVELLE MÉTHODE VECTORIELLE DE DÉTERMINATION DU CYLINDRE (1/3)

La technique de réfraction utilisée pour la recherche du cylindre correcteur d'une prescription n'a que très peu évolué depuis de nombreuses années. La raison principale en est la limite imposée par les réfracteurs subjectifs à défilement de verres par pas de 0.25 dioptrie.

Aujourd'hui, avec les réfracteurs à variations continues de puissances permettant d'agir simultanément, et avec grande précision, sur la sphère, le cylindre et l'axe de la correction, il est possible de développer de nouvelles techniques de réfraction.

Cette série de trois articles décrit les principes d'une nouvelle méthode vectorielle de détermination du cylindre correcteur et présente la logique d'un algorithme automatisé de recherche du cylindre qui lui est associé.



Hélène Starynkevitch

Responsable d'Etudes R&D
Division Instruments
Essilor International

Hélène Starynkevitch est diplômée du BTS Opticien Lunetier de l'Institut et Centre d'Optométrie (ICO) à Bures sur Yvette (2013) et de l'université d'Orsay Paris Sud XI en Ingénierie de la Santé, Spécialité Science de la Vision (2016). Elle est actuellement ingénieur d'étude au sein du département R&D d'Essilor Instruments. Elle travaille au développement de méthodes et algorithmes d'examen de vue associées aux nouveaux instruments et à la conception des interfaces pour les praticiens. Elle est aussi responsable d'études d'optométrie, portant sur la comparaison des instruments et/ou sur les méthodologies d'examen de vue. Hélène a aussi œuvré comme bénévole pour VisionSoliDev pour la réalisation d'examen de vue pour les personnes défavorisées.



Gildas Marin

Responsable d'Etudes R&D
Service R&D Sciences de la Vision
Essilor International

Gildas Marin a obtenu son diplôme d'ingénieur en optique en 1993 et a poursuivi ses études par une thèse en imagerie médicale à l'institut d'optique et l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière (Paris), soutenue en 1997. Depuis 2006, il est responsable d'étude en sciences de la vision chez Essilor International. Ses domaines de recherche principaux sont la modélisation de la vision, la simulation des effets optiques et des performances visuelles, en particulier de l'impact des aberrations optiques sur la vision. Plus récemment, il a travaillé sur l'amélioration des méthodes de réfraction. A partir de 2015, il a été responsable du programme de recherche sur le développement et la validation des algorithmes et des méthodes de réfraction précise implémentées dans le Vision-R™ 800 et l'offre AVA™ (Advanced Vision Accuracy).



Dominique Meslin

Directeur Solutions de Réfraction
Division Instruments
Essilor International

Opticien et Optométriste de formation, Dominique Meslin a effectué la plus grande partie de sa carrière chez Essilor, tout d'abord au sein du département Recherches et Développement puis dans différents postes de Marketing et Communication techniques en France ainsi qu'aux États-Unis. Il a été pendant 10 ans le Directeur d'Essilor Academy Europe puis responsable des Relations Professionnelles pour Essilor Europe. Il est aujourd'hui en charge des nouvelles Solutions de Réfraction au sein de la Division Instruments d'Essilor International. Tout au long de sa carrière, Dominique Meslin a animé de nombreux séminaires pour les professionnels de la vision. Il est l'auteur de plusieurs publications scientifiques et de nombreuses publications techniques d'Essilor, dont la série des « Cahiers d'Optique Oculaire ».

MOTS CLÉS

Réfraction subjective, réfraction vectorielle, espace dioptrique, recherche du cylindre, cylindres croisés, réfracteur, algorithme de réfraction, Vision-R™ 800.

Depuis près d'un siècle, la technique de réfraction utilisée pour la recherche du cylindre correcteur d'un patient n'a que très peu évolué. Elle consiste, universellement, à utiliser un cylindre croisé dit « de Jackson » et à étudier la variation de ses effets pour différentes positions, afin de rechercher l'axe du cylindre puis sa puissance et, ensuite, à en ajuster l'effet sur la puissance de la sphère. Si cette technique a peu évolué depuis son invention, c'est essentiellement en raison du fait que les réfracteurs subjectifs ont eux-mêmes peu évolué : depuis près d'un siècle, ils permettent uniquement de présenter des verres sphériques et cylindriques devant les yeux d'un patient, par pas de puissance de 0.25 dioptrie et pas d'axe de 5 degrés, et sans qu'il ne soit possible d'agir simultanément sur la sphère, le cylindre et l'axe de la correction.

Aujourd'hui, grâce aux nouveaux réfracteurs à variations continues de puissances, contrôlés avec une résolution de 0.01 dioptrie sur la puissance et de 0.1 degré sur l'axe, et qui permettent d'agir simultanément sur la sphère, le cylindre et son axe^(*), il est possible de proposer une nouvelle approche de la réfraction subjective, dénommée « Digital Infinite Refraction™ »⁽¹⁾. Ainsi, pour la détermination du cylindre, une méthode vectorielle, à la fois plus cohérente et plus précise, a pu être développée. L'objet de cette publication est d'en présenter les principes et d'en expliquer la logique.

Dans ce premier article, nous rappellerons la définition vectorielle de la réfraction et sa représentation dans l'« Espace Dioptrique ». Puis, nous comparerons, de manière générale, les méthodes de la « Réfraction Traditionnelle » et de la « Digital Infinite Refraction™ ». Ensuite, dans une deuxième partie (et un deuxième article), nous décrirons en détail les techniques utilisées dans la « Réfraction Traditionnelle » et la « Digital Infinite Refraction™ » pour la recherche de l'axe du cylindre et pour la recherche de la puissance du cylindre. Enfin, dans une troisième partie (et un troisième et dernier article), nous décrirons le principe et la logique de la nouvelle méthode de détermination du cylindre proposée

(*) Réfracteur Vision-R™ 800 à variations continues de puissances d'Essilor Instruments

par la « Digital Infinite Refraction™ », en comparaison avec la méthode de la « Réfraction Traditionnelle » et discuterons de son application au développement d'un algorithme automatisé de recherche du cylindre.

C'est donc à une découverte approfondie et à une description détaillée d'une nouvelle méthode vectorielle de détermination du cylindre correcteur que nous vous convions. Précisons que pour la parfaite compréhension du contenu de cet article il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance et compréhension des principes classiques de base de la réfraction.

1) Représentation vectorielle du cylindre dans un espace dioptrique

Expression « Polaire » vs expression « Cartésienne » de la réfraction :

S'il est de tradition, en optique ophtalmique, d'exprimer la formule d'une réfraction par son « expression polaire » - sphère, cylindre et axe -, il est aussi possible d'en donner une « expression cartésienne » sous la forme de 3 coordonnées :

- 1) la sphère équivalente ou sphère moyenne M , égale à la puissance de la sphère augmentée de la moitié de celle du cylindre,
- 2) la composante du cylindre selon l'axe horizontal à 0° ($J0^\circ$), représentant la composante directe / indirecte de l'astigmatisme,
- 3) la composante oblique du cylindre selon l'axe oblique à 45° ($J45^\circ$), représentant la composante oblique de l'astigmatisme.

Cette « expression cartésienne » présente l'avantage d'exprimer la formule réfractive sous la forme de 3 composantes indépendantes les unes des autres et exprimées, toutes trois, dans une unité unique et cohérente, la dioptrie. Celles-ci peuvent avantageusement remplacer les composantes de l'expression polaire classique de la réfraction - sphère, cylindre et axe - qui sont interdépendantes et exprimées dans des unités différentes, en dioptries pour la sphère et le cylindre et en degrés pour l'axe. Par ailleurs, l'expression cartésienne donne de la réfraction une formule globale unique qui en facilite l'analyse et les comparaisons statistiques ⁽²⁾.

A titre d'illustration, on pourra consulter le tableau 1 qui donne quelques exemples de transposition en coordonnées cartésiennes de formules de réfraction exprimées en coordonnées polaires classiques. A la lecture de ce tableau, on pourra constater que l'expression cartésienne d'une formule réfractive consiste, en quelque sorte, à exprimer la réfraction sous la forme d'une composante moyenne et de deux composantes cylindriques pures - c'est-à-dire dont les sphères moyennes nulles et similaires à des formules de cylindres croisés de Jackson - dont l'une, à $0^\circ / 90^\circ$, représente la composante horizontale / verticale de l'astigmatisme et l'autre, à $45^\circ / 135^\circ$, représente la composante oblique de l'astigmatisme.

La relation qui lie les deux expressions polaire et cartésienne d'une même formule de réfraction relève d'un simple calcul de trigonométrie et il est relativement aisé de passer d'une expression à l'autre :

- Si on connaît la formule polaire classique de la réfraction Sph (Cyl) Axe, on pourra calculer les trois coordonnées de son expression cartésienne au moyen des 3 formules suivantes :

- $M = Sph + Cyl / 2$;
- $J0^\circ = Cyl * Cos (2 * Axe)$;
- $J45^\circ = Cyl * Sin (2 * Axe)$.

On remarquera qu'en raison du cycle non trigonométrique de l'axe - c'est-à-dire de sa variation de 0 à 180° et non de 0° à 360° -, il est nécessaire de doubler la valeur de l'axe du cylindre.

- Inversement, si on connaît les deux composantes cartésiennes du cylindre, $J0^\circ$ et $J45^\circ$, il est aisé de retrouver ses composantes polaires, cylindre et axe, par composition vectorielle ; et pour la sphère, il suffit de soustraire algébriquement la moitié de la valeur du cylindre à celle de la sphère équivalente, pour en trouver la valeur. Les formules sont alors les suivantes, en convention de cylindre négatif :

- $Sph = M - Cyl / 2$
- $Cyl = -\sqrt{J0^{\circ 2} + J45^{\circ 2}}$
- $Axe = 0,5 * Arc Tan (J45^\circ / J0^\circ) + C$, avec C constante égale à 90 si $J0^\circ > 0$ et égale à 0 si $J0^\circ < 0$.

Pour des raisons de simplicité de compréhension et de facilité de représentation graphique, nous avons choisi, dans cette publication, de ne pas retenir de pondération de

Tableau 1 : Expressions polaire et cartésienne de différentes formules de réfraction

EXPRESSION POLAIRE			EXPRESSION CARTÉSIENNE		
Sphère	Cylindre	Axe	M	$J0^\circ$	$J45^\circ$
+2.00			+2.00	0.00	0.00
-2.00			-2.00	0.00	0.00
Plan	-2.00	0	-1.00	-2.00	0.00
Plan	-2.00	90	-1.00	+2.00	0.00
Plan	-2.00	45	-1.00	0.00	-2.00
Plan	-2.00	135	-1.00	0.00	+2.00
+1.00	-2.00	120	0.00	+1.00	+1.73
+1.00	-2.00	30	0.00	-1.00	-1.73

½ entre les valeurs des composantes $J0^\circ$ et $J45^\circ$ du cylindre, d'une part, et la puissance sphérique équivalente M d'autre part, comme cela est généralement le cas dans la littérature sur l'expression vectorielle de la réfraction. Le principe reste le même mais la compréhension en est ainsi facilitée.

Représentation de la réfraction dans un « Espace Dioptrique » :

L'intérêt de l'expression cartésienne de la réfraction est qu'elle permet de représenter toute formule réfractive dans un repère orthogonal tri-dimensionnel appelé « Espace Dioptrique ». La réfraction y est représentée par un vecteur unique, dont les projections sur les 3 axes du repère sont les coordonnées cartésiennes de la formule réfractive.

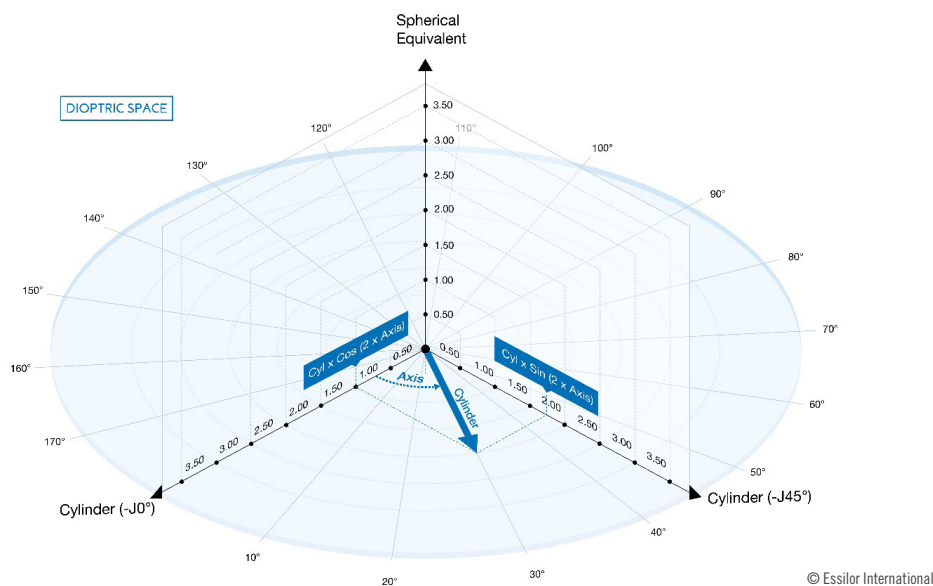
Ainsi, sont portés selon 3 axes :

- la puissance sphérique équivalente, ou sphère moyenne M ,
- la composante horizontale du cylindre $J0^\circ$,
- la composante oblique du cylindre $J45^\circ$.

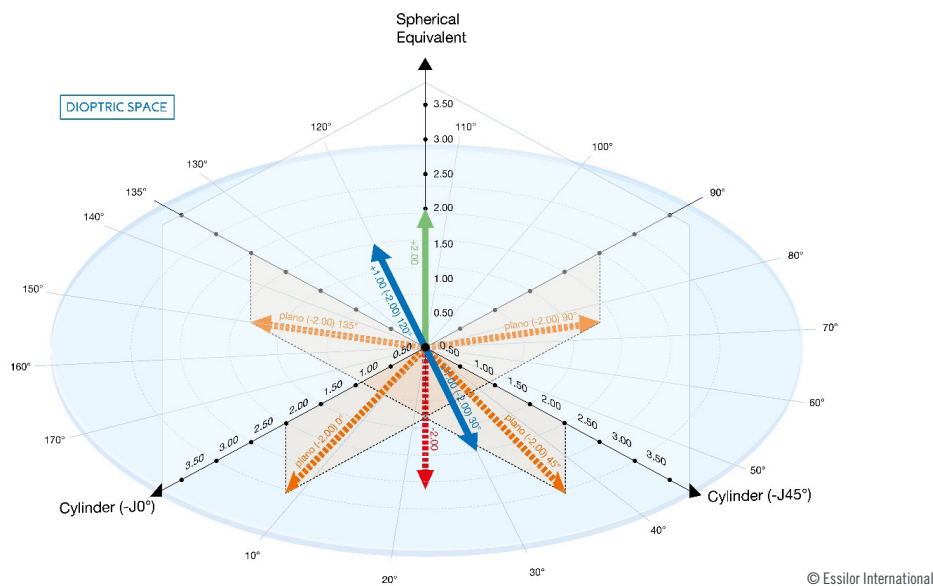
La représentation tri-dimensionnelle de l'Espace Dioptrique présentée dans la figure 1 est une version adaptée de la représentation conventionnelle dont on pourra trouver l'explication détaillée dans des publications de référence (2, 3, 4, 5). Cette représentation permet de visualiser simplement, et en 3 dimensions, les caractéristiques de toute formule réfractive. La sphère s'exprime selon l'axe « vertical » et le cylindre selon un

Figure 1 : Représentation vectorielle de la réfraction dans un « Espace Dioptrique »

a) Coordonnées cartésiennes : exemple d'une formule de réfraction de +1.00 (-2.00) 30°



b) Exemples de représentations vectorielles de différentes formules de réfraction



(formules présentées dans le tableau 1)
 Formules Sphériques : +2.00 (en vert) et -2.00 (en rouge) ;
 Formules Astigmatiques : plan (-2.00) avec axes de cylindre à 0°, 45°, 90°, 135° (en orange)
 et +1.00 (-2.00) avec axes de cylindre à 30° et 120° (en bleu).

plan « horizontal » : l'axe du cylindre est représenté par la rotation autour de l'axe vertical et la puissance du cylindre par la distance par rapport à l'origine, ici choisie en convention de cylindre négatif. Cette représentation permet de représenter simplement toute formule réfractive sous la forme d'un vecteur unique dans l'espace et d'en étudier les variations au cours de la réfraction : c'est l'objet de la « Réfraction Vectorielle ».

L'exemple choisi, pour la suite de cet article, d'une formule de réfraction de +1.00 (- 2.00) 30°, dont le sphérique équivalent est nul, a été retenu pour commodité de représentation graphique, car le vecteur correspondant est situé dans le plan horizontal J0° / J45°. Pour toute autre réfraction, dont la puissance sphérique équivalente ne serait pas nulle, la logique serait la même mais le vecteur évoluerait dans l'espace en laissant une trace identique à celle décrite dans le plan J0° / J45° mais dans un plan horizontal parallèle à celui-ci, correspondant à la valeur du sphérique équivalent.

2) « Réfraction Traditionnelle » vs « Digital Infinite Refraction™ » : similarités et différences.

Si les deux techniques de réfraction « traditionnelle » et de réfraction « digitale » utilisent quelques principes communs, elles diffèrent fondamentalement sur quelques points. Discutons de leurs similarités et de leurs différences, avant de les aborder plus en détail dans les deux parties suivantes de cette publication (c'est-à-dire dans les deux articles à suivre) :

a) Réfraction par « présentations de verres » vs réfractions par « variations continues de puissances » :

- La technique « traditionnelle » de réfraction est celle qui est réalisable par présentations de verres sphériques et cylindriques devant l'œil du patient. Elle peut indifféremment être pratiquée avec des lunettes et des verres d'essais, avec des réfracteurs « manuels » à défilement mécanique des verres ou avec des réfracteurs « automatisés » à défilement motorisé des verres. Quels que soient les instruments de réfraction utilisés, la méthode de réfraction reste sensiblement la même et les verres sont proposés par pas de 0.25 dioptrie, seul le mode de présentation des verres change. Par ailleurs, l'action sur la sphère, sur l'axe du cylindre et sur la puissance du cylindre ne peuvent être réalisées que séparément et le sont donc successivement au cours de l'examen de la réfraction.
- A l'inverse, la technique « digitale » exploite les capacités d'un module optique à variations continues de puissances, piloté par des micromoteurs à commandes numériques. Cette technologie permet de passer instantanément d'une formule optique à l'autre par modification des puissances optiques et avec le pas de variation souhaité, résolu à 0.01 D. Par ailleurs, il est possible d'agir sur la sphère, sur l'axe du cylindre et sur la puissance du cylindre de manière parfaitement simultanée ; ainsi, on peut passer instantanément et de manière continue d'une formule correctrice à l'autre. Cette propriété est à l'origine de la nouvelle technique de réfraction.

b) Recherche « successive » des composantes de la réfraction vs recherche « simultanée » :

- Dans la technique « traditionnelle » de réfraction, il est procédé séparément à la recherche de la sphère puis à celle de l'axe du cylindre et ensuite à celle de la puissance du cylindre et, enfin, à l'ajustement de la sphère. La recherche du cylindre s'opère obligatoirement dans l'ordre « axe du cylindre » puis « puissance du cylindre » car, à défaut, il peut s'avérer impossible de trouver la puissance juste du cylindre. Car, en effet, autant il est possible d'ajuster et trouver la juste valeur d'axe d'un cylindre si sa puissance de départ est inexacte, autant ajuster la puissance d'un cylindre avec un axe de départ inexact aboutit à une valeur différente de celle qui serait obtenue avec le bon axe. C'est la raison pour laquelle, dans la méthode de réfraction « traditionnelle », il est toujours procédé à la recherche de l'axe du cylindre avant celle de la puissance du cylindre.
- Dans la technique « digitale » de réfraction, on recherche tout d'abord la sphère moyenne puis, on procède, en une même séquence, à la recherche de la puissance et de l'axe du cylindre en maintenant la puissance sphérique équivalente exactement constante, avec une résolution de 0.01 D. Pour cela, on considère deux composantes de la réfraction : une « composante de puissance » selon l'axe initial de la correction de départ et une « composante d'axe » qui lui est perpendiculaire dans l'espace dioptrique. Puisque ces composantes de puissance et d'axe sont orthogonales et indépendantes l'une de l'autre, la recherche du cylindre peut être indifféremment réalisée en commençant par la composante d'axe ou par la composante de puissance. Cela dit, il se trouve que les mesures initiales de la réfraction fournies par les auto-réfractomètres sont généralement plus précises en valeur d'axe qu'en valeur de puissance. Il a donc été choisi, dans la nouvelle technique « digitale » de réfraction de commencer la recherche du cylindre par la composante de puissance, à l'inverse de la méthode « traditionnelle » qui débute toujours par la recherche de l'axe. Notons cependant qu'il aurait pu en être autrement.

c) Recherche de l'astigmatisme : cylindres croisés « physiques » vs cylindres croisés « virtuels ».

Les deux techniques de recherche du cylindre, de la réfraction « traditionnelle » et de la réfraction « digitale », utilisent les principes de la méthode des « cylindres croisés à retournement » de Jackson - du nom de l'ophtalmologiste américain qui la proposa au début du 20^{ème} siècle - mais avec des mises en œuvre très différentes. Rappelons que le cylindre croisé est un verre sphéro-cylindrique qui résulte de la combinaison de deux verres plan-cylindriques de puissances identiques mais de signes contraires et positionnés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre - d'où le nom de « cylindres croisés » - et dont le sphérique équivalent est nul. Le principe de la méthode de recherche du cylindre correcteur est d'introduire ce cylindre croisé devant l'œil du patient muni de sa correction et d'étudier les variations de netteté de la vision du patient résultant de la combinaison de l'astigmatisme résiduel du système œil + verre et de celui du cylindre croisé, pour différentes positions de ce dernier.

Si l'utilisation de cette méthode des cylindres croisés dans la réfraction « traditionnelle » et la réfraction « digitale », présentent des similitudes, leurs mises en œuvre sont très différentes :

- Dans la réfraction « traditionnelle », des cylindres croisés « physiques » sont présents dans le réfracteur et sont retournés au cours de la réfraction. Des cylindres croisés de +/-0.25 D ou +/-0.50 D sont généralement utilisés ; leurs formules optiques respectives sont +0.25 (-0.50) et +0.50 (-1.00). De par sa construction, le « manche » de tout cylindre croisé est bissecteur des axes de ses cylindres positif et négatif, de sorte que, par simple retournement, il est possible d'invertir leurs positions, autrement dit de faire instantanément tourner l'axe du cylindre croisé de 90° sans modifier la valeur de la sphère. Cette propriété est utilisée pour rechercher l'axe du cylindre puis sa puissance, en recherchant l'orientation de l'axe puis la valeur de la puissance pour lesquelles le retournement du cylindre croisé produit une vision floue identique pour le patient. Nous reviendrons en détail sur cette technique dans le deuxième article de cette série.
- Dans la réfraction « digitale » un principe optique similaire aux cylindres croisés de Jackson est utilisé mais, en revanche, il n'y a pas de cylindres croisés physiquement présents dans le réfracteur. Des effets optiques de cylindre croisés « virtuels » sont produits, dans le module optique, par calcul en combinaison avec la correction optique en place. Il n'y a donc ni positionnement d'un cylindre croisé devant l'œil du patient, ni interruption de vision lors de son retournement mais simplement des changements de corrections optiques perçus de manière instantanée et continue par le patient. Par ailleurs, la puissance du cylindre croisé utilisé n'est pas celle d'un cylindre croisé classique de +/- 0.25 D ou +/- 0.50 D : elle peut être choisie avec une résolution de 0.01 D pour permettre une comparaison aisée entre les deux positions et être paramétrée lors de la conception de l'algorithme de recherche du cylindre ; elle pourrait aussi être ajustée au cours de la réfraction en fonction de la sensibilité du patient. Cette flexibilité offre de remarquables possibilités d'évolution et d'adaptabilité des méthodes de réfraction. Dans l'exemple que nous considérerons, tout au long de cette publication, la puissance du cylindre croisé est de +/- 0.35 D.

Nous reviendrons en détail, dans le deuxième article, sur la mise en œuvre pratique de ces techniques de recherche du cylindre et sur leurs différences.

d) Une technique traditionnelle « immuable » vs une technique digitale « évolutive »

- Dans la réfraction « traditionnelle », la technique de test et la méthode de recherche du cylindre sont immuablement les mêmes depuis plus d'un siècle et n'ont que peu de possibilité d'évoluer. En effet, les limites physiques et les contraintes mécaniques imposées par les instruments n'en offrent pas la possibilité. Par ailleurs, la réalisation de la réfraction est entièrement confiée au praticien, lequel l'exerce en fonction de l'enseignement qu'il en a reçu, de l'expérience qu'il s'est forgée et du

mode d'exercice qu'il a choisi. Il en résulte inéluctablement une variabilité certaine des résultats de la réfraction.

- Dans la réfraction « digitale », les techniques de test et les méthodes de réfraction utilisées sont, au contraire, innovantes et évolutives. En effet, grâce au pilotage du module optique par calcul et grâce à sa totale flexibilité, un très large champ de possibilités s'ouvre au développement de nouvelles méthodes de réfraction. Des premiers algorithmes d'aide à la recherche de la réfraction ont été inventés pour formaliser des premières logiques d'examen. Ils devraient pouvoir contribuer à une certaine standardisation des méthodes de réfraction. Ces algorithmes sont déjà « adaptatifs » c'est-à-dire qu'ils possèdent la capacité de s'adapter aux patients, en fonction de leurs réponses au cours même de l'examen. Ils seront amenés à évoluer au fur et à mesure des progrès de la connaissance et permettront de proposer, à l'avenir, de multiples solutions d'aide à la réfraction. Ainsi, l'approche nouvelle de la « Digital Infinite Refraction™ » ouvre un immense champ d'investigation et de progrès en matière de méthodes de réfraction.

Nous poursuivrons la présentation et discussion de ce sujet dans deux articles à suivre.



INFORMATIONS CLEFS :

- La technique de recherche du cylindre a peu évolué depuis l'invention de la méthode « des cylindres croisés » par Jackson au début du 20^{ème} siècle, en raison du fait que les réfracteurs subjectifs « à présentations de verres » n'ont eux-mêmes que très peu évolué.
- Aujourd'hui, grâce à l'avènement des réfracteurs « à variations continues de puissances », il est possible de proposer une nouvelle méthode de détermination du cylindre basée sur une approche « vectorielle » de la réfraction.
- Cette méthode explore l'« espace dioptrique » de manière plus directe, en recherchant simultanément la puissance et l'axe du cylindre, tout en maintenant la puissance sphérique équivalente exactement constante.
- Cette nouvelle technique, combinée aux propriétés d'un module optique contrôlé très précisément et intégrée dans des algorithmes d'aide à la recherche de la réfraction, offre de nombreuses possibilités d'évolution et de progrès en matière de méthodes de réfraction.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- (1) Longo A., Meslin D., Une nouvelle approche de la réfraction subjective, Cahiers d'Ophthalmologie, numéro 230, pp 59-63, (Sept 2019) ; A New approach to subjective refraction, in Points de Vue, Essilor International, www.pointsdevue.com (May 2020).
- (2) Thibos L. N., Wheeler W., Horner D., Power vectors: an application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. *Optom Vis Sci.* Jun;74(6):367-75 (1997).
- (3) Thibos, L. N., & Horner, D., Power vector analysis of the optical outcome of refractive surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 27(1), 80-85 (2001).
- (4) Touzeau O, Costantini E, Gaujoux T, Borderie V, Laroche L, Réfraction moyenne et variation de réfraction calculées dans un espace dioptrique, *Journal français d'ophtalmologie*, 33, 659-669 (2010).
- (5) Touzeau O., Scheer S, Allouch, Borderie V., Laroche L., Astigmatisme : analyses mathématiques et représentations graphiques, EMC – Ophthalmologie 1, pp 117-174, Elsevier (2004).