

REFRACTION SUBJECTIVE : UN NOUVELLE METHODE VECTORIELLE DE DETERMINATION DU CYLINDRE (2/3)

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'examens 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 mises en oeuvre 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.

A la suite de la première partie (parue dans Points de Vue en Novembre 2020), nous poursuivons la présentation et discussion d'une nouvelle méthode vectorielle de détermination du cylindre. Dans ce deuxième article, nous comparons les techniques utilisées dans la "Réfraction Traditionnelle" et dans la nouvelle méthode de "Réfraction Digitale" pour tester l'axe du cylindre et la puissance du cylindre au cours d'un examen de la réfraction.

3) Recherche du cylindre : technique de la « Réfraction Traditionnelle » vs technique de la « Digital Infinite Refraction™ »

Dans la pratique « traditionnelle » de la réfraction, il est d'abord procédé à la recherche de l'axe du cylindre puis, dans un deuxième temps, à la recherche de la puissance du cylindre. Abordons l'une puis l'autre et comparons les techniques « traditionnelle » et « digitale » de test de l'axe et de la puissance du cylindre.

a) Test de l'axe du cylindre :

• Selon la technique de la « Réfraction Traditionnelle » :

La technique « traditionnelle » la plus universelle pour tester l'axe du cylindre d'une correction est celle des cylindres croisés à retournement de Jackson. Pour vérifier l'axe du cylindre d'une correction, on place le manche du cylindre croisé selon la direction de l'axe du cylindre correcteur à tester et on propose au patient deux positions du cylindre croisé en retournant ce dernier. La combinaison de la puissance du cylindre croisé avec l'astigmatisme résiduel, résultant de celui de l'œil du patient et de la correction en place, induit une perception de flou plus ou moins élevé pour le patient. La direction de l'axe du cylindre croisé de la position perçue la moins floue indique la direction dans laquelle ajuster l'axe

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

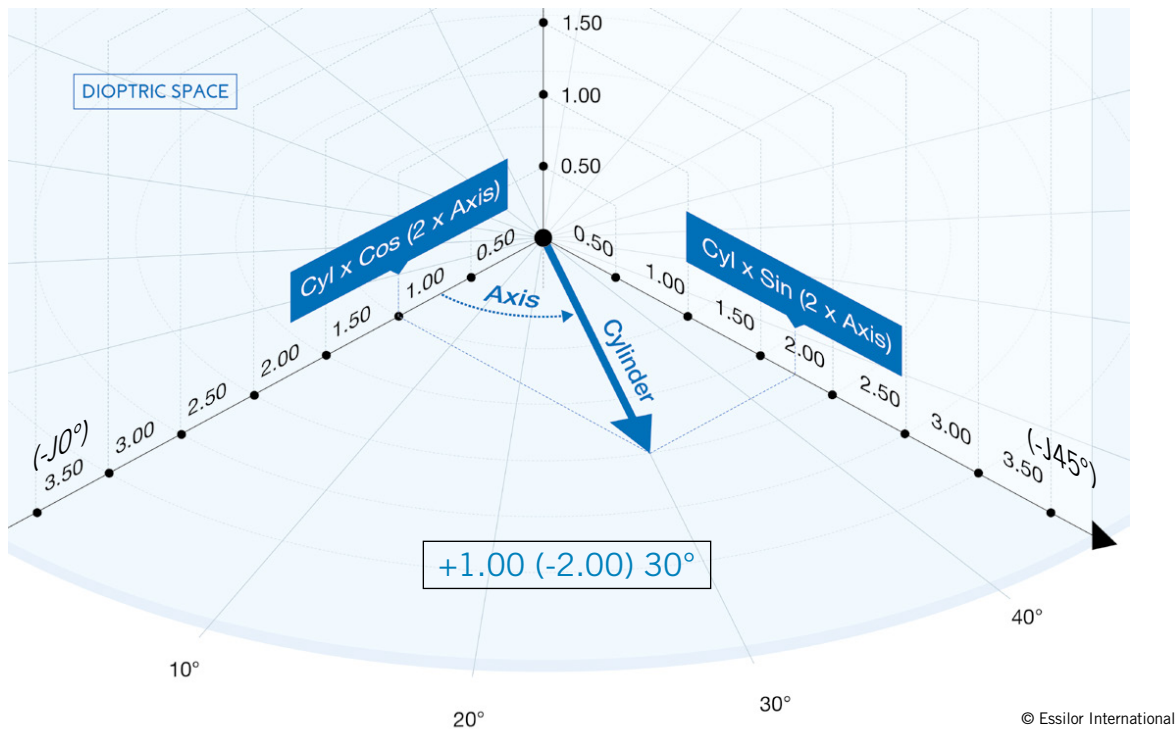


Figure 2 : Représentation vectorielle de la réfraction dans un « Espace Dioptrique »
 Coordonnées cartésiennes : exemple d'une formule de réfraction de +1.00 (-2.00) 30°

de la correction. On recherche ainsi, par approches successives, la position pour laquelle le patient ne perçoit pas de différence de flou entre les deux positions proposées; l'orientation du manche indique alors la direction de l'axe correcteur. Pour plus de détail sur cette technique classique de réfraction, on pourra se référer aux nombreux ouvrages qui la décrivent ⁽⁶⁾.

Si l'on considère l'exemple de la figure 2 d'une prescription de +1.00 (-2.00) 30°, le manche du cylindre croisé est orienté à 30° et deux positions du cylindre croisé sont testées (voir Figure 3): Position 1, avec axe négatif du cylindre croisé à 165° (30° - 45° modulo 180°) et Position 2, avec ce même axe positionné à 75° (30° + 45°). On teste donc devant l'œil les résultantes de deux combinaisons du cylindre croisé de + 0.25 (-0.50) avec la correction en place, dont les formules sont les suivantes : Position 1, +1.03 (-2.06) 23° et, Position 2, +1.03 (-2.06) 37°, soit, pour l'exemple choisi d'un cylindre de 2.00 D, une variation d'axe de 7° de part et d'autre de l'axe du cylindre correcteur testé (voir tableau 2). Le patient indique alors la position qu'il préfère ou, plus précisément celle qu'il trouve la moins floue. Supposons qu'il préfère la Position 2. On procède alors, par exemple, et traditionnellement, à une rotation de 5° de l'axe de la correction et du cylindre croisé dans la direction indiquée, les faisant passer à 35°, et on renouvelle le test de manière similaire. On propose alors deux combinaisons identiques aux précédentes, avec axes résultants situés de nouveau à 7° de part et d'autre de la nouvelle direction de l'axe testée, de 35° testé, soit +1.03 (-2.06) 28° pour la Position 3 et +1.03 (-2.06) 42° pour la Position 4. Et on procède ainsi de suite jusqu'à ce que le patient ne perçoive plus de différences entre les deux positions ou qu'il indique de revenir en arrière.

A ce stade, nous pouvons faire les observations suivantes :

- Dans l'"espace dioptrique", les effets du cylindre croisé lors du test de l'axe, s'expriment perpendiculairement à la direction du vecteur représentatif de la correction testée, par une variation de 0.50 D de part et d'autre (voir figure 3). Au cours de ce test, la puissance sphérique équivalente reste constante, puisque la puissance sphérique équivalente du cylindre croisé est nulle. Ainsi toute la recherche de l'axe s'opère dans le plan du cylindre, J0° / J45° (ou s'effectuerait dans un plan parallèle à celui-ci si la puissance sphérique équivalente de la correction choisie n'était pas nulle).
- Il apparaît clairement que, lorsque l'on teste l'axe d'un cylindre correcteur à l'aide d'un cylindre croisé, on teste en pratique l'effet que la puissance du cylindre croisé induit sur l'axe de la résultante cylindre croisé + cylindre correcteur, quand le cylindre croisé est positionné à 45° de part et d'autre de l'axe du cylindre correcteur. Sur l'exemple choisi d'un cylindre de (- 2.00) à 30°, on teste l'effet d'une variation de l'axe de +/- 7° de part et d'autre de la direction de 30°, soit 23° et 37°, provoqué par un cylindre de 0.50 D orienté à +/- 45° par rapport à l'axe de 30° (respectivement 165° et 75°). Pour d'autres valeurs de puissance du cylindre, on testerait d'autres valeurs angulaires : quelques exemples en sont rassemblés dans le tableau 2 présentant les « variations d'axe testées avec des cylindres croisés de +/- 0.25 D et +/- 0.50 D en fonction de la puissance du cylindre ». On notera que l'effet angulaire testé, exprimé en degrés, est inversement proportionnel à la valeur du cylindre correcteur testé, ce qui est parfaitement cohérent avec le fait que les patients sont d'autant plus sensibles aux variations d'axe de cylindre que la

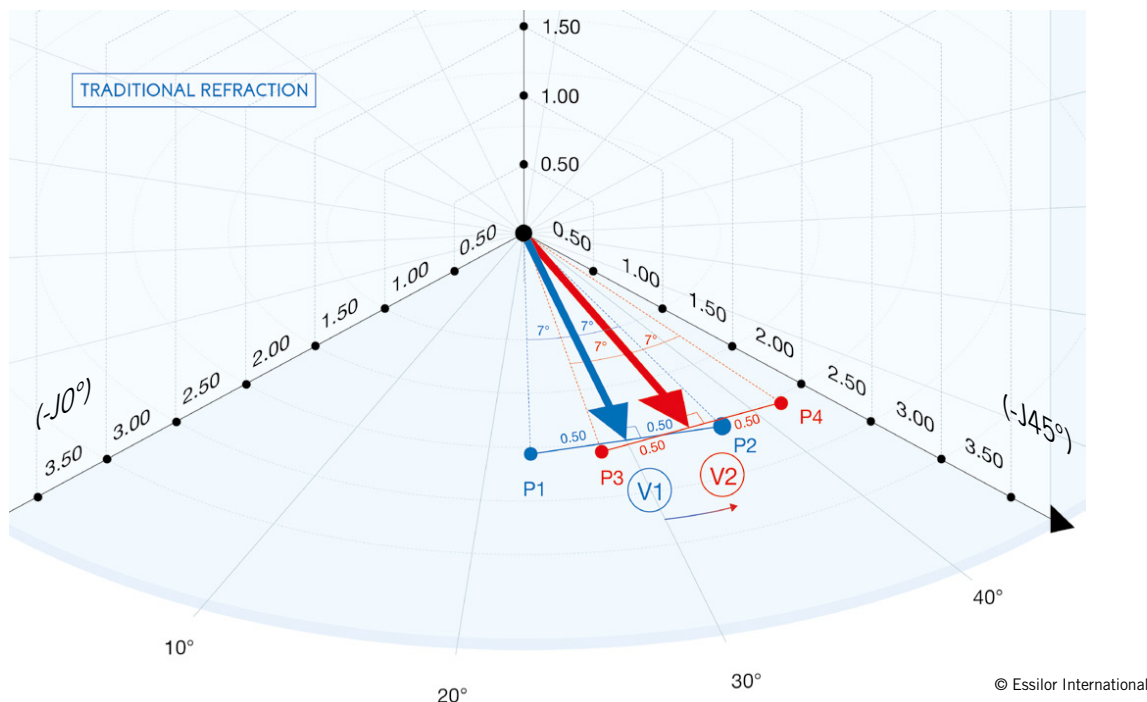


Figure 3 : Test de l'axe du cylindre selon la technique de la « Réfraction Traditionnelle »

puissance du cylindre correcteur est plus élevée. Néanmoins, cet effet, exprimé en termes dioptriques, reste constant, puisqu'il s'agit de la puissance du cylindre croisé utilisé, en l'occurrence 0.50 D, ce qui garantit une homogénéité de perception des effets optiques observés par le patient au cours de la recherche de l'axe du cylindre.

Tableau 2: Variations d'axe testées avec des cylindres croisés de +/- 0.25 D et +/- 0.50 D. En fonction de la puissance du cylindre croisé et de celle du cylindre. Elle est donnée par la formule $Variation\ Axe\ Testée = 0.5 * Arc\ Tan\ (Puissance\ Cylindre\ Croisé / Puissance\ Cylindre\ Testé)$ soient les valeurs rassemblées dans le tableau ci-après.

Puissance Cylindre Testé (Dioptries)	Variations d'Axe Testées (Degrés)	
	Avec CC +/- 0.25 (Cyl 0.50)	Avec CC +/- 0.50 (Cyl 1.00)
0.50	+/- 22.5°	+/- 31.7°
1.00	+/- 13.3°	+/- 22.5°
1.50	+/- 9.2°	+/- 16.8°
2.00	+/- 7.0°	+/- 13.3°
2.50	+/- 5.7°	+/- 10.9°
3.00	+/- 4.7°	+/- 9.2°

– Une fois le premier test de l'axe effectué selon la direction initiale, on fait tourner ensemble le cylindre correcteur et le cylindre croisé, par exemple de 5° à nouveau, dans la direction indiquée par le patient afin de renouveler le test de l'axe dans une deuxième direction. Et à ce stade, s'introduisent plusieurs effets :

1) L'effet observé par le patient lors d'un test de l'axe n'est pas précisément respecté lors des tests

suivants. Rappelons qu'un cylindre peut être considéré comme un verre produisant « une puissance donnée, à un axe donné » et, qu'en conséquence, modifier l'axe du cylindre modifie son effet optique correcteur et la perception de celui-ci par le patient. Lors de la rotation du cylindre correcteur entre deux tests de l'axe avec le cylindre croisé, par exemple de 5°, la puissance du cylindre reste constante. Vu dans l'espace dioptrique (figure 3), la « composante axiale » du cylindre est modifiée sans que sa « composante de puissance » ne soit ajustée et la rotation de l'axe du cylindre, sans ajustement de sa puissance, ne maintient pas constante la direction de test de la composante axiale du cylindre. En conséquence, elle ne respecte pas la perception que le patient en avait lors du test précédent de l'axe : les conditions de test sont ainsi modifiées avec chaque rotation de l'axe. D'une certaine manière, l'information donnée par le patient lors du premier test de l'axe n'est pas précisément conservée et respectée lors du deuxième test de l'axe, et ainsi de suite lors des tests suivants. Les différentes réponses, données par le patient dans des conditions différentes, manquent de cohérence entre elles et il n'est pas possible de les accumuler et de capitaliser sur les réponses précédentes pour affiner la recherche de l'axe du cylindre et le déterminer avec précision.

2) Le repère de test de l'axe dans l'espace dioptrique change et se modifie tout au long de la recherche de l'axe. En effet, après rotation de l'axe de 5°, le deuxième test de l'axe s'opère, par rapport à la nouvelle direction du cylindre, par nouvelle combinaison avec un cylindre croisé orienté à 45°

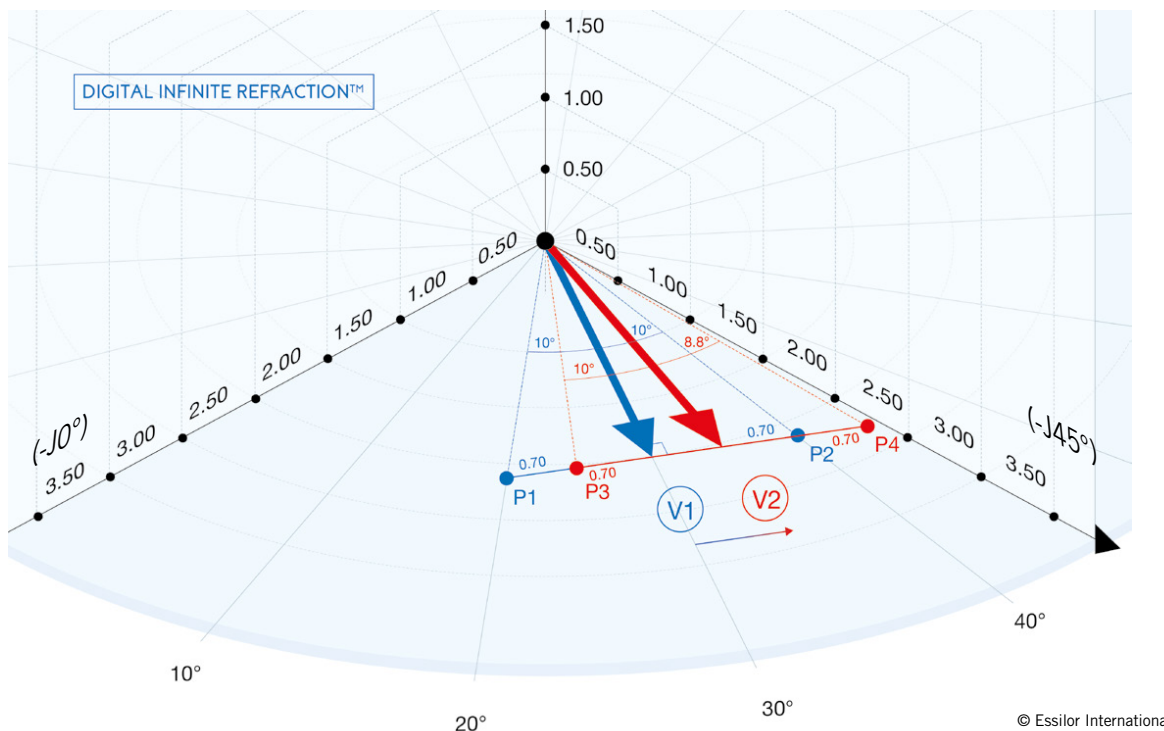


Figure 4 : Test de l'axe du cylindre selon la technique de la « Digital Infinite Refraction™ »

de part (Position 3) et d'autre (Position 4) de cette direction. Dans l'espace dioptrique, ce test s'effectue selon une direction perpendiculaire à la nouvelle direction du cylindre qui a été tournée de 5° et donc dans une direction qui a elle aussi été tournée de 5° par rapport à la direction de test précédente. Ainsi, le repère de test est modifié par rapport à celui utilisé lors du premier test du cylindre. Il se modifiera ensuite à chaque changement d'orientation de l'axe du cylindre testé tout au long de la recherche de l'axe du cylindre. Le repère de test étant changé à chaque modification de la direction de l'axe, les conditions de tests de l'axe manquent de cohérence. Ce mode opératoire ne permet pas de déterminer l'axe du cylindre indépendamment de sa puissance et de garantir l'indépendance des deux composantes du cylindre que l'on cherche à déterminer. C'est une des limites à la précision de la recherche de l'axe par la technique de la réfraction « traditionnelle ».

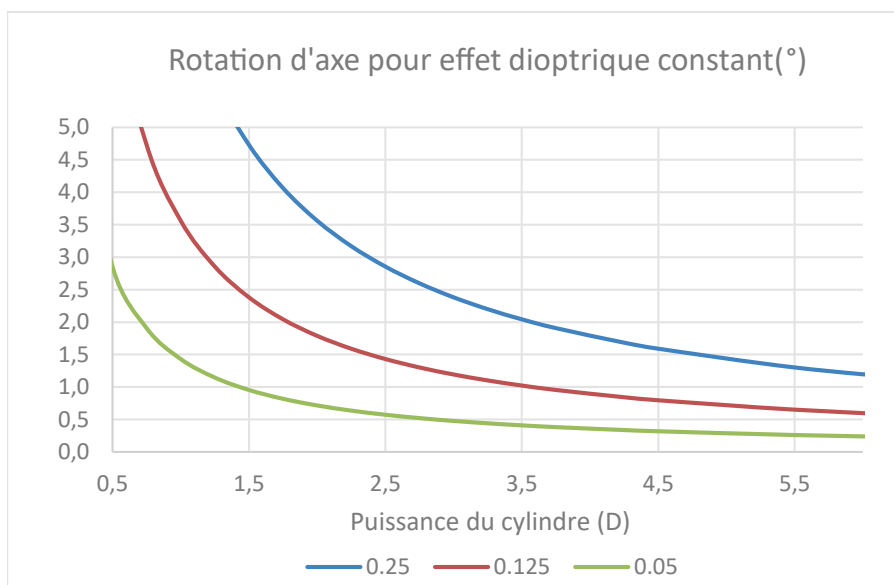
- 3) Le pas dioptrique utilisé pour la recherche de l'axe du cylindre varie en fonction de la puissance du cylindre et n'est pas cohérent avec celui utilisé pour la recherche de la puissance du cylindre. En effet, la rotation effectuée entre une direction de test de l'axe et la suivante est laissée à l'appréciation du praticien. En pratique, elle est souvent constante, par exemple de 5° , et n'est pas ajustée en fonction de la puissance du cylindre. Son effet dioptrique - c'est-à-dire la traduction en puissance optique de la rotation de l'axe - est donc variable et se traduit par l'utilisation de pas dioptriques qui varient selon la puissance du cylindre (voir tableau 3 sur « l'effet dioptrique d'une rotation de l'axe du cylindre en

fonction de la puissance du cylindre »).

De plus, ces pas ne sont pas cohérents avec le pas dioptrique utilisé pour les changements de puissance du cylindre, lequel est de (-0.25) D. Cela crée pour le patient des effets perceptifs qui ne sont pas homogènes entre la recherche de l'axe du cylindre et la recherche de la puissance du cylindre. La précision obtenue sur la détermination de l'axe est en conséquence rarement équivalente à celle obtenue pour la puissance et lui est souvent inférieure. Dès que la puissance du cylindre dépasse 1.25 D, une rotation de 5° produit un effet dioptrique supérieur à 0.25 D (voir tableau 4 sur la « rotation de l'axe du cylindre pour produire un effet dioptrique constant »). C'est toute la limite de la précision de la méthode des cylindres croisés de Jackson dans sa mise en œuvre traditionnelle.

Idéalement, pour respecter une parfaite homogénéité des perceptions des patients, il faudrait que le pas de rotation de l'axe soit ajusté en fonction de la valeur de la puissance du cylindre afin qu'il corresponde à des effets dioptriques constants (tableau 4). Si les praticiens expérimentés savent doser la rotation de l'axe du cylindre en fonction de sa puissance, il n'est en pratique pas possible de maintenir ce pas rigoureusement constant dioptriquement. On verra que la technique vectorielle de détermination du cylindre, associée au module optique à variations continues de puissances, permet de conserver ce pas dioptrique exactement constant et ainsi d'assurer une parfaite cohérence de perceptions pour les patients.

Tableau 4 : Rotations de l'axe du cylindre produisant un effet dioptrique constant
En fonction de la puissance du cylindre et pour 3 valeurs d'effets dioptriques (0.25 D, 0.125 D et 0.05 D).



Une rotation de 5° de l'axe du cylindre correspond à un effet dioptrique supérieur à 0.25 D dès que la puissance du cylindre dépasse 1.25 D. A partir d'une puissance du cylindre de 3.50 D, la rotation d'axe devrait être inférieure à 2° pour respecter un pas de 0.25 D : elle devrait être de 1° pour un effet de 0.125 D !
La méthode « traditionnelle » de réfraction, dans laquelle le pas de rotation de l'axe est le plus souvent constant en degrés, ne permet pas de maintenir le pas dioptrique de changement constant lors de la recherche de l'axe du cylindre. La méthode « vectorielle » utilisée dans la « Digital Infinite Refraction™ » le permet.

Tableau 3 : Effet dioptrique d'une rotation de l'axe du cylindre, en fonction de la puissance du cylindre et pour 3 rotations d'axe : 5°, 2° et 1°.

Puissance Du Cylindre Testé (Dioptries)	Rotation d'Axe du Cylindre (Degrés)		
	5°	2°	1°
0.50	0.09	0.03	0.02
1.00	0.17	0.07	0.03
1.50	0.26	0.10	0.05
2.00	0.35	0.14	0.07
2.50	0.44	0.17	0.09
3.00	0.52	0.21	0.10
3.50	0.61	0.24	0.12

Par exemple, une rotation de 1° de l'axe d'un cylindre de 1.50 D a un effet dioptrique de 0.05 D, si ce même cylindre est tourné de 2°, l'effet est de 0.10 D; s'il l'est de 5°, l'effet est de 0.26 D.

– Dans la représentation de la figure 3, la recherche de l'axe par la technique « traditionnelle » se traduit graphiquement par le fait que la dimension du vecteur 2 (en rouge) est identique à celle du vecteur 1 (en bleu) au lieu d'en être la projection ; et que la direction de test du vecteur 2, effectué selon sa perpendiculaire, est différente de la direction testée pour le vecteur 1. Ainsi, tout au long de la recherche de l'axe du cylindre par la méthode « traditionnelle », la puissance du cylindre reste identique quelle que soit son orientation, le repère de test de l'axe varie pour chaque orientation du

cylindre et les changements de directions opérés au cours de la recherche de l'axe du cylindre ne respectent pas une homogénéité de perceptions pour le patient. Ces changements permanents introduisent inévitablement un biais et sont une source d'imprécision ; ils constituent une limite intrinsèque à la précision de la technique "traditionnelle" de détermination de l'axe du cylindre.

• **Selon la technique de la « Digitale Infinite Refraction™ » :**

La technique « digitale » de recherche de l'axe du cylindre, proposée dans le réfracteur à variations continues de puissances (*), utilise un principe similaire à la méthode des cylindres croisés de Jackson mais avec plusieurs différences fondamentales :

- 1) Il n'y a pas de cylindre croisé physiquement présent dans le réfracteur mais des effets optiques de cylindre croisés « virtuels » sont produits, par calcul, dans le module optique, comme expliqué précédemment.
- 2) La puissance du cylindre croisé utilisé peut être choisie - et donc varier - et peut aussi être paramétrée dans l'algorithme de recherche du cylindre. Dans l'exemple présenté, elle est de +/- 0.35 D, donc de formule +0.35 (-0.70).
- 3) Tout effet dioptrique induit par une modification de l'axe du cylindre correcteur est automatiquement ajusté sur la puissance du cylindre et, en conséquence, compensé sur celle de la sphère. Cet ajustement est effectué de manière très précise avec une résolution de 0.01 D de façon à maintenir la direction de test de l'axe du cylindre exactement

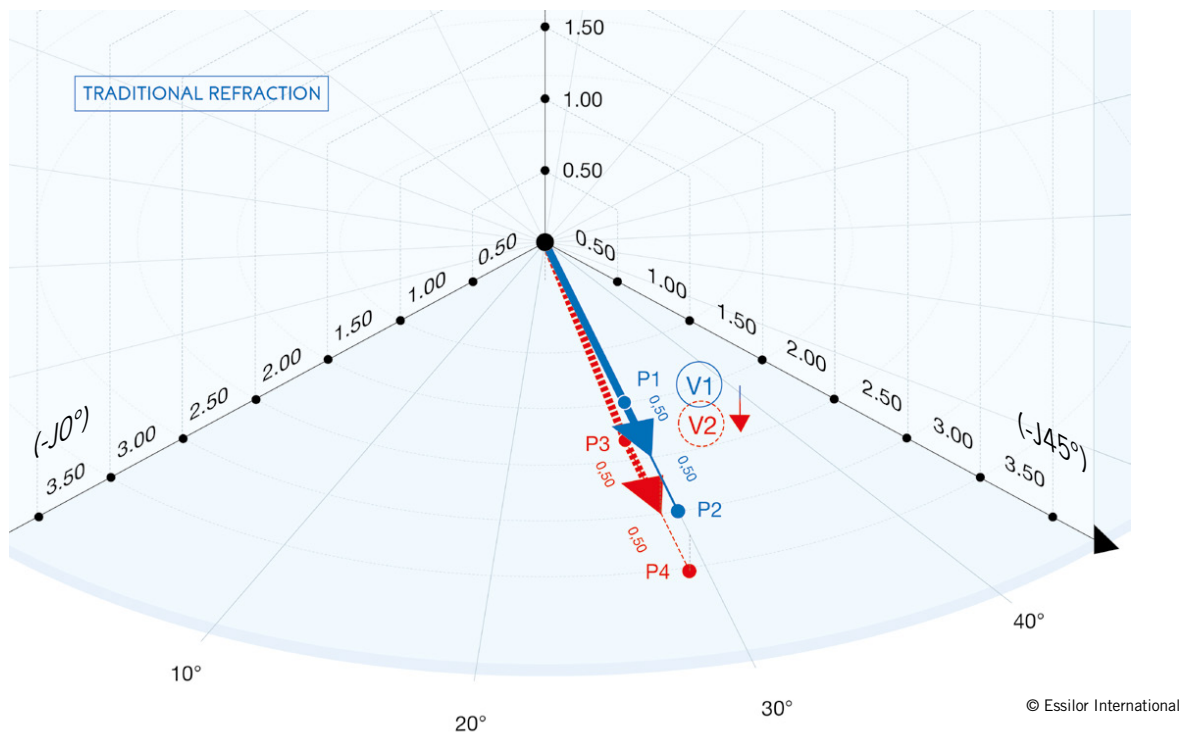


Figure 5 : Test de la puissance du cylindre selon la technique de la « Réfraction Traditionnelle »

constante mais aussi de façon à maintenir la puissance sphérique équivalente constante durant tout le test. Ceci est rendu possible par les propriétés du module optique du réfracteur à variations de puissance^(*) qui permet de faire varier très précisément, et simultanément, la sphère, le cylindre et l'axe. Ainsi, le test de l'axe du cylindre correcteur est effectué selon une composante axiale de direction constante, perpendiculaire à la direction du cylindre initial, et de manière indépendante des autres composantes de la réfraction, c'est-à-dire en respectant très précisément leurs valeurs.

Si l'on considère le même exemple que précédemment d'une correction initiale de +1.00 (-2.00) 30°, le test de l'axe s'effectue au départ de la même manière que dans la méthode « traditionnelle ». Une puissance de cylindre croisé est testée perpendiculairement à la direction du vecteur représentatif de la correction initiale (voir figure 4). Ce cylindre croisé ayant une valeur plus élevée, en l'occurrence de +/- 0.35 D, les variations d'axes testées sont plus importantes que dans la méthode « traditionnelle », qui utilise le plus souvent un cylindre croisé de +/- 0.25 D. Dans l'exemple choisi, les formules testées sont +1.06 (-2.12) 20.4° pour la Position 1 et + 1.06 (-2.12) 39.6° pour la Position 2. On notera que pour ce premier test, les directions d'axes testées, sont symétriques par rapport à la direction initiale testée, soit +/- 9.6°. Le patient perçoit des différences plus importantes que dans la méthode "traditionnelle" et peut plus facilement dire laquelle des Positions 1 ou 2 il préfère. Supposons qu'il préfère la Position 2 et « demande » donc un axe supérieur à 30°. Il est alors procédé à une rotation de l'axe du cylindre correspondant, en l'occurrence et parce que choisie ainsi, à une translation de la moitié de la valeur du cylindre croisé de 0.70 D dans la direction de test, soit de 0.35 D.

C'est à ce moment qu'intervient une différence fondamentale par rapport à la méthode "traditionnelle" : la gestion de la réfraction par composantes vectorielles fait que l'effet dioptrique de la variation d'axe du cylindre correcteur est corrigé sur la valeur du nouveau cylindre et l'effet consécutif de ce dernier sur la puissance de la sphère équivalente est lui aussi compensé, de manière à maintenir celle-ci constante. Autrement dit, au lieu de conserver une valeur du cylindre identique, celle-ci est ajustée afin de permettre de rechercher l'axe du cylindre – ou, plus exactement, la composante axiale du cylindre projetée sur une direction perpendiculaire à la direction de l'axe initial – indépendamment de ses effets sur les autres composantes de la réfraction et de conserver les mêmes conditions de test. C'est ainsi que dans notre exemple la nouvelle formule à tester devient +1.015 (-2.03) 35°, où l'on peut observer que la puissance du cylindre a été ajustée de (-0.03) D et celle de la sphère ajustée en conséquence de +0.015 D.

Graphiquement, sur la figure 4, la recherche de l'axe du cylindre par la méthode « digitale » se traduit par le fait que la projection orthogonale du vecteur 2 (en rouge) sur la direction de l'axe initial correspond au vecteur 1 (en bleu) et que la direction de recherche de l'axe dans le plan J0° / J45° reste identique tout au long de la recherche de l'axe du cylindre, c'est-à-dire perpendiculaire à l'axe initial. Ainsi, la projection de la puissance du cylindre trouvée selon l'axe initial, qui correspond à la deuxième composante vectorielle du cylindre, est respectée et reste indépendante de la composante axiale. Le repère des tests de recherche de l'axe du cylindre est ainsi maintenu constant. D'un point de vue pratique, c'est la raison pour laquelle, lors de l'utilisation de l'algorithme automatisé de recherche du cylindre, la sphère, le cylindre et son axe varient tous

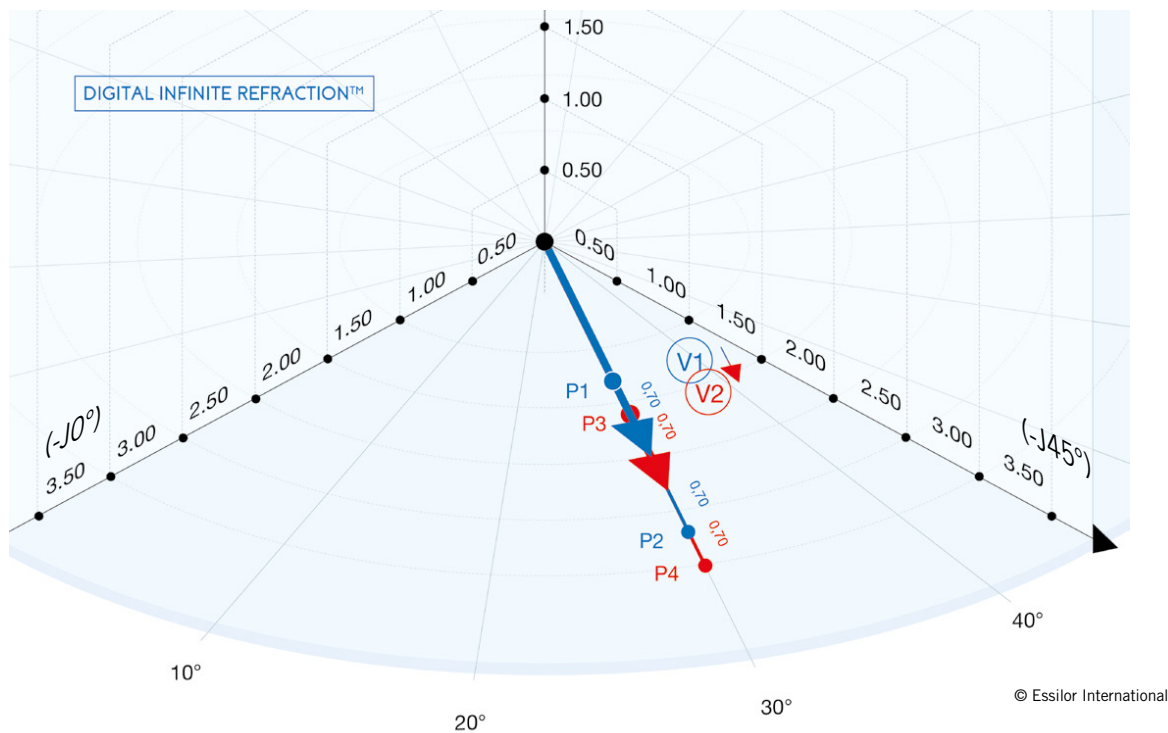


Figure 6 : Test de la puissance du cylindre selon la technique de la « Digital Infinite Refraction™ »

les trois en même temps, au cours de tout test de la composante axiale du cylindre.

Comme déjà évoqué précédemment, une autre différence fondamentale entre la méthode « digitale » et la méthode « traditionnelle » est que le pas de modification de l'axe peut être choisi dioptriquement identique à celui utilisé pour la recherche de la puissance du cylindre. Plus précisément, l'effet dioptrique de la rotation de l'axe entre deux positions testées de l'axe peut être rigoureusement le même que celui utilisé lors des changements effectués entre deux puissances testées du cylindre (voir plus loin). Dans notre exemple, il a ainsi été choisi d'utiliser, au moins au départ, des pas de changements de 0.35 D correspondant à la moitié de la puissance du cylindre croisé virtuel de 0.70 D retenu, et ceci tant pour les changements d'orientation de l'axe que pour les changements de la puissance. Ainsi les effets dioptriques produits lors de la recherche de l'axe et celle de la puissance sont cohérents et leurs perceptions par le patient restent homogènes. Ceci est un avantage indéniable apporté par la technique « digitale » et qu'il est impossible d'obtenir par la technique « traditionnelle ».

Le test suivant de l'axe est ensuite réalisé toujours selon la même direction que le premier test, avec une valeur de cylindre croisé identique (mais qui pourrait être différente), et testée de part et d'autre de la direction du nouveau cylindre mais, cette fois, avec des valeurs angulaires différentes, et non égales comme dans la méthode « traditionnelle », de façon à respecter un pas dioptrique constant. Dans notre exemple, toujours avec un cylindre croisé de +/- 0.35 D, les nouvelles formules testées deviennent : +1.13 (-2.26) 25.0° pour la Position 3 et +1.02 (-2.04) 43.8° pour la Position 4. On

notera qu'elles sont dissymétriques par rapport à la formule testée, tant en axes qu'en puissances, à l'inverse d'être symétriques comme dans la méthode « traditionnelle » ; c'est ce qui permet de maintenir la projection de la composante vectorielle axiale dans une direction constante. Cela s'observe assez bien en comparant les figures 3 et 4.

Il est ainsi procédé, de proche en proche, à la recherche de l'axe du cylindre jusqu'à ce qu'il se produise une inversion de réponses du patient, c'est à dire que celui-ci demande soit à réduire la valeur de l'axe après avoir demandé à l'augmenter soit, inversement, qu'il demande à augmenter la valeur de l'axe après avoir demandé à la réduire.

Nous reviendrons plus loin sur la manière dont sont prises en compte les réponses du patient et le mode d'évaluation de la valeur finale de la réfraction.

b) Test de la puissance du cylindre :

Selon la technique de la « Réfraction Traditionnelle » :

La technique « traditionnelle » de vérification de la puissance d'un cylindre correcteur la plus universelle, consiste à tester, au moyen d'un cylindre croisé de Jackson si la puissance du cylindre doit être augmentée ou réduite. Pour cela, le cylindre croisé est orienté devant la correction en place en positionnant ses méridiens principaux en correspondance avec l'axe du cylindre correcteur (donc en tournant le cylindre croisé de 45° par rapport à l'orientation précédemment utilisée pour vérifier l'axe du cylindre correcteur). Le cylindre croisé est présenté dans une première position puis retourné rapidement et il est demandé au patient de préciser dans

quelle position sa vision est la plus nette ou plus précisément la moins floue. Lors du retournement, les axes + et - du cylindre croisé sont inversés et la puissance du cylindre correcteur est augmentée dans une position et réduite dans l'autre, sans effet sur la sphère moyenne puisque la puissance sphérique équivalente du cylindre croisé est nulle. Supposons que l'on utilise un cylindre croisé de +/- 0.25, donc un cylindre de 0.50 D, le test décrit revient à demander au patient s'il préfère que l'on augmente la puissance de son cylindre correcteur ou qu'on la réduise, en lui proposant une augmentation ou réduction de cylindre de 0.50 D.

Si l'on reprend l'exemple précédent d'une prescription de +1.00 (-2.00) 30° dont on cherche à tester la puissance du cylindre (Figure 5). On positionne le cylindre croisé avec son axe de cylindre orienté selon l'axe correcteur de 30° et on le retourne afin de tester les deux positions suivantes : par exemple, Position 1, avec axe positif orienté à 30° et Position 2 avec axe négatif orienté à 30°. Autrement dit, on demande au patient s'il souhaite que son cylindre négatif soit réduit dans la Position 1 ou augmenté dans la Position 2. Les formules de combinaison de puissances – du cylindre correcteur et du cylindre croisé – qui sont testées sont les suivantes : +0.75 (-1.50) 30° en Position 1 et +1.25 (-2.50) 30° en Position 2. Supposons que le patient souhaite que la puissance du cylindre soit augmentée et préfère donc la position 2. On augmente alors la puissance du cylindre de (-0.25) D, suivant le pas minimal des verres disponibles dans les réfracteurs traditionnels et qui correspond, en l'occurrence, à la moitié de la puissance du cylindre croisé (sans qu'il y ait forcément de relation entre les deux). Puis on renouvelle l'opération. On teste donc ensuite la puissance du cylindre de la nouvelle correction, de formule +1.00 (-2.25) 30°, avec deux propositions l'une réduisant la puissance du cylindre de 0.50 D et l'autre l'augmentant d'autant, soit les formules +0.75 (-1.75) 30° pour la Position 3 et +1.25 (-2.75) 30° pour la Position 4. Et on poursuit ainsi de suite, de proche en proche, jusqu'à ce que le patient ne voit plus de différence entre les deux positions du cylindre croisé ou qu'il se produise une inversion de réponses, c'est-à-dire que le patient demande à réduire la puissance du cylindre après avoir demandé à l'augmenter ou, inversement, qu'il demande à augmenter la puissance du cylindre après avoir demandé à la réduire.

Une observation s'impose à ce stade : à chaque fois que la puissance du cylindre est modifiée, il se produit un effet indésirable sur la sphère. En effet, la modification de la puissance du cylindre induit inéluctablement un changement de la puissance sphérique équivalente de la formule réfractive, qui devrait donc nécessiter un ajustement de la sphère. Dans l'exemple proposé, si la première correction testée, +1.00 (-2.00) 30°, a un équivalent sphérique plan, la deuxième correction testée, +1.00 (-2.25) 30°, a un équivalent sphérique de -0.12 D. Il se produit ainsi une dérive de la puissance sphérique équivalente à chaque modification de la puissance du cylindre. Afin de pouvoir tester la puissance du cylindre indépendamment des autres composantes de la réfraction, il faudrait pouvoir immédiatement compenser l'effet induit sur la sphère moyenne. Ceci n'est malheureusement

pas possible avec les réfracteurs traditionnels fonctionnant avec des verres par pas de 0.25 D. Et ce n'est généralement qu'après une modification de (0.50) D de la puissance du cylindre que la puissance de la sphère peut être ajustée, d'une valeur moitié opposée. Ainsi, le plus souvent, un ajustement de la sphère de +0.25 D est apporté après chaque (-0.50) D de cylindre ajouté à la puissance du cylindre correcteur et, ce, de manière automatique dans les réfracteurs motorisés.

Dans la représentation de l'espace dioptrique (figure 5), la technique "traditionnelle" du test de la puissance du cylindre se visualise par la réduction (en Position 1) ou l'augmentation (en Position 2) de la puissance du cylindre testé. L'augmentation du cylindre demandée par le patient se traduit par l'augmentation de la dimension du vecteur V2 (en rouge) par rapport à celle du vecteur V1 (en bleu) mais, en même temps aussi, par un changement de la puissance moyenne qui fait que le vecteur V2 ne se trouve plus localisé dans le plan J0° / J45°, mais en l'occurrence dans un plan situé en dessous. Ainsi, le plan J0° / J45° de recherche du cylindre change à l'occasion de chaque modification de la puissance du cylindre, au lieu de rester fixe. C'est là que se trouve une autre des limites de la technique traditionnelle de réfraction dans laquelle les effets du cylindre sur la sphère moyenne équivalente ne peuvent pas être contrôlés avec précision.

• **Selon la technique de la « Digital Infinite Refraction™ » :**

La technique « digitale » de test de la puissance du cylindre s'apparente à la technique traditionnelle utilisant le cylindre croisé de Jackson, avec cependant, comme nous l'avons déjà vu, les trois différences fondamentales suivantes :

- 1) Les effets optiques de cylindres croisés sont produits par calcul dans le module optique, en combinaison avec la correction en place, comme détaillé précédemment.
- 2) La valeur du cylindre croisé utilisé diffère de celle du classique +/- 0.25 et une puissance plus grande est utilisée de manière à faciliter les réponses du patient. Dans l'exemple considéré, la valeur du cylindre croisé utilisé est de +/-0.35 D, soit une formule de +0.35 (-0.70).
- 3) Toute modification de la puissance du cylindre s'accompagne simultanément d'un ajustement de la puissance de la sphère afin de maintenir la puissance sphérique équivalente constante, avec une résolution de 0.01 D : ainsi, pour toute modification de (-0.02) D de la puissance du cylindre, un ajustement de +0.01 D est automatiquement réalisé sur la puissance de la sphère.

Considérons à nouveau notre exemple d'une correction de +1.00 (- 2.00) 30° dont on souhaite, cette fois, vérifier la puissance du cylindre (figure 6). Le principe reste de tester, à l'aide d'une technique de cylindre croisé, si celle-ci doit être augmentée ou réduite. Puisque la puissance du cylindre croisé virtuel est de +/- 0.35 D, on introduit donc une variation de cylindre de 0.70 D en

réduction (Position 1) ou augmentation (Position 2) de la puissance du cylindre correcteur en place. Ainsi on teste les deux formules réfractives suivantes : +0.65 (-1.30) 30° en Position 1 et +1.35 (-2.70) 30° en Position 2. On notera que la puissance de la sphère est automatiquement ajustée de la moitié opposée de la variation de cylindre introduite, ce qui est aussi d'ailleurs le cas lors de la pratique de ce test par la technique « traditionnelle ». Supposons que le patient préfère une augmentation du cylindre et préfère la Position 2. On modifie alors la valeur du cylindre correcteur de la moitié de la variation de 0.70 D testée, soit 0.35 D, par exemple car la valeur du pas pourrait être différente. Mais à ce stade, au moment même où l'on modifie la puissance du cylindre correcteur, on ajuste celle de la sphère, afin de maintenir la puissance sphérique équivalente constante. La nouvelle correction testée devient donc +1.17 (-2.35) 30° ; notons l'ajustement de la sphère de +0.17 D, lequel ne peut pas être réalisé dans la technique « traditionnelle ». On poursuit alors la recherche de la puissance du cylindre en testant deux nouvelles propositions de puissances dont les formules sont +0.82 (-1.65) 30° pour la Position 3 et +1.52 (-3.05) 30° pour la Position 4. On continue ainsi de suite, et de proche en proche, jusqu'à obtenir une inversion de réponse de la part du patient, en ajustant la puissance de la sphère pour chaque modification de la puissance du cylindre.

Graphiquement, dans la représentation de l'espace dioptrique (figure 6), la technique « digitale » du test de la puissance du cylindre se visualise, comme pour la méthode « traditionnelle », par une réduction (position 1) ou par une augmentation (position 2) de la puissance du cylindre proposé, donc une proposition de « raccourcissement ou d'allongement » de la longueur du vecteur V1. L'augmentation de puissance du cylindre demandée par le patient se traduit par l'allongement de la dimension du vecteur V1 (en bleu) à V2 (en rouge) mais, cette fois, avec une différence fondamentale : le maintien de la puissance sphérique moyenne à un niveau constant, par une compensation de l'effet du cylindre sur la sphère simultanée à l'augmentation de sa puissance. En pratique, le vecteur V2 reste localisé dans le même plan et toute la recherche du cylindre peut continuer à s'effectuer dans un plan J0° / J45° unique, en conservant toutes les autres caractéristiques constantes. C'est là une différence majeure et un clair avantage de la « Digital Infinite Refraction™ » comparée à la « Réfraction Traditionnelle » dans la recherche du cylindre correcteur d'un patient !

Nous poursuivrons la présentation et discussion de ce sujet dans un troisième et dernier article à suivre.



INFORMATIONS CLEFS :

- Dans la méthode de la "Réfraction Traditionnelle":
 - le test de l'axe du cylindre s'effectue selon la direction courante de l'axe avec des pas de rotation d'axe dioptriquement variables,
 - le test de la puissance du cylindre s'effectue avec une puissance moyenne sphérique équivalente variable, donc dans des conditions qui se modifient tout au long de la recherche du cylindre.
- Dans la nouvelle méthode de la "Réfraction Digitale" :
 - le test de l'axe du cylindre s'effectue selon une direction fixe et avec des pas de rotation d'axe dioptriquement constants,
 - le test de la puissance du cylindre s'effectue avec une puissance moyenne sphérique équivalente maintenue constante, donc dans des conditions qui restent fixes et cohérentes tout au long de la recherche du cylindre.
- Ainsi la nouvelle méthode de la "Digital Infinite Refraction™" permet une détermination plus précise du cylindre correcteur.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- (1) Longo A., Meslin D., Une nouvelle approche de la réfraction subjective, Cahiers d'Ophtalmologie, 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 : analyse mathématiques et représentations graphiques, EMC – Ophtalmologie 1, pp 117-174, Elsevier (2004).
- (6) Meslin D, Cahier d'Optique Oculaire « Réfraction Pratique » (also « Practical Refraction »), pp 24-30, Essilor Academy Europe, www.essiloracademy.eu (2008).
- (7) Marin G., Meslin D., Réfraction : les patients sont plus sensibles que le quart de dioptrie !, Cahiers d'Ophtalmologie, numéro 235, pp 59-63 (Mars 2020) ; Refraction : patients are sensitive to increments smaller than a quarter diopter ! in Points de Vue, Essilor International, www.pointsdevue.com (June 2020).