


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

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.

Suite aux deux articles précédents (publiés par Points de Vue en novembre et décembre 2020), nous poursuivons la présentation et discussion de notre nouvelle méthode vectorielle de détermination du cylindre. Dans ce troisième et dernier article, nous comparons les méthodes utilisées dans la « Réfraction Traditionnelle » et la « Réfraction Digitale » pour la recherche du cylindre et comparons leurs parcours dans l'espace dioptrique. Nous discutons ensuite des apports de la nouvelle méthode de la « Digital Infinite Réfraction™ » pour la pratique de la réfraction et des nouvelles perspectives qu'elle offre.

4) Méthode de détermination du cylindre selon la « Réfraction Traditionnelle » : un chemin indirect, avec des changements de repères permanents, limitant la précision.

La méthode « traditionnelle » de détermination du cylindre consiste, comme déjà expliqué précédemment, à rechercher tout d'abord l'axe du cylindre, puis, ensuite, la puissance de ce cylindre et, enfin, à ajuster la puissance de la sphère. Elle est réalisée par une succession de tests de l'axe puis une succession de tests de la puissance du cylindre utilisant les techniques « traditionnelles » présentées précédemment.

Pour ce qui est de la détermination de l'axe du cylindre, on recherche sa direction de proche en proche, en utilisant par exemple des pas de 5° entre chaque direction d'axe testée, jusqu'à parvenir à trouver l'orientation finale de l'axe (dans le cas d'une égalité de perception de flou dans les deux positions du cylindre croisé) ou à encadrer l'orientation de l'axe dans un angle de 5° (dans le cas d'une inversion de réponses de la part du patient).

Pour ce qui est de la détermination de la puissance du cylindre, on recherche sa valeur en l'augmentant – ou

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

en la réduisant - par pas de (-0.25) D, jusqu'à en trouver la valeur exacte (en cas d'égalité de flou pour les deux positions du cylindre croisé) ou jusqu'à encadrer sa valeur entre deux pas de (-0.25) D (dans le cas d'une inversion de réponses de la part du patient).

Considérons à nouveau notre exemple d'une formule de réfraction de départ de +1.00 (-2.00) 30°, représentée par un vecteur initial situé dans le plan J0° / J45° (voir figure 7), et procédons à la recherche de la réfraction. Les premières étapes consistent à rechercher l'axe du cylindre, en effectuant successivement plusieurs tests de l'axe (selon la technique « traditionnelle » présentée précédemment c'est à dire par retournement d'un cylindre croisé dont le manche est orienté selon la direction de l'axe à tester) et en suivant les réponses du patient. Ainsi, on teste successivement la direction 30° (1) où le patient « demande », par exemple, à ce qu'elle soit augmentée, puis la direction 35° (2) où il le demande à nouveau et, enfin, la direction de 40° (3) où il indique, cette fois, de la réduire. On choisit alors une orientation entre les deux dernières directions testées, par exemple de 38° (4), pour laquelle il se trouve, par exemple, après l'avoir à nouveau testée, que le patient ne perçoit plus de différence entre les deux positions du cylindre croisé : l'axe a donc été trouvé, il est de 38°.

Puis on procède ensuite à la recherche de la puissance du cylindre, en effectuant successivement plusieurs tests de puissances croissantes (ou décroissantes) du cylindre par pas de (-0.25) D (selon la technique « traditionnelle », exposée précédemment, c'est-à-dire par retournement d'un cylindre croisé dont les méridiens principaux correspondent avec l'axe du cylindre à tester) et en suivant les réponses du patient. Ainsi, on teste la puissance (-200) D (4) que le patient demande, par exemple, d'augmenter, puis la puissance (-2.25) D (5) qu'il demande à nouveau d'augmenter, puis la puissance (-2,50) D (6) qu'il demande encore d'augmenter et, enfin la puissance (-2.75) D (7) qu'il demande de réduire. On réduit donc alors la puissance du cylindre de (-0.25) D et

puisque (-0.50) D a été ajouté au cylindre correcteur initial on ajuste la sphère de +0.25 D, aboutissant ainsi à la formule finale de + 1.25 (-2.50) 38°.

Graphiquement, cette recherche du cylindre se traduit dans l'espace dioptrique par le fait que :

- Les premières étapes - (1), (2), (3) et (4) - de recherche de l'axe du cylindre s'effectuent dans le plan J0° / J45° le long d'une ligne « circulaire » de puissance de cylindre constante de (-2.00) D, aboutissant à une localisation de l'axe, entre 35° et 40° et trouvée, dans l'exemple, à 38°.
- Les étapes suivantes - (4), (5), (6) et (7) - de recherche de la puissance du cylindre s'effectuent le long d'une direction d'axe constante - 38° - en augmentant la puissance, c'est-à-dire en s'éloignant de manière « radiale » de l'origine du repère. Avec cette augmentation de la puissance du cylindre, la puissance sphérique équivalente (ou puissance moyenne) diminue, ce qui se traduit graphiquement par le fait que les points (5), (6) et (7) « s'enfoncent » progressivement en dessous du plan J0° / J45° au fur et à mesure de l'augmentation de la puissance du cylindre.
- La dernière étape - (8) - de réduction du cylindre et d'ajustement final de la sphère, s'effectue par une réduction « radiale » de la puissance du cylindre et par un ajustement vers le convexe de la puissance de la sphère et, donc, par une « remontée » du point (8) dans le plan J0° / J45° (compensation de +0.25 D de la sphère après augmentation de (-0.50) D du cylindre).

A ce stade nous pouvons faire les observations suivantes :

- Le chemin emprunté par la technique traditionnelle de recherche du cylindre apparaît assez indirect. Ceci s'observe assez clairement, sur la figure 7, par la façon dont l'espace dioptrique est exploré : tout d'abord de manière « circulaire » pour la recherche de l'axe puis de manière « radiale » pour la recherche de la puissance, avec un effet sur l'« altitude », lequel est ensuite

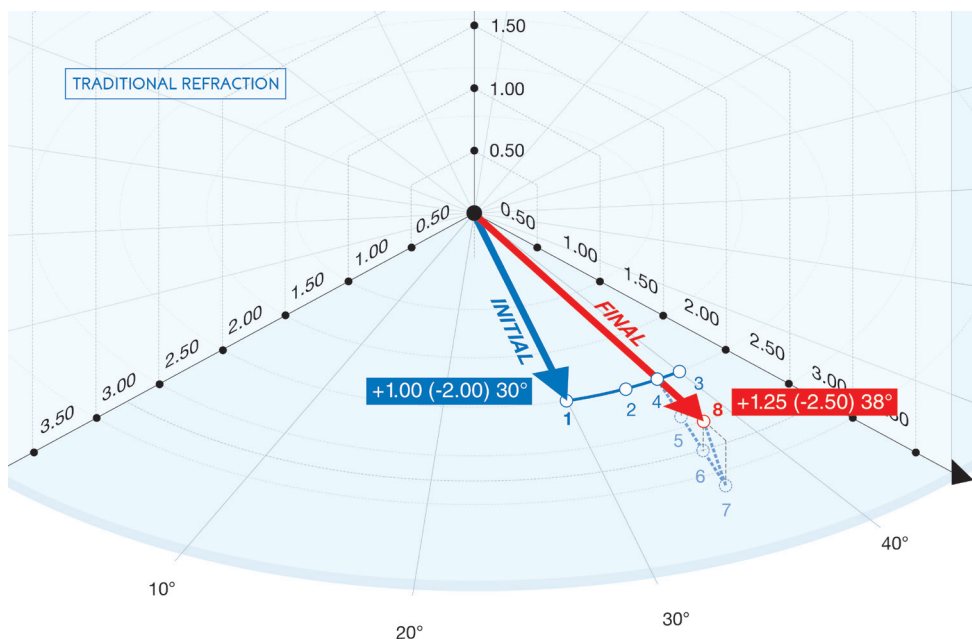


Figure 7 : Méthode de recherche du cylindre par la méthode de la « Réfraction Traditionnelle » :
Axe du cylindre puis puissance du cylindre, suivi de l'ajustement de la sphère.

compensé. Rappelons que ce mode d'exploration est directement lié aux limites imposées par les réfracteurs traditionnels à défilement de verres et, plus particulièrement, au fait que les actions sur la sphère, l'axe du cylindre et la puissance du cylindre ne peuvent être que séparées et jamais simultanées et toujours réalisées avec des pas de 0.25 D.

- La recherche du cylindre par la technique « traditionnelle » s'opère dans un système de référence qui est modifié à chaque réponse du patient : d'une part, lors du changement d'axe du cylindre car la puissance du cylindre n'est pas ajustée consécutivement à la modification de l'axe et, d'autre part, lors du changement de puissance du cylindre car la puissance de la sphère n'est pas ajustée de manière à maintenir la puissance sphérique équivalente constante. En effet, on cherche à déterminer séparément deux composantes d'axe et de puissance du cylindre alors que celles-ci sont, dans leur expression polaire, intimement liées entre elles et que toute modification de l'une a inévitablement une influence sur la perception de l'autre. Ainsi, lors de la recherche de l'axe du cylindre, chaque test de l'axe est réalisé - comme nous l'avons vu dans la partie 3 a) de cette publication - perpendiculairement à sa direction, dans une orientation qui change avec chaque modification de l'axe du cylindre. Par, ailleurs, lors de la recherche de la puissance, chaque test de puissance réalisé s'effectue avec une puissance sphérique équivalente variable. En conséquence, le repère de recherche du cylindre est « mouvant » tout au long de la recherche du cylindre et rend sa détermination moins rigoureuse. Notons que s'y ajoutent aussi la variabilité des réponses du patient et leur possible incohérence.
- Lors de la recherche du cylindre les pas de variations de puissance et d'axe restent le plus souvent constants : pas de 0.25 D pour la puissance tels qu'imposés par les verres disponibles dans les réfracteurs et pas de 5° pour l'axe tels que proposés par défaut par le réfracteur ou choisi par le praticien, et cela même si un choix différent est possible. Notons que ces pas restent généralement les mêmes quelle que soit la puissance du cylindre, qu'elle soit faible ou forte, et quelle que soit la sensibilité du patient aux changements dioptriques. Par ailleurs, notons aussi que ces pas sont souvent plus élevés que la sensibilité dioptrique des patients dont il a été mesuré, au cours d'exams de la réfraction, qu'elle était inférieure à 0.25 D pour 95 % des patients et inférieure à 0.125 D pour 44 % d'entre eux, soit près d'un patient sur deux⁽⁷⁾.
- Dans la méthode des cylindres croisés de Jackson, on compare les visions floues et diversement déformées de points - ou d'optotypes - qui ne sont pas toujours faciles à évaluer par le patient et peuvent nécessiter, en conséquence, la répétition des tests. La valeur du cylindre croisé de +/- 0.25 D généralement utilisé peut s'avérer insuffisante pour générer des différences suffisamment significatives pour être perçues par le patient. Par ailleurs, la recherche de l'axe du cylindre comme celle de sa puissance se terminent sur une égalité de vision floue pour les deux positions du cylindre

croisé, laquelle peut être difficile à évaluer pour le patient et aussi s'avérer troublante pour lui. Il peut, en effet, lui paraître étrange que la recherche du cylindre s'arrête quand sa vision est floue dans toutes les situations !

- Dans la recherche traditionnelle du cylindre, l'expérience du praticien est essentielle. D'abord, parce que la maîtrise de la technique des cylindres croisés de Jackson nécessite une bonne pratique et une solide expérience. Ensuite, parce que le praticien doit évaluer et interpréter chaque réponse du patient pour conduire la recherche du cylindre et prendre des décisions, comme celle de modifier la direction de l'axe du cylindre dans la direction demandée par le patient ou celle d'interrompre la recherche de l'axe du cylindre pour passer à celle de la puissance ou encore celle de considérer que la recherche du cylindre est terminée. Enfin, parce que le praticien réalise simultanément une réfraction-prescription, c'est-à-dire qu'il mesure la réfraction et, en même temps, en interprète les résultats pour prendre des décisions de prescription : par exemple, la sous-corrrection de la puissance du cylindre ou de la sphère, la modération du changement de l'axe et la décision d'arrêt de la recherche du cylindre. C'est ainsi, par exemple, que le résultat d'une réfraction peut dépendre du praticien qui la réalise et présente inévitablement une certaine part de variabilité. Permettons-nous en effet de penser que la réfraction subjective traditionnelle est doublement subjective, car à la fois fonction de l'évaluation subjective du patient et de l'interprétation subjective du praticien !

On voit ainsi que la méthode de recherche du cylindre par la technique de la réfraction « traditionnelle », présente intrinsèquement des limites, à la fois de cohérence dans le questionnement du patient et de précision des pas dioptriques utilisés. Elle ne permet pas de déterminer la réfraction avec une précision suffisante pour accéder à la sensibilité dioptrique réelle des patients.

2) Méthode de détermination du cylindre selon la « Digital Infinite Refraction™ » : un chemin direct, dans un repère cohérent, avec double itération, assurant une grande précision.

La méthode utilisée, dans la réfraction « digitale », pour rechercher le cylindre consiste - selon le choix qui en a été fait - à rechercher tout d'abord la composante de puissance du cylindre selon la direction de l'axe de la réfraction initiale, puis, à rechercher la composante d'axe du cylindre le long d'une direction perpendiculaire à cet axe initial. Cela est rendu possible grâce à une gestion vectorielle des composantes du cylindre qui induit un ajustement de la puissance du cylindre lors de toute modification de son axe. La recherche du cylindre s'effectue aussi en maintenant la puissance sphérique équivalente constante tout au long du processus. Cette recherche repose sur deux principes nouveaux :

- Le premier principe est de toujours tester la composante de puissance du cylindre selon la direction de l'axe de la réfraction initiale - ou selon une direction parallèle

dans l'espace dioptrique -, et de toujours tester la composante d'axe du cylindre selon une direction perpendiculaire à la direction de l'axe initial. Ainsi, la recherche des deux composantes de puissance et d'axe s'effectue selon deux directions fixes et de manière indépendante l'une de l'autre.

- Le deuxième principe est de toujours rechercher des inversions de réponses de la part du patient - au lieu d'égalités de réponses comme dans la méthode « traditionnelle » - et de procéder à une estimation statistique de la valeur la plus probable de chacune des composantes de puissance et d'axe du cylindre, sur l'ensemble des réponses données par le patient et non, comme dans la méthode « traditionnelle », par une décision arrêtée, pour l'axe puis pour la puissance, sur une dernière réponse du patient évaluée par le praticien.

Pour ce qui est de la recherche de la composante de puissance, elle commence selon l'axe initial par une augmentation - ou une réduction - de la puissance par un pas, choisi mais paramétrable, de (-0.35) D jusqu'à obtenir une première inversion de réponse du patient. Durant cette phase, l'axe reste fixe, seule la puissance du cylindre varie avec un ajustement correspondant de la valeur de la sphère. Une première valeur de puissance est ainsi trouvée, à mi-chemin des deux dernières puissances cylindriques testées.

La recherche de la composante d'axe se poursuit, ensuite, selon la direction perpendiculaire à la direction initiale de l'axe, en testant les effets de variation d'axe induits par une variation de 0,70 D de part et d'autre (utilisation d'un cylindre croisé virtuel de +/- 0.35 D dont la valeur a été choisie mais qui pourrait être modifiée dans l'algorithme). A chaque réponse donnée par le patient, l'axe est modifié dans le sens qu'il souhaite et selon une direction qui reste constante dans l'espace dioptrique grâce à l'ajustement de la puissance du cylindre et à la compensation correspondante de la puissance de la sphère. Une deuxième inversion de réponses du patient est alors recherchée, relative, cette fois, à la direction de l'axe. C'est ainsi qu'une première valeur de l'axe est déterminée à mi-chemin des deux dernières directions testées, celles ayant occasionné deux réponses contraires du patient.

Si on reprend notre exemple d'une correction initiale de +1.00 (-2.00) 30° et représentée par un vecteur initial localisé dans le plan J0° / J45° (figure 8). Les premières étapes consistent à effectuer plusieurs tests de la puissance (selon la technique de la réfraction « digitale » précédemment décrite) selon la direction de 30° et en suivant les réponses du patient. On teste ainsi la puissance (-2.00) D (1) que le patient demande à augmenter, puis la puissance (-2.35) D qu'il demande à nouveau à augmenter (2) puis enfin la puissance (-2.70) D qu'il demande à réduire et on obtient ainsi une première estimation de la puissance du cylindre à (-2.52) D selon l'axe de 30°, laquelle est la valeur milieu des deux dernières puissances testées. Notons que chaque modification de la puissance s'accompagne toujours d'une compensation de la sphère, d'une quantité moitié opposée, afin de maintenir la puissance sphérique équivalente constante.

On procède ensuite à la recherche de la composante d'axe du cylindre selon la direction perpendiculaire à l'axe initial (en utilisant la technique de la réfraction « digitale » présentée précédemment) et en suivant les réponses du patient. On teste ainsi, et par exemple, tout d'abord, l'axe de 30° (4) que le patient demande à augmenter, puis l'axe de 34° (5) qu'il demande de nouveau à augmenter et enfin l'axe de 38° (6) qu'il demande cette fois à réduire. L'inversion de réponse recherchée a alors été obtenue et l'on retient pour valeur d'angle la valeur milieu des deux dernières directions testées soit 36°. Notons que pour chaque variation d'axe, la puissance du cylindre est ajustée et celle de la puissance de la sphère compensée en conséquence.

C'est ainsi que l'on aboutit à la formule +1.24 (-2.49) 36°, après une inversion de réponses selon l'axe de la correction initiale et une inversion de réponses selon la direction perpendiculaire.

Graphiquement cela se traduit dans l'espace dioptrique par le fait que :

- Les premières étapes - (1), (2), (3) et (4) - de recherche de la composante de puissance du cylindre s'effectuent selon la direction de 30° et restent localisée dans le plan J0° / J45°, contrairement à ce qui se produit dans la réfraction traditionnelle (où elles se décalent progressivement sous le plan J0° / J45°).
- Les étapes suivantes - (4), (5), (6) et (7) - de recherche de la composante axiale du cylindre s'effectuent selon une direction perpendiculaire à la direction de l'axe initial, partant du point (4). Ces points sont alignés selon une même droite qui est la médiatrice du segment reliant les points (2) et (3) - c'est-à-dire la perpendiculaire en son milieu -, au lieu de se trouver, comme dans la réfraction « traditionnelle », le long d'un cercle centré sur l'origine du repère correspondant à la puissance du cylindre initial. Ces points sont tous rigoureusement localisés dans le plan J0° / J45°, plan dans lequel s'effectue toute la recherche du cylindre.

Plusieurs observations peuvent ici être faites :

- Le chemin suivi par la méthode « digitale » pour la recherche du cylindre est beaucoup plus direct que celui emprunté par la méthode « traditionnelle ». Sa représentation dans l'espace dioptrique (figure 8), montre que la recherche s'opère, tout d'abord, de manière « radiale » - selon la direction de l'axe initial du cylindre - pour rechercher la composante de puissance du cylindre, puis le long d'une droite perpendiculaire à la direction de l'axe initial pour rechercher la composante d'axe du cylindre, en restant en permanence dans le plan J0° / J45°. Ceci est dû au fait, comme déjà expliqué précédemment, que toute variation de puissance du cylindre est automatiquement compensée sur la puissance de la sphère et que, grâce à la gestion en composantes vectorielles, toute modification de l'axe, entraîne un ajustement de la puissance du cylindre et, en conséquence, une compensation de la puissance de la sphère.

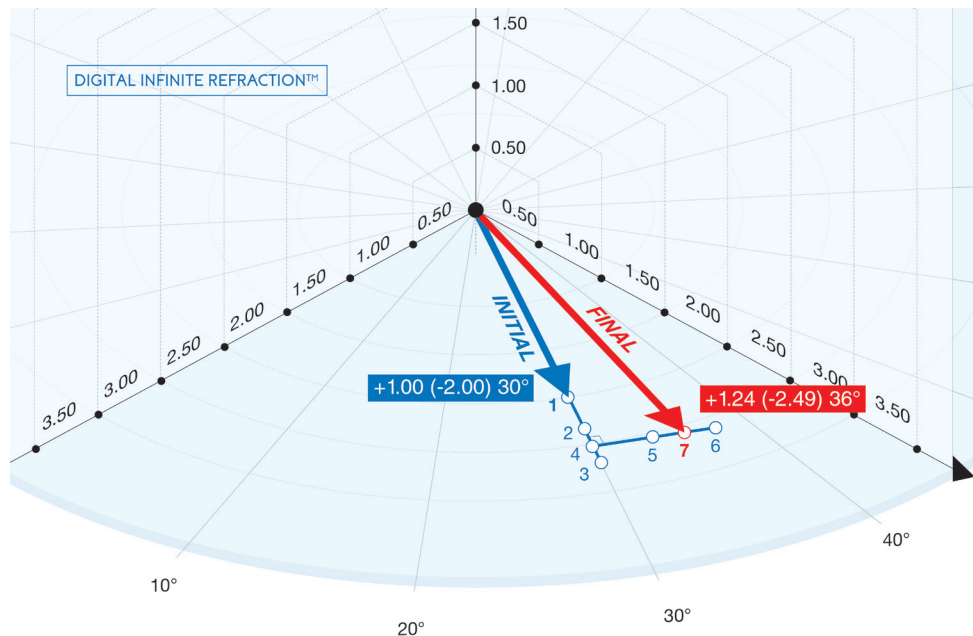


Figure 8 : Méthode de recherche du cylindre par la méthode de la « Digital Infinite Refraction™ » : puissance du cylindre puis axe du cylindre, avec compensation simultanée de la puissance du cylindre et maintien de la puissance sphérique équivalente constante

- Le système de référence dans lequel s'effectue la recherche du cylindre reste constant tout au long de sa recherche : les tests de la puissance et de l'axe sont toujours effectués selon les mêmes directions respectives et perpendiculaires entre elles : la direction de l'axe du cylindre initial pour la recherche de la puissance et la direction qui lui est perpendiculaire pour la recherche de l'axe. Autrement dit, la recherche du cylindre s'effectue selon ses composantes vectorielles sur des directions constantes. Cette technique « vectorielle » permet de conserver une meilleure cohérence dans le questionnement du patient et de gagner en précision dans la détermination du cylindre. En effet, elle offre la possibilité de cumuler les réponses du patient selon deux directions constantes et d'estimer la puissance et l'axe du cylindre de manière statistique, et non sur une dernière réponse unique du patient, comme dans la « Réfraction Traditionnelle ». Nous y reviendrons plus loin.
- La puissance et l'axe du cylindre s'affinent au cours de la recherche :
 - Le pas de modification de la puissance du cylindre, est au départ plus élevé dans la méthode « digitale » que dans la méthode « traditionnelle » – il est de (0.35) D vs (0.25) D – ce qui permet une recherche plus rapide de la puissance et facilite les réponses du patient. Ce pas se réduit ensuite progressivement : il se divise par deux après l'obtention de la première inversion de réponses du patient et s'affinera encore par la suite. Il pourra aussi être ré-augmenté en cas d'incohérence de réponses du patient. Notons que dans la réfraction « traditionnelle » ce pas resterait constant et égal à 0.25 D tout au long de la recherche.
 - Le pas de modification de l'axe du cylindre est dioptriquement constant et identique à celui utilisé pour la recherche de la puissance du cylindre, soit au départ de 0.35 D. Ceci a pour avantage de créer des changements d'axes qui, traduits en dioptries, créent

des variations de perceptions homogènes pour le patient, par rapport à celles perçues lors de la recherche de la puissance. Ce pas est ensuite réduit de moitié lors de la première inversion de réponses du patient – relatives au test de l'axe – et sera affiné encore par la suite. Il pourra aussi être ré-augmenté dans le cas d'incohérence de réponses du patient. A l'inverse, dans la réfraction « traditionnelle », le pas de variation de l'axe est choisi par le praticien, et souvent de 5° quelle que soit la valeur du cylindre. Cela a deux conséquences notables : d'une part, l'effet dioptrique produit par la variation de l'axe du cylindre est variable d'un patient à l'autre car il est fonction de la puissance du cylindre et, d'autre part, cet effet n'est pas homogène avec celui utilisé pour la recherche de la puissance, et ce pour tous les patients. Autrement dit, le fait que le pas de modification de l'axe soit choisi par le praticien et puisse être angulairement constant, le rend très variable dioptriquement !

- Par ailleurs, dans la réfraction « digitale », les deux composantes de puissance et d'axe du cylindre s'évaluent par l'encadrement de la valeur recherchée et sur la base d'inversions de réponses du patient. Elles sont estimées, indépendamment l'une de l'autre et de manière statistique sur l'ensemble des réponses données par le patient. Nous y reviendrons plus loin. Dans la réfraction « traditionnelle », les valeurs de la puissance et de l'axe du cylindre sont, au contraire, arrêtées sur une réponse finale du patient – quand celui-ci évalue comme équivalentes deux propositions floues – et sur décision prise par le praticien. Il est donc inévitable qu'une certaine part de subjectivité, donc de variabilité, s'y introduise.

Ainsi, avec la méthode de la « Digital Infinite Refraction™ » utilisant un algorithme automatisé, la recherche du cylindre s'avère indépendante de la technique du praticien

et de ses décisions. Elle consiste à déterminer une valeur brute de la réfraction du patient, que le praticien pourra ensuite interpréter et modifier pour effectuer sa prescription.

Une deuxième itération de recherche du cylindre, pour une plus grande précision

Dans la technique de « Digital Infinite Refraction™ » la recherche du cylindre ne consiste pas, comme dans la « Réfraction Traditionnelle » à une seule et simple détermination du cylindre mais l'algorithme de recherche⁽⁴⁾ propose une deuxième vérification de la puissance et de l'axe du cylindre, à la suite de la première recherche. Le principe est de préciser la réfraction trouvée lors d'une première itération, en recherchant, toujours selon les mêmes directions de l'espace dioptrique, deux nouvelles inversions de réponses du patient. Ce faisant, toutes les réponses sont accumulées selon les deux directions fixes - des composantes de puissance et d'axe du cylindre - afin d'en réaliser une analyse statistique pour évaluer des seuils de puissance et d'axe du cylindre, tout en procédant simultanément à une vérification de la cohérence des réponses du patient. Détaillons le principe de cette deuxième itération.

A la suite de la première recherche du cylindre, la deuxième itération s'effectue comme suit :

- Tout d'abord, une deuxième vérification de la composante de puissance du cylindre est effectuée, toujours selon la direction de l'axe initial de 30° de notre exemple, et, ce, jusqu'à observer une nouvelle inversion des réponses du patient. Cette deuxième évaluation vient compléter, préciser et confirmer la première évaluation de la puissance du cylindre déjà réalisée selon cette direction lors de la première itération.
- De la même manière, il s'ensuit, une deuxième vérification de la composante d'axe du cylindre, toujours réalisée selon la perpendiculaire à la direction de l'axe initial, et ce jusqu'à observer également une nouvelle inversion de réponses du patient. C'est ainsi qu'une évaluation plus précise de l'axe peut être réalisée.
- Lors de chacune de ces inversions de réponses, le pas dioptrique de variation de la puissance ou celui de l'axe sont à nouveau réduits afin d'affiner la recherche. Notons que ce pas est néanmoins maintenu à un niveau suffisant pour être perceptible par le patient mais qu'il peut aussi, en cas d'incohérence de réponses du patient, être ré-augmenté.
- Pour chaque composante du cylindre - composante de puissance et composante d'axe - il est procédé à un cumul des réponses données par le patient et à leur analyse statistique. Plus précisément, l'accumulation des réponses est réalisée selon la direction de l'axe du cylindre initial pour la composante de puissance du cylindre et selon la direction qui lui est perpendiculaire pour la composante d'axe du cylindre. Selon chacune de ces directions est déterminée, sur l'ensemble des

réponses données par le patient lors de la première et de la deuxième itération, une estimation de la valeur la plus probable de chacune des composantes de puissance et d'axe du cylindre recherchées. Ainsi, sont déterminés, respectivement, un seuil de puissance du cylindre et un seuil d'axe du cylindre, qui constituent le résultat de la réfraction précise, lesquelles sont calculées en coordonnées cartésiennes et restituées en coordonnées polaires.

- Par ailleurs, une vérification de la cohérence des réponses du patient est effectuée tout au long de la recherche et permet de décider quand arrêter la procédure ou, au contraire, s'il est nécessaire de la poursuivre pour en préciser et confirmer le résultat. En conséquence, plus les réponses du patient seront cohérentes et plus la procédure de recherche du cylindre sera brève ; à l'inverse, si les réponses du patient manquent de cohérence, il sera nécessaire de poursuivre la recherche jusqu'à l'obtention de la fiabilité voulue.

C'est ainsi que l'on aboutit à la réfraction finale précise de +1.21 (- 2.42) 35°.

Graphiquement, cette deuxième itération de recherche du cylindre se traduit dans l'espace dioptrique (voir figure 9) par le fait que :

- A la suite des étapes (1) à (6) de la première itération et aboutissant à la première estimation de la réfraction, l'examen se poursuit avec les étapes (7) à (12), d'affinement de la réfraction.
- La deuxième vérification de la composante de puissance du cylindre - étapes (7), (8) et (9) - s'effectue le long d'une parallèle à la direction de l'axe du cylindre initial dans l'espace dioptrique : on observera sur la figure 9 que la droite qui joint les points (7), (8) et (9) est parallèle à celle qui joint les points (1) (2) et (3). La direction initiale utilisée pour la recherche de la composante de puissance du cylindre est maintenue constante, tout en ayant ajusté la composante d'axe à sa valeur la plus probable après la première itération.
- La deuxième vérification de la composante d'axe du cylindre - étapes (10), (11) et (12) - s'effectue le long d'une direction perpendiculaire à l'axe initial du cylindre, dont on observera sur la figure 9 qu'elle est parallèle à la droite qui joint les points (4), (5) et (6). La direction initiale utilisée pour la recherche de la composante d'axe du cylindre est maintenue constante tout en ayant ajusté la composante de puissance à sa valeur la plus probable obtenue après la deuxième vérification.
- On remarquera aussi que, contrairement à ce qui se produisait lors de la première itération de recherche du cylindre, le point (7) ne se trouve pas exactement au milieu des points (5) et (6), points pour lesquels l'inversion de réponses du patient s'est produite, mais qu'il est légèrement décalé ; de la même manière, on observera aussi que le point (10) ne se trouve pas localisé entre les points (8) et (9) mais qu'il est lui aussi décalé par rapport à ces derniers. Cela provient du fait,

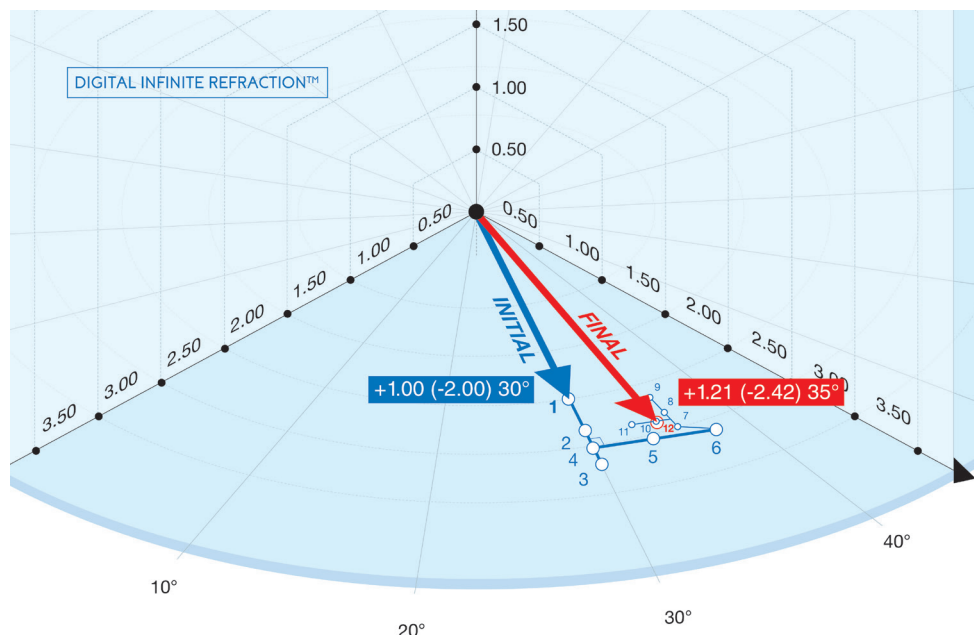


Figure 9 : Algorithme de recherche du cylindre par la méthode de la « Digital Infinite Refraction™ »
Une double itération de recherche de la puissance et de l'axe du cylindre en une même séquence.

qu'à partir de la deuxième itération de recherche du cylindre, ces points résultent d'une estimation du nouveau « point » à tester effectuée sur l'ensemble des réponses données par le patient pour la composante de puissance et pour la composante d'axe, respectivement. Autrement dit, il est tenu compte, au cours de la deuxième itération, des réponses qui ont déjà été données par le patient au cours de la première itération. C'est tout l'intérêt de la technique vectorielle de réfraction que de pouvoir traiter les deux composantes de puissance et d'axe indépendamment l'une de l'autre et de pouvoir accumuler les réponses selon ces deux directions pour en effectuer un traitement statistique et évaluer séparément les valeurs les plus probables de la puissance et de l'axe du cylindre.

Discussion :

Discutons maintenant des apports de la nouvelle méthode de la « Digital Infinite Refraction™ » et des perspectives qu'elle ouvre :

- Une méthode de recherche de la réfraction à la fois cohérente et précise : l'approche vectorielle utilisée pour la recherche du cylindre permet d'effectuer la réfraction dans un repère cohérent : d'une part, le même repère dioptrique est utilisé tout au long de la recherche et, d'autre part, les effets dioptriques produits lors de la recherche de la puissance et de celle de l'axe restent cohérents. Cette technique permet ainsi de déterminer le cylindre avec précision, par pas de 0.01 D et au degré près, ce qui n'avait jamais été possible jusque-là.
- L'utilisation de méthodes psychométriques pour la détermination de la réfraction : la nouvelle méthode permet de mettre en œuvre des techniques de recherche de seuil telles que celles classiquement utilisées en psychophysique. Ainsi on ne se limite plus, comme dans la réfraction traditionnelle, à évaluer des valeurs de

sphère, de cylindre et d'axe mais on recherche, en les déterminant de manière statistique, les valeurs de seuil les plus probables des trois composantes cartésiennes de la réfraction : sphère équivalente, composante horizontale du cylindre J0° et composante oblique du cylindre J45°. La réfraction devient ainsi une réelle mesure physiologique !

- Une précision en cohérence avec la sensibilité dioptrique des patients : si la réfraction traditionnelle avec des verres par pas de 0.25 D était insuffisamment précise au regard de la sensibilité dioptrique réelle des patients (souvent inférieure à 0.10 D), la nouvelle technique utilisant des pas optiques de 0.01 D permet de déterminer la réfraction avec pour seule limite cette sensibilité dioptrique. Ce n'est donc plus le réfracteur qui limite la précision de la réfraction mais bien la sensibilité du patient. Mieux encore, la nouvelle technique permet aussi, au cours de l'examen de réfraction lui-même, d'évaluer la sensibilité dioptrique de chaque patient, offrant ainsi un paramètre complémentaire nouveau qui accompagne le résultat de la réfraction et permet son interprétation.
- Des algorithmes d'aide à la détermination de la réfraction pour les praticiens : la formalisation des logiques de réfraction, et en particulier celle de la recherche du cylindre, dans des tests et programmes de réfraction automatisés permet de proposer une certaine standardisation des méthodes d'examen de la réfraction. Elle devrait permettre de s'affranchir de l'inévitable variabilité des pratiques et de renforcer la reproductibilité des résultats de réfractations d'un praticien à l'autre, en quelque sorte de rendre la réfraction « subjective » plus « objective » !
- Une nouvelle séquence d'examen « Réfraction puis Prescription » : la nouvelle approche propose également une séquence d'exercice de la réfraction différente de l'approche classique. Elle consiste, dans un premier

temps, en la détermination d'une valeur de réfraction subjective brute au moyen des algorithmes du réfracteur, puis, dans un deuxième temps, en une interprétation de ce résultat par le praticien pour le transformer en décision de prescription. Ainsi, au lieu d'un exercice classique de « Réfraction-Préscription » simultané, c'est-à-dire d'une interprétation des résultats au cours de l'examen de la réfraction lui-même, et avec la subjectivité qu'elle comporte, il est proposé une nouvelle séquence de « Réfraction puis Prescription » successives. Cette nouvelle approche pourrait contribuer à dissocier la « Réfraction » de la « Prescription » et en cela transformer le mode d'exercice de la réfraction.

- L'accès à une gamme de verres correcteurs par pas de 0.01 D : si la réfraction peut aujourd'hui être déterminée par pas de 0.01 D, il va de soi que cette précision ne trouve son plein intérêt que si des corrections optiques correspondantes peuvent aussi être proposées. C'est ainsi qu'une nouvelle gamme de verres correcteurs, fabriqués par pas de 0.01 D, est aujourd'hui mise à disposition. Ceci est rendu possible grâce à la technologie du « Surfaçage Digital » déjà employée depuis plus d'une dizaine d'années. Ainsi, la précision de détermination de la réfraction apportée par les nouveaux réfracteurs permet aujourd'hui aux patients de bénéficier du plein potentiel de précision existant dans la fabrication des verres.

Conclusion :

Si les méthodes de réfraction subjective n'avaient pas évolué depuis plus d'un siècle, elles sont en train de connaître une véritable révolution. Avec l'avènement des réfracteurs à variations continues de puissance, il est devenu possible de concevoir de nouvelles techniques d'examen et de repenser l'approche de la réfraction subjective. Comme nous l'avons décrit en détail dans cette série de trois articles, la recherche du cylindre correcteur peut ainsi être réalisée selon une nouvelle technique vectorielle, à la fois plus cohérente et plus précise. Des approches similaires ont aussi été développées pour d'autres tests de réfraction : nouvelle technique de brouillage et débrouillage, détermination automatisée de la sphère, réalisation de l'équilibre bi-oculaire exact, approche et mesure automatisée de l'addition de vision de près, etc... La logique développée pour chacun de ces tests est traduite sous forme d'algorithmes mis en œuvre dans des tests de réfraction automatisés. L'enchaînement de ces différents tests permet de constituer des programmes de réfraction directement utilisables par les praticiens et qui peuvent aussi être personnalisés selon leurs besoins.

Aujourd'hui, des premières versions de tests et programmes de réfraction ont été proposées et sont mises à disposition dans le réfracteur de nouvelle génération^(*). Vue la flexibilité totale du module optique et de sa commande, il s'ouvre pour l'avenir un immense champ de recherches et d'innovation en matière de méthodes de réfraction. Demain, de nouveaux tests, algorithmes, programmes, protocoles, méthodes, etc... pourront être inventés. Et puisque ces réfracteurs de nouvelles générations sont

des instruments connectés, il sera possible de les enrichir régulièrement des derniers progrès réalisés, en mettant à jour leurs « softwares » à distance. Par ailleurs, la simplicité d'utilisation des programmes et la connectivité de ces réfracteurs sont telles qu'elles pourront aussi transformer le mode de réalisation de la réfraction lui-même : réfraction déléguée, réfraction à distance, self-réfraction, etc... Nous ne sommes donc décidément qu'à l'aube d'une révolution de la réfraction et de son mode d'exercice !

Ainsi la technologie des nouveaux réfracteurs va permettre d'automatiser et de standardiser les techniques de réfraction et de déterminer de la correction des patients avec plus de précision. Cette technologie est désormais mise à disposition des praticiens pour faciliter leur pratique quotidienne et placée sous leur surveillance et autorité. Il est donc essentiel qu'ils comprennent la logique des algorithmes conduisant la réfraction afin d'en suivre le bon déroulement et aboutissement. Fasse que cette publication ait pu éclairer la compréhension de l'algorithme, assez complexe, de recherche vectorielle du cylindre correcteur. Mais fasse surtout qu'il promeuve l'adoption et l'usage des procédures automatisées de détermination du cylindre par les professionnels de la vision et permette ainsi d'offrir aux patients une correction optique de leur astigmatisme (encore) plus précise !



INFORMATIONS CLEFS :

- Dans la méthode de la « Réfraction Traditionnelle », la recherche du cylindre emprunte un chemin indirect, avec des changements de repères permanents, limitant la précision.
- Dans la méthode de la « Réfraction Digitale », la recherche du cylindre emprunte un chemin direct, dans un repère cohérent, avec une double itération, assurant une grande précision.
- La nouvelle méthode de la « Digital Infinite Refraction™ » permet une détermination plus précise de la réfraction. Sa mise en œuvre par des algorithmes automatisés et évolutifs ouvre de nombreuses perspectives pour faciliter la pratique de la 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 : 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).