

# Facteurs influant sur la reconnaissance des optotypes du tableau d'examen d'acuité visuelle : Conception d'optotypes pour réduire les indices secondaires et l'interaction de contour

**Jonathan Shapiro**

**B.Sc. (spécialisé), FCOptom,**

**FAAO, FEAOO**

Ancien conférencier principal

Département d'optométrie

Hadassah Academic College

Jérusalem

---

## RÉSUMÉ

---

Outre la taille des optotypes utilisés, l'interaction de contour, les indices secondaires, le comportement psychodynamique du patient, son expérience antérieure et les différences culturelles sont tous des facteurs pouvant influencer sur les résultats d'un examen de l'acuité visuelle.

Dans le cadre de cet essai, nous avons comparé le taux de reconnaissance associé à un tableau de lettres standard à celui d'optotypes proposés fondés sur des chiffres. Le tableau standard de « C » a servi de point de référence pour la comparaison. Nous décrirons également un tableau d'ondulations qui améliore le résultat par rapport à des tableaux de « C » et de « E » qui présentent des indices secondaires. Ce tableau examine l'acuité visuelle méridionale et peut être utilisé auprès de patients qui ne s'expriment pas verbalement.

## MOTS CLÉS :

Acuité visuelle, optotypes, interaction de contour, tableau d'ondulations, acuité visuelle méridionale.

## INTRODUCTION

La mesure de l'acuité visuelle d'une personne peut exercer une incidence sur sa situation juridique. Par exemple, elle est nécessaire pour obtenir ou renouveler un permis de conduire et peut exercer une influence sur les décisions concernant l'efficacité d'une intervention médicale et la nécessité d'un traitement supplémentaire.

L'historique et la conception du tableau d'examen, la forme et la taille des optotypes et la disposition des cibles sur le tableau ont été bien documentés<sup>1-18</sup>.

L'angle visuel sous-tendu à l'œil par rapport à la cible définit la nomenclature. Toutefois, la réaction du patient repose sur des facteurs autres que la taille de la cible. Ces facteurs secondaires peuvent influencer sur le résultat connoté. Les principaux facteurs secondaires sont liés à la structure de chacun des optotypes. L'interaction de contour et le phénomène de regroupement ainsi que les indices secondaires exercent une incidence sur la capacité du patient à reconnaître et à nommer la cible. Le présent rapport traitera de ces questions et d'autres facteurs et présentera une comparaison de différentes formes d'optotypes. En outre, de nouveaux concepts d'optotypes seront proposés. Une étude indépendante limitée est présentée à l'appui du projet.

D'autres facteurs, comme l'éducation, les antécédents culturels et les expériences antérieures peuvent également influencer sur la réponse du patient. Par exemple, un patient qui travaille dans un bureau ou une banque interprétera plus facilement l'information visuelle à la vue de lettres ou de chiffres qu'un patient qui ne rencontre pas ce type d'images dans sa vie quotidienne ou sa culture.

L'état psychologique du patient, par exemple la timidité ou l'exubérance, la pression que pourraient exercer ses pairs dans la salle de consultation

ou un comportement hystérique, peut également exercer une incidence sur la réponse exprimée verbalement. La façon dont l'examineur sollicite une réponse et l'ordre dans lequel les cibles sont présentées peuvent également influencer sur le résultat.

### PHÉNOMÈNE DE REGROUPEMENT, INTERACTION DE CONTOUR ET INDICES SECONDAIRES

Le phénomène de regroupement touche la capacité du patient à reconnaître un optotype lorsque la cible se trouve très proche d'autres objets, comparativement au même optotype isolé<sup>19,20</sup>. Le rapport ne traite pas de ce phénomène. D'autre part, l'interaction de contour est un phénomène de réduction de la reconnaissance d'un optotype en particulier qui survient lorsque des stimuli adjacents sont placés à proximité de part et d'autre ou à l'intérieur de l'optotype<sup>21-34</sup>. Il s'agit d'une définition différentielle controversée étant donné que, dans la documentation, le phénomène de regroupement et l'interaction de contour sont souvent des synonymes interchangeables<sup>19,20</sup>. Leat et coll.<sup>24</sup> ont observé que le phénomène de regroupement peut être causé par un amalgame de facteurs liés à l'interaction de contour, à l'attention et aux mouvements oculaires. L'interaction de contour est un type d'interaction neuronale ou de masquage spatial latéral causé par la présence de contours près de la cible. Il a été suggéré que le phénomène se produit plus haut que la rétine, probablement dans le cortex occipital, et résulte d'une inhibition latérale dans le cortex<sup>22,23,25</sup>.

L'effet de l'interaction de contour dans un optotype nuit à la capacité du sujet à reconnaître et à nommer correctement l'objet. Par exemple, le chiffre 0 comporte un espace important entouré de traits et le chiffre 2, des espaces ouverts autour des traits. L'espace à l'intérieur des chiffres 6, 9 et 8 entraîne une augmentation des interférences liées à l'interaction de contour. Les lettres C, D et O sont ouvertes, alors que les lettres W, M et N sont associées à une interférence accrue. Si nous comparons l'espacement différentiel à l'intérieur de la structure des lettres A et H, nous observons que la lettre H ne présente pratiquement aucune interaction de contour. En revanche, l'interaction de contour associée à la lettre A augmente lorsque le regard se déplace du bas vers le haut de la lettre. Toutefois, les indices secondaires font en sorte qu'un patient habitué de lire des lettres latines reconnaîtra la forme pyramidale d'une lettre A floutée et que sa réponse sera consignée comme étant exacte. Les lignes angulaires obliques, comme celles dont sont formés les chiffres 2, 4 et 7 ainsi que les lettres W, N, V, A, Z et K, donnent des indices secondaires de reconnaissance.

Afin d'équilibrer la tâche visuelle et d'éviter le phénomène de regroupement, les tableaux ont été conçus pour présenter sur chaque ligne le même nombre de cibles séparées par un espace correspondant à la taille de la cible<sup>14,16</sup>. Toutefois, l'interaction de contour et les indices secondaires n'ont pas été pris en compte. Par ailleurs, nous n'avons pas tenu compte de l'incidence de la luminance ambiante dans l'évaluation de l'acuité visuelle puisqu'elle devrait normalement être maintenue à des niveaux acceptables et uniformes dans la salle de consultation<sup>28</sup>.

Pour améliorer la normalisation de la mesure de l'acuité visuelle, Raasch et coll.<sup>33</sup> ont observé que la tâche visuelle doit être essentiellement équivalente à chaque échelon de taille, chacune des cibles exigeant le même effort de résolution et de reconnaissance. Il est peu probable que l'on puisse atteindre une lisibilité parfaitement équivalente, même avec le tableau de « C » de Landolt ou le tableau de « E », étant donné que la variation de la capacité visuelle entre les divers méridiens peut favoriser certaines orientations<sup>35</sup>. Le tableau de « C » de Landolt et le tableau de « E » ont été introduits pour contrer certaines de ces sources d'erreur, car ils comportent un concept unique d'interaction de contour. Même si la forme et la taille de la cible sont équivalentes, une image floutée (figure 1) montre une différence de luminance dans certaines parties de l'optotype, ce qui peut donner des indices secondaires quant à son orientation.

Figure 1 : Optotypes E et C floutés montrant comment l'orientation peut être déterminée à partir de la luminance.



Comme l'ont observé Raasch et coll.<sup>33</sup>, le « C » et le « E » peuvent également être associés à une reconnaissance exacte de la cible favorisée par certaines orientations en raison de l'effet des saccades ou d'une amblyopie sur un méridien. Bien que les saccades soient omnidirectionnelles, leur orientation principale est horizontale, surtout pen-

dant la lecture. Les saccades horizontales peuvent exercer une incidence sur la capacité de reconnaître les cibles lorsqu'elles sont placées à la verticale ou à l'horizontale.

Dans le tableau d'ondulations (figure 2) proposé ici, les ondulations et les lignes droites sont comparées. Le patient est invité à repérer l'ondulation parmi quatre optotypes. Étant donné que la différence de saccades et de luminance est équivalente à l'intérieur de la cible, la réponse est exempte d'indices secondaires.

**Figure 2 :** Tableau d'ondulations visant à équilibrer l'effet des saccades et de la luminance différentielle. Conçu pour déterminer l'expérience d'une différence méridionale.



Le résultat est déterminé dans deux méridiens. Une différence marquée du degré de reconnaissance entre les cibles verticales et horizontales indiquera un effet méridional.

Des différences de résolution méridionales peuvent survenir aux premiers stades du développement visuel. Dans les cas extrêmes, ces différences peuvent avoir une incidence sur la capacité de résoudre des cibles dans certains méridiens plus tard au cours de la vie<sup>35</sup>. Leat<sup>36</sup> a rapporté qu'environ 69 % des bébés présentent un astigmatisme de +1,00 ou plus à la naissance. Il peut être lié à une hypermétropie comprise entre +2,00 et +4,00. L'ordonnance diminue rapidement à environ 17 % vers l'âge de 6 ou 7 ans. On peut supposer que, dans certains cas d'hypermétropie prononcée qui sont liés à un astigmatisme important, il est possible que la vision associée à certains méridiens demeure floue à l'étape critique du développement et que la résolution visuelle ne se développe pas uniformément. (Remarque : lors de l'examen d'un patient âgé, il est possible que le professionnel ne connaisse pas ses antécédents de développement visuel et neurologique alors qu'il était en bas âge. Une légère réduction de l'acuité visuelle que l'ordonnance minimale actuelle ne permet pas d'expliquer peut être observée.) Si le tableau d'ondulations indique une amblyopie sur un méridien, une amélioration de l'acuité visuelle dans un méridien précis pourrait être obtenue par l'ajout d'un cylindre à +2,00 D sur la réfraction normale pour une utilisation en vision de loin (et non en vision de près) quelques heures par jour. Il s'agit d'une forme de correction méridionale par la méthode de Humphriss.

Les patients qui ne s'expriment pas verbalement, que ce soit en raison d'une pathologie, de la timidité ou de normes culturelles, peuvent avoir de la difficulté à répondre aux questions concernant l'acuité visuelle. Le tableau d'ondulations permet au patient de signaler simplement la différence entre les lignes droites et les ondulations par un mouvement de la main.

#### CHIFFRES ET LETTRES

Les lettres latines standards (occidentales) sont les optotypes les plus utilisés dans de nombreux pays occidentaux. Les lettres C, D, H, K, N, O, R, S, V et Z de Sloan et les lettres D, H, N, U, V, F, R, P, E, Z, C et K du système British Standard comprennent des lignes courbes, droites et angulaires. Les lignes courbes et angulaires peuvent donner des indices secondaires. Les lettres A, B, G, I, J, L, M, Q, T, W, X et Y ne sont pas utilisées, car elles présentent des indices secondaires importants, comme la forme pyramidale du A, ou sont reconnaissables même lorsqu'elles sont floutées, comme dans le cas du T ou du Y, ou encore des lignes très serrées qui prêtent à confusion en raison de l'interaction de contour, comme le M et le W. Dans la recherche présentée, les lettres Y, X et A et T, qui ne sont normalement pas utilisées, sont comparées aux lettres U, V, O et H, qui sont acceptées.

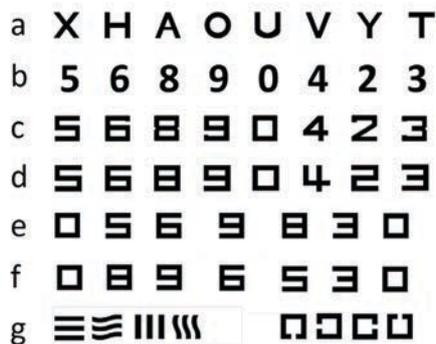
La variété des lettres utilisées dans les nombreuses cultures peut exercer une incidence négative sur la capacité de certains patients à répondre avec certitude et exactitude lorsqu'on leur présente des lettres latines. Alors que les populations continuent de se mélanger, l'utilisation de lettres peut fausser l'évaluation de l'acuité visuelle chez certains patients. À l'exception de certaines cultures, comme dans le cas des langues arabe et siamoise et de certaines langues du sous-continent indien, la forme des chiffres indo-arabes (occidentaux) devient universelle. Il pourrait être avantageux que les optotypes soient fondés sur des chiffres plutôt que sur des lettres.

**UTILISATION D'UNE INTERACTION DE CONTOUR GRADUÉE CROISSANTE POUR DÉFINIR LE CRITÈRE D'ÉVALUATION DE LA RECONNAISSANCE À L'INTÉRIEUR DU MÊME ANGLE VISUEL SOUS-TENDU.**

Un nouveau concept de chiffres pourrait améliorer la normalisation du tableau d'examen. Les chiffres utilisés dans le tableau de chiffres sont 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 et 0. Les chiffres 1 et 7 sont exclus, car ils sont trop faciles à reconnaître même lorsqu'ils sont très floutés. Bien que le tableau de chiffres compte deux choix de moins que le tableau de lettres, il demeure suffisant pour déterminer l'acuité visuelle. Les chiffres sont présentés en forme de boîte sur une grille de 5 par 5 pour réduire les indices secondaires.

La première rangée de chiffres (b) contient des optotypes de forme traditionnelle. Les optotypes proposés sont présentés à la figure 3, dans la rangée c. Les chiffres 4 et 2 conservent leur forme angulaire et servent d'indices secondaires en guise de point de comparaison par rapport à une évaluation standard de l'acuité visuelle.

**Figure 3 :** Comparaison de la structure des lettres par rapport à celle des chiffres standards et des chiffres présentant moins d'indices secondaires. La première rangée de chiffres (b) comporte des indices secondaires qui facilitent la reconnaissance. Les chiffres de la rangée c ont été conçus pour réduire les indices secondaires et présenter différents degrés d'interaction de contour. Dans la rangée d, les indices secondaires sont encore plus réduits. Les deux rangées du bas (e et f) comportent des espaces pour réduire le phénomène de regroupement. Les chiffres 0 à chaque extrémité servent à comparer les voies optiques controlatérales ou ipsilatérales.



Le chiffre 0, en forme de boîte, comporte très peu d'interaction de contour. Il est suivi par le chiffre 3, qui comporte une interaction de contour légèrement supérieure. L'espace ouvert au centre du chiffre 3 est un indice secondaire. Les chiffres 5, 6, 9 et 8 comportent très peu d'indices secondaires. Le chiffre 5 comporte une interaction de contour plus importante que le chiffre 3. L'étape suivante consiste à présenter les chiffres 6 et 9 avec un facteur de l'optotype manquant et le chiffre 8 avec une interaction de contour maximale.

Le concept original (figure 3, rangée d) réduit au minimum les indices secondaires. Par exemple, comparez le chiffre 8 dans la rangée d à celui dans la rangée c. L'image s'est avérée trop modifiée pour que les jeunes enfants puissent la reconnaître. Pour améliorer le confort du patient et favoriser une meilleure réponse, une petite quantité d'indices secondaires a été ajoutée, comme le montre la rangée c. En guise de modification supplémentaire (rangées e et f), de l'espace a été ajouté à côté du chiffre central pour atténuer le phénomène de regroupement. Le chiffre 4 modifié sert de point de référence pour la comparaison avec les tableaux standards. En présentant un 0 de part et d'autre des chiffres et en demandant au patient de comparer les deux 0, il peut être possible de déterminer la présence d'une réduction des voies optiques controlatérales ou ipsilatérales. Une différence notable peut indiquer des changements neurologiques.

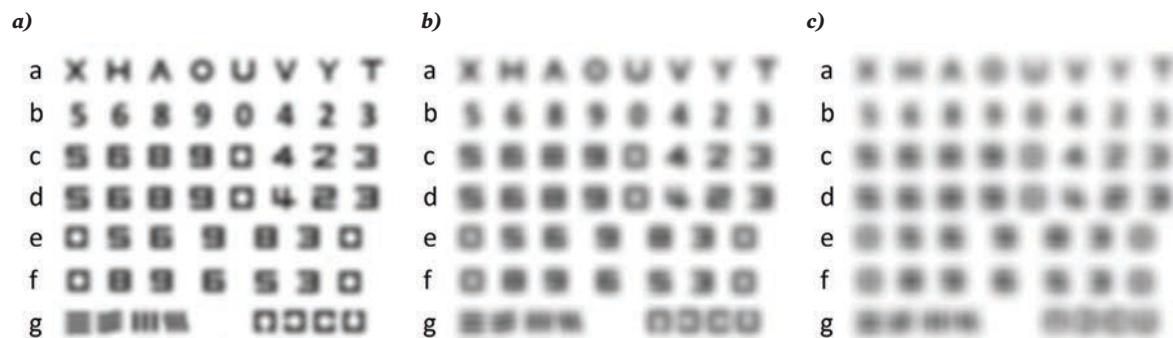
Les figures 4a à c montrent comment les indices secondaires peuvent entraîner une réponse exacte même lorsque la cible est floutée. En effet, les chiffres et les lettres standards conservent leur forme et peuvent être reconnus même lorsqu'ils sont floutés. Par exemple, on peut reconnaître le chiffre 8 en raison de son centre étroit, le chiffre 5 en raison de sa forme carrée dans la partie supérieure et de sa forme arrondie dans la partie inférieure, les chiffres 2 et 7 en raison de leurs lignes diagonales et le chiffre 4 en raison de sa forme pyramidale.

L'un des avantages du concept proposé est que le chiffre 5 peut être retourné horizontalement pour créer le chiffre 2 et le chiffre 6, verticalement/horizontalement pour former le chiffre 9 (rangées c et d). Ce concept réduit également

les différences dans les indices secondaires, car les cibles ont la même forme que dans le tableau de « C ».

En positionnant le chiffre 9 à côté des chiffres 8 et 5 et à côté du chiffre 6, séparé par un facteur d'interaction de contour, l'examineur peut évaluer l'acuité visuelle dans le même angle visuel.

**Figures 4a, 4b et 4c :** Images floutées de lettres et de chiffres. Bien que les optotypes soient floutés, leur forme et les variations de luminance dans leur forme permettent de les reconnaître correctement dans certains cas. Les formes dans les tableaux de « C » et d'ondulations, à la rangée g, sont plus difficiles à distinguer.



Les tableaux d'ondulations et de « C » sont ajoutés en guise de point de comparaison.

Lors de l'évaluation de l'acuité visuelle à l'aide de tableaux traditionnels, certains optotypes de même taille ne sont pas reconnus, alors que des cibles de plus petite taille sont distinguées sur la ligne suivante. Ce phénomène a entraîné l'utilisation de diverses notations, p. ex., 6/6<sup>+</sup>, 6/6<sup>-2</sup>, 6/6 partielle. Toutefois, ces notions n'indiquent pas quelles cibles ont été distinguées et lesquelles ont été énoncées incorrectement. Pour surmonter ce problème, il a été suggéré d'introduire une nouvelle notation en évaluant l'acuité visuelle au moyen de lettres<sup>37-39</sup>. L'utilisation des nombres modifiés présentés ici permet de catégoriser la difficulté de reconnaissance sous l'influence de l'interaction de contour.

La reconnaissance d'une image tirée d'une expérience antérieure sera abordée plus loin. En utilisant cette approche, les chiffres présentent un avantage par rapport aux lettres en guise de base pour la conception d'optotypes.

### RÉPONSES DES PATIENTS À L'EXAMEN

Jusqu'à présent, les caractéristiques physiques du système visuel ont été observées en tenant peu compte de la réponse humaine. Riggs<sup>38</sup> souligne que, lorsqu'on évalue la capacité de résolution de l'œil, les critères devraient être subdivisés ainsi : *détection*, *résolution*, *reconnaissance*, *identification* et *verbalisation*. Riggs indique que la réponse du patient dépend de divers facteurs, à savoir *la structure physique de la cible*, c'est-à-dire l'angle minimal de résolution de la cible, *les antécédents du patient*, c'est-à-dire les expériences antérieures du patient avec les symboles choisis et les *caractéristiques psychologiques du patient*.

Contrairement à une expérience scientifique dans le cadre de laquelle un participant est choisi selon sa capacité à comprendre la tâche et à répondre honnêtement, un examen clinique exige une méthode permettant de vérifier le critère d'évaluation, même contre la volonté du patient.

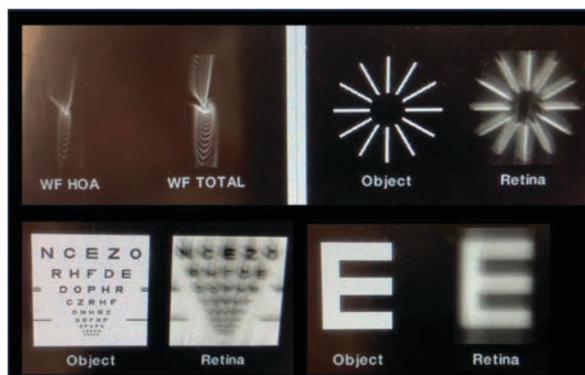
La détection exige que le patient soit en mesure de montrer sa compréhension de la tâche à accomplir et qu'il soit à l'aise d'atteindre le résultat. Il est possible que ces conditions ne soient pas réunies lors de l'examen d'un jeune enfant, d'une personne ayant une éducation suffisante, une culture différente ou des capacités mentales réduites, ou d'une personne qui subit un stress psychologique. Ces patients nécessitent une cible appropriée et une méthode permettant de produire une réponse.

### RÉPONSE ALTÉRÉE PAR LA TAILLE ET LE FLOU

Si la taille de la cible exerce une incidence sur l'incapacité de reconnaître correctement un optotype, il en va de même pour le degré de floutage. La taille de la cible, qui, par définition, représente l'acuité visuelle consignée, suppose un système optique parfait. Au-delà du flou causé par l'amétropie et la structure de la cornée et du cristallin,

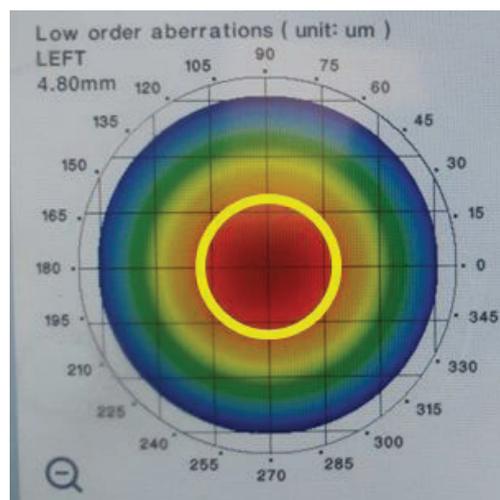
il faut également tenir compte de la structure de la rétine et du fonctionnement neurologique de la voie optique. Dans la pratique clinique, il peut arriver qu'un patient puisse donner une réponse exacte en reconnaissant la cible, mais mentionner qu'elle n'est pas claire ou nette même s'il arrive à la voir. L'examen de la fonction d'étalement du point (figure 5) et l'utilisation de la grille d'Amsler peuvent permettre d'expliquer cette réponse<sup>39</sup>. Une détérioration accrue de la reconnaissance attribuable à une augmentation de la fonction d'étalement du point est plus susceptible d'entraîner une confusion quant à la réponse exacte devant des cibles comportant une interaction de contour plus complexe. L'angle de distorsion, selon la fonction d'étalement du point, touche également différents optotypes d'une même ligne. À certains égards, cela remet en question la validité de la définition de l'acuité visuelle d'un patient lorsque l'augmentation de la fonction d'étalement du point est évidente. La prise en compte de la fonction d'étalement du point lors de l'évaluation de l'acuité visuelle devrait désormais être prise en compte dans l'examen clinique. L'avènement de l'instrumentation qui comprend l'examen de la fonction d'étalement du point rend cela possible. Malheureusement, l'examen clinique ne comporte pas encore de norme universelle d'évaluation de l'effet de la fonction d'étalement du point sur l'acuité visuelle.

Figure 5 : Distorsion d'une cible lorsque la fonction d'étalement du point est de faible qualité.



Dans un œil où il y a une plus grande variation des structures cornéennes et cristalliniennes (schéma de Zernike, figure 6), la distorsion de la région périphérique peut être réduite en ajoutant une correction négative. Le patient s'adapte pour ramener le point de focalisation à la fovéa, ce qui entraîne une contraction de la pupille. Le flou diminue et l'image perçue devient plus nette, mais plus petite. Si le patient mentionne que l'image est plus nette, il n'arrive plus à différencier rapidement des chiffres comme 5 et 6 lors de l'interrogation. Le flou périphérique a été atténué, mais la taille réduite de l'image perçue a augmenté l'effet néfaste de l'interaction de contour.

Figure 6 : Distorsion de la cornée périphérique et/ou du cristallin illustrée sur un schéma de Zernike. Une contraction de la pupille (indiquée par un cercle jaune) réduit la distorsion, ce qui rend l'image plus nette, mais plus petite.



### ASPECT PSYCHOPHYSIQUE DE L'INTERPRÉTATION VISUELLE

L'état émotionnel et l'état psychologique sont d'autres facteurs qui peuvent exercer une incidence sur la capacité du patient à formuler la bonne réponse. Dans certaines cultures et pour certaines personnalités, surtout si d'autres personnes sont présentes dans la pièce, un patient peut avoir l'impression qu'il sera jugé s'il ne parvient pas à donner la « bonne » réponse.

En étant conscient que le patient subit de telles pressions, le professionnel peut modifier le mode d'interrogation pour atténuer son stress. Plutôt que de demander au patient de nommer l'optotype présenté, il peut lui demander de différencier deux cibles connues. Les cibles sont ensuite présentées en augmentant graduellement le degré de difficulté. Pour commencer, les chiffres 2 et 4 sont présentés au patient. Les deux étant faciles à reconnaître, ils inspirent la confiance de réussir. Le patient se voit ensuite présenter les chiffres 0 et 3, suivis de 5 et 6, de 6 et 9, et enfin de 9 et 8. À chaque étape, la différenciation devient plus difficile. Le fait de dire au patient que nous recherchons le seuil de réussite et de difficulté lié à la reconnaissance élimine le modèle de réussite/d'échec. Les bonnes réponses étant nombreuses, le patient se sent plus à l'aise.

Les tableaux d'acuité visuelle traditionnels commencent par un chiffre de grande taille, puis la taille des images diminue par étapes. Le modèle est inversé dans la plupart des expériences scientifiques, en particulier celles portant sur la vision. Le sujet répond au premier moment où un stimulus croissant est perçu. L'utilisation d'une telle méthode vise à empêcher la mémoire, l'expérience, la fatigue et l'ennui d'influer sur le résultat.

Comme il a été mentionné précédemment, la question du succès/de l'échec et de l'estime de soi peut créer des tensions. Dans le modèle dont les images sont présentées en ordre décroissant de taille, le patient passe de la réussite à l'échec, le critère d'évaluation étant l'échec. Si cet ordre était inversé, pourrait-on obtenir un meilleur résultat psychologique, et possiblement une mesure plus précise? La reconnaissance des formes des cibles de plus grande taille permettrait-elle une meilleure interprétation des cibles de plus petite taille? La fatigue et l'ennui altèrent-ils la réponse?

L'aspect psychophysique de la perception visuelle et de l'interprétation a été examiné en profondeur par Frisby<sup>40</sup>. Citant Sutherland<sup>41</sup>, Frisby observe que la capacité à reconnaître un objet et à répondre correctement dépend de sa « ressemblance » par rapport à la description structurelle. Sutherland décrit le cas de la lettre T, présentée dans de nombreux formats et polices de caractères. Ce cas est illustré à la figure 7. Le sujet devrait reconnaître « la lettre T » même si la description structurelle peut être déformée ou brouillée en présence d'une ligne horizontale en haut et d'une ligne verticale en dessous. Le système visuel examine les schémas sous forme de description symbolique et les compare à une description enregistrée. La réponse du patient, sur laquelle repose l'évaluation de l'acuité visuelle, reflète l'interprétation plutôt que la résolution. Comme il a été mentionné, l'expérience, l'éducation et l'adaptation culturelle exercent une incidence sur cette réponse.

**Figure 7 :** La lettre « T » dans différents formats. Pour une personne instruite et connaissant la culture occidentale, la reconnaissance et la réponse seront exactes, tandis qu'une personne ne connaissant pas la culture occidentale ou une jeune personne ne pourra reconnaître qu'un nombre limité de formes et de symboles et formuler une quantité limitée de bonnes réponses..



Rohrschneider et coll.<sup>42</sup> ont comparé les résultats obtenus à l'aide des anneaux de Landolt et de chiffres. Les résultats ont montré une forte corrélation avec les deux optotypes. L'acuité visuelle mesurée avec les chiffres était supérieure de 0,13 à celle mesurée avec le « C » de Landolt, ce qui correspond à environ 1 ligne sur l'échelle de Snellen. Ce résultat indique que la reconnaissance de la forme joue un rôle au moment de déterminer le résultat final de la capacité visuelle. Les résultats obtenus peuvent être comparés à ceux du tableau de « C ».

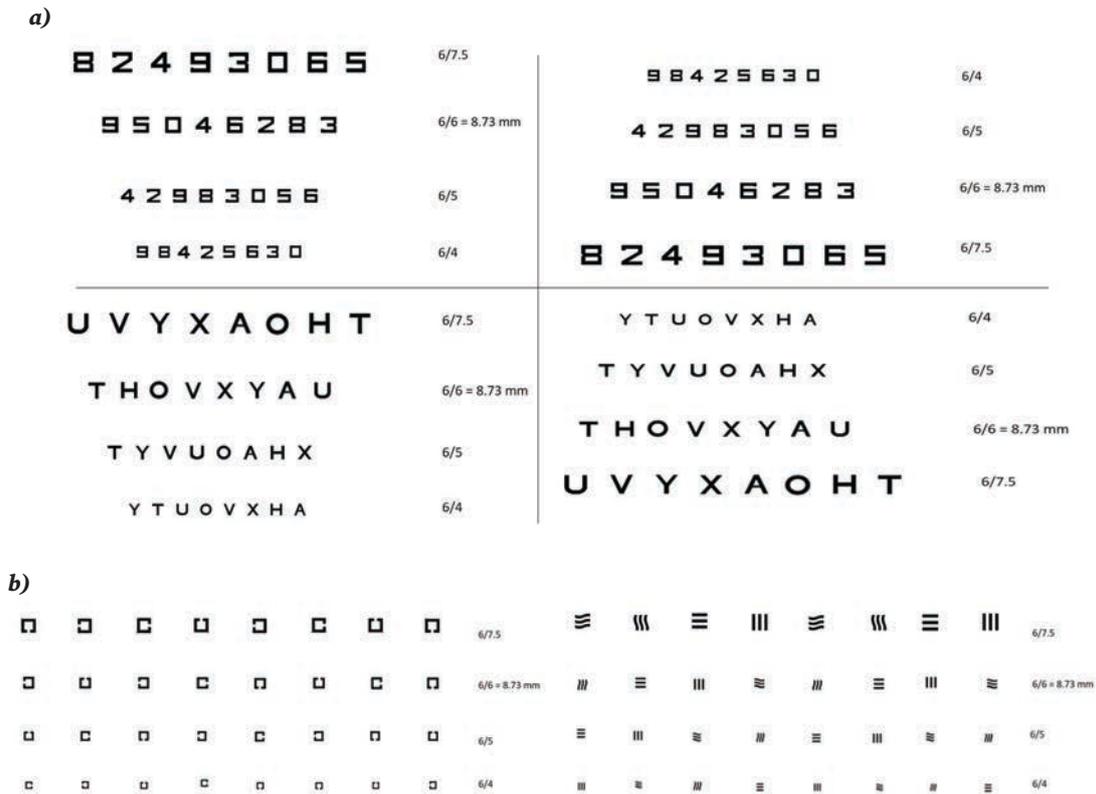
### RECHERCHE : ÉTABLIR LE TAUX DE RÉUSSITE DE LA RECONNAISSANCE DES OPTOTYPES EN UTILISANT DIFFÉRENTS MODÈLES À DIVERS DEGRÉS D'ACUITÉ VISUELLE.

#### Méthodes

Pour étayer l'argument présenté, une étude de recherche limitée a été réalisée par trois chercheurs indépendants et l'auteur. Des tableaux d'examen de l'acuité visuelle de différentes tailles ont été préparés pour être affichés sur un

écran d'ordinateur à 6 mètres du sujet (figure 8a et b). Les tableaux présentaient diverses cibles et des lettres linéaires traditionnelles. La taille des cibles variait de 6/7,5 à 6/4. Toutes les cibles devaient être testées.

Figures 8a et 8b: Les tableaux de chiffres, de lettres et de formes utilisés pour la recherche.



L'étude a révélé une diminution importante du taux de réussite de la reconnaissance lorsque la taille était réduite de 6/5 à 6/4. Étant donné qu'un résultat d'acuité visuelle de 6/4 a peu d'importance dans la vie quotidienne et est rarement examiné dans le cadre de travaux cliniques, la présente discussion porte sur le taux de réussite lorsque la taille était réduite de 6/7,5 à 6/5.

Les participants à cette étude ont été recrutés parmi des patients de cabinets. Ils ont consenti à participer après avoir été informés de l'objectif, de la méthode et des modalités de la recherche.

Vingt-huit (28) sujets ayant une acuité visuelle d'au moins 6/6 ont été sélectionnés au hasard. Les sujets présentant une pathologie ou un astigmatisme supérieur à -0,75 D, ou ayant déjà subi une chirurgie au laser, n'ont pas été inclus. Les sujets présentant un astigmatisme oblique de plus de 20° par rapport à la verticale ou à l'horizontale ont été exclus. Les sujets ont utilisé leur ordonnance habituelle, et seul l'œil droit<sup>45</sup> a été évalué. Le second œil était recouvert d'un cache-œil, mais ouvert, pour éviter de créer une réduction de l'ouverture pupillaire par les paupières.

On a demandé au sujet de lire chaque tableau et de donner une seule réponse, sans deviner et sans hésiter. Le nombre de bonnes réponses a été consigné.

On a demandé à quatorze (14) sujets de lire le tableau de 6/7,5 à 6/4. Après une pause, on leur a demandé de lire le tableau dans l'ordre inverse, de 6/4 à 6/7,5. Cet ordre a été inversé pour les 14 sujets suivants.

**Résultats**

Les optotypes étaient divisés en nombres, en lettres et en formes. Quatre formats d'optotypes ont été utilisés : 6/7,5, 6/6, 6/5 et 6/4. Toutefois, comme il a été mentionné précédemment, la taille 6/4 n'a pas été prise en compte dans la discussion ci-dessous. Les résultats sont présentés dans le tableau 1.

**Tableau 1** : Reconnaissance exacte des optotypes, des chiffres, des lettres et des formes.

	0	2	4	3	5	6	9	8	U	V	Y	X	A	O	H	T								
<b>Ordre décroissant de taille</b>																								
6/7,5	27	28	28	28	27	27	24	25	27	27	26	25	27	27	26	26	26	26	26	26	24	24	24	24
6/6	27	28	27	27	24	18	16	19	27	26	27	26	27	27	27	27	25	26	26	25	24	23	24	24
6/5	27	27	26	25	15	13	12	10	26	19	20	20	27	23	20	25	23	24	24	23	22	21	23	23
6/4	23	25	25	21	9	5	2	2	24	16	15	14	20	20	14	24	11	13	12	12	6	5	7	8
<b>Ordre croissant de taille</b>																								
6/4	22	24	25	23	11	6	7	6	23	14	15	16	20	18	15	24								
6/5	26	26	27	26	18	18	16	17	25	23	22	22	25	22	20	25								
6/6	27	27	26	27	24	24	21	22	26	26	25	25	26	26	26	27								
6/7,5	27	28	28	28	27	26	26	27	27	27	26	27	27	26	26	27								

Les valeurs représentent le nombre de sujets (sur un total de 28) qui ont reconnu correctement les cibles.

En ce qui concerne la cible de 6/7,5, qui est tout à fait à la portée des sujets, les nombres et les lettres ont été correctement reconnus par 26 à 28 sujets, à l'exception des chiffres 9 et 8 et de la lettre X, résultat qui peut s'expliquer par l'interaction de contour accrue de ces formes. Il est intéressant de noter que les chiffres 6 et 9 ont la même forme, mais retournée. Lors du suivi de haut en bas, ce qui pourrait représenter l'ordre naturel, l'espace ouvert au bas du 9 s'assombrit lorsque la section fermée de la partie supérieure est retenue sur la rétine. Dans le chiffre 6, l'espace ouvert dans le haut de l'optotype n'a aucun effet sur la partie inférieure. L'effet se poursuit avec toutes les tailles (nombre de patients formulant la bonne réponse : 6/7,5; 6 = 27, 9 = 24; 6/6 6 = 18, 9 = 16; 6/5 6 = 13, 9 = 12; 6/4 6 = 5 9 = 2.)

Les symboles cibles du tableau de C sont également reconnaissables peu importe l'orientation (26 sujets). En revanche, la reconnaissance des optotypes dans le tableau d'ondulations (24 sujets) s'est avérée plus difficile.

En ce qui concerne la cible de 6/6, soit le degré d'acuité visuelle de base choisi pour les sujets, 26 ou 27 sujets ont nommé correctement les lettres. Le nombre d'optotypes a été classé en deux groupes; ceux du premier groupe (0, 2, 4 et 3) avaient des formes plus ouvertes, un moindre degré d'interaction de contour et des indices secondaires plus faciles à remarquer, et ceux du deuxième groupe (5, 6, 9 et 8) avaient des formes moins ouvertes, ce qui augmentait l'interaction de contour, et moins d'indices secondaires. Le premier groupe a été associé à un niveau élevé de reconnaissance (27 ou 28 sujets). Dans le deuxième groupe, le taux de réussite diminuait à mesure que l'interaction du contour augmentait. Le chiffre 5, qui compte deux espaces ouverts, a été nommé correctement par 24 sujets. Les chiffres 6 et 9, comptant chacun un espace ouvert, ont été nommés correctement par 18 et 16 sujets, respectivement. Le chiffre 8, qui comporte une interaction de contour maximale, a été nommé correctement par 19 sujets. Dans le tableau de C, 25 sujets ont reconnu une ouverture verticale et 26, une ouverture horizontale. Le nombre de sujets ayant reconnu les cibles du tableau d'ondulations était presque le même, mais le nombre de sujets qui ont correctement repéré l'ondulation verticale était légèrement inférieur.

Dans le tableau 6/5, qui présente une taille de cible que certains sujets ne pouvaient reconnaître pas facilement, un éventail de différences ont été observées entre les lettres. Les lettres acceptées U, V, O et H ont été correctement nommées par 26, 19, 23 et 20 sujets, respectivement, tandis que les lettres rejetées Y, X, A et T ont été reconnues par 20, 20, 27 et 25 sujets. La lettre A (correctement nommée par 27 sujets) présente des indices secondaires importants, puisqu'elle a une forme de pyramide comme un chiffre 4 ordinaire. Bien qu'elles soient de forme

semblable, les lettres U et V produisent des résultats bien différents (26 sujets, comparativement à 19). Cette différence pourrait être attribuable à l'interaction de contour inférieure de la lettre U par rapport à la lettre V. La pyramide inversée de la lettre V devrait donner un indice secondaire. Les différentes réponses à la forme pyramidale de la lettre A (27) par rapport à la forme inversée de la lettre V (19) ne sont pas faciles à expliquer. Une forme pyramidale pourrait être plus acceptable sur le plan culturel qu'un V<sup>43,44</sup>. L'espace ouvert de la lettre T (25), qui donne des indices secondaires, produit un taux de succès nettement supérieur.

En ce qui concerne les chiffres, les formes ouvertes de 0, 2, 4 et 3 sont plus faciles à reconnaître (de 25 à 27 sujets) que les formes plus fermées (15 sujets ont reconnu le chiffre 5, 13 et 12 sujets, les chiffres 6 et 9 et 10 sujets, le chiffre 8). Encore une fois, le tableau de C montre qu'il est légèrement plus facile de reconnaître une ouverture horizontale qu'une ouverture verticale. Le tableau d'ondulations produit des résultats semblables, qui s'accompagnent possible-ment d'une légère baisse pour l'ondulation verticale.

Si nous examinons le tableau de C comme outil de base pour mesurer l'acuité visuelle par la reconnaissance (23 ou 24 sujets) et 6/5 comme norme que de nombreux sujets parviennent normalement à atteindre, les lettres V, Y, X et H sont associées à un taux de reconnaissance inférieur (19 ou 20 sujets) et les lettres U, A et T, à un taux de reconnaissance supérieur (de 25 à 27 sujets). L'absence des lettres Y, X, A et T dans les tableaux de Sloan et du système British Standard semble valide, et les résultats présentés ici indiquent que les lettres V et H devraient également être exclues.

Dans le tableau de chiffres, les chiffres ouverts sont plus faciles à reconnaître et les chiffres fermés, plus difficiles à reconnaître. La difficulté de reconnaître les chiffres suit un schéma déterminé par l'ampleur de l'interaction de contour. Lorsque le tableau de C a été utilisé comme outil de base (reconnaissance par 23 ou 24 sujets), les chiffres ouverts ont été reconnus par 25 à 27 sujets, alors que les chiffres fermés ont été reconnus par 10 à 15 sujets. Parmi les chiffres fermés, le plus facile à reconnaître était le 5, suivi du 6 et du 9, et enfin du 8. Il s'agit de la base de la conception du tableau de chiffres. Le tableau permet d'évaluer la vision obtenue à une taille précise au moyen de l'interaction de contour.

Le tableau d'ondulations montre une correspondance raisonnable à 6/5. Lorsque le tableau de C a été utilisé comme outil de base (reconnaissance par 23 ou 24 sujets), le tableau d'ondulations a été associé à une reconnaissance par 21 à 23 sujets. À 6/4, le taux de réussite est beaucoup plus faible (de 5 à 8 sujets). Étant donné que le tableau est conçu pour les enfants, les patients qui ne s'expriment pas verbalement et les patients qui n'ont pas appris les symboles occidentaux, une réussite à 6/6 est suffisante. Le tableau 6/4 n'est pas abordé dans la discussion.

Le tableau 2 montre la baisse de la reconnaissance à mesure que la taille de la cible diminue. Les chiffres ouverts sont associés à une évaluation uniforme. Le taux de reconnaissance diminue à mesure que l'interaction de contour augmente. Si le chiffre 4 présente une interaction de contour supérieure, il est également associé à un indice secondaire très important. Les chiffres fermés entraînent une diminution beaucoup plus importante de la reconnaissance. Les lettres sont plus difficiles à catégoriser. La reconnaissance varie peu entre les lettres U, A et T. Les lettres U et T présentent peu d'interaction de contour alors que la lettre A est associée à des signaux secondaires. Les lettres V, Y, X et H présentent une interaction de contour supérieure. Les tableaux de C et d'ondulations produisent des résultats stables.

Tableau 2 : Variation de la reconnaissance avec la réduction de la taille de l'optotype.

	0	2	4	3	5	6	9	8	U	V	Y	X	A	O	H	T								
6/7,5	27	28	28	28	27	27	24	25	27	27	26	25	27	27	26	26	26	26	26	26	24	24	24	24
6/6	27	28	27	27	24	18	16	19	27	26	27	26	27	27	27	27	25	26	26	25	24	23	24	24
6/5	27	27	26	25	15	13	12	10	26	19	20	20	27	23	20	25	23	24	24	23	22	21	23	23
Variation de 6/7,5 à 6/5	0	1	2	3	12	14	12	15	1	8	6	5	0	4	6	1	3	2	2	3	2	3	1	1
6/4	23	25	25	21	9	5	2	2	24	16	15	14	20	20	14	24	11	13	12	12	6	5	7	8
Variation 6/7,5 à 6/4	4	3	3	7	18	22	22	23	3	11	9	7	7	7	12	2	15	13	14	14	18	19	17	16

Les valeurs représentent le nombre de sujets (sur un total de 28) qui ont reconnu correctement les cibles.

Le tableau 3 compare la réduction de la reconnaissance lorsque les cibles sont présentées en ordre décroissant et en ordre croissant de taille. On observe une différence mineure dans les résultats pour la plupart des optotypes, mais aucune conclusion ne peut être tirée de cette observation. Toutefois, les chiffres 5, 6, 9 et 8 sont associés à une différence importante, la reconnaissance étant supérieure lorsque les cibles sont présentées en ordre croissant de taille. Ce résultat pourrait s'expliquer par une augmentation de la fatigue et/ou de l'ennui pendant le déroulement de l'examen. Lorsque les cibles sont présentées en ordre décroissant de taille, le patient doit se concentrer davantage sur les petites différences de forme entre les optotypes à mesure que leur taille diminue. Lorsque les cibles sont présentées en ordre croissant de taille, la fatigue et l'ennui ne sont pas installés. On observe le même phénomène avec les lettres V, Y et X. Ces résultats valident le concept selon lequel la présentation des cibles en ordre croissant de taille donne des résultats plus scientifiques et plus précis. Le concept de Snellen, qui a établi la norme en 1862, demeure le plus largement utilisé, et il est peu probable qu'un changement soit admis.

**Tableau 3 :** Comparaison de la reconnaissance exacte des chiffres et des lettres en présentant les cibles en ordre croissant et en ordre décroissant de taille.

	0	2	4	3	5	6	9	8	U	V	Y	X	A	O	H	T	
<b>Ordre décroissant de taille</b>																	
↓	6/7,5	27	28	28	28	27	27	24	25	27	27	26	21	27	27	26	26
	6/6	27	28	27	27	24	18	16	19	27	26	27	26	27	27	27	27
	6/5	27	27	26	25	15	13	12	10	26	19	20	20	27	23	20	25
Variation de 6/7,5 à 6/5	0	1	2	3	12	14	12	15	1	8	6	1	0	4	6	2	
<b>Ordre croissant de taille</b>																	
Variation de 6/5 à 6/7,5	1	2	1	2	9	8	10	10	2	4	4	5	2	4	6	2	
↑	6/5	26	26	27	26	18	18	16	17	25	23	22	22	25	22	20	25
	6/6	27	27	26	27	24	24	21	22	26	26	25	25	26	26	26	27
	6/7,5	27	28	28	28	27	26	26	27	27	27	26	27	27	26	26	27

Les valeurs représentent le nombre de sujets (sur un total de 28) qui ont reconnu correctement les cibles.

**DISCUSSION**

Comme il a été mentionné, la mesure de l'acuité visuelle peut avoir une incidence importante dans un contexte juridique ou médical. Dans les cliniques achalandées du milieu hospitalier en particulier, la mesure de l'acuité visuelle est souvent déléguée à des membres du personnel auxiliaire, qui pourraient ne pas utiliser la même méthode qu'un professionnel chevronné pour déterminer le critère d'évaluation. En outre, un patient peut être évalué par une personne différente d'une visite à l'autre. Par conséquent, le critère d'évaluation accepté et consigné pourrait différer pour des patients présentant le même problème visuel, ce qui pourrait exercer une incidence sur la décision du spécialiste de poursuivre le traitement en examinant les données sur papier. En 1982, le National Eye Institute des États-Unis a élaboré le tableau Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS) et un protocole pour les examens de la vue. Cet outil est devenu la norme de référence pour évaluer l'acuité visuelle<sup>45</sup>.

Le tableau de lettres standard entraîne des variations incontrôlées de la reconnaissance des optotypes, ce qui pose problème pour l'évaluation à l'intérieur d'une seule rangée de cibles. Le tableau de chiffres proposé ici entraîne des changements graduels qui reposent sur l'interaction de contour. Compte tenu de la conception des optotypes, il permet de consigner un critère d'évaluation clair et devrait donc être reproductible lorsque différents professionnels examinent le même patient. Le tableau de C et le tableau d'ondulations, qui contiennent une ou deux formes, produisent des résultats stables pour une même taille et une variation stable et significative lorsque la taille diminue. Le tableau d'ondulations présente des avantages pour les enfants et les patients qui ne s'expriment pas verbalement. Un autre point a été relevé dans la pratique, à savoir que l'utilisation d'un miroir peut causer de la confusion sur le plan de l'orientation chez certains enfants. On observe des incohérences sur le plan de l'orientation liées aux tab-

leaux de C et de E. Ces incohérences ne se produisent pas avec le tableau d'ondulations.

Les facteurs qui influent sur la reconnaissance exacte des cibles et l'expression de cette reconnaissance sont variés. Il ne faut pas négliger les aspects psychologiques. Demander à un patient nerveux ou gêné de comparer des chiffres connus plutôt que de reconnaître les optotypes présentés peut aider à réduire la tension. Les données consignées représentent un énoncé fixe et immuable de la capacité. L'hypothèse selon laquelle la taille de l'optotype indique l'acuité visuelle est simpliste et ne devrait pas être acceptée comme définition de l'acuité visuelle. La variation de l'angle sous-tendu, l'interaction de contour et le phénomène de regroupement, la fonction d'étalement du point, la reconnaissance culturelle, l'intelligence, l'expérience et le stress psychologique sont tous des facteurs qui jouent un rôle dans la détermination de la réponse formulée. Les professionnels devraient en tenir compte, surtout dans un cadre hospitalier ou juridique. ●

**AUTEUR-RESSOURCE :**

Jonathan Shapiro – shapiro.yonatan@gmail.com

**REMERCIEMENTS**

J'aimerais remercier mes collègues qui ont contribué à la recherche.

Ravid Doron, Ph. D. Chef de la perception visuelle, faculté d'optométrie, Hadassah Academic College, Jérusalem, Israël.

Haya Shames, Ph. D. Neuro-optométriste, évaluation et réadaptation neurovisuelle, Israel Center for Neuro-Visual Rehabilitation, Jérusalem, Israël.

Kin Fong, OD. Cabinet privé. Etobicoke et Mississauga, Toronto, Canada.

Ofer Kahana, Ph. D. Pour son aide dans la préparation des illustrations.

Ma femme, Ruthie, pour la révision de l'article ainsi que pour son soutien et sa compréhension.

## RÉFÉRENCES

- Snellen H. *Optotypi ad visum determinandum*. Utrecht: PW van de Weijer 1862.
- Snellen H. On the methods of determining the acuity of vision. In: Norris WF, Oliver CA, eds. *System of Diseases of the Eye*, vol. 2). Philadelphia, PA: JB Lippincott, 1900:11-29.
- Green J. Notes on the clinical determination of the acuteness of vision, including the construction and gradation of optotypes, and on systems of notations. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1905;10:644-54.
- Jackson E, Black NM, Ewing AE, Lancaster WB, Fagin R. Committee on standardizing test cards for Visual Acuity. *Trans Sect Ophthalmol Am Med Assoc* 1916: 383-8.
- Cowan A. Test cards for the determination of visual acuity. *Arch Ophthalmol* 1928;57:292.
- Coates WR. Visual acuity and test letters. *Transactions of the Institute of Ophthalmic Opticians III, 1935*.
- Woodruff EW. Visual acuity and the selection of test letters. In: *Some recent advances in ophthalmic optics: Transactions*. London: Hatton Press, 1948:59-70.
- Sloan LL. Measurement of visual acuity. *Arch Ophthalmol* 1951;45:704-25.
- Sloane LL, Rowland WM, Altman A. Comparison of three types of test target for the measurement of visual acuity. *Q Rev Ophthalmol* 1952;8:4-16.
- Ogle KN. On the problem of an international nomenclature for designating visual acuity. *Am J Ophthalmol* 1953;36:909-21.
- Sloane LL. New test chart for the measurement of visual acuity at far and near distances. *Am J Ophthalmol* 1959;48(6):807-13.
- Bennett AG. Ophthalmic test types. *Br J Physiol Opt* 1965;22:238-71.
- Flom MC. New concepts in visual acuity. *Optom Weekly* 1966;57(8):63-6.
- Bailey IL, Lovie JE. New design principles for visual acuity letter charts. *Am J Optom Physiol Opt* 1976;53:740.
- Bennett AG, Rabbetts RB. *Clinical visual optics*. 2nd Edition. London: Butterworth-Heinemann, 1996, Chapter 3.
- National Research Council on Vision. *Recommended standard procedures for the clinical measurement and specification of visual acuity*. *Adv Ophthalmol* 1980;41:103-48
- Colenbrander A. Measuring Vision and Vision Loss. In: Tasman W, Jaeger EA, eds. *Duane's Ophthalmology* (Vol. 5). Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, 2008
- Colenbrander A. The historical evolution of visual acuity measurement. *Visual Impairment Res* 2009;10(2-3):57-66.
- Millodot M. *Dictionary of Optometry*, 4th Edition. Oxford: Butterworth - Heinemann 1998;42-43.
- Schapero M, Cline D, Hofstetter HW. *Dictionary of Visual Science*. Radnor, PA: Chilton, 1968:356.
- Stuart JA, Burian HM. A study of separation difficulty. Its relationship to visual acuity in normal and amblyopic eyes. *Am J Ophthalmol* 1962;53:471-7.
- Flom MC, Weymouth FW, Kahneman D. Visual resolution and contour interaction. *J Opt Soc Am* 1963; 53: 1026-32.
- Flom MC, Heath G, Takahaski E. Contour interaction and visual resolution: contralateral effect. *Science* 1963;142:979-80.
- Fern KD, Manny RE, Davis JR, Gibson RR. Contour interaction in the preschool child. *Am J Optom Physiol Opt* 1986;63(5):313-93.
- Leat SJ, Li Wei, Epp K. Crowding in Central and Eccentric Vision: The effects of contour interaction and attention. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1999;40(2):504-12.
- Hess RF, Dakin SC, Kapoor N. The foveal 'crowding' effect: Physics or Physiology? *Vision Res* 2000;40(4):365-70.
- Hess RF, Williams CB, Chaudhry A. Contour interaction for an easily resolvable stimulus. *J Opt Soc Am* 2001;18(10):2414-8.
- Danilova MV, Bondarko VM. Foveal contour interactions and crowding effects at the resolution limit of the visual system. *J Vision* 2007;7:25.
- Srinivasan G, Harb EN, Mayer DL, Deng L. Impact of Contour Interaction and Crowding on Sloan Letter Acuity. Poster No. 2, Am Acad Optom Conference 2012.
- Bedell HE, Siderov J, Waugh SJ, Zemanová R, Pluháček F, Musilová L. Contour Interaction for foveal acuity targets at different luminances. *Vision Res*;89:90-5.
- Doron R, Spierer A, Polat U. How crowding, masking, and contour interactions are related: A developmental approach. *J Vision* 2015;15:5.
- Musilová L, Pluháček F, Marten-Ellis SM, Bedell HE, Siderov J. Contour Interaction Under Photopic and Scotopic Conditions. *J Vision* 2018;18(6):5.
- Raasch TW, Bailey IL, Bullimore MA. Repeatability of Visual Acuity Measurement. *Optom Vis Sci* 1998;75:342-8.
- Mitchell DE, Freeman RD, Millodot M, Haegerstrom G. Meridional amblyopia: evidence for modification of the human visual system by early visual experience. *Vision Res* 1973;13:535-58.
- Brown B, Lovie-Kitchen J. Repeated visual acuity measurement: Establishing the patient's own criterion for change. *Optom Vis Sci* 1993;70:45-53.
- Leat SJ. To prescribe or not to prescribe? Guidelines for spectacle prescribing in infants and children. *Clin Exp Optom* 2011; 94:6:514-27
- Bailey IL, Bullimore MA, Raasch TW, Taylor HR. Clinical Grading and the Effects of Scaling. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1991;32(2):422-32.
- Riggs LA. Visual Acuity. In: *Vision and Visual Perception*. Chap 11. Graham CH, ed. New York: John Wiley & Sons, 1965.
- Devi P, Kumar P, Marella BL, Bharadwaj SR. Impact of Degraded Optics on Monocular and Binocular Vision: Lessons from Recent Advances in Highly-Aberrated Eyes. *Semin Ophthalmol* 2022;Jul:1-18.
- Frisby JP. *Seeing: Illusion, Brain and Mind*, Chap 5. Oxford, UK: Oxford Univ Press 1979: 105-10.
- Sutherland NS. Object recognition. In: Carterette ED, Friedman MP, eds. *Handbook of Perception Vol 3. Biology of Perceptual Systems*. New York, NY: Academic Press; 1973: 157-206.
- Rohrschneider K, Spittler AR, Bach M. [Comparison of visual acuity measurement with Landolt rings versus numbers.] *Ophthalmologie* 2019 Nov; 116(11):1058-63. doi: 10.1007/s00347-019-0879-1. (in German)
- Ray WA, O'Day DM. Statistical analysis of multi-eye data in ophthalmic research *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1985; 26,1186-8.
- Armstrong RA. Statistical guidelines for the analysis of data obtained from one or both eyes. *Ophthalm Physiol Opt* 2013;33:7-14.
- Patel H, Congdon N, Strauss G, Lansingh C. A need for standardization in visual acuity measurement. *Arq Bras Oftalmol* 2017;80(5):332-7.