

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen  
Faculté de Technologie  
Département de Génie Biomédical

## Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Biomédical

*Option : Imagerie Biomédical (I.M)*

## Thème

# Réalisation d'un écran de test pour la consultation d'ophtalmologie

**Réalisé par :**

- Chikh Mohammed Walid
- Abadi Riad

Présenté le 15 Juin 2023 devant le jury composé de :

- Pr. HADJ SLIMANE Zine-Eddine (Président)
- Dr. LAZOUNI Mohammed El Amine (Encadrant)
- Pr. KADRI Benamar (Examineur)
- Pr. MESSADI Mahammed (Co-Encadrant)

Année universitaire: 2022-2023

## Dédicace

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance que je ressens envers toutes ces personnes auxquelles Je dédie ce mémoire de master :*

### *À mes parents*

*Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler avec. Que Dieu leur procure bonne santé et longue vie.*

### *À mon frère et mes sœurs*

*Je vous aime énormément et je vous souhaite la réussite et le succès dans vos études. Puisse Dieu le tout puissant exhausser tous vos vœux.*

*À mon frère et partenaire de projet Walid pour tout le soutien, la motivation et pour son éthique de travail et son inspiration.*

### *À mes frères Dr.Babouri Seiffeddine, Dr.Djadoudi Muhammad Sobir*

*Je ne saurais comment vous remercier pour ce que vous avez fait pour moi, je ne pourrais jamais exprimer le respect que j'ai pour vous.*

*Je vous remercie pour être présent au long de mon parcours universitaire et d'être ma deuxième famille.*

*Puisse Dieu, le tout puissant vous préserver du mal, vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.*

### *À mes amis, mes collègues de la promotion*

*Je vous souhaite tous la réussite, je suis reconnaissant de vous avoir dans ma vie, spécialement mon petit groupe.*

*Riad Abadi*

## Dédicace

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*A mes chers frères pour son encouragement permanent, et son soutien moral,*

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

*Chikh Mohammed Walid*

## Remerciement

Avant tout, on remercie **Allah** le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience pour accomplir ce projet.

Nous tenons à remercier **Mr. LAZOUNI Mohamed El Amine** d'avoir accepté de nous encadrer, pour la qualité de son encadrement, sa patience, ses précieux conseils et ses encouragements qui ont contribué efficacement à l'avancement de ce travail.

On tient à remercier également **Pr. MESSADI Mahammed** Co encadreur pour ses compétences et sa clairvoyance nous ont été d'une aide inestimable.

Nous sommes très honorés et nous avons l'immense plaisir d'avoir le Professeur **HADJ SLIMANE Z. E** et l'enseignant **KADRI Benamar** comme étant les membres de jury pour ce travail. Nous avons l'énorme honneur d'être examinés par vous Messieurs, et nous vous remercions d'avoir porté attention, d'être présent le jour de notre soutenance.

Nous remercions également tous les professeurs et les enseignants qui nous ont apporté leurs connaissances et leurs soutiens durant toute notre formation.

Enfin, nous ne manquerons pas d'adresser nos remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'exécution de ce modeste projet.

# Table des matières

<b>Remerciement</b> .....	<b>3</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>7</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>8</b>
<b>Liste des équations</b> .....	<b>9</b>
<b>Abréviations</b> .....	<b>10</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>12</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>14</b>
<b>Chapitre I : Aspect médicale</b> .....	<b>15</b>
1. Introduction .....	15
2. Contexte médicale .....	15
2.1. Anatomie de l'œil .....	15
2.2. Formation et focalisation de l'image sur la rétine.....	17
2.3. Anomalies de la réfraction .....	17
3. L'acuité visuelle .....	20
3.1. Définition de l'acuité visuelle .....	20
3.2. Les différents types d'acuité visuelle.....	21
4. Les différentes techniques pour la correction de l'acuité visuelle.....	22
4.1. Lunette d'essai.....	22
4.2. Le Phoropter manuelle .....	23
4.3. Le Phoropter automatique (numérique).....	24
5. Conclusion.....	24
<b>Chapitre II : Etat de l'art</b> .....	<b>25</b>
1. Introduction .....	25
2. Historique .....	25
3. Les applications en ophtalmologie .....	27
3.1. Smart Optometry - Eye Tests « 2016 ».....	27
3.2. Smart Optometry « 2022 ».....	28
3.3. Ishihara Color Blindness Test « 2022 ».....	28
3.4. The K-VA Test « 2023 ».....	29
4. Conclusion.....	30

<b>Chapitre III : les tests en ophtalmologie .....</b>	<b>31</b>
1. Introduction .....	31
2. Les différentes échelles en l'AV .....	31
2.1. Échelles décimales.....	31
2.2. Échelle de Snellen.....	31
2.3. Échelle de Monoyer.....	32
2.4. Échelles logarithmiques.....	32
2.5. Échelle ETDRS (Early Treatment Diabetic Retinopathy Study).....	33
3. Les différents tests d'acuité en ophtalmologie .....	34
3.1. Test de Snellen.....	34
3.2. Test de Landolt .....	35
3.3. Test de contraste .....	36
3.4. Test pour malvoyants .....	36
3.5. Test de Parinaud .....	37
3.6. Test d'Ishihara .....	38
3.7. Test Rouge-Vert.....	39
3.8. Test de Hess-Lancaster .....	39
3.9. Test de Worth.....	40
4. Aide au diagnostic .....	41
5. Conclusion.....	41
<b>Chapitre IV : L'application proposée et ses fonctionnalités .....</b>	<b>42</b>
1. Introduction .....	42
2. Choix de l'environnement .....	42
3. Distance et configuration de l'écran .....	42
4. Organigramme de l'application.....	43
5. Mise en place du projet.....	44
6. Conception de l'interface utilisateur .....	44
6.1. En-tête de l'application.....	44
6.2. Liste des tests d'acuité visuelle réalisés .....	45
6.3. Détails des tests.....	46
6.4. Utilité de l'application web.....	47
7. Conclusion.....	47
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>49</b>
<b>Référence .....</b>	<b>50</b>



## Liste des figures

Figure 1: l'anatomie de l'œil. ....	16
Figure 2: le phénomène d'accommodation. ....	17
Figure 3: la déférence entre la vision normale et la myopie. ....	18
Figure 4: les types de défauts visuels. ....	19
Figure 5: la presbytie (Le cristallin perd une partie de son élasticité suite au vieillissement).....	19
Figure 6: l'acuité visuelle de loin. ....	20
Figure 7: l'acuité visuelle de près. ....	21
Figure 8: la min d'arc.....	21
Figure 9: lunette et mallette de verres d'essai.....	23
Figure 10: Le Phoropter manuelle. ....	23
Figure 11: Le Phoropter automatique (numérique). ....	24
Figure 12: les échelles originales de Snellen (À gauche : deux prototypes inédits (avec l'aimable autorisation du Musée universitaire d'Utrecht). À droite : échelle de Snellen telle que publiée). ....	27
Figure 13: l'interface de l'application Smart optometry™.....	28
Figure 14: l'interface de l'application Ishihara Color Blindness Test.....	29
Figure 15: l'interface de K-VA test. ....	29
Figure 16: Caractéristiques des différentes échelles d'acuité visuelle. ....	33
Figure 17: tableau de Snellen.....	34
Figure 18: Tableau de trident de Snellen. ....	34
Figure 19: Unité de mesure de C de Landolt en min d'arc par rapport au E de Snellen. ....	35
Figure 20: test de Landolt. ....	35
Figure 21: test de contraste. ....	36
Figure 22: test d'enfant. ....	37
Figure 23: test de Parinaud. ....	37
Figure 24: exemple de quatre planches pour le test d'Ishihara.....	38
Figure 25: test rouge vert. ....	39
Figure 26: test de Lancaster. ....	40
Figure 27: test de Worth.....	40
Figure 28: en-tête de l'application. ....	45
Figure 29: List d'accueil. ....	45
Figure 30: C de Landolt. ....	46
Figure 31: Test Rouge Vert.....	46
Figure 32: test d'Ishihara. ....	47



## Liste des tableaux

<b>Tableau 1: quelques structures de l'œil avec leur fonction.....</b>	<b>16</b>
<b>Tableau 2: le pouvoir de résolution maximum de l'œil humain[8].....</b>	<b>21</b>
<b>Tableau 3: Tableau de conversion des toutes échelles.....</b>	<b>33</b>

## Liste des équations

(1) : l'équation pour le transfert entre la minute d'arc par degré .....	22
(2) : l'équation pour le transfert entre la seconde d'arc par degré.....	22
(3) : l'équation de MAR par rapport à la distance.....	26
(4) : la formule de Donders. ....	26
(5) : l'équation de Snellen.....	31
(6) : la fraction en notation décimale à la notation Monoyer.....	32
(7) : la fraction de la notation en angle visuel à la notation logarithmique (LogMAR).....	32
(8) : la fraction de la notation en ETDRS à la notation logarithmique (LogMAR). ....	33

## Abréviations

**AV** : acuité visuelle.

**AMR** : angle minimal de résolution.

**MAR** : MAgnification Requirement.

**FSCP** : Fonction de Sensibilité au Contraste Spatiale.

**ETDRS** : Early Treatment Diabetic Retinopathy Study.

**OKN** : Optokinetic nystagmus.

**MEM** : Monocular estimated method.

**VB** : Visual Basic.

**CSS** : Cascading Style Sheets.

**DOM** : Document Object Model.

**NPM** : Node Package Manager.



## Résumé

Les tests d'acuité visuelle couvrent une partie importante du quotidien de l'expert en ophtalmologie (médecin ophtalmologue ou optométriste). Ils sont basés sur des échelles définies (Monoyer, Logarithmique ...) et des normes spécifiques à considérer lors de l'exécution de l'examen (éclairage, distance ...).

Dans ce travail, nous visons à développer une application web combinant les différents tests d'acuité visuelle dans le but d'aider les médecins comme les patients dans la réalisation des tests selon les normes connues en ophtalmologie. Cette application sera utilisable sur les écrans dans les milieux cliniques et optimisera le travail du praticien en vigueur. D'autre part, le patient bénéficiera d'un accès facile aux tests grâce à une interface conviviale et ouvrable sur navigateur.

**Les mots clés :** L'acuité visuelle, échelle optométrique, écran de test.

## Abstract

Visual acuity tests cover an important part of the ophthalmologists and optometrists daily life. They are based on defined scales (Monoyer, Logarithmic, etc.) and specific standards to be considered when performing the examination (lighting, distance, etc.).

In this work, we aim to develop a web application combining different visual acuity tests in order to help both doctors and patients in carrying out tests according to known standards in ophthalmology. This application will be usable on screens in clinical environment and will help optimize the work of the medical practitioner. On the other hand, the patient will benefit from an easy access in addition to a user-friendly interface that can be opened on a browser.

**Keywords:** Visual acuity, optometric scale, test screen.

## المخلص

تغطي اختبارات حدة البصر جزءاً مهماً من الحياة اليومية لطبيب العيون. وهي تستند على مقاييس معينة (مونويير، اللوغاريتمي... إلخ)، ومعايير محددة يجب مراعاتها عند إجراء الفحص (الإضاءة والمسافة وما إلى ذلك).

في هذا العمل، نهدف إلى تطوير تطبيق ويب يجمع بين اختبارات حدة البصر المختلفة من أجل مساعدة الأطباء والمرضى على سواء في إجراء الاختبارات وفقاً لمعايير معروفة في طب العيون. سيكون هذا التطبيق قابلاً للاستخدام على الشاشات في عيادات طب العيون وسيكون لها دور في تحسين عمل الخبير. من ناحية أخرى، سيسفيد المريض من سهولة الوصول إلى الاختبارات بفضل واجهة سهلة الاستخدام قابلة للفتح على المتصفح.

**الكلمات المفتاحية:** حدة البصر، مقياس البصريات، شاشة الاختبار.



# Introduction générale

Les systèmes d'aide au diagnostic gagnent de plus en plus de popularité ces dernières années. En effet, les différents praticiens du corps médical peuvent actuellement compter sur des outils efficaces aidant à optimiser le travail de l'expert et ainsi faire des économies en matière de temps et en argent.

Le marché algérien a de même connu une forte escalade en matière d'utilisation de ce type de technologie ces dernières années. Néanmoins, le marché algérien compte toujours un manque dans ce contexte. Pour cela, un développement local de solutions serait d'une grande importance pour enrichir le secteur de la santé dans le pays.

En ophtalmologie, divers tests sont utilisés pour évaluer la vision d'un patient. Ils sont connus sous le nom d'acuité visuelle. Or, des échelles précises ont été développées pour aboutir à une évaluation des performances de l'œil en vigueur. Parmi ces échelles, nous comptons : E de Snellen, C de Landolt, l'échelle des enfants, ETDRS, échelle de Monoyer, échelle de Parinaud, etc. Le diagnostic se fait en suivant des normes précises avec des outils spécifiques et une collaboration entre le professionnel de la santé et le patient.

En outre des méthodes conventionnelles qui nécessitent un déplacement de la part du patient, un autre type de diagnostic a vu le jour : le diagnostic à domicile. Grâce aux applications Android ou IOS, les patients peuvent désormais se contenter de faire une évaluation de leur acuité visuelle même en restant chez eux. Néanmoins, il n'existe toujours pas d'applications web qui regroupent les différents tests d'acuité visuelle dans un seul endroit tout en offrant aux patients une expérience de qualité.

L'objectif de cette étude serait de développer une application d'aide au diagnostic permettant de faciliter l'évaluation d'acuité visuelle en offrant recours aux différents tests d'une façon simple et rapide. Cette application prend en compte la diversité des tests en ophtalmologie où ces derniers seront regroupés dans une application web conviviale et facile à utiliser.

Ce travail est divisé en 4 différents chapitres qui sont :

**Chapitre 1 :** Dans ce chapitre, nous aborderons le contexte médical.

**Chapitre 2 :** Nous citerons l'historique des applications similaires existantes sur le marché.

**Chapitre 3 :** Sera consacré aux différents tests en ophtalmologie pour ensuite aborder la problématique et les objectifs de ce travail.

**Chapitre 4 :** nous présenterons l'application proposée avec une description exhaustive et une discussion sur les résultats obtenus.

Finalement, nous finissons avec une conclusion générale qui regroupera les points clés de cette étude et citera les perspectives de ce travail.

# Chapitre I : Aspect médicale

## 1. Introduction

Nos yeux bougent sans cesse. Grâce à leurs mouvements, nous avons un accès privilégié au monde qui nous entoure, nous pouvons l'explorer visuellement. L'exploration elle-même, automatique ou volontaire, est active, guidée par ce qui est saillant, par ce qui attire notre attention, par l'information que l'on recherche ou par la curiosité et le plaisir. Nos yeux bougent car depuis la première cellule photosensible qui est apparue dans les organismes, l'appareil visuel s'est hautement spécialisé, permettant la détection des formes, des couleurs, de la perspective, la localisation dans l'espace, la perception de la profondeur etc. Le plus souvent, nous bougeons donc nos yeux pour aller fixer, c'est-à-dire placé à la fovéale de chaque œil, l'objet que l'on souhaite examiner. Ainsi, regarder, c'est bouger nos yeux. Étudier le mouvement des yeux est un outil privilégié pour la compréhension des mécanismes de perception et d'action orchestrés par le cerveau. En effet, les réseaux sous-tendant les mouvements oculaires sont parmi les mieux connus chez l'Homme. Cette connaissance et cette compréhension du mode de fonctionnement des mouvements oculaires donneront la possibilité en ophtalmologie à l'élaboration de nouveaux outils et instruments d'exploration et de diagnostic.

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'anatomie de l'œil. Ensuite, on va définir quelques notions concernant le phénomène d'accommodation et aussi les anomalies de la vision. Après, nous aborderons l'AV sous différents angles, notamment sa définition et ses différents types ainsi que les différentes techniques de correction de l'acuité visuelle.

## 2. Contexte médicale

### 2.1. Anatomie de l'œil

L'œil humain est l'organe responsable de la vision. C'est une sphère remplie de liquide formé de deux compartiments liquidiens (antérieur et postérieur) et de 3 enveloppes : la sclère, l'uvée, et la rétine. Le globe oculaire mesure environ de 2,2 à 2,5 cm de diamètre et pèse environ de 7-8 grammes. Il comprend des milieux transparents qui sont traversés par les rayons lumineux avant d'atteindre le fond de l'œil (cornée, humeur aqueuse, cristallin, humeur vitrée ou bien le corps vitré). Les rayons lumineux se focalisent sur la rétine, dans l'axe optique, en un point qui est la fovéa (Figure 1)[1].



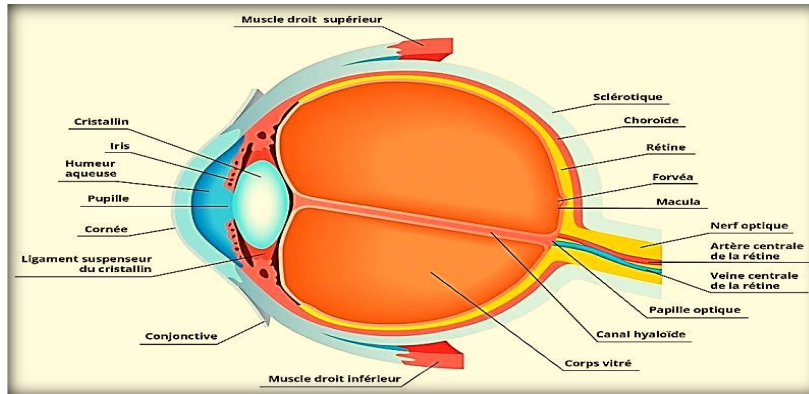


Figure 1: l'anatomie de l'œil.

Le tableau suivant résume quelques structures de l'œil avec leur fonction principale [1]:

Structures	Fonction
<b>Scélrotique</b>	Enveloppe blanche, opaque et résistante. Vers l'avant, cette enveloppe se modifie, devient parfaitement transparente et forme la cornée.
<b>Cornée</b>	Partie antérieure et transparente de l'œil. Grâce à sa forme courbée elle dévie les rayons lumineux vers l'intérieur de l'œil. La netteté de la cornée est maintenue grâce aux larmes et au clignement de l'œil.
<b>Choroïde</b>	De couleur noire, fortement vascularisée, tapisse l'intérieur de la scélrotique. Vers l'avant, elle donne naissance à l'iris, coloré, présentant une ouverture, la pupille, dont le diamètre peut varier.
<b>Iris</b>	Prolongement coloré de la choroïde. Son pigment détermine la couleur de l'œil. Elle est percée par la pupille, diaphragme qui permet d'augmenter ou diminuer la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil.
<b>Humeur aqueuse</b>	De composition voisine de celle du plasma sanguin, remplit l'espace entre le cristallin et la cornée.
<b>Cristallin</b>	Il peut se déformer légèrement grâce à l'action de petits muscles, ce qui modifie ainsi sa convexité.
<b>Humeur vitrée</b>	En arrière du cristallin une substance gélatineuse, l'humeur vitrée, remplit l'espace compris entre le cristallin et la rétine.
<b>Rétine</b>	Il s'agit d'un tissu nerveux très mince, grisâtre, collé contre la choroïde et dont le prolongement forme le nerf optique. Très riche en vaisseaux sanguins partant d'un point blanchâtre, le point aveugle, endroit où le nerf optique sort de l'œil. Dans l'axe optique de l'œil, se trouve une partie colorée de teinte jaunâtre : il s'agit de la macula ou tache jaune occupée en son centre par une petite dépression, la fovéa.
<b>Nerf optique</b>	Nerf crânien qui concentre des prolongements de neurones provenant de la rétine. Il achemine les messages vers le cerveau.

Tableau 1: quelques structures de l'œil avec leur fonction.

## 2.2. Formation et focalisation de l'image sur la rétine

Une vision normale exige que les milieux optiques de l'œil soient transparents, surtout de la cornée et du cristallin. La formation d'une image nette sur les photorécepteurs (cônes et bâtonnets) de la rétine est due à la réfraction ou (courbure) correcte de la lumière par la cornée et le cristallin. La puissance réfringente de la cornée est plus grande que celle du cristallin mais le cristallin à la spécificité de régler sa puissance de réfringence selon la distance de l'objet par rapport à l'observateur, c'est **l'accommodation** (Figure 2)[2].

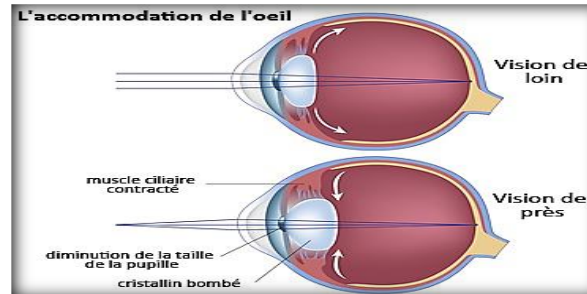


Figure 2: le phénomène d'accommodation.

La forme du cristallin est déterminée par deux forces opposées : son élasticité, qui tend à le maintenir arrondi, et la traction exercée par les fibres de la zonule (qui sont attachées au muscle ciliaire) qui tend à l'aplatir.

Quand on regarde des objets éloignés, la force des fibres de la zonule est plus grande que l'élasticité du cristallin, alors il adopte la forme aplatie qui convient à la vision de loin (sa puissance réfringente est la plus faible).

Pour les objets plus proches les fibres de la zonule relâche leur tension et le cristallin retrouve son élasticité naturelle, le cristallin alors adopte la forme épaissie et arrondie qui convient à la vision de près (sa puissance réfringente est la plus grande).

En plus de la cornée et du cristallin, la pupille a aussi un rôle dans la netteté de l'image au niveau de la rétine par la régulation de la quantité lumineuse entrante en réduisant les rayonnements inutiles. La taille de la pupille est régulée par l'activité du système nerveux végétatif[3].

## 2.3. Anomalies de la réfraction

### a) La vision normale

Les rayons lumineux traversent les milieux transparents : pour atteindre la rétine. La cornée et le cristallin réduisent et convergent l'image sur la rétine. Dans un œil normal, l'image d'un objet éloigné ou d'un objet rapproché est vue nettement grâce à la mise au point effectuée par le cristallin. C'est le phénomène d'accommodation qui ce dont on a parlé avant. Pour qu'une image soit nette elle doit se projeter sur la rétine. Cette dernière transforme la lumière en influx nerveux qui est acheminé jusqu'à la zone visuelle du cerveau par les nerfs optiques[4].

## b) La myopie

Les myopes peuvent voir clairement de près mais, tout embrouillé de loin, c'est parce que leurs yeux sont trop longs (Figure 3). Autrement dit, la distance entre le cristallin et la rétine est trop longue, ce qui fait que la rétine ne capte pas bien les images qui sont perçues de loin[4]. L'image dans cette anomalie visuelle se forme en avant de la rétine.

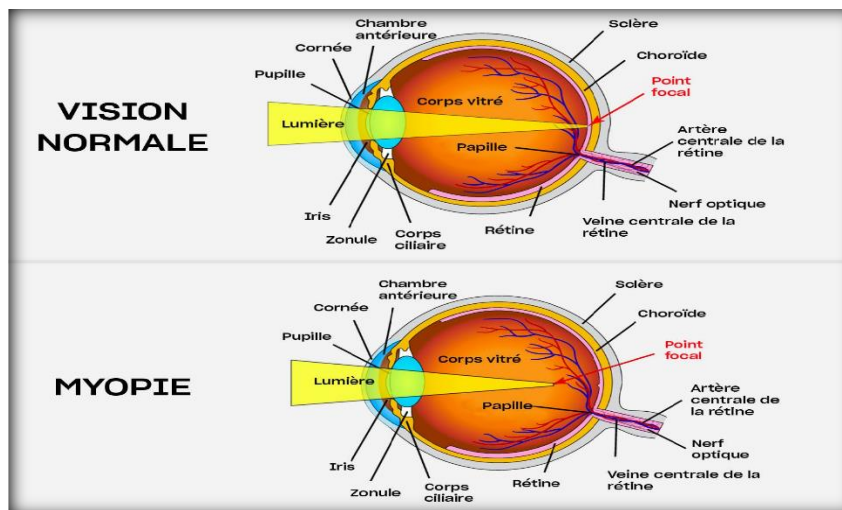


Figure 3: la différence entre la vision normale et la myopie.

## c) L'hypermétropie

Tous ceux qui ont un œil trop court sont hypermétropes. L'image perçue se forme derrière la rétine, ils ne voient pas bien les objets rapprochés. Les hypermétropes peuvent ressentir régulièrement une fatigue oculaire et des maux de tête[4]. On corrige l'hypermétropie avec des lentilles convergentes (Figure 4).

## d) L'astigmatisme

L'astigmatisme est causé par la déformation de la cornée qui est légèrement ovale. Donc, un astigmatisme ne voit pas bien de loin comme de près, les angles des images sont déformés selon la gravité de la déformation de la cornée[4]. On corrige l'astigmatisme grâce à des lentilles cylindriques (Figure 4).

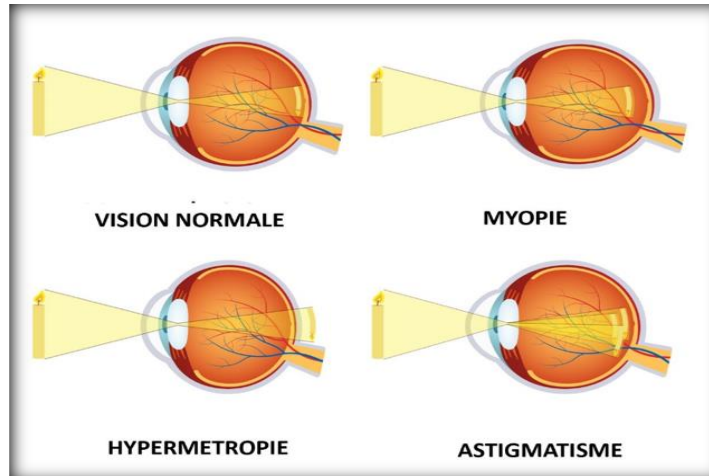


Figure 4: les types de défauts visuels.

**e) La presbytie**

Elle est due à une incapacité du cristallin à changer de forme (accommodation) lorsqu'il s'agit de mettre au point une image rapprochée (Figure 5). Cette difficulté d'accommodation débute habituellement vers 40 ans[4].

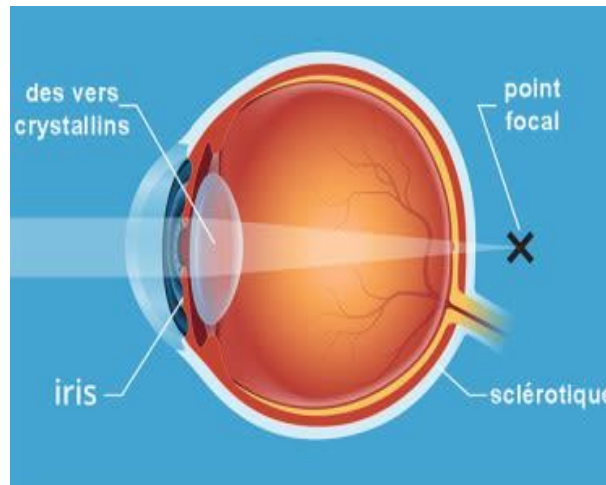


Figure 5: la presbytie (Le cristallin perd une partie de son élasticité suite au vieillissement).

### 3. L'acuité visuelle

#### 3.1. Définition de l'acuité visuelle

L'acuité visuelle est la capacité de l'œil à discriminer les détails fins d'un objet. Elle est mesurée en utilisant un test de charte d'acuité visuelle où le sujet doit identifier les lettres ou les chiffres sur une charte de plus en plus petite à une distance spécifique. Une acuité visuelle normale est de 20/20, ce qui signifie que la personne peut lire la charte à 20 pieds (6 mètres) alors qu'une personne ayant une vision normale pourrait la lire à 20 pieds également[5].

La mesure de l'AV en ophtalmologie peut différer entre les deux yeux et peut être effectuée à deux distances d'observation distinctes citons :

##### a) L'acuité visuelle de loin

Peu importe la méthode utilisée, qu'il s'agisse d'une échelle murale ou d'un caisson lumineux, les optotypes doivent être présentés à hauteur des yeux.

Il est crucial de respecter la distance entre la plaque de support des optotypes et le volontaire imposée par le test, comme spécifié par le test, qui est de 3 mètres ou 5 mètres pour l'échelle de Monoyer en fonction des spécifications du fabricant, afin de simuler les conditions de la vision de loin sans solliciter l'accommodation. La position du consultant, qu'il soit assis ou debout, doit être indiquée sur le sol pour la distance entre les yeux du volontaire et le support des optotypes (Figure 6)[6].

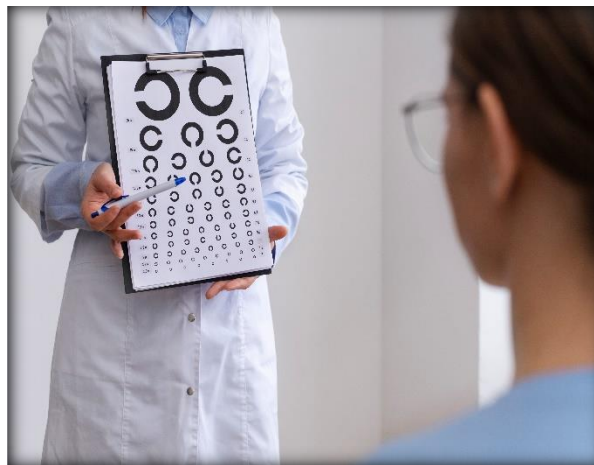


Figure 6: l'acuité visuelle de loin.

##### b) L'acuité visuelle de près

L'AV de près est la capacité de l'œil à distinguer les détails fins d'objets situés à une distance rapprochée. Elle est mesurée à l'aide d'un test d'AV de près où le sujet doit lire des caractères de plus en plus petits sur une carte tenue à une distance fixe, généralement de 40 centimètres ou moins, L'échelle à utiliser est l'échelle de Parinaud (Figure 7)[7].



Figure 7: l'acuité visuelle de près.

### 3.2. Les différents types d'acuité visuelle

Il existe différents types d'acuité visuelle qui sont : le minimum visible, le minimum séparable, le minimum lisible ou acuité de contour et le minimum de discrimination spatiale ou hyperacuité. Ces différents types vont être présentés dans la partie qui suit.

#### a) Le minimum visible :

C'est la perception de la plus petite unité spatiale, de l'objet le plus petit à distinguer.

Test étudié	Le pouvoir de résolution maximum de l'œil humain
Deux points	1, 3 minute d'arc
Deux lignes	40 secondes d'arc
Anneau de Landolt	24 secondes d'arc

Tableau 2: le pouvoir de résolution maximum de l'œil humain[8].

Voici la min d'arc par rapport la distance et l'optotype de Snellen.

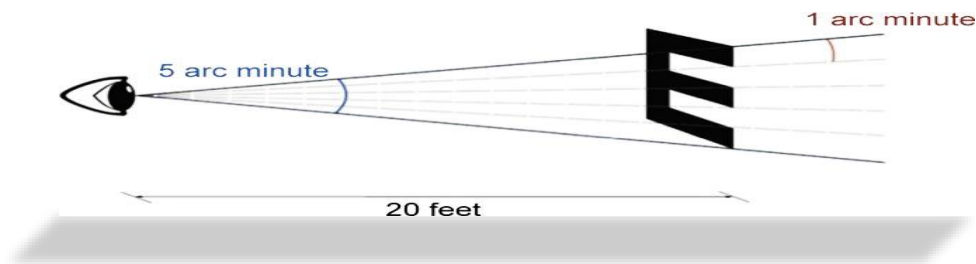


Figure 8: la min d'arc.

Pour connaître le transfert entre la minute ou la seconde d'arc et l'angle par degré, voici les équations si dessous :

$$1 \text{ min d'arc} = \frac{1}{60^\circ} \quad (1)$$

$$1 \text{ sec d'arc} = \frac{1}{3600^\circ} \quad (2)$$

**b) Le minimum separable :**

En optométrie, le minimum séparable désigne la plus petite distance à laquelle deux optotypes peuvent être présentés et perçus comme deux entités distinctes. Cette mesure est utilisée pour évaluer la résolution spatiale de l'AV[9].

**c) Le minimum lisible ou acuité de contour :**

C'est la plus petite taille de lettre que l'œil humain peut lire avec une précision d'au moins 50% [10], que l'on utilise cliniquement dans les méthodes subjectives de correction des amétropies[11].

**d) Le minimum de discrimination spatiale ou hyperacuité :**

C'est la plus petite distance entre deux objets séparés qui peuvent être différenciés par l'œil humain. Cette mesure est importante pour l'évaluation de l'AV, en particulier dans les situations où une grande précision visuelle est requise[12].

## **4. Les différentes techniques pour la correction de l'acuité visuelle**

L'acuité visuelle, ou netteté de la vision, est essentielle pour une bonne perception des détails visuels. Lorsque notre vision devient floue ou dégradée, il existe plusieurs techniques de correction pour l'améliorer. Dans ce qui va suivre, nous allons expliquer trois des techniques couramment utilisées : les lunettes d'essai, le phororéfracteur manuel et le phororéfracteur numérique.

### **4.1. Lunette d'essai**

Les lunettes d'essai sont des dispositifs optiques utilisés par les opticiens et les optométristes pour évaluer la vision des patients. Elles sont composées de différentes lentilles de puissance variable qui permettent de tester la correction nécessaire pour améliorer l'acuité visuelle (Figure 9). Les lunettes d'essai permettent de déterminer la prescription exacte des lunettes, en mesurant la réfraction de la lumière à travers les yeux du patient. Ces mesures précises garantissent que les lunettes fournies offrent une vision optimale et un confort visuel.



Figure 9: lunette et mallette de verres d'essai.

## 4.2. Le Phoropter manuelle

Le phoropter ou le photo-réfracteur manuel est un appareil optique utilisé par les optométristes pour mesurer la correction nécessaire afin d'améliorer la vision. Il se compose généralement d'une série de lentilles de puissance variable et de diaphragmes, qui sont ajustés jusqu'à ce que le patient atteigne la meilleure acuité visuelle possible (Figure 10). Le processus est souvent subjectif et dépend de la rétroaction du patient pour déterminer quelles combinaisons de lentilles offrent la meilleure vision.

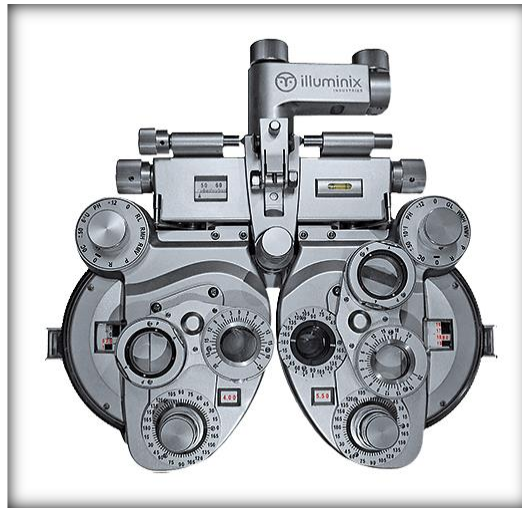


Figure 10: Le Phoropter manuelle.



### 4.3. Le Phoropter automatique (numérique)

Le photo-réfracteur numérique est une méthode plus avancée et objective pour mesurer la correction de l'acuité visuelle (Figure 11). Il utilise une technologie de balayage automatisé pour capturer des images précises de l'œil et analyser la réfraction de la lumière à travers les différentes structures oculaires. Ces images peuvent ensuite être traitées par des algorithmes informatiques pour déterminer la correction de la vision nécessaire. Cette approche offre une mesure plus précise et objective de la réfraction oculaire, réduisant ainsi la dépendance à la fois de l'opérateur et du patient.



Figure 11: Le Phoropter automatique (numérique).

## 5. Conclusion

Ce chapitre a présenté un aperçu général sur l'anatomie de l'œil et l'ajustement de la distance focale par le cristallin ainsi que les anomalies communes de l'œil et la définition de l'acuité visuelle et de ses types. Nous avons également discuté de certaines façons d'améliorer le diagnostic et les traitements visuels en particulier les techniques de correction de l'acuité visuelle, notamment par l'utilisation des lunettes.

Le prochain chapitre parlera sur l'historique de l'AV et détaillera sur plusieurs applications développées dans le domaine de l'ophtalmologie, en examinant leur fonctionnement, leurs avantages et leur pertinence pour le diagnostic et le dépistage des troubles visuels.

# Chapitre II : Etat de l'art

## 1. Introduction

Le monde numérique évolue rapidement avec les avancées des smartphones, de la Machine Learning et des logiciels d'intelligence artificielle, offrant de nouvelles opportunités pour l'aide au diagnostic, le suivi et la stratégie thérapeutique. Les smartphones offrent également la possibilité de mieux accompagner les patients.

Le suivi de l'AV à domicile est devenu un enjeu important en ophtalmologie, en particulier pour les patients atteints de pathologies rétinienne nécessitant une surveillance régulière. De nombreuses applications ont vu le jour pour évaluer l'AV et la vision des couleurs, accessibles à tous et permettant aux utilisateurs de se tester à tout moment.

Dans ce chapitre, nous parlerons sur un aperçu de l'histoire de l'AV ainsi que nous présentons des applications mobiles utiles déjà disponibles pour les patients et les médecins, en détaillant les résultats de ces tests et les limites associées.

## 2. Historique

L'histoire de l'AV est riche et remonte à plusieurs siècles. Cependant, l'utilisation des tests visuels standardisés pour mesurer l'AV est relativement récent et date du 19ème siècle.

**Robert Hook** (1635-1703) est un scientifique britannique, il est connu pour avoir publié un livre sur l'optique intitulé "**Micrographia**" en 1665. Dans ce livre, Hook décrit comment il a utilisé des lettres de différentes tailles imprimées sur du papier et les a présentées à des patients à différentes distances pour évaluer leur acuité visuelle[13]. Cependant, il n'y a pas de publication spécifique de Hook sur cette méthode et il semble que l'approche de Hook n'ait pas été largement utilisée à l'époque[14].

En 1836, un médecin allemand du nom d'**Heinrich Küchler** (1811-1873) a proposé une méthode pour mesurer l'AV en utilisant une carte avec des lettres de tailles différentes. Dans cette méthode, les lettres étaient placées à une distance de 10 pieds (environ 3 mètres) devant les yeux du patient, qui devait lire les lettres de la plus petite à la plus grande taille qu'il pouvait voir clairement[15], [16]. Cependant, cette méthode n'a pas été largement adoptée à l'époque aussi.

Puis **Franciscus Cornelis Donders** (1818-1889) a défini une norme de référence fonctionnelle[17]. Il a défini comme norme de référence la performance d'un œil capable de reconnaître les lettres qui sous-

tendent un angle visuel de 5 minutes d'arc. Il a ensuite comparé le rendement des yeux des patients à cette norme de référence.

En comparant la taille de lettre reconnue par le patient à la norme de référence, nous obtenons l'angle minimal de résolution (**AMR, MAR en anglais**) nécessaire pour amener le patient à la même performance qu'un œil standard. L'inverse de (AMR) est l'AV (Equations 3 et 4)[18].

Le **MAR** peut également être interprété comme un « l'angle de résolution minimal » et son logarithme (**log MAR**) est devenu connu comme une mesure de la vision détaillée[19].

$$\text{Angle Minimale de Résolution} = \frac{\text{Distance vue par le patient}}{\text{Distance vue par « l'œil standard »}} \quad (3)$$

$$AV = \frac{1}{\text{Angle Minimal de Résolution}} \quad (4)$$

**Donders** avait choisi **Herman Snellen, Sr** (1834-1908) comme codirecteur. Il a calibré son caractères sur la base d'un standard externe (5 min d'arc)[20], de sorte que d'autres qui voulaient les reproduire ou concevoir leur propre, pourraient les calibrer sur le même standard[17]. En 1862, cet ophtalmologiste néerlandais **Herman Snellen** a développé une échelle d'acuité visuelle standardisée (Figure 12), Cette échelle de Snellen comporte d'optotypes de taille différentes qui sont placées à une distance standard de 6 mètres. L'AV est mesurée en fonction de la plus petite taille de la lettre que le patient peut lire correctement.

Depuis lors, l'AV est devenue un outil clé pour évaluer la santé visuelle, et l'échelle Snellen sont encore utilisées aujourd'hui. D'autres méthodes ont également été développées pour mesurer l'AV, notamment les tests de chiffres, les tests de Landolt, les tests de lettres non standardisées et les tests de contrastes.

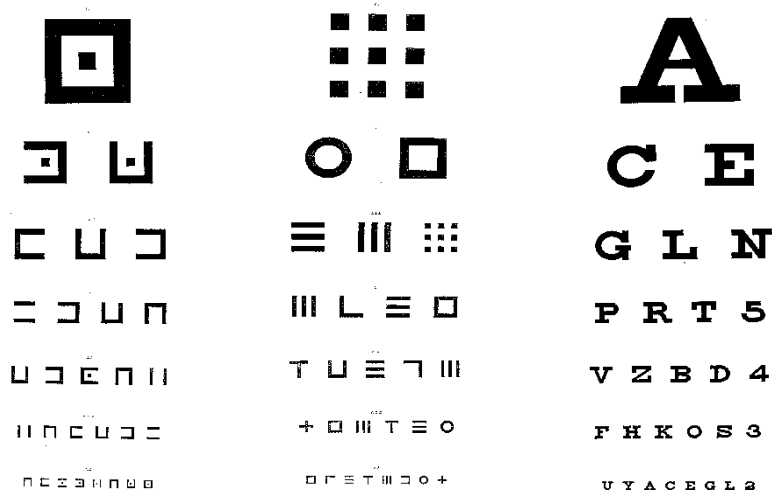


Figure 12: les échelles originales de Snellen (À gauche : deux prototypes inédits (avec l'aimable autorisation du Musée universitaire d'Utrecht). À droite : échelle de Snellen telle que publiée).

### 3. Les applications en ophtalmologie

Les applications web et mobile jouent un rôle de plus en plus important dans l'ophtalmologie moderne. Les smartphones, tablettes et ordinateurs portables permettent un accès facile aux informations médicales et aux applications spécialisées pour les patients et les médecins.

#### 3.1. Smart Optometry - Eye Tests « 2016 »

Smart optometry™ (Figure 13) est une application interactive pour smartphone et tablette conçue pour le dépistage oculaire et le diagnostic rapide. Où une distance de 40 cm est recommandée par les développeurs pour un usage optimal et un résultat rigoureux.

Un total de 15 tests a été inclus dans cette application: Visual acuity (non-Sloan letters), Visual acuity+ (Tumbling E, Landolt C), Color Vision, Contrast sensitivity, OKN Stripes, Fluorescein light, Hirschberg test, Worth four Dot, Schober test, Red desaturation test, Accommodation test, Duochrome test, Aniseikonia test, Amsler grid, MEM Retinoscopy, Maze (Amblyopia test)[21].

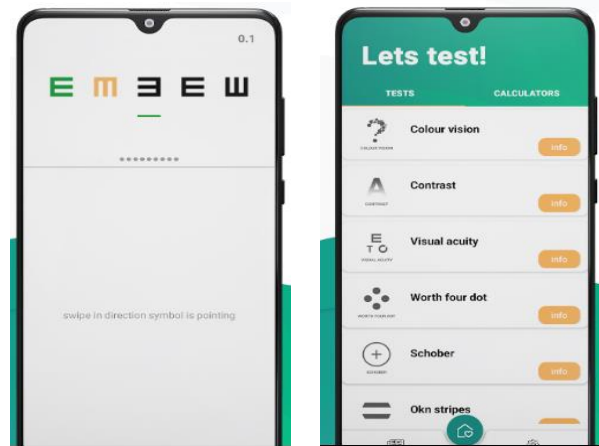


Figure 13: l'interface de l'application Smart optometry™.

### 3.2. Smart Optometry « 2022 »

« Smart Optometry » réalisa une sensibilité de 89,3 % pour la détection de l'AV subnormale en comparaison face aux méthodes conventionnelles de dépistage de la vision. La sensibilité à la détection de l'AV subnormale était plus élevée dans les groupes d'âge plus jeunes, jusqu'à 91,7 % par rapport aux groupes plus âgés.

Cette étude a été menée sur 100 patients pédiatriques âgés de 5 à 16 ans.

Un guide arabe a été conçu par un linguiste pour les utilisateurs de Google Play et d'Apple Store.

Le téléphone était tenu à 40 cm (15,5 pouces) de distance à l'aide d'une corde de 40 cm pour mesurer la distance avec précision. On a demandé au patient de rester dans la même position même s'il était incapable de visualiser les lettres[22].

On a utilisé des optotypes E dégroupant en optométrie intelligente pour utiliser uniformément les mêmes optotypes dans tous les tests.

### 3.3. Ishihara Color Blindness Test « 2022 »

Dans un travail récent " l'Application Expert System Diagnosis of Color blindness using the Ishihara Method Avec Microsoft VB 6.0" est un système qui facilite le diagnostic des maladies oculaires (daltonisme). Dans le développement de systèmes d'ingénierie le développement d'applications de systèmes experts (Figure 14).

Pour faciliter le développement de cette application, les chercheurs utilisent des outils de modélisation/conception d'organigrammes ou de modélisation structurée. Et la conception des systèmes d'entrée sous la forme de mécanismes liés à la conception d'interface pour l'utilisation des applications de ce système expert[23].



Figure 14: l'interface de l'application Ishihara Color Blindness Test.

### 3.4. The K-VA Test « 2023 »

Au total, 171 patients atteints de diverses maladies oculaires ont été examinés dans l'unité ambulatoire de l'Université Aristote de Thessalonique, École de médecine en Grèce.

L'étude a démontré que l'application K-VA a bien fonctionné par rapport à l'échelle ETDRS et fournit des mesures fiables et reproductibles de l'AV à travers une large gamme d'informations supplémentaires. L'AV a été examinée à l'aide de l'application K-VA à 1 m et 40 cm (Figure 15) [24].

L'application contient un ensemble de lettres couramment utilisés parmi la plupart des alphabets européens et peuvent également être reconnus par les patients qui ne sont pas familiers avec certaines lettres de l'alphabet romain. Les nouvelles lettres ont été construites sur la grille 5 \* 5 de Snellen et sont compatibles avec la spécification des lettres Sloan.

Aucun biais évident n'a été décelé entre l'ensemble de lettres proposé et l'échelle ETDRS standard.

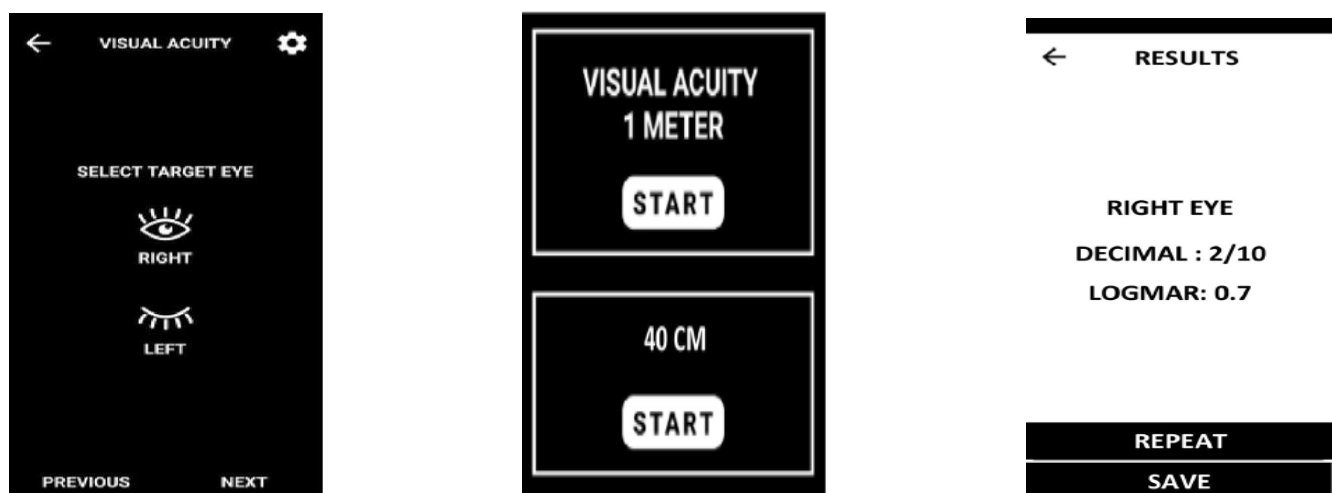


Figure 15: l'interface de K-VA test.

## 4. Conclusion

Lors d'un examen ophtalmologique, les médecins doivent utiliser plusieurs cartes de tests et outils différents pour évaluer la vision du patient. Ces cartes sont généralement de format A3 et fixées sur un mur, tandis que les outils incluent le livre d'Ishihara et les lunettes de test polarisées. Le changement de carte pour chaque test nécessite que le patient soit placé à une distance précise et éclairé correctement, ce qui peut prendre du temps lors de la consultation.

Plusieurs applications qui servent à évaluer la vision et à automatiser l'examen ont été présentées dans ce chapitre ainsi les caractéristiques de chacune de ces applications, mais le problème est qu'il n'y a pas d'application web qui combine de nombreux tests, ce qui est insuffisant pour les patients, particulièrement comme pour l'ophtalmologiste.

Dans le chapitre qui suit, nous allons expliquer les différentes échelles utilisées dans les applications et les écrans de test ainsi que certains tests courants.

# Chapitre III : les tests en ophtalmologie

## 1. Introduction

L'ophtalmologie est une branche de la médecine qui se concentre sur la santé des yeux et des systèmes visuels. L'un des aspects les plus importants de la santé visuelle est l'acuité visuelle, qui est la capacité de l'œil à distinguer les détails fins et à identifier les objets à une certaine distance. L'acuité visuelle est mesurée en utilisant une échelle de lettres ou de chiffres standardisée, généralement en utilisant un tableau d'AV, pour détecter et prévenir certaines maladies qui peuvent provoquer la cécité.

Dans ce chapitre, nous allons passer en revue les différentes échelles et la méthode qui permet de passer d'une échelle à une autre. Ensuite, nous passerons en revue les différents tests effectués lors d'un examen ophtalmologique.

## 2. Les différentes échelles en l'AV

### 2.1. Échelles décimales

Les échelles décimales utilisent l'équation suivante pour exprimer l'acuité visuelle :  $AV = 1/MAR$  (en minutes d'arc), ce qui définit une AV normale de 1. Ces échelles progressent en augmentant progressivement l'angle minimal de résolution, ce qui les rend peu discriminantes pour les basses acuités visuelles, mais très discriminantes pour les hautes acuités visuelles en raison de leur progression non linéaire. En outre, des études ont montré que les mesures d'AV en échelles décimales présentent une plus grande variabilité lors d'évaluations successives chez un même patient par rapport aux mesures en échelles logarithmiques[25](Figure 13).

### 2.2. Échelle de Snellen

En 1864, c'est l'échelle utilisée pour évaluer l'AV des soldats de l'armée britannique. L'échelle se présente comme un ensemble d'optotypes en lettres majuscules composée des lettres de Sloan (C, D, H, K, N, O, R, S, V et Z) de taille différente. L'AV se mesure par la fraction de Snellen qui est définie par la formule qui suit :

$$AV = \frac{d}{D} \quad (5)$$

où « d » est la distance de test et « D » la distance à laquelle le plus petit optotype identifié sous-tend un angle de cinq minutes d'arc[26]. En notation Snellen, d peut prendre 4 valeurs : 4, 5, 6 mètres



(graduation métrique) ou 20 pieds (graduation impériale). On en déduit très facilement les valeurs de  $\alpha$  en minutes d'arc[27].

**Ex :** Si  $D = 48$  mètres et  $d = 6$  mètres,  $\alpha = 8$  min d'arc.

### 2.3. Échelle de Monoyer

Il s'agit d'une notation où le dénominateur est 10 pour les acuités comprises entre 1/10 et 10/10 (Figure 16)[28]. Par contre pour les acuités inférieures à 1/10, c'est le numérateur qui ne change plus et est fixé à 1. Entre 1/10 et 10/10, la formule pour passer d'une notation en fraction décimale à une notation Monoyer est :

$$\frac{((AV \text{ en fraction décimale}) \times 10)}{10} = AV \text{ en notation Monoyer} \quad (6)$$

**Ex :** si  $\alpha = 2$  min d'arc,  $V = 1/2 = 0,5$  en fraction décimale et 5/10 en notation Monoyer.

Pour les acuités visuelles  $<$  à 1/10, la formule pour passer d'une notation en fraction décimale à une notation Monoyer est : AV en fraction Monoyer égal directement  $\frac{1}{\alpha} =$  notation en fraction décimale.

**Ex :**  $\alpha = 40$  min d'arc, donc 1/40 (en fraction Monoyer) = 0,025(en fraction décimale).

### 2.4. Échelles logarithmiques

C'est la notation à utiliser préférentiellement surtout en cas d'étude statistique conduisant à faire des moyennes et des écartypes d'AV (Figure 16)[29]. Le logarithme ARM se rapporte au logarithme (de base 10) de l'angle visuel en minutes d'arc de l'espace dont l'optotype est équivalent à l'anneau de Landolt. Le rapport de la dimension d'un optotype à celle de l'optotype de dimension immédiatement inférieure doit être égal à 1,2589[30].

La formule pour passer de la notation en angle visuel à la notation Log MAR est la suivante :

$$\text{Logarithme de base 10 (angle visuel en minutes d'arc)} = \text{notation Log MAR} \quad (7)$$

Cette notation est indépendante de la distance d'examen.

**Ex :**  $\alpha = 5$  min d'arc ;  $V = \log_{10}(\alpha) = \log 5 = + 0,70$  ou  $\log \text{ MAR} = + 0,70$ .

## 2.5. Échelle ETDRS (Early Treatment Diabetic Retinopathy Study)

Le principe général est de donner un point par lettre vue. Le score ETDRS varie dans le même sens que l'acuité visuelle en notation décimale[31]. La formule pour passer d'une notation ETDRS à une notation Log MAR est la suivante :

$$\text{Score ETDRS} = 85 - 50 \text{ Log MAR} \quad (8)$$

Ce score n'est pas adapté aux très basses acuités visuelles, c'est-à-dire en dessous de 0,025 (1/40).

Si dessous un tableau qui comporte l'ensemble des valeurs de conversion entre les différentes échelles.

Angle de résolution MAR ( $\alpha$ )	Log MAR	Score ETDRS	Snellen (RU)	Snellen (États-Unis)	Fraction Monoyer	Décimale	N° de ligne
0,50	-0,30	100	6/3	20/10	20/10	2,0	-3
0,63	-0,20	95	6/3,8	20/12,5	16/10	1,6	-2
0,80	-0,10	90	6/4,8	20/16	12,5/10	1,25	-1
1,00	0,00	85	6/6	20/20	10/10	1,00	0
1,25	0,10	80	6/7,5	20/25	8/10	0,80	1
1,60	0,20	75	6/9,5	20/32	6,3/10	0,63	2
2,00	0,30	70	6/12	20/40	5/10	0,50	3
2,50	0,40	65	6/15	20/50	4/10	0,40	4
3,15	0,50	60	6/19	20/63	3,2/10	0,32	5
4,00	0,60	55	6/24	20/80	2,5/10	0,25	6
5,00	0,70	50	6/30	20/100	2/10	0,20	7
6,25	0,80	45	6/38	20/125	1,6/10	0,16	8
8,00	0,90	40	6/48	20/160	12,5/10	0,125	9
10	1,00	35	6/60	20/200	1/10	0,10	10
20	1,30	20	6/120	20/400	1/20	0,05	13
40	1,60	5	6/240	20/800	1/40	0,025	16
100	2,00	-	6/600	20/2000	1/100	0,01	20

Tableau 3: Tableau de conversion des toutes échelles.

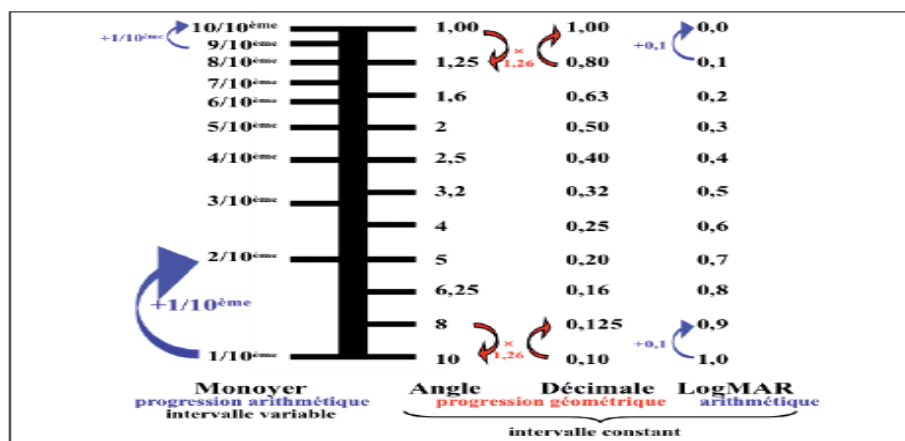


Figure 16: Caractéristiques des différentes échelles d'acuité visuelle[32].

### 3. Les différents tests d'acuité en ophtalmologie

#### 3.1. Test de Snellen

Le test de Snellen est une méthode standardisée pour mesurer l'AV de loin. Il utilise un tableau d'AV comportant une série de lettres normalisées, de différentes tailles, imprimées sur des lignes horizontales. Le tableau est placé à une distance standard de 20 pieds (ou 6 mètres), et l'observateur doit identifier les lettres les plus petites qu'il peut lire sur le tableau (Figure 17). L'AV est alors exprimée sous la forme d'une fraction, où le numérateur représente la distance standard à laquelle le tableau est placé (20 pieds ou 6 mètres), et le dénominateur représente la plus petite taille de la lettre que l'observateur a pu identifier correctement. Par exemple, si l'observateur peut lire la ligne de lettres de taille 20/40, cela signifie qu'il peut lire les lettres à une distance de 20 pieds (6 mètres) que la personne ayant une vision normale peut lire à 40 pieds (12 mètres). Le test de Snellen est largement utilisé pour évaluer l'AV chez les patients présentant des problèmes de vision et est considéré comme un outil standard dans la pratique d'ophtalmologie.

On a un autre tableau nommé le tableau de trident de Snellen qui est un test effectué en demandant au patient de regarder les tridents et de dire quelle est la direction de l'ouverture de chaque trident (Figure 18). Si les tridents sont vus dans leur position correcte, cela indique une vision binoculaire normale et un bon alignement oculaire. Si les tridents sont vus décalés ou superposés, cela peut indiquer un défaut de vision binoculaire ou d'alignement oculaire. Tableau de trident de Snellen.

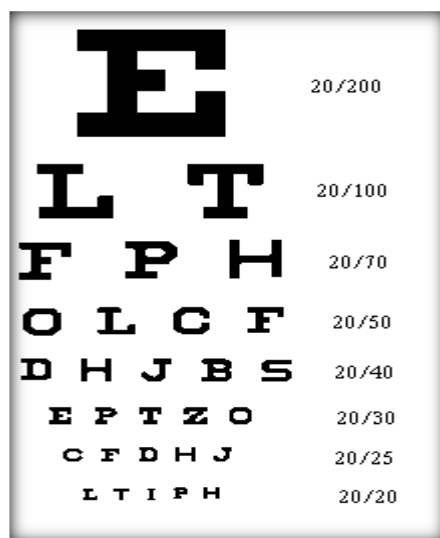


Figure 17: tableau de Snellen.

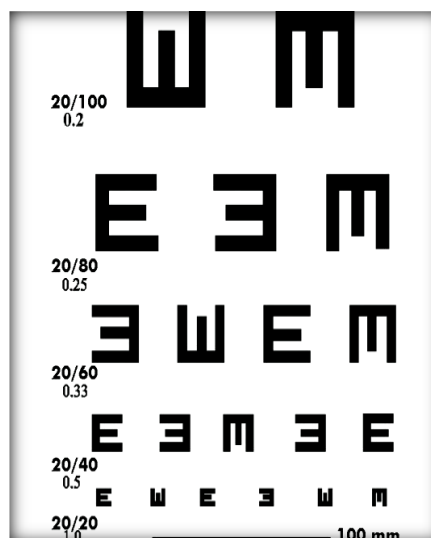


Figure 18: Tableau de trident de Snellen.

### 3.2. Test de Landolt

En 1888 **Edmund Landolt** propose son « Anneau de Landolt », un symbole d'anneau brisé qui comporte un seul élément de détail et varie seulement en orientation et en taille. L'optotype 20/20 sous-tend 5 minutes d'arc et a une ouverture qui mesure 1 minute d'arc (Figure 19) [33].



Figure 19: Unité de mesure de C de Landolt en min d'arc par rapport au E de Snellen.

L'échelle de Landolt se compose d'une série d'anneaux en forme de C, présentant une ouverture dans l'anneau à une position aléatoire. Ces anneaux sont placés sur une charte à une distance spécifique (Figure 20).

Dans ce test, le médecin ophtalmologue demande au patient d'indiquer dans quelle direction pointe le C de Landolt soit vers la gauche/droit ou bas/haut en utilisant son doigt.

Le test est généralement utilisé pour les enfants ou pour les patients qui ne peuvent pas lire. Le test de Landolt est considéré comme plus difficile comparé au test de Snellen, car il nécessite une identification précise de l'orientation du "C".

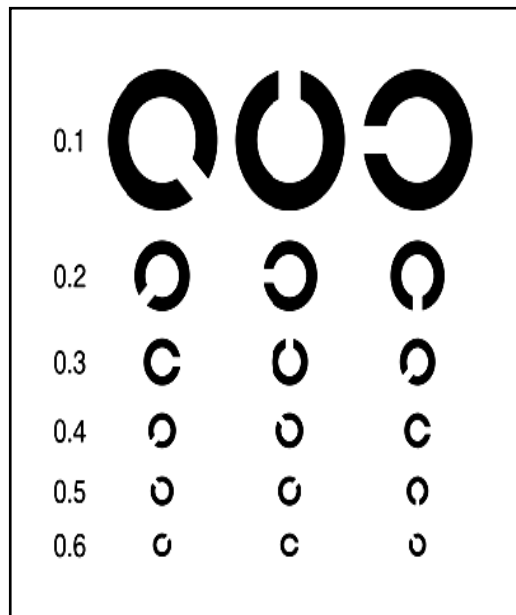


Figure 20: test de Landolt.

### 3.3. Test de contraste

Pour aller plus en détail sur la perception visuelle, on mesure les seuils de perception pour des objets de différentes tailles, en utilisant des contrastes de plus en plus faibles. Ce processus est connu sous le nom de Fonction de Sensibilité au Contraste Spatiale (FSCP).

Le patient est présenté à des réseaux de barres alternativement claires et sombres. Ces derniers sont définis par leurs fréquences spatiales (exprimées en cycles par degré ou en nombre de paires de raies blanches et noires par degré d'angle visuel) ainsi que par leur contraste (Figure 21). Pour simplifier l'examen, il est possible de mesurer une seule fréquence spatiale en utilisant des planches cartonnées telles que Pelli Robson ou Visio-contraste (Novartis®)[34]. Cette approche consiste à faire varier l'acuité et à présenter seulement 2 ou 3 niveaux de contraste, généralement 100%, 10% et 2,5%.

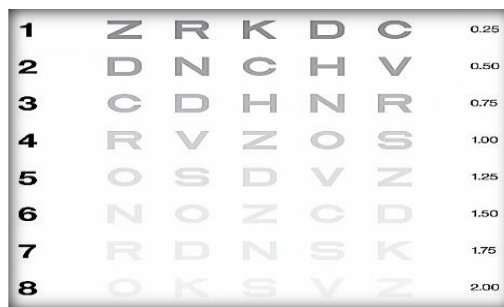


Figure 21: test de contraste.

### 3.4. Test pour malvoyants

Diverses échelles adaptées à cette catégorie de tests permet de mesurer les acuités comprises entre 0,5 (5/10ème) et 0,025 (1/40ème) voire encore plus faible.

Le test « très basse vision de Limoges » pour la vision de loin [35] comporte des groupes de lettres en progression logarithmique, permettant des mesures d'AV pour une distance de 1m entre 1/40 (1,6 log Mar) et 1/400 (2,6 log Mar).

Les échelles construites sur les principes de l'ETDRS sont de plus en plus utilisées. Lorsque l'AV est en dessous de 0,2 (2/10), la distance de lecture est de 1 mètre. La gamme complète d'AV s'étend de 1 (10/10) à 0,025 (1/50).

Comme pour le cas des échelles pour enfant, où les optotypes de cette échelle sont des dessins qui représentent des objets, animaux et signes géométriques qui sont adaptés à cette catégorie de patients (Figure 22).

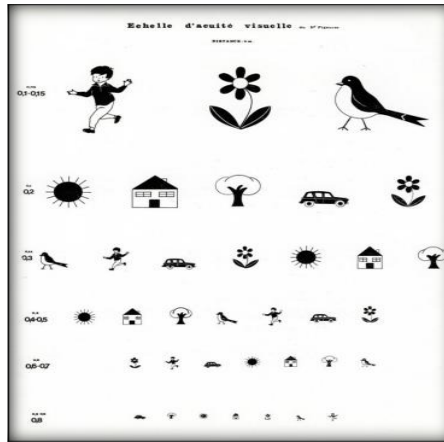


Figure 22: test d'enfant.

### 3.5. Test de Parinaud

Le test de Parinaud est le test d'AV le plus utilisé en cabinet médical, médecine du travail, cabinet de pédiatrie etc. pour tester la vision de près (distance 33 cm) et détecter d'éventuels problèmes de myopie ou d'hypermétropie[36].

Cette échelle est composée d'une série de textes regroupés en paragraphes de tailles décroissantes (pour le modèle standard) ou d'une série de symboles facilement identifiables de tailles décroissantes (pour le modèle enfants/ illettrés) (Figure 23).

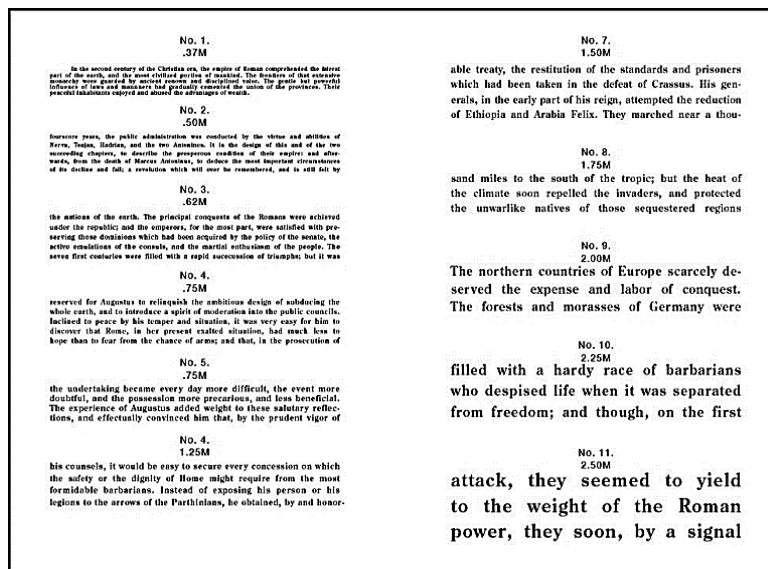


Figure 23: test de Parinaud.

### 3.6. Test d'Ishihara

Ce test, inventé en 1917 par Shinobu Ishihara, est un recueil de 38 planches utilisé pour dépister les anomalies de la vision des couleurs (daltonisme)[37].

Les planches de ce test sont composées d'une mosaïque de points de couleurs différentes, disposés de façon apparemment aléatoire, au sein duquel apparaît une forme sur un fond. Un ensemble de points représente une forme reconnaissable (des chiffres ou des formes) par l'unité de la teinte (Figure 24).

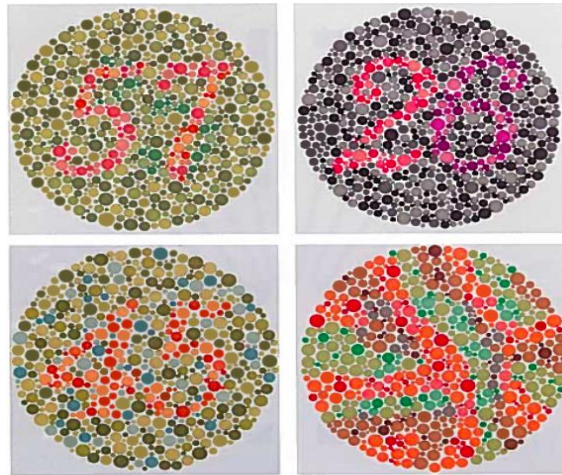


Figure 24: exemple de quatre planches pour le test

#### ➤ **Daltonisme :**

C'est une maladie liée à l'œil, où le patient ne peut pas distinguer entre les couleurs : Rouge, vert et bleu. C'est-à-dire il ne peut pas déchiffrer cette planche de couleur.

Il y a quatre types de daltonisme :

- **Le protanopie :** le patient ne peut pas distinguer la couleur rouge.
- **Le deutéranopie :** le patient ne peut pas distinguer la couleur verte, c'est le cas le plus fréquent des trois.
- **Le tritanopie :** le cas le plus rare des trois où le patient ne peut pas distinguer la couleur verte et jaune.
- **L'achromatopsie :** c'est une diminution sévère de l'AV à cause de l'absence de cônes ou de l'altération de leur fonctionnement, où le sujet peut distinguer uniquement que des nuances de gris.

### 3.7. Test Rouge-Vert

Le test de l'AV rouge-vert est un test utilisé pour mesurer la capacité d'une personne à différencier les couleurs rouge et verte, qui sont des couleurs opposées sur le spectre des couleurs. Ce test est particulièrement utile pour diagnostiquer les anomalies de la vision des couleurs, telles que le daltonisme.

Il est effectué en utilisant une charte spéciale contenant des symboles colorés tels que des chiffres ou des lettres, imprimés en rouge ou en vert (Figure 25). Les symboles sont présentés à différentes tailles et distances, et le patient doit identifier les symboles qu'il voit. Si le patient a une anomalie de la vision des couleurs, il peut avoir des difficultés à distinguer certains symboles[38].

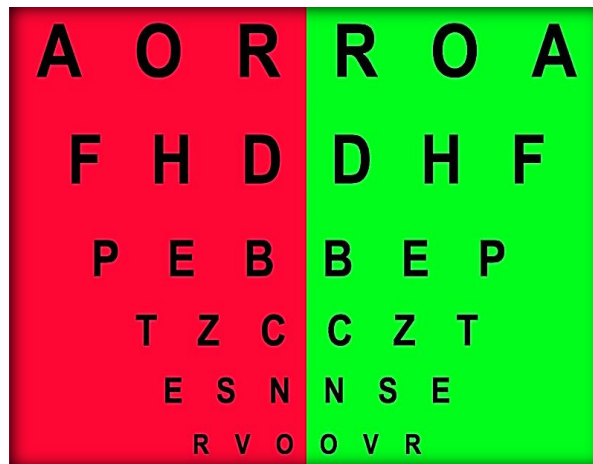


Figure 25: test rouge vert.

### 3.8. Test de Hess-Lancaster

Le test de Lancaster est un examen orthoptique utilisé pour analyser les troubles de l'alignement oculaire (strabisme) de l'adulte. Il permet d'analyser les dysfonctions musculaires et nerveuses d'un ou des yeux et affiner le bilan orthoptique. L'examen se déroule et position assise avec des lunettes possédant un verre rouge sur l'œil droit et un vert sur l'œil gauche[39]. Il vous sera demandé de fixer un tableau situé à 1 mètre et de pointer avec un laser le point lumineux montré par l'orthoptiste. Huit points lumineux testant les huit positions du regard vous seront montrés (Figure 26). À la fin de l'examen, les huit points sont reliés afin de "dessiner" votre déviation oculaire.



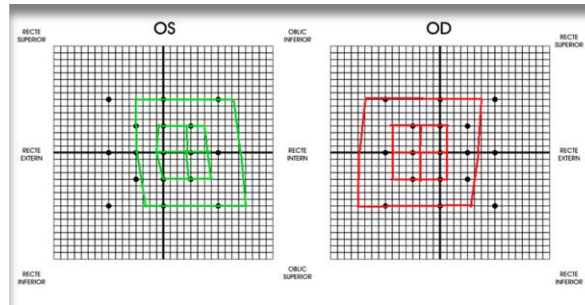


Figure 26: test de Lancaster.

### 3.9. Test de Worth

Le test Worth de quatre points est composé de quatre feux disposés en forme de diamant avec une lumière rouge en haut, deux feux verts sur les côtés gauche et droit, et une lumière blanche en bas[40].

Le test de Worth est un test grossier qui vérifie la suppression en demandant au patient de signaler le nombre et la couleur des points qu'ils peuvent voir en regardant à travers les lunettes rouge-vert à quatre lumières ou points de différentes couleurs (Figure 27).

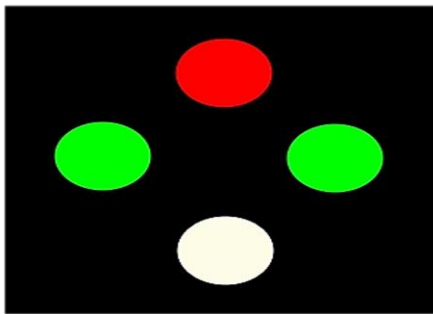


Figure 27: test de Worth.

Les caractéristiques de transmission des lunettes rouges-vertes (lunettes Armstrong) sont telles que l'œil qui porte le filtre rouge (habituellement l'œil droit) bloque la lumière verte pour ne voir que les lumières supérieure et inférieure, et l'œil qui regarde à travers le filtre vert (habituellement l'œil gauche) bloque la lumière rouge et peut voir les deux feux verts et le feu inférieur[41].

La lumière inférieure est visible dans les deux yeux. Un patient ayant une vision binoculaire normale appréciera quatre lumières avec une lumière rouge-verte clignotante en bas à cause de la rivalité binoculaire.

## **4. Aide au diagnostic**

La vue est un sens crucial pour les êtres humains et nécessite une attention continue tout au long de la vie, y compris des examens réguliers chez un ophtalmologiste et parfois une correction. Ces dernières années, les outils de diagnostic et de dépistage ont considérablement évolué, grâce à l'utilisation d'applications médicales offrant de nouvelles possibilités. En ophtalmologie, un seul écran est suffisant pour effectuer plusieurs tests, tels que les tests d'AV, les tests de couleurs, les tests rouge-vert et les tests pour enfants. Cette évolution offre une fiabilité accrue pour le dépistage et le diagnostic des troubles visuels, tout en améliorant l'efficacité et la praticité des examens ophtalmologiques.

La mesure de l'AV par le biais d'applications est une méthode qui aide à automatiser le processus de dépistage et d'orientation visuelle, tout en réduisant le temps d'examen et les temps d'attente. Cette approche facilite grandement le diagnostic des troubles visuels, en particulier pour les dépistages effectués dans les écoles. En outre, elle permet un suivi régulier de l'AV et limite les déplacements au cabinet. L'application peut être utilisée pour réaliser des tests de dépistage à différentes distances, telles que 1m, 3m et 5m.

L'application de mesure de l'AV offre de nombreux avantages pour le dépistage et la surveillance des troubles visuels. Elle permet de réaliser des tests de manière plus efficace et rapide, en réduisant les temps d'attente et les coûts associés aux examens ophtalmologiques. De plus, elle offre une méthode plus pratique pour effectuer des tests de dépistage visuel réguliers, en particulier pour les enfants ou les personnes ayant des difficultés de mobilité. Avec l'utilisation de cette application, le diagnostic des troubles visuels peut être effectué de manière plus facile et plus précise tout en offrant un suivi régulier pour améliorer la santé visuelle à long terme.

## **5. Conclusion**

L'acuité visuelle représente la capacité de l'œil à distinguer entre les détails fins d'un objet. Pour cela, plusieurs tests ont été développés pour aboutir à une évaluation performante de la vision et donc permettre une correction de qualité pour le patient. Dans ce chapitre, on a cité des exemples de tests couramment utilisés par les experts dans les milieux cliniques. De même, on a abordé les différentes échelles sur lesquelles ces tests seraient basés.

Plus tard, nous allons présenter une application web facile à utiliser permettant de faire un examen à domicile et regroupant de nombreux tests.

# Chapitre IV : L'application proposée et ses fonctionnalités

## 1. Introduction

Ce chapitre se concentre sur la création d'une application web axée sur l'évaluation de l'acuité visuelle à l'aide des technologies React et TypeScript.

L'acuité visuelle est une mesure essentielle de la capacité de notre système visuel à percevoir les détails subtils. L'objectif de notre application est de permettre aux utilisateurs de tester leur acuité visuelle de manière précise et fiable.

Nous décrirons les différentes étapes nécessaires à la mise en place de ce projet, ainsi que les composants clés de l'application et ses fonctionnalités principales.

## 2. Choix de l'environnement

React est une bibliothèque JavaScript, largement utilisée pour créer des applications web interactives et réactives. Elle a été conçue par Facebook et est largement adoptée par de nombreuses entreprises et développeurs.

React est principalement utilisé pour sa capacité à créer des interfaces utilisateur dynamiques. Son fonctionnement repose sur le concept du "Virtual DOM" (Document Object Model virtuel), qui permet de mettre à jour de manière efficace uniquement les parties de l'interface utilisateur qui nécessitent des modifications, plutôt que de recharger l'intégralité de la page.

## 3. Distance et configuration de l'écran

Dans un écran de test d'ophtalmologie, la distance et la configuration jouent un rôle important pour assurer des mesures précises et fiables de l'acuité visuelle. Voici quelques informations sur ces aspects dans notre application web.

- a. **Distance :** La distance à laquelle le patient se positionne par rapport à l'écran de test est importante pour obtenir des résultats précis. La distance standard utilisée est généralement de 6 mètres, et elle peut être modifiée selon le besoin.
- b. **Configuration de l'écran :** Lors de la configuration de l'écran de test, il est essentiel de respecter les normes et les recommandations appropriées. Voici quelques aspects à considérer :
  - La taille des caractères ou symboles utilisés pour les tests doit être adaptée en fonction de la distance de test choisie. Par exemple, si la distance de test est de 6 mètres, il est important que les caractères soient conçus de manière à être lisibles à cette distance spécifique.

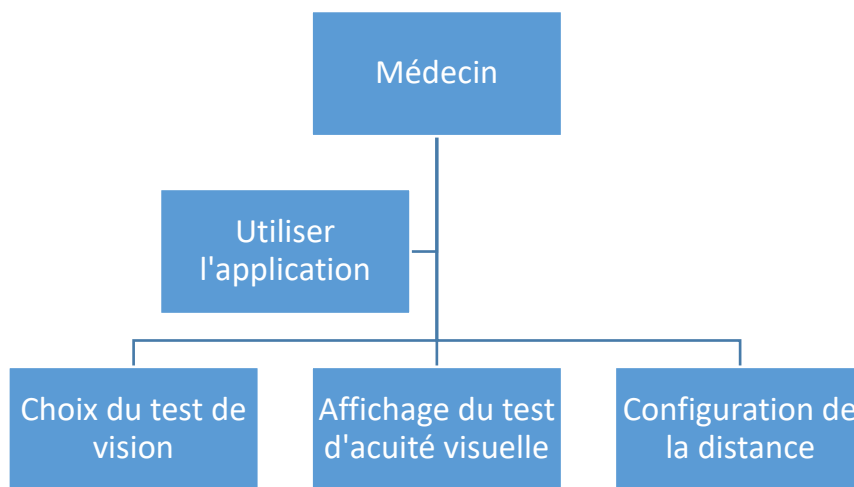
- Il est essentiel que l'éclairage de l'écran soit uniforme et suffisamment lumineux pour assurer une lecture claire des caractères. Il est important d'éviter les reflets ou les ombres qui pourraient compromettre la lisibilité des symboles.

- Le contraste entre les caractères et l'arrière-plan de l'écran joue un rôle crucial dans la clarté visuelle. Un bon contraste facilite la détection et la reconnaissance des symboles par le patient. Il est donc important de veiller à un contraste adéquat entre les caractères et l'arrière-plan de l'écran.

- Il est primordial de garantir que l'écran soit correctement calibré afin d'afficher les caractères avec précision. Une calibration inadéquate peut entraîner des erreurs de mesure de l'acuité visuelle. Il est donc important de veiller à ce que l'écran soit calibré de manière appropriée pour garantir des résultats de mesure précis.

#### 4. Organigramme de l'application

Voici un organigramme simplifié pour une application web de test d'acuité visuelle, où le médecin peut utiliser plusieurs tests et modifier la distance de test selon le besoin.



L'organigramme décrit le processus utilisé par le médecin pour utiliser l'application web de test d'acuité visuelle. Voici les étapes détaillées :

- Le médecin ouvre l'application web de test d'acuité visuelle.
- Le médecin est présenté avec plusieurs options de tests de vision parmi lesquelles choisir.
- Le médecin sélectionne le test de vision souhaité parmi les options disponibles.
- Ensuite, le médecin configure la distance de test en choisissant une valeur entre 1 mètre et 6 mètres.
- Une fois la distance de test configurée, le médecin peut procéder à l'examen de la vision du patient en utilisant l'application web.

Cet organigramme illustre la séquence de choix du test de vision et de configuration de la distance de test par le médecin dans le cadre de l'utilisation de l'application web de test d'acuité visuelle.

## **5. Mise en place du projet**

Avant d'entamer le développement de notre application, nous devons configurer l'environnement de développement. Pour cela, nous utiliserons les bibliothèques comme Node.js et npm (Node Package Manager) afin de gérer les dépendances du projet.

Ensuite, nous créerons un nouveau projet React en utilisant Create React App et nous configurerons TypeScript pour qu'il fonctionne avec React. Nous vous guiderons également l'installation et la configuration des bibliothèques et des packages nécessaires au développement de l'application d'acuité visuelle.

## **6. Conception de l'interface utilisateur**

Une fois que notre projet est configuré, notre attention se portera sur la conception de l'interface utilisateur de notre application. Nous concevrons divers composants réutilisables tels que l'en-tête, le pied de page et la section de test d'acuité visuelle.

Nous utiliserons les fonctionnalités de mise en page de React pour organiser ces composants de manière optimale. De plus, nous expliquons comment utiliser les styles CSS en ligne ou les bibliothèques de styles afin de personnaliser l'apparence de notre application.

Nous avons développé une application web dédiée aux médecins ophtalmologues, axée sur l'évaluation précise et détaillée de l'acuité visuelle de leurs patients. Voici un aperçu des fonctionnalités clés et l'interface de notre application :

### **6.1. En-tête de l'application**

Dans l'en-tête de l'application, vous trouverez le logo ou le titre de l'application, offrant une identification visuelle immédiate.



Figure 28: en-tête de l'application.

## 6.2. Liste des tests d'acuité visuelle réalisés

La page principale de l'application affiche une liste des différents tests d'acuité visuelle disponibles. Chaque test est représenté par une vignette contenant un alias du test. Par exemple la vignette « C » pour le test Landolt, « A » pour le test d'alphabet...

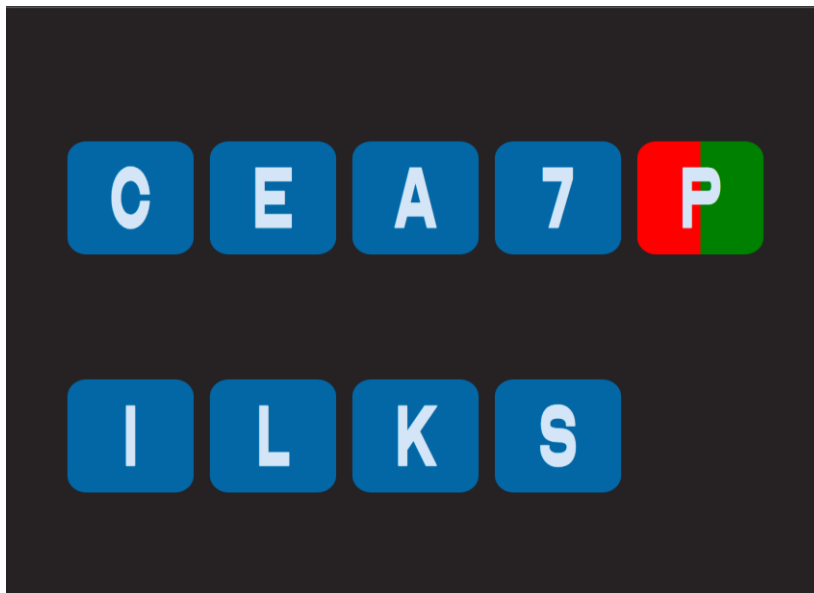


Figure 29: List d'accueil.

### 6.3. Détails des tests

Notre application propose une variété de tests d'acuité visuelle parmi lesquels les médecins peuvent choisir en fonction des besoins spécifiques de chaque patient.

Ces tests englobent une gamme complète d'évaluations visuelles, incluant la vision de loin, la vision de près, la perception des couleurs et d'autres aspects, permettant ainsi de couvrir un large éventail de troubles visuels et de capacités visuelles

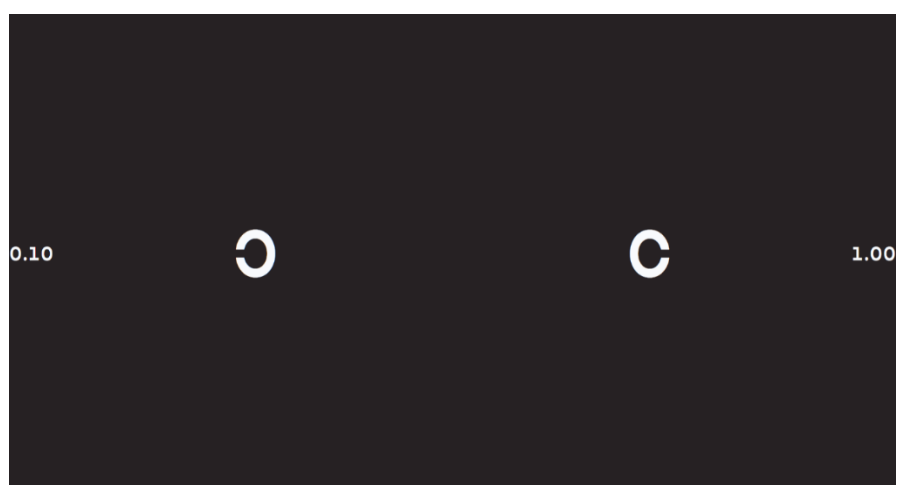


Figure 30: C de Landolt.

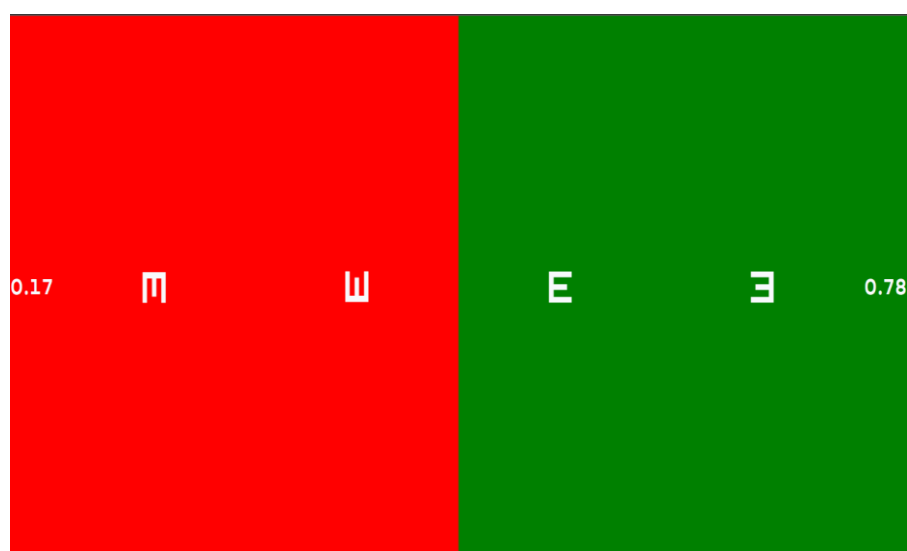


Figure 31: Test Rouge Vert.



Figure 32: test d'Ishihara.

Une fois qu'un test d'acuité visuelle est sélectionné, l'application affiche une interface dédiée au test. Cette interface permet au médecin de contrôler le déroulement du test, d'afficher les images, les caractères ou les motifs correspondants, et de noter les réponses du patient.

Il peut également ajuster les paramètres du test en fonction des besoins spécifiques du patient.

#### **6.4. Utilité de l'application web**

L'application web de test d'acuité visuelle pour les médecins ophtalmologues vise à améliorer l'efficacité, la précision et la prise en charge des patients lors de l'évaluation de leur vision.

Elle offre des fonctionnalités complètes pour une évaluation approfondie de l'acuité visuelle, facilitant ainsi le diagnostic précoce des problèmes de vision et l'élaboration de plans de traitement adaptés à chaque patient.

### **7. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons étudié la création d'une application web pour tester l'acuité visuelle en utilisant les technologies React et TypeScript.

Nous avons décrit les différentes étapes du projet, notamment la configuration initiale, la conception de l'interface utilisateur, l'implémentation des fonctionnalités relatives à l'acuité visuelle, ainsi que l'intégration des autres fonctionnalités.





## Conclusion générale

L'objectif de cette étude était de créer une application visant à simplifier les tâches des ophtalmologues et des patients. En effet, nous avons commencé par un aspect médical tout en passant par les anomalies de l'œil et les techniques de correction. Ensuite, nous avons présenté quelques applications développées dans ce contexte puis on a décrit brièvement les différents tests d'acuité visuelle (de loin et de près). Enfin, nous avons expliqué le fonctionnement du système automatique proposé permettant à l'ophtalmologue de réaliser les tests d'AV sur un écran.

Une application Web dotée d'une interface conviviale a été développée, regroupant une variété de tests tels que les tests d'acuité visuelle pour adultes et enfants (de loin et de près), le test de Lancaster et tests de perception des couleurs (Rouge-Vert, Ishihara) ce qui va aider à effectuer un examen complet sur la vision.

L'avantage principal de cette application serait sa facilité d'utilisation même pour le personnel non médical. De plus, son accessibilité combinée avec la variété de tests présents permettront d'ouvrir une porte vers l'augmentation du nombre de cas de dépistage précoce.

Travailler sur ce projet de fin d'études nous a permis d'approfondir les connaissances théoriques acquises tout au long de notre formation, puis de les mettre en pratique grâce aux nouvelles technologies, notamment dans les domaines de l'informatique et de la programmation.

En perspective, nous cherchons à ajouter d'autres tests ophtalmologiques comme : le test d'astigmatisme et le test de contraste..., de même nous visons à améliorer davantage cette application au fil du temps, à titre d'exemple : ajouter la gestion des patients, calculer les acuités visuelles à la fin de chaque examen, rédiger un rapport d'examen complet, etc.

En outre, le plus grand défi sera de développer cette application de sorte qu'elle soit adaptable sur tous les écrans, avec une possibilité de faire du contrôle à distance pour les écrans de test d'examen dans les milieux cliniques.

## Référence

- [1] « L'oeil humain.pdf ». Consulté le: 31 mai 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://fondation-lamap.org/sites/default/files/upload/media/ressources/science/48144/L%20oeil%20humain.pdf>
- [2] É. Berger, *Anatomie normale et pathologique de l'œil*. O. Doin, 1893.
- [3] E. Motais, *Anatomie de l'appareil moteur de l'œil de l'homme et des vertébrés*. Delahaye et Lecrosnier, 1887.
- [4] *Le guide des défauts visuels et leurs corrections - Marc Chemla, Sylvie Fontègne*. Consulté le: 8 juin 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.decitre.fr/livres/le-guide-des-defauts-visuels-et-leurs-corrections-9782914285018.html>
- [5] D. Azzam et Y. Ronquillo, « Snellen Chart », in *StatPearls*, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023. Consulté le: 1 mai 2023. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK558961/>
- [6] G. B. ARDEN, « Le standard de mesure de l'acuité visuelle », *Stand. Mes. Acuité Vis.*, vol. 11, n° 11, p. 779-792, 1988.
- [7] C. des ophtalmologistes universitaires de France, *Ophtalmologie*. Elsevier Health Sciences, 2018.
- [8] Le Grand, Y, *Optique physiologique. Tome II, Lumière et couleurs*. Paris (France): Masson et Cie, 1972.
- [9] E. A. H. Mallen, B. Gilmartin, J. S. Wolffsohn, et S. Tsujimura, « Clinical evaluation of the Shin-Nippon SRW-5000 autorefractor in adults: an update », *Ophthalmic Physiol. Opt.*, vol. 35, n° 6, p. 622-627, 2015, doi: 10.1111/opo.12254.
- [10] H. Kolb, « Glial Cells of the Retina », in *Webvision: The Organization of the Retina and Visual System*, H. Kolb, E. Fernandez, et R. Nelson, Éd., Salt Lake City (UT): University of Utah Health Sciences Center, 1995. Consulté le: 3 mai 2023. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK11516/>
- [11] J. S. Wolffsohn *et al.*, « IMI – Clinical Myopia Control Trials and Instrumentation Report », *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, vol. 60, n° 3, p. M132-M160, févr. 2019, doi: 10.1167/iovs.18-25955.
- [12] D. Pavan-Langston, *Manual of Ocular Diagnosis and Therapy*. Lippincott Williams & Wilkins, 2008.
- [13] R. Hooke, *Micrographia: Or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses, with Observations and Inquiries Thereupon*. Courier Corporation, 2003.
- [14] E. W. G. Pergens, *Recherches sur l'acuité visuelle*. 1906.
- [15] F. Schwarz, « Über die Messung der Sehschärfe bei begrenzter Darbietungszeit der Sehproben », *Pflüg. Arch. Für Gesamte Physiol. Menschen Tiere*, vol. 253, n° 1, p. 28-37, janv. 1950, doi: 10.1007/BF00369819.
- [16] P. L. Panum, *Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen*. Schwerssche Buchhandlung, 1858.
- [17] S. Duke-Elder, « FRANCISCUS CORNELIS DONDERS », *Br. J. Ophthalmol.*, vol. 43, n° 2, p. 65-68, févr. 1959.
- [18] « Astigmatisme en cilindrische glazen / door F.C. Donders. », *Wellcome Collection*. <https://wellcomecollection.org/works/kyqnhpr3> (consulté le 6 mai 2023).
- [19] Donders FC, *On the Anomalies of Accommodation and Refraction*. London: New Sydenham Society, 1864.
- [20] H. Snellen, *Letterproeven, tot Bepaling der Gezigtscherpte*. Utrecht, Weyers: J. Greven, 1862.
- [21] M. Ozebek, « Smart Optometry Application », *Smart Optometry*, 19 mai 2020. <https://www.smart-optometry.com/smart-optometry-application/> (consulté le 15 mai 2023).

- [22] L. Raffa, N. Balbaid, et M. Ageel, « “Smart Optometry” phone-based application as a visual acuity testing tool among pediatric population », *Saudi Med. J.*, vol. 43, p. 946-953, août 2022, doi: 10.15537/smj.2022.43.8.20220374.
- [23] V. Yasin, P. Peniarsih, A. Gozali, et I. Junaedi, « Application of expert system diagnosis of color blindness with ishikawa method with microsoft vb 6.0 », *Int. J. Inform. Econ. Manag. Sci.*, vol. 1, p. 13, janv. 2022, doi: 10.52362/ijiems.v1i1.678.
- [24] V. Karampatakis, D. Almaliotis, P. Talimtzi, et S. Almpandou, « Design and Validation of a Novel Smartphone-Based Visual Acuity Test: The K-VA Test », *Ophthalmol. Ther.*, vol. 12, mars 2023, doi: 10.1007/s40123-023-00697-x.
- [25] Touzeau O, Costantini E, Montard R, Borderie V, Laroche L, « Analyses statistiques de l’acuité visuelle. », EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Ophtalmologie, 2009.
- [26] M. Zapparoli, F. Klein, et H. Moreira, « [Snellen visual acuity evaluation] », *Arq. Bras. Oftalmol.*, vol. 72, n° 6, p. 783-788, 2009, doi: 10.1590/s0004-27492009000600008.
- [27] J. van Gijn et J. P. Gijssels, « [Snellen and his optotypes] », *Ned. Tijdschr. Geneesk.*, vol. 156, n° 16, p. A4416, 2012.
- [28] F. Monoyer, *Echelle typographique pour la détermination de l’acuité visuelle*, Académie des Sciences, Comptes rendus, vol. 80:113. 1875.
- [29] F. L. Ferris, A. Kassoff, G. H. Bresnick, et I. Bailey, « New Visual Acuity Charts for Clinical Research », *Am. J. Ophthalmol.*, vol. 94, n° 1, p. 91-96, juill. 1982, doi: 10.1016/0002-9394(82)90197-0.
- [30] I. L. Bailey et J. E. Lovie, « New design principles for visual acuity letter charts », *Am. J. Optom. Physiol. Opt.*, vol. 53, n° 11, p. 740-745, nov. 1976, doi: 10.1097/00006324-197611000-00006.
- [31] R. Told, M. Baratsits, G. Garhöfer, et L. Schmetterer, « [Early treatment diabetic retinopathy study (ETDRS) visual acuity] », *Ophthalmol. Z. Dtsch. Ophthalmol. Ges.*, vol. 110, n° 10, p. 960-965, oct. 2013, doi: 10.1007/s00347-013-2813-2.
- [32] O. Touzeau, « Intérêt et limites de l’acuité visuelle décimale », 2016.
- [33] Snellen H. Landolt E, *Ophthalmometrie. Die Functionprüfungen des Auges. Handbuch der gesamten Augenheilkunde. (Graefe--Saemisch). Verlag von Wilhelm Engelmann. Leipzig, 1847.*
- [34] P. Dg, « The design of a new letter chart for measuring contrast sensitivity », *Clin Vis Sci*, vol. 2, p. 187-199, 1988.
- [35] P. Bonavolonta, I. Travade, R. Forte, I. Rebeyrotte, J.-P. Adenis, et P.-Y. Robert, « Intérêt de mesurer les acuités visuelles très basses dans un centre de réadaptation pour déficients visuels », *J. Fr. Ophthalmol.*, vol. 33, n° 6, p. 391-396, juin 2010, doi: 10.1016/j.jfo.2010.03.013.
- [36] « Echelle à main de Parinaud ».  
[https://www.distrimed.com/product\\_info.php?products\\_id=4389](https://www.distrimed.com/product_info.php?products_id=4389) (consulté le 16 mai 2023).
- [37] J. H. Clark, « The Ishihara Test for Color Blindness », *Am. J. Physiol. Opt.*, vol. 5, p. 269-276, 1924.
- [38] ZANLONGHI X. (1), BENSALID Ph, (2), « COMMENT FAIRE LE DIAGNOSTIC D’UNE BAISSSE D’ACUITÉ VISUELLE ANORGANIQUE UNI OU BILATERALE. », *Journal Français d’Orthoptique*, N° 37, France, 2005.
- [39] J. Gazulla *et al.*, « Contributions to the study of spinocerebellar ataxia type 38 (SCA38) », *J. Neurol.*, vol. 267, août 2020, doi: 10.1007/s00415-020-09840-1.
- [40] E. Bak, H. K. Yang, et J.-M. Hwang, « Validity of the Worth 4 Dot Test in Patients with Red-Green Color Vision Defect », *Optom. Vis. Sci.*, vol. 94, p. 1, févr. 2017, doi: 10.1097/OPX.0000000000001058.

[41] G. Lueder et K. Arnoldi, « Does “Touching Four” on the Worth 4-dot Test Indicate Fusion in Young Children? », *Ophthalmology*, vol. 103, p. 1237-40, sept. 1996, doi: 10.1016/S0161-6420(96)30516-2.