

Université de Montréal

Validation d'une vidéo d'animation pour l'évaluation visuelle de l'hémianopsie homonyme

Par  
Jeff Ferreri

Département de psychologie, Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté  
en vue de l'obtention du grade de maîtrise ès sciences (M. Sc.)  
en psychologie

Août 2023

© Jeff Ferreri, 2023

Université de Montréal  
Département de psychologie, Faculté des arts et des sciences

---

*Ce mémoire intitulé*

**Validation d'une vidéo d'animation pour l'évaluation visuelle de l'hémianopsie homonyme**

*Présenté par*

Jeff Ferreri

*A été évalué par un jury composé des personnes suivantes*

**Simona Brambati**

Président-rapporteur

**Arnaud Saj**

Directeur de recherche

**Elvire Vaucher**

Codirectrice de recherche

**Gregory West**

Membre du jury

## Résumé

**Contexte :** L'hémianopsie homonyme (HH) a un impact significatif sur les activités quotidiennes, et les méthodes actuelles d'évaluation des personnes ayant une amputation du champ visuel ne permettent pas de combiner l'évaluation de la vision centrale et périphérique. **Objectifs :** Cette étude visait à valider un film d'animation innovant comme nouvel outil d'évaluation pour mesurer l'étendue du champ visuel aveugle, à établir une norme auprès d'une population contrôle en bonne santé visuelle et à déterminer le niveau de faisabilité du test. **Méthodologie :** La vidéo d'animation présentait une série de personnages à détecter. Elle était présentée sur 160° répartis sur 3 moniteurs d'ordinateur. Un *eye-tracker* était utilisé pour vérifier la stabilisation de la tête et le contrôle de la fixation. Quarante participants en bonne santé, âgés de 18 à 75 ans, ont été recrutés. **Résultats :** La plupart des animations ont été perçues par des participants contrôle sains, ce qui a permis d'établir une norme pour le test. Concernant l'appréciation du test, 60 % des participants l'ont beaucoup apprécié, 29 % l'ont aimé et 11 % ont eu une opinion neutre. **Conclusion :** Cet outil écologique évalue simultanément la vision centrale et la vision périphérique à l'aide d'un film d'animation. Avec des normes établies à partir d'une population générale ayant une vision saine et un accueil positif des participants, cet outil pourrait être utilisé pour évaluer et dépister les personnes suspectées d'avoir une HH, en particulier chez les enfants.

**Mots clés :** *Hémianopsie, réadaptation, animation, attention, eye-tracker, multidisciplinaire.*

## Abstract

**Background:** Homonymous hemianopia (HH) has a significant impact on daily activities, and current methods of assessing people with visual field amputation don't combine assessment of central and peripheral vision. **Objectives:** The aim of this study was to validate an innovative animated film as a new assessment tool for measuring the extent of the blind visual field, to establish a standard in a visually healthy control population, and to determine the test's feasibility. **Methodology:** The animated video presented a series of characters that needed to be detected. It was presented in 160 degrees on 3 computer monitors. An eye tracker was used to check head stabilization and fixation control. Forty healthy participants aged between 18 and 75 were recruited. **Results:** Most of the animations were perceived by healthy control participants, helping to establish a standard for the test. In terms of appreciation of the test, 60% of participants liked it a lot, 29% liked it and 11% had a neutral opinion. **Conclusion:** This ecological tool simultaneously assesses central and peripheral vision using an animated film. With standards based on a general population with healthy vision and a positive reception from participants, this tool could be used to assess and screen people suspected of having HH, particularly in children.

**Key words:** *Hemianopia; Rehabilitation; Animation; Attention; Eye tracker; Multidisciplinary*

## Table des matières

Résumé .....	3
Abstract .....	4
Table des matières .....	5
Liste des tableaux .....	8
Liste des figures .....	9
Liste des abréviations .....	10
Citation .....	11
Remerciements .....	12
Chapitre 1 : Introduction .....	13
La structure anatomique du système visuel .....	14
Anatomie microscopique de la rétine .....	18
Formation de l'image par l'œil .....	19
Le champ visuel .....	21
Le chemin de l'information visuelle .....	22
Organisation anatomofonctionnelle de la voie visuelle centrale .....	23
Le système dorsal et ventral.....	24
Les déficits visuels.....	25
Les déficits visuels de naissance.....	26
Les méthodes d'évaluation de la perception visuelle .....	31
L'importance de l'évaluation visuelle sur la santé psychologique .....	32
Un problème de consensus dans les méthodes utilisées .....	33
La validation d'un nouvel outil.....	34
Chapitre 2 : Article de maîtrise .....	36
Rôle des auteurs .....	37
Abstract .....	39
Introduction.....	40
Methods .....	43

Participants .....	43
Apparatus.....	44
Animation and Task.....	44
Procedures.....	46
Eye Tracking Data. ....	47
Standards and Detection Rate. ....	48
Participant Appreciation. ....	48
Saccade Monitoring. ....	49
In-Depth Analysis of the Direction of Abnormal Saccades.....	49
In-Depth Exploration of Variability in Saccades. ....	51
In-Depth Exploration of Task-Inherent Factors.....	51
Results .....	52
Population description .....	52
Standards Establishment and Detection Rates.....	53
Participants' Appreciation Evaluation.....	54
Saccade Monitoring .....	54
Analysis of the Direction of Abnormal Saccades.....	55
Variability in Saccades .....	55
Individuals' Inherent Factors. ....	55
Task-Inherent Factors. ....	56
Discussion.....	58
Saccades.....	59
Participants With Homonymous Hemianopia .....	61
Clinical Application.....	62
Limitations .....	62
Conclusion.....	63
Conflict of Interest .....	63
Funding.....	64

Author Contributions .....	64
Acknowledgement .....	64
References .....	65
Annex .....	69
Annex 1: The Sociodemographic Form Given to the Participants. ....	69
Annex 2: Positions of The Animations on the Screens for Act 2. ....	72
Annex 3: Positions of the Animations on the Screens for Act 3. ....	73
Annex 4: Perception Grid for Act 2 & Act 3. ....	74
Annex 5: Instructions Given to the Participant During the Study. ....	75
Figures .....	76
Tables .....	77
Chapitre 3 : Conclusion.....	78
Comparaison de la vidéo d’animation .....	79
L’apport clinique de la vidéo d’animation pour l’évaluation visuelle.....	82
La possibilité d’adaptation de la vidéo d’animation .....	84
L’évaluation chez les enfants.....	86
Les nouvelles méthodes d’évaluation visuelle .....	88
La télémédecine en évaluation visuelle .....	88
La réalité virtuelle pour l’évaluation visuelle .....	90
Le futur de l’évaluation visuelle.....	91
Références de l’introduction et de la conclusion .....	93

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> - Les normes pour l'acte 2.....	54
<b>Tableau 2.</b> - Les normes pour l'acte 3.....	55



## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Le type d'animations présentées dans la vidéo.....	31
<b>Figure 2.</b> Organigramme des différents actes et sous-actes de la vidéo et durée de chaque acte..	32
<b>Figure 3.</b> Configuration de la vidéo expérimentale.....	33

## Liste des abréviations

### Introduction et conclusion du mémoire

CGL	Corps genouillé latéral
APP	Aire pariétale postérieure
API	Aire pariétale inférieure
AMS	Aire motrice supplémentaire
AVC	Accident vasculaire cérébral
HFA	Humphrey Field Analyzer
HH	Hémianopsie homonyme
NIHSS	National Institute of Health Stroke Scale
UFOV	Useful Field of View
AVQ	Activités de la vie quotidienne
RV	Réalité virtuelle

### Article de mémoire

HFA	Humphrey Field Analyzer
CVA	Cardiovascular accident
NIHSS	National Institute of Health Stroke Scale
HH	Homonymous Hemianopia
CERC	Comité d'éthique de la recherche clinique
ADHD	Attention deficit hyperactivity disorder
SD	Standard deviation

## Citation

*Sometimes the face we show to the world needs to be one of strength, despite the chaos we harbour beneath.*

Myrrine of Sparta (427 BCE)

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude envers mes parents, Mathieu Ferreri et Nelly Klem, pour leur soutien inconditionnel, leur amour indéfectible et leurs encouragements constants tout au long de mon parcours académique. Votre foi en moi m'a permis d'atteindre cette étape importante, et je suis profondément reconnaissant de tout ce que vous avez fait pour moi et de ce que vous m'avez permis d'accomplir. À ma chère conjointe, Emmanuelle Leblanc, tes mots d'encouragement, ta patience et ta compréhension ont été une source constante de motivation pour moi. Ton soutien sans faille m'a donné la force nécessaire pour persévérer dans les moments difficiles. Ton amour a été mon refuge et ma source d'inspiration, et je te remercie du fond du cœur pour tout ce que tu as apporté dans ma vie.

J'adresse également mes sincères remerciements à mes directeurs de maîtrise, Arnaud Saj et Elvire Vaucher, pour leur expertise, leur guidage et leurs précieux conseils tout au long de la réalisation de mon parcours de maîtrise en psychologie. Votre expertise dans le domaine m'a ouvert de nouvelles perspectives et a enrichi ma compréhension. Vos encouragements et votre disponibilité ont été d'une importance capitale, et je vous suis reconnaissant pour l'impact positif que vous avez eu sur mon travail.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers l'Université de Montréal et le corps professoral du département de psychologie pour leur engagement envers l'excellence académique et leur contribution à mon développement en tant qu'étudiant.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux et celles, comme Marc-Gabriel, qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire et à mon parcours académique. Vos encouragements, vos discussions stimulantes et votre présence ont été des éléments cruciaux de mon succès. Ma quête académique n'aurait point été possible sans le soutien et l'amour de ces personnes exceptionnelles. Merci du fond du cœur.

Avec toute ma gratitude,

Jeff Ferreri

## **Chapitre 1 : Introduction**

Le système visuel est l'un des systèmes sensoriels du corps humain les plus complexes et permet d'avoir une perception visuelle de l'environnement. Le présent chapitre fait un bref survol du système visuel en abordant l'anatomie structurelle, l'organisation anatomofonctionnelle, les déficits visuels et les méthodes d'évaluation de la vision. Cela est pertinent pour ce mémoire puisqu'une bonne connaissance du système visuel est primordiale pour la création d'un outil clinique d'évaluation visuelle (chapitre 2), et ce, même si certains concepts ne seront pas directement abordés.

### **La structure anatomique du système visuel**

Cette section portera principalement sur la structure anatomique du système visuel en abordant l'anatomie et la fonction de l'œil, les déficits visuels d'origine oculaire et du système visuel au niveau du cerveau.

L'œil est un organe complexe qui permet de percevoir les rayons lumineux, donc la scène visuelle, captée par une délicate membrane nerveuse tapissant le fond de l'œil, la rétine. Par sa structure, l'œil protège aussi la rétine de toute atteinte physique. La pupille, quant à elle, n'est pas réellement une structure en soi. Il s'agit d'un espace formé par l'iris qui permet à la lumière de passer dans l'œil afin d'atteindre la rétine. La pupille a une fonction essentielle puisqu'une quelconque obstruction de cette cavité empêche les stimuli lumineux d'atteindre la rétine, ce qui altère la perception visuelle. L'iris, pour sa part, a la fonction de contrôler l'ouverture de la pupille afin d'augmenter ou de réduire la quantité de lumière entrant dans l'œil (Bear et al., 2016; Courteix et Sion, 2018; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016), à la manière d'un diaphragme. Ainsi, la pupille se dilate à l'obscurité et se contracte à la lumière. La structure appelée « cornée », totalement transparente, recouvre le devant de l'œil afin de le protéger et de maintenir sa forme (Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016). La cornée est prolongée par la partie blanche

visible de l'œil au niveau de l'iris, nommée la sclérotique, qui a également le rôle d'englober l'œil et de le protéger. Elle permet également de maintenir la forme ronde de l'œil (Bear et al., 2016; Courteix et Sion, 2018; Remington et Goodwin, 2021). Le cristallin, pour sa part, est une structure transparente capable de changer de courbure qui permet à l'œil de changer la focalisation des rayons lumineux sur la rétine (Bear et al., 2016; Skalicky, 2016), notamment pour la vision de près. Le fait de regarder à travers une fenêtre et d'alterner entre le rebord de celle-ci et une voiture au loin est un exemple illustrant cette adaptation de la part du cristallin. Sans cette adaptation de la focalisation, la vision reste floue lorsqu'une personne change de scène visuelle. Ensuite, attachés à la sclérotique, six muscles extraoculaires permettent le mouvement de l'œil. D'abord, le muscle en haut de l'œil, nommé le muscle droit supérieur, s'occupe de lever le regard vers le haut. Les muscles droits internes et externes situés sur le côté de l'œil permettent de déplacer le regard vers la droite ou vers la gauche. Le muscle droit inférieur est, pour sa part, situé en bas de l'œil et permet de baisser le regard. Sans ces muscles, orienter efficacement le regard est impossible. La conjonctive, quant à elle, est une membrane transparente recouvrant la sclérotique afin de protéger l'intégrité de celle-ci (Bear et al., 2016; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016). Cette structure, en plus des glandes lacrymales, a la fonction de maintenir une hydratation optimale de l'œil afin d'éviter sa sécheresse. Finalement, la structure nécessaire à l'acheminement des stimulations lumineuses au cortex cérébral afin d'en permettre la perception consciente, le nerf optique, est formée des axones des cellules ganglionnaires ayant leurs dendrites au sein de la rétine qui se projettent jusqu'aux zones cérébrales, abordées plus loin dans le chapitre (Bear et al., 2016; Courteix et Sion, 2018; Prasad et Galetta, 2011; Remington et Goodwin, 2021).

Même si la pupille permet à la lumière de se rendre à la rétine et d'avoir accès à celle-ci, il est nécessaire d'utiliser un outil spécialisé afin d'observer efficacement l'intérieur de l'œil. Cet outil,

l'ophtalmoscope, est composé de lentilles et d'une lumière projetée dans l'œil de la personne pour agrandir l'image de l'intérieur de l'œil et percevoir les structures le plus clairement possible (Bear et al., 2016; Felgueiras et al., 2018; Remington et Goodwin, 2021).

De nombreuses structures internes de l'œil sont visibles à l'aide de l'ophtalmoscope. Celui-ci est utilisé très fréquemment et permet au clinicien d'évaluer la santé de l'œil du patient et de vérifier les signes d'une possible affection visuelle telle qu'un décollement de la rétine. Cet outil permet notamment de percevoir la tache aveugle, composée du nerf optique, qui représente l'endroit où celui-ci quitte l'œil afin de rejoindre le cerveau (Bear et al., 2016; Courteix et Sion, 2018; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016). Bien que le nerf optique véhicule l'information visuelle perçue par la rétine, il s'agit ironiquement du seul endroit sur la rétine où il n'y a pas de perception visuelle (Prasad et Galetta, 2011). Ensuite, le clinicien peut, avec l'ophtalmoscope, apercevoir la macula, l'endroit sur la rétine dédié à la vision centrale. Il peut également clairement voir la structure nommée la fovéa, située au centre de la macula. Cette zone minuscule de la rétine permet la création d'une perception visuelle très précise due à une plus grande concentration de cônes, un type de cellules photoréceptrices (Bear et al., 2016; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016). Cela sera expliqué plus en détail dans le présent chapitre. Finalement, le clinicien peut apercevoir les vaisseaux sanguins qui tapissent une grande partie de la rétine et la choroïde et qui permettent l'irrigation de celle-ci. D'ailleurs, il n'y a pas de vaisseaux sanguins dans la macula ou la fovéa puisque cette partie de la rétine est très importante pour la vision, et une petite obstruction, telle qu'un vaisseau sanguin, pourrait gravement impacter la perception visuelle de l'être humain (Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016).

Une autre façon de représenter les structures qui composent l'œil est la coupe transversale. En utilisant cette coupe, d'autres structures internes de l'œil deviennent apparentes. Tout d'abord, il y



a l'humeur aqueuse, un fluide transparent remplissant la chambre antérieure de l'œil entre la cornée et le cristallin. Ce fluide a pour fonction d'éviter la sécheresse de ces deux dernières structures et permet de maintenir la forme de l'œil par pression interne sur la sclérotique. Après ce fluide, il y a le cristallin qui, comme mentionné précédemment, permet à l'œil d'adapter la focalisation des rayons lumineux sur la rétine. Ce changement de focalisation est très important puisqu'en absence de cette adaptation, la vision pourrait être floue, ce qui empêche la personne de voir convenablement (Bear et al., 2016; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016). Ce point sera abordé plus en détail dans la section portant sur les déficits visuels.

Cette adaptation de courbure du cristallin est rendue possible grâce à une autre structure composée de plusieurs muscles attachés au cristallin, appelés les muscles ciliaires. Sans leur présence, le cristallin ne pourrait adapter la focalisation des images; par conséquent, la personne aurait une vision floue et aurait de la difficulté à voir l'environnement l'entourant. Il y a également un autre fluide, plus gélatineux, qui se trouve dans l'espace entre le cristallin et la rétine : l'humeur vitrée. Il s'agit encore d'un fluide transparent qui permet notamment à l'œil de garder sa forme et qui aide au maintien des structures internes de l'œil, notamment la rétine (Bear et al., 2016; Remington et Goodwin, 2021). Finalement, la rétine, une des plus importantes structures pour la création de l'image, tapisse une grande partie du fond de l'œil et contient les photorécepteurs, qui captent la lumière. Ceux-ci sont distribués afin de former la vision centrale et périphérique. Comme mentionné précédemment, c'est dans cette structure que se trouvent la macula et la fovéa, qui constituent la vision centrale. Les stimuli lumineux entrant dans l'œil sont captés par les photorécepteurs sur le fond de la rétine. Ils sont ensuite acheminés à la surface de la rétine, où sont situées les cellules ganglionnaires, dont les axones constituent le nerf optique (Bear et al., 2016; Courteix et Sion, 2018; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016). Maintenant que l'anatomie

de l'œil a été brièvement expliquée, il sera question d'aborder la formation de l'image par le système sensoriel de la vue.

### *Anatomie microscopique de la rétine*

La rétine tapisse le fond de l'œil et est principalement la zone composée des photorécepteurs permettant de recevoir les stimuli lumineux traversant l'œil. Toutefois, la rétine est elle-même composée de nombreuses cellules microscopiques participant à la perception visuelle. Tout d'abord, les photorécepteurs sont les seules cellules qui peuvent transduire la lumière dans le système visuel (Bear et al., 2016; Remington et Goodwin, 2021). Il y a deux types de photorécepteurs qui ne sont pas distribués également au sein de la rétine. Premièrement, les bâtonnets sont les photorécepteurs les plus communs dans la rétine, très sensibles à l'intensité lumineuse. Ils forment principalement la perception nécessitant moins de lumière, mais elle est moins détaillée à cause de la forte convergence de nombreux photorécepteurs sur une cellule ganglionnaire. Ils ne permettent pas de voir les couleurs et contribuent majoritairement à la vision dans l'obscurité. Les bâtonnets sont d'ailleurs responsables de la vision périphérique et se situent en dehors de la fovéa. Deuxièmement, les cônes, les photorécepteurs les moins communs dans la rétine, contribuent à la vision centrale où une bonne acuité visuelle est nécessaire. Contrairement aux bâtonnets, les cônes sont moins sensibles à la lumière, plutôt aux couleurs. La majorité de ces cellules se situent dans la fovéa et elles se trouvent en plus petite quantité dans la macula. Elles requièrent une plus grande quantité de lumière afin d'être activées. La précision de la vision centrale tient au fait que les cônes sont liés à moins de cellules ganglionnaires que les bâtonnets (Bear et al., 2016; Courteix et Sion, 2018; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016).

Une fois reçue par les photorécepteurs, la lumière est convertie en un signal nerveux qui est acheminé aux neurones bipolaires. Chaque neurone bipolaire reçoit l'information de plusieurs

photorécepteurs. Cet influx nerveux est intégré dans le neurone bipolaire puis transmis aux cellules ganglionnaires. Les axones des cellules ganglionnaires forment le nerf optique, qui achemine l'influx nerveux sous forme de potentiel d'action et envoie l'information visuelle au cortex cérébral. Deux autres cellules sont également impliquées dans l'acheminement de l'information visuelle. Il y a tout d'abord les cellules horizontales, qui se trouvent proches des neurones bipolaires et des photorécepteurs. Elles permettent en fait l'activation des groupes de neurones bipolaires se trouvant proche du photorécepteur ayant reçu le stimulus lumineux. Ensuite, les cellules amacrines, dont la fonction ressemble à celles des cellules horizontales, se trouvent proches des cellules ganglionnaires et des neurones bipolaires. Elles permettent d'activer plusieurs cellules ganglionnaires en stimulant des neurones bipolaires à proximité du neurone initialement activé (Bear et al., 2016; Courteix et Sion, 2018; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016).

#### *Formation de l'image par l'œil*

Afin de former l'image qui sera perçue, plusieurs processus complexes s'enclenchent pour permettre la création d'une image par l'œil en utilisant les stimuli visuels ayant atteint la rétine. La lumière qui pénètre dans l'œil ne traverse pas une surface plane, mais plutôt une surface courbe, puisque l'œil est rond. Cette lumière n'est pas perçue en ligne droite : elle est déviée par la forme de la cornée et du cristallin. C'est ce qui est appelé la réfraction, primordiale pour une bonne vision. D'ailleurs, afin de compenser la réfraction de la lumière entrant dans l'œil, d'autres structures, dont le cristallin et les muscles ciliaires, doivent agir en concert afin de permettre la création efficace de l'image dans le système visuel. De plus, s'ajoutant à la réfraction de la cornée, la lumière doit également traverser plusieurs couches de fluides gélatineux transparents, ce qui réduit de façon importante la vitesse de la lumière dans l'œil. De plus, l'angle de ce stimulus lumineux est également affecté par ce changement de matière et la courbure de la cornée. De ce fait, la lumière

qui traverse l'œil au centre de la cornée est déviée vers l'arrière de l'œil pour atteindre la rétine, se trouvant au fond de l'œil. Cependant, lorsque la lumière atteint la cornée avec un angle différent, elle est envoyée au fond de l'œil, mais dans des zones de la rétine où la concentration de photorécepteurs n'est pas la plus grande, ce qui affecte ainsi la création d'une bonne image visuelle (Bear et al., 2016; Mohaghegh et al., 2019; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016). La distance qui vient séparer le point de convergence et la surface de réfraction se nomme la distance focale, que l'on calcule en utilisant une unité de mesure appelée la dioptrie (D). C'est cette unité de mesure qui permet au clinicien d'établir le niveau de correction nécessaire pour une personne atteinte un trouble de focalisation (Bear et al., 2016; Saw et al., 1996).

Même si la cornée permet une majeure partie de la réfraction de l'image, le cristallin y apporte également sa contribution. En effet, le cristallin n'est pas une structure fixe et modifie sa forme, à l'aide des muscles ciliaires, afin de permettre à la lumière d'être envoyée au bon endroit sur la rétine. Ce processus permettant la formation d'une image claire est appelé « accommodation ». Selon la distance séparant la personne d'un stimulus, le cristallin doit fournir une réfraction plus ou moins forte. Si cette même personne présente des problèmes d'accommodation, cela peut causer des troubles de la vue très communs au sein de la société. Un exemple de ce type de trouble est l'hypermétropie, où l'image est floue en raison de la lumière entrant dans l'œil qui n'est pas dirigée au bon endroit. En effet, la lumière est envoyée au-delà de la rétine, ce qui l'empêche d'atteindre convenablement les photorécepteurs (Bear et al., 2016; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016). Pour corriger ce défaut, les cliniciens prescrivent des lentilles correctrices afin de permettre aux stimuli lumineux d'atteindre la rétine au bon endroit et de compenser le manque d'accommodation du cristallin (Bear et al., 2016).

La pupille contribue également à la formation de l'image par un processus nommé le réflexe pupillaire. Celui-ci se caractérise par un changement du diamètre de la pupille en fonction du changement d'intensité de la lumière ambiante. Ce réflexe permet donc, par exemple, de réduire l'entrée de lumière lorsqu'une personne regarde le soleil afin d'éviter une saturation des photorécepteurs. Ce réflexe est d'ailleurs contrôlé par les neurones du tronc cérébral qui permettent une réaction très rapide de la pupille. C'est aussi ce qui explique que si une personne se retrouve dans l'obscurité, le diamètre de la pupille augmente afin de diminuer la profondeur de champ. Cela permet ensuite à cette personne d'avoir une plus grande quantité de lumière atteignant la rétine et amène la personne à voir quelques formes floues (Bear et al., 2016; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016).

### *Le champ visuel*

Toutes les informations visuelles acheminées jusqu'à la rétine vont permettre de former une image pour chaque œil et permettront de former le champ visuel. Le champ visuel est l'étendue spatiale sur laquelle le système visuel est sensible à la lumière. L'être humain est doté d'une rétine par œil donc il y a un champ visuel monoculaire qui couvre environ 160° horizontalement et 100° verticalement. Pour sa part, le champ visuel binoculaire, couvrant les deux yeux, couvre plutôt de 180 à 200°. Cette façon de calculer le champ visuel se fait en mesurant l'angle visuel sous-tendu à l'œil. Toutefois, lorsque l'on mesure la distance angulaire entre le point central et la périphérie, il sera alors question de l'excentricité du champ visuel (Lennie et Van Hemel, 2002; Skalicky, 2016). En raison de la façon dont est acheminée la lumière dans l'œil (réfraction à travers plusieurs lentilles), la rétine nasale perçoit le champ visuel temporal, et la rétine temporale perçoit le champ visuel nasal. En d'autres mots, l'image du champ visuel gauche est envoyée sur la partie droite de la rétine et l'inverse pour le champ visuel droit. De plus, puisqu'il est géré par les deux yeux, une

grande partie du champ visuel central est perçue par les deux yeux afin de former la vision binoculaire qui sera très utile pour la formation d'une vision en trois dimensions et d'avoir une bonne perception de la profondeur de champ (Bear et al., 2016; Courteix et Sion, 2018; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016).

L'acuité visuelle est un phénomène important permettant de juger de la qualité d'une information visuelle. En effet, l'acuité visuelle concerne la netteté de l'information reçue et la capacité de voir les détails d'un environnement (Bear et al., 2016; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016). Comme il a été possible de voir précédemment, de nombreuses structures permettent d'améliorer la qualité de l'information visuelle reçue. Un exemple serait le cristallin qui, par l'accommodation, permet d'améliorer l'acuité visuelle. C'est pour cette raison que si une ou plusieurs de ces structures sont déficientes, l'acuité visuelle diminue et la personne ne voit plus clairement. L'acuité visuelle dépend aussi de l'endroit sur la rétine où est originaire la stimulation des photorécepteurs. Si la lumière a été perçue par la rétine périphérique hors de la fovéa, l'acuité visuelle sera moins bonne que si la lumière avait atteint la fovéa où la convergence des photorécepteurs sur les cellules ganglionnaires est moins grande (Bear et al., 2016; Skalicky, 2016).

### *Le chemin de l'information visuelle*

Afin de faire un récapitulatif du chemin pris par la lumière afin d'être transformé en information visuelle quittant l'œil pour se rendre au cerveau, il faut commencer par la cornée qui permet la convergence de la lumière vers la rétine. La lumière traverse alors la pupille et passe à travers un ensemble de fluides ou de structures transparentes. Les rayons lumineux passent donc dans le cristallin qui s'ajuste afin de les envoyer sur la rétine. Lorsque la lumière atteint la rétine au fond de l'œil, elle active les photorécepteurs qui sont sensibles à la lumière. Ceux-ci activent alors les neurones bipolaires qui acheminent, avec l'aide des cellules horizontales et amacrines, le signal

jusqu'aux cellules ganglionnaires. Lorsque le signal est reçu par les cellules ganglionnaires, elles sont rapidement acheminées jusqu'aux axones du nerf optique. Le signal sera ensuite envoyé au cerveau par la voie centrale de la vision (Bear et al., 2016; Courteix et Sion, 2018; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016).

### **Organisation anatomofonctionnelle de la voie visuelle centrale**

L'organisation anatomofonctionnelle de la voie visuelle centrale est le chemin qu'emprunte l'information visuelle provenant de la rétine jusqu'au cortex cérébral. C'est d'ailleurs cette voie qui permettra à la personne de prendre conscience de l'information visuelle. Les entrées visuelles empruntent le nerf optique, constituant les projections rétinofoves qui se projettent jusqu'au tronc cérébral. Les deux nerfs optiques se rejoignent alors dans une structure nommée le chiasma optique pour former les tractus optiques, qui se projettent vers le cortex cérébral, via le thalamus. C'est au chiasma optique que les fibres provenant de la rétine nasale se projettent dans l'hémisphère opposé (controlatéral) par un processus de décussation partielle. L'information visuelle provenant de la rétine nasale droite prendra donc le tractus optique gauche et l'inverse pour l'information visuelle provenant de la rétine nasale gauche. Contrairement à la rétine nasale, les fibres provenant de la rétine temporale droite ou gauche ne croisent pas et se projettent donc dans l'hémisphère du même côté que l'œil (ipsilatéral). En raison de ce double croisement, toute l'information visuelle qui est perçue sur l'hémichamp visuel gauche sera acheminée dans l'hémisphère cérébral droit (Bear et al., 2016; Prasad et Galetta, 2011; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016). En empruntant le tractus optique, l'information visuelle établit aussi des connexions avec l'hypothalamus, le mésencéphale et finalement avec le corps genouillé latéral (CGL). L'information visuelle qui sort du CGL emprunte des axones appelés les radiations optiques qui acheminent le signal jusqu'au cortex visuel primaire aussi appelé V1. En ce qui concerne les autres

cibles du tractus optique, certaines d'entre elles se dirigent vers l'hypothalamus où elles atteindront les noyaux suprachiasmatiques. Selon des études, ces projections jouent un rôle important dans la synchronisation du sommeil et de l'éveil ou encore du cycle d'alternance jour et nuit. Pour leur part, les quelques projections qui atteignent le mésencéphale et plus précisément le noyau D'Edinger-Westphal participent plutôt au contrôle de la pupille et à l'orientation du regard afin d'amener les stimuli lumineux dans la fovéa où la vision est plus claire et nette (Bear et al., 2016; Chokron et al., 2010; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016).

### *Le système dorsal et ventral*

L'information visuelle emprunte deux voies corticales distinctes qui travaillent en concert afin de permettre d'avoir une perception visuelle complète (Bear et al., 2016; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016). Premièrement, il y a la voie dorsale qui est très importante pour la localisation spatiale, la détection des mouvements et la réalisation d'actions coordonnées. Cette voie est donc cruciale dans des situations telles que de ranger des verres dans une armoire de cuisine de façon efficace et fluide. Afin d'accomplir cela, l'information visuelle est principalement acheminée à l'aire V1, l'aire V2, l'aire V3, l'aire pariétale postérieure (APP), l'aire pariétale inférieure (API) et l'aire motrice supplémentaire (AMS). Deuxièmement, il y a la voie ventrale qui a pour fonction de permettre l'identification et la reconnaissance d'objets par l'interprétation des caractéristiques visuelles de ceux-ci. Si une personne voit son ami qui se dirige vers elle, c'est grâce à cette voie qu'elle reconnaîtra le visage de son ami. Comme pour la voie dorsale, les informations visuelles sont acheminées à l'aire V1, à l'aire V2 et à l'aire V3. Toutefois, cette information sera également acheminée à l'aire fusiforme s'occupant de la reconnaissance des visages. Le système de la réception et de la perception visuelle est très complexe et implique un grand nombre de structures. De ce fait, il n'est pas rare de constater la présence de déficit visuel



chez certaines personnes empêchant une perception visuelle complète (Bear et al., 2016; Courteix et Sion, 2018; Prasad et Galetta, 2011; Remington et Goodwin, 2021; Skalicky, 2016).

### **Les déficits visuels**

Le système visuel est très complexe et une légère altération de son fonctionnement est suffisante pour occasionner un vaste éventail de troubles visuels qui affectent la vision selon la localisation et la gravité de la lésion.

Il y a tout d'abord les problèmes d'acuité visuelle qui concernent les troubles impliquant une vision manquant de clarté et de détails. Les problèmes d'acuité visuelle les plus communs sont la myopie, l'hypermétropie, l'astigmatisme et la presbytie. Tout d'abord, en ce qui concerne la myopie, la lumière ne se rendra pas jusqu'à la rétine. La personne ne rencontrera donc aucune difficulté à voir de proche, mais aura une vision floue de ce qui se trouve à une distance plus éloignée. Ensuite, l'hypermétropie survient lorsque la lumière est focalisée à l'arrière de la rétine. La vision sera donc adéquate pour ce qui est plus loin, mais sera floue pour ce qui est proche. Pour sa part, l'astigmatisme est occasionné par une déformation du cristallin ou de la cornée, ce qui entraîne une vision floue autant de loin que de proche. Finalement, la presbytie est un trouble d'acuité visuelle très commun chez les personnes âgées et implique une difficulté de focalisation de l'œil pour tout ce qui est proche. Un autre déficit visuel commun est le strabisme qui est caractérisé par un désalignement des deux yeux dû à une faiblesse ou une paralysie des muscles extraoculaires. Typiquement, une personne atteinte de strabisme peut avoir une vision embrouillée, avoir des problèmes de coordination et des problèmes de perception de la profondeur de champ (Bear et al., 2016; Majumdar et Tripathy, 2020; Morgan et al., 2012; Read et al., 2014; Sand et al., 2013; Tomita et al., 2012).

Les personnes ayant une atteinte visuelle peuvent également avoir un déficit de leur champ visuel. Ce type d'atteinte peut d'ailleurs avoir, pour cause, un trouble lié à la rétine, un accident vasculaire cérébral (AVC) ou encore une lésion corticale. En effet, toute entrave du signal de l'information visuelle entraînera un déficit du champ visuel. Toutefois, il est important de noter qu'il peut y avoir une lésion partielle ou complète du champ visuel selon la localisation de la lésion. De plus, comme abordé précédemment, l'information visuelle croise partiellement au niveau du chiasma optique. Cela signifie que si le nerf optique de l'œil gauche est partiellement sectionné, la personne aura une amputation d'une partie du champ visuel de l'œil gauche. Toutefois, si la lésion est au niveau du cortex visuel primaire de l'hémisphère cérébral gauche, cela signifie que la personne aura une amputation du champ visuel de la rétine temporale de l'œil gauche et de la rétine nasale de l'œil droit (Chokron et al., 2010). D'une façon générale, une personne ayant un champ visuel déficitaire se déplacera difficilement dans son environnement, en percutant facilement des objets ou des personnes, et portera difficilement attention au champ visuel amputé durant les premières semaines suivant la lésion. Cela peut d'ailleurs occasionner des difficultés à prendre soin de soi et à faire des tâches de la vie quotidienne telles que préparer un repas ou regarder la télévision. Un trouble visuel souvent associé au déficit du champ visuel est l'hémianopsie qui survient majoritairement à la suite d'un accident vasculaire cérébral (AVC). Ce trouble visuel est caractérisé par une cécité partielle du champ visuel droit ou gauche des deux yeux selon l'emplacement de la lésion. Cela peut entraîner des conséquences importantes sur la vie de la personne et limiter sa participation sociale (Chokron et al., 2010; Colwell et al., 2022; Costela et al., 2018; Goodwin, 2014; Rowe et al., 2009).

### *Les déficits visuels de naissance*

Les déficits visuels de naissance (congénitaux) sont divisés en trois périodes selon leur moment d'apparition : prénatal, périnatal et postnatal. Les déficits visuels débutant au stade prénatal

(période allant du stade embryonnaire jusqu'à la naissance de l'enfant) résultent d'anomalies génétiques tels que la malformation congénitale du corps vitré, le glaucome infantile, la cataracte congénitale ou des anomalies ou lésions au niveau du cortex cérébral (Chokron et al., 2010; Gogate et al., 2011). Les déficits débutant au stade périnatal (période allant de la naissance jusqu'à la 7<sup>e</sup> semaine de vie) sont majoritairement liés à une naissance prématurée de l'enfant. La supplémentation en oxygène, qui aide à sauver un enfant prématuré, peut également lui occasionner une cécité si le niveau n'est pas suffisamment contrôlé. Cela est peut-être moins un problème dans les pays plus riches, mais un grave problème dans les pays en voie de développement (Gogate et al., 2011). Les enfants sont également à risque d'avoir une lésion du nerf optique ou une lésion du cortex visuel. Lorsqu'il y a une lésion corticale, l'emplacement de la lésion va influencer les symptômes vécus. Un enfant pourrait avoir une cécité corticale où l'information visuelle est perçue par la rétine, mais ne peut pas être interprétée par le cortex cérébral. Toutefois, si une partie de l'information visuelle parvient à la conscience, il pourrait plutôt y avoir la présence d'un scotome qui se caractérise par la perte d'une partie du champ visuel. Certaines personnes peuvent également avoir une vision tubulaire où la vision périphérique est amputée, mais la vision centrale est intacte. Cela peut être dû à de multiples facteurs tels qu'une naissance prématurée ou une asphyxie fœtale. Pour les déficits ayant leur début au stade postnatal, ceux-ci concernent la période allant de la 7<sup>e</sup> semaine de naissance jusqu'au 6<sup>e</sup> mois de vie de l'enfant. Il y a très peu de troubles visuels associés à cette période, mais il est souvent mentionné de la kératomalacie représentant une carence en vitamine A chez le nouveau-né. D'autres causes, moins communes, peuvent survenir chez l'enfant telles qu'un trauma, la varicelle ou un trachome (infection de l'œil), mais surviennent très rarement (Chen et al., 2023; Chokron et al., 2010; Gogate et al., 2011).

## **Les méthodes d'évaluation du champ visuel**

Les différents types de déficits visuels sont très nombreux et varient grandement quant à leur impact respectif sur la vision. Il devient donc important d'avoir des méthodes ou outils pouvant être utilisés afin d'évaluer la vision. Les méthodes qui seront mentionnées ici ne représentent aucunement une liste complète de ce qui est offert aux patients, mais plutôt une liste de ce qui se retrouve habituellement en clinique pour les évaluations du champ visuel.

Tout d'abord, avant de faire passer des tests plus complexes et approfondis, un professionnel de la santé fera un test de confrontation chez une personne suspectée d'une atteinte visuelle. Afin de réaliser cela, le clinicien va généralement s'asseoir devant le patient, lui cache un œil et bouge son doigt dans le champ visuel du patient. Le clinicien va regarder le suivi fait par l'œil de la personne et demandera à celle-ci d'exprimer si elle voit ou non le doigt du clinicien en gardant le regard fixe. Cette procédure, bien que très simple, permet d'évaluer le comportement de l'œil et la capacité de détection de la personne afin de constater la présence d'une quelconque anomalie. Si par exemple une personne suit le doigt du clinicien, mais que ce suivi s'arrête lorsque le doigt se trouve dans le champ visuel temporal droit, cela pourrait indiquer une perte de champ visuel. Ce type de méthode est très important puisque la rapidité d'un diagnostic et de la prise en charge est un des facteurs qui influencera grandement la récupération du patient (AARON et al., 2005; Hanna et al., 2017; Saionz et al., 2022).

Si toutefois le test de confrontation semble indiquer un déficit visuel, des tests plus complexes seront effectués. Le plus communément utilisé est le Humphrey Field Analyser (HFA). Le HFA est un système informatique qui permet de détecter la perte de fixation et la difficulté de détection de stimuli à l'aide de stimuli lumineux variant en intensité. Cet appareil est caractérisé par une apparence proche de celle d'un ordinateur de table. Il y a une mentonnière sur le côté de l'appareil

qui permet à la personne testée de maintenir le regard sur le point de fixation. Il y a ensuite un écran sur l'autre côté afin de permettre au clinicien de voir en temps réel les résultats de l'évaluation visuelle. Il y a également, fixé à la machine, un petit bouton-poussoir qui est donné au participant afin que celui-ci puisse indiquer lorsqu'il détecte un stimulus lumineux. Cette méthode est la plus utilisée dans le domaine de la clinique et est utilisée dans l'analyse de différents déficits visuels impliquant une amputation du champ visuel. L'hémianopsie ou le glaucome en sont un exemple. Cette méthode d'évaluation est la plus utilisée puisqu'elle possède d'importantes qualités psychométriques telles qu'une bonne fidélité test-retest ainsi qu'une bonne précision dans le diagnostic de troubles visuels. Ce test permet également d'adapter la procédure au besoin du patient par le biais de différents modes. Toutefois, le système du HFA est très coûteux et demande un entretien régulier. Ce type d'équipement requiert aussi la présence d'un clinicien formé à utiliser une telle procédure. Il s'agit également d'une procédure assez longue à administrer puisqu'elle requiert environ 10-20 minutes par œil. Cela impose donc que le patient garde une attention soutenue pendant une période assez longue. Ceci n'est peut-être pas un problème pour certaines personnes, mais peut aisément le devenir pour une personne ayant un problème d'attention ou une condition limitant la capacité de concentration. Dans le cas d'une hémianopsie homonyme (HH), celle-ci est très souvent occasionnée par un AVC. Cela peut donc engendrer d'importantes difficultés de concentration qui entraveraient la capacité de telles personnes à réaliser adéquatement le HFA ou à le réaliser rapidement. Le test n'étant pas valide si la fixation d'un point central est mauvaise, il est difficilement applicable chez les jeunes enfants ou les adultes avec un problème de fixation. Cependant, dans le cas d'un déficit visuel résultant d'un AVC, il est très important d'avoir très rapidement un diagnostic afin de prodiguer les soins ou les services de réadaptation appropriés (Ichhpujani et al., 2021; Lennie et Van Hemel, 2002; Skalicky, 2016).

Pour sa part, l'appareil nommé Goldmann Manual Perimeter est un test similaire au HFA, mais utilisant une périmétrie manuelle afin de tester le champ visuel. Cela signifie que c'est le clinicien qui doit choisir l'emplacement et l'intensité lumineuse des stimuli lumineux. Il doit également adapter la procédure selon le type de problème visuel vécu par la personne. D'ailleurs, il est important de noter que cet outil permet de présenter à la personne des stimuli en mouvement et programmés par le clinicien. Celui-ci doit donc être formé pour utiliser cet équipement adéquatement. Tout comme le HFA, le Goldmann est caractérisé par une apparence rappelant un ordinateur de table. Il y a une mentonnière sur le côté de l'appareil qui permet à la personne testée de maintenir le regard sur le point de fixation. Il y a ensuite un écran sur l'autre côté afin de permettre au clinicien de voir en temps réel les résultats de l'évaluation visuelle. Il y a également, fixé à la machine, un bouton-poussoir qui est donné au participant afin que celui-ci puisse indiquer lorsqu'il détecte un stimulus lumineux (Beck et al., 1985; Hashimoto et al., 2017; Lennie et Van Hemel, 2002; Nowomiejska et al., 2005).

En ce qui concerne l'Octopus 900, c'est un appareil plus récent qui est le successeur du Goldmann Manual Perimeter depuis 2007. Il est très similaire à celui-ci, mais diffère du fait que l'Octopus 900 permet d'utiliser des paramètres automatiques et des paramètres manuels. D'ailleurs, les stimuli présentés peuvent être statiques ou en mouvement. Cela signifie donc que le clinicien peut choisir entre l'administration d'un programme automatique ou un programme manuel où il peut choisir l'emplacement ou le mouvement des stimuli. Toutefois, le temps de passation est très similaire au Goldmann (environ 12 minutes). L'apparence physique de l'appareil diffère de celle du Goldmann et du HFA. En effet, il s'agit d'un plus petit appareil assez rond ayant une mentonnière pour que le participant puisse y apposer son menton afin de garder la tête fixe. Il n'y a cependant aucun écran directement sur la machine, car celui-ci est externe à la machine. Il y a

aussi un bouton-poussoir attaché à l'Octopus pour que le participant puisse peser lorsqu'il perçoit un stimulus (Hashimoto et al., 2017; Lennie et Van Hemel, 2002; Rowe et Rowlands, 2014).

### *Les méthodes d'évaluation de la perception visuelle*

L'évaluation de la perception visuelle permet de mesurer la capacité d'une personne à percevoir des stimuli dans des contextes différents, indépendamment d'une condition physique apparente. Ces évaluations ne sont d'ailleurs pas toujours automatisées et peuvent grandement varier dans leur procédure et dans leur présentation. Par exemple, le National Institute of Health Stroke Scale (NIHSS) est un questionnaire administré par un clinicien qui le remplira selon ses observations sur la condition du patient. Le test Useful Field of View (UFOV) a été développé par Ball et al. 1988 et est administré sur un ordinateur. L'objectif de celui-ci est de venir mesurer la vitesse de détection de stimuli, l'attention divisée et l'attention sélective à l'aide de 4 sous-tests. Le premier sous-test analyse l'attention soutenue, demande au participant d'identifier le bon stimulus entre deux choix et mesure la rapidité du choix effectué. Le deuxième sous-test mesure l'attention divisée en ajoutant, à la tâche du premier sous-test, un autre stimulus à droite ou à gauche. Le participant devra donc identifier les stimuli présentés dans le centre de l'écran et dire la localisation de l'autre stimulus. Le troisième sous-test demande au participant de localiser trois stimuli qui sont présentés dans la périphérie en même temps que 47 distracteurs identiques. Finalement, le quatrième sous-test est similaire au troisième sous-test, mais présente deux stimuli dans le centre de l'écran. Le participant doit alors indiquer si ceux-ci sont identiques ou différents. Le UFOV est généralement utilisé pour prédire les compétences de conduite et pour évaluer l'habileté de réaliser des activités de la vie quotidienne chez les aînés. D'ailleurs, même s'il s'agit surtout d'un outil d'évaluation, de nombreuses études ont démontré l'utilisation du UFOV pour entraîner et développer les compétences liées aux activités quotidiennes chez les aînés (Aust et Edwards, 2016; Ball et Owsley,

1993; Howren et al., 2014; Wolfe et al., 2017). En ce qui concerne les caractéristiques physiques de cet outil, celui-ci est présenté sur un moniteur d'ordinateur standard où le participant est assis devant et maintient un point de fixation au centre de l'écran (Aust et Edwards, 2016).

### **L'importance de l'évaluation visuelle sur la santé psychologique**

Les personnes vivant avec un déficit visuel ont plus de risque de souffrir de troubles de santé mentale. En effet, comme mentionné par un grand nombre d'études, les activités de la vie quotidienne (AVQ) se voient affectées par un déficit visuel. L'importance de ces impacts dépend d'ailleurs de la gravité de l'atteinte (Maaswinkel et al., 2020). Si on prend l'exemple de l'hémianopsie, ces personnes ont la moitié de leur champ visuel amputé, ce qui affecte grandement leur qualité de vie. Pour beaucoup de gens vivant avec un déficit visuel, le simple fait de s'habiller, de marcher dans la rue ou de préparer à manger peut entraîner des difficultés supplémentaires. Ces nombreux impacts sur les AVQ peuvent amener la personne à s'isoler davantage surtout si leur réseau social est déjà restreint. Puisqu'ils perdent parfois le droit de conduire et qu'il peut être difficile de naviguer dans une foule, certains éviteront certains déplacements, ce qui pourrait contribuer à une réduction de leur qualité de vie. Il est également commun de voir des personnes ayant un déficit visuel présenter une diminution de leur estime de soi. Cela peut être dû à de nombreux facteurs tels qu'un sentiment de perte de contrôle due à une perte d'autonomie (Costela et al., 2018; Fonteh et al., 2022). Toutefois, il faut souligner que les impacts sur la santé mentale de la personne dépendent également de la personne elle-même. En effet, si la personne accepte son déficit visuel, qu'elle est proactive dans le développement de méthodes compensatoires et qu'elle possède un soutien de la part de ses proches, celle-ci pourrait maintenir une bonne santé mentale malgré tout. Il est d'ailleurs possible de constater que de nombreuses études notent une hausse



fréquente de l'anxiété et de la dépression chez les personnes atteintes d'un déficit visuel (Fonteh et al., 2022).

Toutefois, si la personne est prise en charge rapidement par le secteur clinique, une récupération ou une compensation est tout à fait possible. Afin de bénéficier le plus à cette personne, ces interventions doivent cependant être faites rapidement et prendre en compte les difficultés vécues par celles-ci (Fonteh et al., 2022). Il est rapporté que l'évaluation visuelle de certaines personnes ayant vécu un trauma peut parfois prendre beaucoup de temps et force parfois les cliniciens à agir en dehors de la fenêtre de traitement idéale (Phansalkar et al., 2022). Il est cependant important de diagnostiquer rapidement la personne afin de commencer la réadaptation ou l'apprentissage des techniques de compensation. Les personnes ayant été vues rapidement connaissent souvent une plus grande amélioration de leurs symptômes. Si on prend le cas des personnes ayant eu un AVC, ceux-ci ont besoin de rapidement faire de la réadaptation afin de stimuler la plasticité cérébrale qui contribue à restaurer certains des réseaux neuronaux lésés. Si le diagnostic prend trop de temps à être fait, cette période de récupération pourrait passer et la personne aurait alors plus de misère à retrouver certaines fonctions et le pronostic serait alors moins favorable.

### **Un problème de consensus dans les méthodes utilisées**

Au sein de la littérature, il semble manquer de consensus face à la méthode de prédilection à utiliser lorsqu'un patient montre des signes de troubles visuels. D'ailleurs, d'un milieu clinique à l'autre, il semble manquer de constance dans les méthodes utilisées. Cela est dû à plusieurs facteurs qui peuvent influencer le choix du test utilisé par les cliniciens. Tout d'abord, il y a le manque de personnel qualifié pour administrer certains des tests tel que le HFA. Ces méthodes d'évaluation, comportant des procédures plus spécialisées, demandent que le clinicien ait suivi une formation à cet égard. Toutefois, certains milieux de clinique ont un manque de personnel et ne peuvent gérer

toutes les demandes d'évaluations. De ce fait, ils vont souvent opter pour des tests plus rapides et faciles à administrer. Le NIHSS en est un exemple parfait. Cependant, alors que celui-ci est facile à administrer, il peut comporter certains désavantages tels qu'un manque de précision puisqu'il n'évalue pas l'ensemble du champ visuel et un manque de sensibilité pour détecter un trouble visuel (Colwell et al., 2022; Hanna et al., 2017; Rowe et al., 2019; Saxena et al., 2020).

### **La validation d'un nouvel outil**

Afin d'apporter une solution aux problèmes évoqués précédemment, il est apparu intéressant de développer et valider un nouvel outil d'évaluation avec une étude de type « validation d'outil ». Le premier objectif de celle-ci sera de développer et de valider un outil d'évaluation innovant, ludique et polyvalent sous la forme d'une vidéo d'animation. Celle-ci sera conçue pour mesurer l'étendue du champ visuel central et périphérique chez les adultes âgés entre 18 et 75 ans ayant une vision saine, en vue d'une utilisation ultérieure par les cliniciens dans le cadre du dépistage de l'HH. Le deuxième objectif sera d'établir une norme à partir des données recueillies, tout en vérifiant que toutes les animations sont vues correctement. Le troisième objectif sera d'évaluer le niveau d'appréciation de la tâche par les participants.

Selon nos prévisions quant au premier et deuxième objectif qui ont été mentionnés précédemment, l'équipe de recherche créera une vidéo originale et où la norme, établie à partir des données, devrait correspondre à une distribution asymétrique négative, tel qu'on la trouve généralement dans les tests de dépistage, avec un score en plateau, dans lequel de nombreux participants atteignent le score maximal possible. Le taux de détection total du stimulus sera alors d'au moins 95 %, ce qui permettra de discerner les individus dont le taux de détection est anormal et, par la suite, d'identifier les patients qui pourraient avoir besoin d'une évaluation plus approfondie du champ visuel. Ensuite, en ce qui concerne le troisième objectif, le visionnement de

la vidéo d'animation ne doit pas être perçue comme une tâche désagréable ou fastidieuse, tel que l'indiquera notre formulaire d'appréciation de la tâche. Ces objectifs feront donc l'objet d'une étude de validation qui constituera le Chapitre 2.

## **Chapitre 2 : Article de maîtrise**

*Prêt pour soumission au journal Frontiers : Neuropsychological testing: from psychometrics to clinical neuropsychology*

## Rôle des auteurs

**Jeff Ferreri** est l'étudiant responsable de l'étude sous la supervision d'Arnaud Saj, PhD, du département de psychologie et d'Elvire Vaucher, PhD, du département d'optométrie. Il avait pour tâche de participer à la conceptualisation de l'étude et de faire le lien avec le comité d'éthique afin d'assurer l'approbation du projet. Il avait également pour tâche de recruter les participants de l'étude et de conduire les passations avec ceux-ci. Il devait aussi collecter les données ainsi que les analyser afin de réaliser les diverses analyses statistiques. Il a eu la charge de l'écriture du manuscrit et la révision de celui-ci.

**Arnaud Saj** avait pour tâche de superviser l'étudiant Jeff Ferreri lors des diverses étapes impliquées dans la réalisation de la maîtrise de l'étudiant. Il avait également pour tâche de participer à la conception de l'étude en y apportant son importante expérience dans le domaine de la neuropsychologie. Il avait aussi la tâche de réviser les divers documents fournis par l'étudiant afin de le corriger ou d'apporter des suggestions quant à la qualité de ces documents (manuscrits, demandes de bourses, demande éthique, Texte du mémoire). Puisqu'il s'agit du superviseur principal de l'étudiant, il avait aussi de nombreuses tâches administratives liées au suivi du dossier académique de l'étudiant.

**Elvire Vaucher** avait pour tâche de superviser l'étudiant Jeff Ferreri lors des diverses étapes impliquées dans la réalisation de la maîtrise de l'étudiant. Elle avait également pour tâche de participer à la conception de l'étude en y apportant son importante expérience dans le domaine de l'optométrie. Elle avait aussi la tâche de réviser les divers documents fournis par l'étudiant afin de le corriger ou d'apporter des suggestions quant à la qualité de ces documents (manuscrits, demandes de bourses, demande éthique, Texte du mémoire).

**Frédérique Poncet** a eu pour rôle de participer à la conception de l'étude faite par l'étudiant Jeff Ferreri en y apportant son expertise du domaine de l'ergothérapie. Elle a aussi participé à la révision des divers manuscrits fournis par l'étudiant.

**Philippe Vaucher** a eu pour rôle de créer les animations utilisées dans la vidéo de l'étude de l'étudiant Jeff Ferreri. Il a également participé à la conceptualisation de l'étude et a apporté des suggestions au manuscrit fourni par l'étudiant.

**Aarlenne Khan** a eu pour rôle de former l'étudiant Jeff Ferreri à l'utilisation d'un système d'*eye-tracker* et à la création d'un code pour l'interprétation des données collectées sur l'application Matlab. Elle a également eu pour rôle de réviser et d'apporter des suggestions aux manuscrits soumis par l'étudiant.

**Sacha Assadourian** a eu pour rôle d'assister l'étudiant Jeff Ferreri dans la passation de certains participants et de réaliser certaines analyses statistiques. Il avait également pour rôle de participer à l'écriture du manuscrit ainsi qu'à la révision de celui-ci.

# **Animation Video for the Detection of Visual Field Defects in Homonymous Hemianopia**

Jeff Ferreri<sup>a,b,f</sup>, Sacha Assadourian<sup>a</sup>, Frédérique Poncet<sup>d</sup>, Philippe Vaucher<sup>c</sup>, Aarlenne, Z., Khan<sup>e</sup>, Arnaud Saj<sup>a</sup>, and Elvire Vaucher<sup>b</sup>

<sup>1</sup> Department of Psychology, Faculty of Art and Science, Université de Montréal, Montreal, QC, Canada, H3C 3J7;

<sup>2</sup> Laboratoire de Neurobiologie de la Cognition Visuelle, École d'Optométrie, Université de Montréal, Montreal, QC, Canada, H3C 3J7;

<sup>3</sup> Department of Creation and New Media, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Montreal, QC, Canada, H3A 1K2

<sup>4</sup> Centre de réadaptation Lethbridge-Layton-Mackay of the CIUSSS du Centre-Ouest-de l'île de Montréal, Montreal, Canada;

<sup>5</sup> Laboratoire Vision, attention et action, École d'Optométrie, Université de Montréal, Montreal, QC, Canada, H3C 3J7;

<sup>6</sup> Centre for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal (CRIR), Montreal, QC, Canada, H3S 1M9.

**\* Correspondence:**

Elvire Vaucher, Laboratoire de Neurobiologie de la Cognition Visuelle, École d'Optométrie, Université de Montréal, Montreal, QC, Canada  
elvire.vaucher@umontreal.ca

**Keywords: Hemianopia; Rehabilitation; Animation; Attention; Eye tracker; Multidisciplinary.**

## **Abstract**

**BACKGROUND:** Homonymous hemianopia (HH) significantly impacts daily activities, and current assessment methods for the blind visual field lack the ability to combine central and peripheral vision evaluation. **OBJECTIVE:** This study aimed to validate an innovative animated film as a new assessment tool for measuring the extent of the blind visual field, establish a standard for this test in a healthy vision population and HH population, and determine the level of appreciation for the test. **METHODOLOGY:** The animation video was presented at 160°, using a chin rest and Eye Tracker for view stabilization and fixation control. Forty healthy participants aged 18 to 75 were recruited. **RESULTS:** Most animations were perceived by participants with healthy vision, enabling the establishment of a standard for the test. In terms of test appreciation, 60% of participants highly enjoyed it, 29% liked it, and 11% had a neutral opinion. **CONCLUSION:** This ecological tool assesses central and peripheral vision concurrently using an animated film format. With norms established from a general population with healthy vision and positive reception from participants, this tool could be employed to assess and screen individuals suspected of having HH, particularly in children or patients with attention disorders.

## INTRODUCTION

Assessment of visual field defects ranges from very basic to very sophisticated and expensive methods, but usually lacks conviviality and attractiveness. Neurologic or ophthalmic crude screening consists in a confrontation visual testing where the clinician, covering one of the patients' eyes, moves an object or a finger in his visual field (Aaron et al., 2005). The patient, who must look at a target in front of him, has to say when he or she is not able to see it. This test is low cost and does not require special skills, but lacks precision both in results and procedure, due to patient- or clinician-related variability (Aaron et al., 2005; Hanna et al., 2017; Saionz et al., 2022). To the other end, computerized automated perimetry, either static or kinetic, can also be used for evaluating visual field defects. Some examples are the Humphrey Field Analyzer (HFA), Goldmann manual perimetry, the Octopus 900 or the Tubingen kinetic perimeter (Lennie et Van Hemel, 2002). The patient's head is held in a ganzfeld dome by a chin guard and must press a button when detecting spots of various light intensities. Automated perimetry measurement includes fixation loss and inability to detect visual stimuli, both of which can be performed one eye at a time. However, this instrument is high cost and requires a clinician with dedicated formation. The results can be influenced by the patient's condition, and they are not valid with unsteadiness of gaze (Hanna et al., 2017; Hashimoto et al., 2017; Ichhpujani et al., 2021; Lennie et Van Hemel, 2002; Sahraie et al., 2006; Saionz et al., 2022). These two types of procedures (confrontation and perimetry) require a patient with adequate language, cognition, and attention capacity, which is not always the case, especially with people having recently suffered a stroke (Hanna et al., 2017; Saionz et al., 2022; Sand et al., 2013).

For visual perception defects resulting from cognitive troubles, like hemispacial neglect, agnosia or depth perception, specific psychometric tests can be used (Hanna et al., 2017; Lennie et Van



Hemel, 2002). The Useful Field of View (UFOV) test aims to assess visual attention by measuring selective attention in peripheral vision and the threshold of visual information processing speed in central and/or peripheral vision (Aust et Edwards, 2016; Ball et Owsley, 1993; Novack et al., 2006). The Multiple Object Tracking Task (MOT), different versions of which exist, also aims to assess the covered attention-related tracking of multiple moving targets (Luo et al., 2021; Yung et al., 2015). These tools have been proven effective in evaluating visual detection and attention and are actively used by clinical professionals. However, some of these tools are slow to administer, require extensive formation, and vary in their ability to detect a visual defect (Hanna et al., 2017). The National Institute of Health Stroke Scale (NIHSS), a scale composed of 15 items measuring the patient's condition filled up by the clinician has been proven effective at assessing the presence of visual defects, such as Homonymous Hemianopia (HH), and is very easy to use (Appelros et Terént, 2004). However, this tool is subjective, lacks sensitivity in detecting visual deficit and does not screen the entire visual field of view (Appelros et Terént, 2004; Colwell et al., 2022; Hanna et al., 2017; Sand et al., 2013).

Visual field screening is part of a regular evaluation of HH patients. HH is a type of visual pathology characterized by a blindness of the right or left visual hemifield, typically caused by a partial lesion of the primary visual cortex (V1) or other associated structures such as the parietal cortex, the lateral geniculate nucleus, and the optic tract (Goodwin, 2014; Hadid et Lepore, 2017; Schofield et Leff, 2009). In about 52-70% of the cases, HH is caused by a post-chiasmatic stroke and affects 500,000 to 800,000 Americans. Statistical prevalence is estimated at 0.8% of the general population over 49 years old and is known to be present in 8-16% of stroke cases (Costela et al., 2018; Hadid et Lepore, 2017). The other possible causes of HH include cerebral tumours, cerebral trauma, congenital malformations, or even genetic transmission (Costela et al., 2018). Because

vision is one of the most used senses, there are many negative impacts of acquired HH on the patient's daily activities, including reading, writing, driving, cooking and walking in crowded environment. While HH people can regain an independent life, these impairments create many obstacles in their everyday life that they need to overcome (Poncet et al., 2017; Schofield et Leff, 2009; Warren, 2009). This can create a feeling of distress and/or anxiety while they perform these activities and reduce their quality of life as well as their participation in social events (Hanna et al., 2017; Sand et al., 2013; Tinelli et al., 2017). Assessing HH is commonly done by doing a confrontation visual test followed by a more precise HFA or a kinetic perimetry test (Rowe et al., 2009; Saionz et al., 2022). The assessment of HH is challenging due to its frequent comorbidity with cognitive, attentional, or perceptual disorders. It is also known to be overlooked by many clinicians compared to other sensory deficits due to a lack of consensus on the definition of a visual deficit and the standard method for screening it and lack of time or staff to do a proper assessment (Colwell et al., 2022). Furthermore, all these tests lack ecological validity and ability to gauge the complete extent of visual field loss (Jollivet et al., 2018; Lennie et Van Hemel, 2002).

Given the lack of an ideal method to assess HH visual defects, the primary objective of this study was to develop and validate an innovative, entertaining, and versatile assessment tool in the form of an animated video, designed to measure central and peripheral visual field extent to evaluate individuals who need a quick assessment of their visual field. The study was performed with adults, between the age of 18 and 75, with healthy vision to establish validation, but three HH participants were also tested. The age interval was selected to cover a great portion of adulthood which is representative of HH population and to accommodate for recruitment difficulties with this clinical population (as few are able to participate). Furthermore, even if a majority of the HH population develop this condition later in life, there are still many younger people with HH. The limit of 75

years old was selected because the research was conducted during the peak of the COVID pandemic, and it was advisable to avoid recruiting participants older than 75. To begin, a professional quality animation was developed to present identifiable targets in defined locations of the visual field that the subject must report verbally. Second, eye movements and ability to detect the targets were analyzed carefully. That was done to establish a standard from the data collection, while verifying that all animations were seen correctly. The final objective was to assess the level of appreciation of the task by the participants. We took care that viewing the animated video would not be perceived as an unpleasant or tedious task. For the standardization of the method, we assumed that the total stimulus detection rate should be at least 95% in healthy participants, which will allow discernment of individuals with abnormal detection rates. The standards should correspond to a negative skewed distribution, in which many participants reach the maximum score such as is typically found in screening tests, with a plateauing score.

## METHODS

**Participants.** A total of 44 participants enrolled in this study. There were 41 participants for the group with healthy vision (16 males, 25 females). No participant was removed from the study, although three participants had ocular movements for 50% or more during the characters' occurrence in Act 2 or Act 3. Their results were kept for the analysis based on the assumption that they represent the general population. All participants met the inclusion criteria (age range: 18-75 years; normal or corrected-to-normal visual acuity; normal stereo vision; and no diagnosed attention or learning impairment). Recruitment was performed through posters located at the School of Optometry and University of Montreal campus, social networks, newspapers, and word of mouth. Participants also completed a sociodemographic form that included questions about some of their characteristics (date of birth, known visual problems, etc.) (Annex 1). Three participants

with homonymous hemianopia (HH) participated in this study. Their data and results were included as a case study to test the ability of the video to detect visual field defects. Subjects signed a written informed consent before the experiment and data were collected and kept secure in the Laboratory of E.V. Participants were enrolled by J.F., M.Sc. candidate. The procedures were done in accordance with the Helsinki Declaration of 2013 (Jama, 2013) and the ethical standards of the Comité d'éthique de la recherche clinique (CERC), Université de Montréal, approval # 2022-1351.

**Apparatus.** Each session took place in a quiet room with no external lights. The animation video was presented on three adjacent  $\gamma$ -corrected gaming monitors (24 inches Zowie BenQ, full HD 1920x1080 resolution, refresh rate of 120 Hz, 1s (BenQ, Taipei, Taiwan)). The participant faced the central monitor and was placed at 47 cm from the centre screen. The other two monitors were placed at 60° angle from this monitor (Fig. 1). This setup covered 160° of the visual field. The monitors stood on an electric black height-adjustable standing desk (Bekant, Ikea, Montreal, Canada) equipped with a chin rest to stabilize the position of the head and the gaze of the participants in front of the centre of the screen. The infrared camera of the eye tracker (Eyelink Portable Duo, SR Research, Kanata, Ontario) was placed under the central screen and pointed directly at the eyes of the participants. A small sticker was placed on the forehead of the participants to allow for a better identification of their eyes. The camera was connected to an external laptop computer for collecting eye movement data recorded by the eye tracker on the Eyelink Portable Duo dedicated software.

**Animation and Task.** The task was to verbally indicate the presence of animated characters displayed in a precise location within 160° of the visual field. This procedure was done to both sustain the participant's focus and confirm that participants were seeing the intended stimuli, without being distracted by extraneous objects that were not intended to induce any perceptual

response. The professional-quality animation is in RGB with a display resolution of 1920x1080 pixels and exported in mp4, created with the programs Procreate (Savage Interactive) and Adobe After Effects (California, United States). It is composed of three panels to provide a 160° visual field displayed on three monitors. The animation video was developed collaboratively by P.V., E.V., A.S. and J.F.. The research team held numerous meetings to decide, under the guidance and expertise of E.V. and A.S., the parameters of each stimulus, the background elements, and the allocated time for the stimuli. Subsequently, P.V. and two of his students designed the visual aspects of the video. The team iterated back and forth to refine specific parameters such as the size of stimuli, the amplitude of movement and the time of appearance, which could be considered problematic for the validity of the video. The general scene features a theatre scene with a magician's hat (covering 5° of the visual field) lying on a table in the centre of the medial screen. This hat is used as a fixation point. Each lateral display is virtually divided into nine or four equal sectors (Annex 2 & 3) to allow easier reporting of identified characters and to segment the central and peripheral visual field of the participants. Animated characters (primarily a rabbit) with highlighted edges (Fig. 2) are displayed in predefined locations, either static or moving but always while performing a specific action. Some animations move across the three displays. A neutral ambient soundtrack, "The Entertainer" (1902, piano roll, Scott Joplin, downloaded at: [freemusicarchive.org](http://freemusicarchive.org)) is played during the entire video to keep the participant alert. The animation is subdivided in three independent temporal segments (acts) and could be stopped between every act to allow for short rest if needed. In the first act (1min 44sec), characters move from one screen to the other. This act is used in this study to familiarize participants with the setup and the procedures. No data were collected during this act in this study. The second and the third act exhibit different backgrounds and are separated into three 52 seconds sub-acts for Act 2 and three 66 seconds sub-acts for Act 3. This allows for a better unbiased presentation and analysis of stimuli

(Fig. 3). Each sub-act successively presented six animated characters that vary in location, visual features, movement, and action, for a total of 36 individual appearances during 6 minutes. Each animated character is presented in one of the nine/four sectors of the left or right screen. The precise sequence and the timing of the appearance of each animated character are set and identical for everyone. The participants had to verbally indicate each time they perceived one of the characters and to briefly describe its action. A grid was used to report the detections missed during the experiment, which the experimenter filled up by standing behind the participant (Annex 4). The stimulus detection success rate was later transferred into an Excel spreadsheet. Participants completed an appreciation form, featuring a 5-point Likert scale, at the end of the projection (Annex 1). Participants were asked to evaluate their test experience, with 1 corresponding to a “Very Negative” appreciation and 5 to a “Very Positive” appreciation.

**Procedures.** Before beginning the experiment, the procedure was explained to the participant and the research team would verify verbally every exclusion criteria. The equipment was then cleaned with alcohol wipes. The participant was seated in front of the screens, his head held by the chin guard. The height of the chin guard and the desk were adjusted for maximum participant comfort and head placement. Eye tracker calibration was performed in accordance with known eye tracking methodology and the guidance of A.K. (Carter et Luke, 2020; Khan et al., 2016). Next, the experimenter explained the task (Annex 5) and answered any questions the participant may have had. The first act of the animation video was started, and the participant’s description was corrected if there were not enough details of what they were seeing on the screens. The experimenter then proceeded to the other two acts, giving the participant the opportunity to take a break between acts if required. When the animation video is finished, the sociodemographic and appreciation forms

were filled up by the participant to gather on paper every relevant data that would be included in the analysis.

**Eye Tracking Data.** Eye tracking was performed to ensure that the participants adhered to the primary instruction, which was to consistently fixate the magician hat positioned in the centre of the centre screen. This was done to make sure that they would not identify targets because of eye movements. EDF (European Data Format) files were collected by the eye tracker and analyzed by a home-made code (Khan et al., 2016): the total number of saccades, the saccade onset from the start of the recording (in seconds), the saccade peak velocity time (in seconds), the saccade offset time (in seconds), the saccade starting and ending point on the X-axis (in degrees), the saccade starting and ending point on the Y-axis (in degrees), the saccade peak velocity, the saccade duration (in seconds), the horizontal and vertical saccade amplitude, the overall saccade amplitude, and the total time of recording (in seconds). These data were compiled on an Excel spreadsheet. Saccades exceeding a predetermined normative threshold, based on parameters set in the existing literature, were considered abnormally large and thus non-compliant with the instructions (Carter et Luke, 2020; Duchowski, 2017; Khan et al., 2016). Criteria for not considering eye movements were: **1)** an amplitude of less than  $5^\circ$ , which represent saccades done inside the boundaries of the fixation zone (the  $5^\circ$  hat); **2)** a peak velocity of less than 150 Hz and more than 500 Hz; **3)** a starting point, in the x-axis and y-axis, that was not close to 0; **4)** a vertical amplitude greater than  $5^\circ$  but with a horizontal amplitude close to 0; **5)** a duration above 200 ms. The four latter criteria were considered to be representative of an eye blink and were no further included in the statistical analysis (Carter et Luke, 2020).

## **Statistical Analysis**

Data analyses were conducted using Jamovi Desktop (version 2.3.21.0) and R (version 4.3.0). All the statistics output are available on demand.

***Standards and Detection Rate.*** The primary objective of this study was to establish a standard for Act 2 and Act 3 and to provide accurate information on the total number of perceived animations by each participant. To this end, we first calculated the total number of animations viewed by each participant and the z scores for Act 2 and Act 3 separately. Before the standardization procedure, we confirmed that at least 95% of the stimuli presented in Acts 2 and 3 were detected by the participants. This verification procedure included all data, including outliers. This allowed for a comprehensive representation of the data, an identification of potential issues with the stimuli or testing procedures, and a determination of whether the test is generally well designed. To determine whether this condition was met, we performed a  $\chi^2$  goodness-of-fit test by setting the expected proportion of “Seen” animations to a ratio of 0.95 (95%) and that of “Unseen” animations to a ratio of 0.05 (5%, alpha risk threshold). This analysis compared the observed proportion between the total of “Seen” and “Unseen” animations of the combined Act 2 and Act 3, a total of 1476 stimuli. Then, to eliminate potential bias and to ensure the robustness and reliability of the standards we set, outlier values with a z score above 3 or below -3 were excluded from our data (Field, 2018). The cNORMj module in Jamovi was then used to perform a standardization test for a single group, analyzing the “Seen” animation rates in each act. The parameters specified for this test included “z” scaling, outlier exclusion, and percentile-based visualization.

***Participant Appreciation.*** Regarding the participants’ appreciation of the test, our hypothesis was that most participants would have an either slightly positive (4) or very positive (5) experience as reported on the Likert scale. To test this hypothesis, we used the sign test, a nonparametric test designed to test the null hypothesis that the median of the test experience ratings is equal to 3



(neutral). If the median is significantly higher than 3, our hypothesis that most participants have at least a slightly positive appreciation of the animated film would then be supported. This analysis was performed using the BSDA package in R. This test was chosen due to its robustness with non-normal data distributions and its relevance for ordinal Likert scales (Jamieson, 2004). The significance level was set at 0.05 for all analyses.

***Saccade Monitoring.*** We expected participants to keep a fixed gaze on the centre of the medial screen (characterized by a hat). Consistent with this expectation, we performed a  $\chi^2$  goodness-of-fit test by setting the expected proportion of “Fixation” at a ratio of 0.95 (95%) and “Abnormal Saccades” on stimulus onset at a ratio of 0.05 (5%, alpha risk threshold). This analysis compared the observed proportion between the total of “Fixation” and “Abnormal Saccades” in Act 2 and Act 3 combined. In the event that the number of abnormal saccades exceeds our expectations, we will explore the data with additional analyses to identify: **1)** the direction of the saccades leading to a correct response to verify whether they were facilitative (i.e., directed at the stimulus) or not (i.e., not directed at the stimulus); and **2)** the variability of saccades to verify whether the abnormal saccades occur randomly or are related to identifiable factors inherent to the individuals or the task.

***In-Depth Analysis of the Direction of Abnormal Saccades.*** Analyzing the direction of abnormal saccades leading to a good response is essential because it can have a direct impact on the interpretation of the total animation detection rate. If these abnormal saccades are indeed facilitative, they could skew the results by allowing participants to successfully complete the task without adhering to the instruction to stare at the centre of the screen. Thus, analysis of these abnormal facilitative saccades is a priority because it confirms the validity of the observed performance. Analyses to assess the direction of the abnormal saccades that led to a correct response were performed in three steps: **1)** calculating the stimulus coordinates; **2)** assessing the

horizontal and vertical direction of the saccades by calculating the difference between the end and start coordinates of the saccades; **3)** comparing the concordance between the stimulus coordinates and the direction of the saccades. In this context, we postulated that 95% of the abnormal saccades leading to a correct response will be concordant (directed to the stimulus) and 5% will be non-concordant (not directed to the stimulus). To test this hypothesis, we performed  $\chi^2$  adjustment tests to compare the proportions of concordant and non-concordant saccades. If the difference between the expected and observed proportions is sufficiently large, we rejected the null hypothesis and concluded that the proportions of concordant and non-concordant saccades differed significantly from the expected proportions. These analyses were repeated for each act separately and according to three types of concordance: **1)** combined horizontal and vertical concordance; **2)** horizontal-only concordance; **3)** vertical-only concordance.

The first  $\chi^2$  adjustment test aimed to test the hypothesis that most abnormal saccades leading to a good response would be directed toward the stimulus (concordant saccades). The parameters of this test were set with an expected proportion of 0.95 (95%) for concordant saccades and an expected proportion of 0.05 (5%) for non-concordant saccades. The alpha risk threshold was set at 5%. If the results of the first test indicated a significant discrepancy between the observed and expected proportions, a second  $\chi^2$  adjustment test would be performed. This second test was based on distinct parameters, namely an expected proportion of 0.5 (50%) for concordant saccades and an expected proportion of 0.5 (50%) for non-concordant saccades.

The objective of the second test was to examine whether the abnormal saccades leading to a correct response were equally distributed between the concordant and non-concordant directions. In other words, this test sought to determine whether the abnormal saccades were directed toward the stimulus in equal proportions. If the observed proportions diverged significantly from those

expected in this second test, this would suggest that the abnormal saccades were not randomly distributed and could have been influenced by some factors intrinsic to the individuals or to the task.

***In-Depth Exploration of Variability in Saccades.*** We were interested in whether abnormal saccades occurred significantly more often in certain individuals, at specific times or positions. The exploration of individual factors consisted of a comparison between participants according to their total number of abnormal saccades. To explore variability in the total number of abnormal saccades among participants, we calculated the mean and standard deviation of these saccades. Data from all 41 participants were included in this analysis. This descriptive approach provided insight into the distribution of the number of saccades in our sample.

***In-Depth Exploration of Task-Inherent Factors.*** The exploration of task-inherent factors first included a comparison between Acts 2 and Act 3, then a comparison between sub-acts, and finally a comparison between positions based on the total number of fixations and abnormal saccades for each comparison. **1)** To compare the proportion of abnormal fixations and saccades between Act 2 and Act 3, a  $\chi^2$  test of independence was used. This statistical test allowed us to determine whether the act (2 or 3) was independent of the type of eye movement (normal or abnormal). In other words, we investigated whether the proportion of abnormal fixations and saccades varied as a function of the act viewed by the participants. Given the categorical nature of our data and our goal of comparing the proportions of different types of eye movements between two conditions, the choice of this statistical test seems appropriate. **2)** To compare the proportion of abnormal fixations and saccades among the 18 sub-acts of each act, a  $\chi^2$  test of association was performed for each act. This would help to determine whether the distribution of these two types of eye movements was sub-act dependent. Specific data, such as the number of fixations and abnormal saccades observed,

were collected for each sub-act. If there was a significant difference between the sub-acts of an act, we performed peer-to-peer comparisons also using the  $\chi^2$  test. To control for the type I error in these multiple comparisons, a Bonferroni correction was initially considered. However, given the large number of tests performed, this method may have been too conservative. For this reason, when necessary, we opted for a less stringent correction method, the Benjamini-Hochberg method, which controls for the false discovery rate. Using these techniques, we sought to provide a robust and reliable analysis of variations in the proportions of “Fixations” and “Abnormal Saccades” between the different sub-acts of Act 2 and Act 3. **3)** To compare the proportion of abnormal fixations and saccades among the positions of appearance of the stimuli in each act, a similar method was applied to study the variations of “Fixations” and “Abnormal Saccades” according to the position of appearance of the stimuli in each act. Here again, we collected specific data for each position, including recording the number of fixations and abnormal saccades.

## RESULTS

### Population description

The 41 participants with healthy vision were between the age of 19 and 75 years old (mean=28.6; SD=13.1), and there were 16 males (39.02%) and 25 females (60.98%). From those participants, 39 are right-handed (95.12%), 1 is left-handed (2.44%), and 1 is ambidextrous (2.44%). In addition, 26 (63.42%) wear glasses or contact lenses and 15 (36.59%) have a healthy vision. One participant (2.44%) had epilepsy when younger, one participant has Posner-Schlossman syndrome, which can affect visual perception and alter the results (2.44%), three participants (7.32%) have self-reported attention deficit disorder (ADHD) and four participants have vertigo (9.76%). A total of 3 participants (2 males) living with an HH and between the age of 26 and 63 years old (mean=45.67; SD=18.61) also participated in the study. From those participants, 3 (100%) are right-handed and

1 (33.33%) wears glasses while the other 2 (66.67%) do not wear glasses. All three have acquired HH (100%), one (33.33%) have double vision, and one (33.33%) have aphasia. No participants required a break during the testing phase.

### **Standards Establishment and Detection Rates**

Regarding the detection rate, the N proportions comparison Test ( $X^2$  fit) revealed that 99.4% of animations were classified as “Seen” and 0.6% as “Not seen” ( $X^2 = 59.9$ ,  $DF = 1$ ,  $p < 0.001$ ). The high detection rate (99.4%) suggests that most animations shown in Acts 2 and 3 were detected by participants, indicating that the stimulus was clear and perceivable enough to allow for nearly universal detection. To standardize Act 2 and Act 3, outliers from one participant were excluded from the analysis. This participant viewed 15 animations in Act 2 (-5.64 Z) and 14 animations in Act 3 (-6.24 Z), which is well outside the z score threshold of 3 and -3. After this exclusion, for Act 2, the norm score table, based on frequency distribution, indicated norm scores of -1.96 Z for 17 viewed animations (2.5<sup>th</sup> percentile) and 0.06 Z for 18 viewed animations (52.5<sup>th</sup> percentile). For Act 3, the norm score table, also based on frequency distribution, showed norm scores of 0 Z for 18 viewed animations (50<sup>th</sup> percentile). All animations in Act 3 were detected by all participants. The norms for Act 2 and Act 3 thus provided a standard for expected performance in each act. For the HH participants, the detection rate varied depending on the visual deficit of each participant. The detection rate for Act 2 was 50% of the presented stimuli. For Act 3, participants 42 and 44 detected 50% of all stimuli and participant #43 detected 44.44% of all stimuli. Moreover, because our participants’ scores were not normally distributed and because there is a ceiling effect, we followed guidelines stating that we should use the classification in percentile and not with the z score (Guilmette et al., 2008). After the calculation of the percentile for each score, a table was created for Act 2 and for Act 3 (See Table 1 & 2).

## **Participants' Appreciation Evaluation**

The distribution of the responses on the Likert scale showed that out of 41 participants, 4 gave a “Neutral” rating (9.8%), 11 rated their experience as “Slightly positive” (26.8%), and 26 answered “Very positive” (63.4%). Therefore, 37 out of 41 participants gave a positive rating, with 90% of participants finding the experience of the animated film at least slightly positive. The results of the sign test supported our hypothesis, showing that the median of the ratings was significantly higher than 3. More specifically, the median of the ratings was 5 (p-value = 7.276e-12), with a 95% confidence interval of [4.700558, Inf]. The reached and interpolated confidence intervals provided similar estimates, strengthening the reliability of our findings. The results of the sign test, with a median significantly higher than 3, support the hypothesis that most participants had a positive experience of the animated film. This underscores the overall positive appreciation of the test by the participants. As for the HH participants, one gave a “Neutral” rating (33.33%), one rated their experience as “Slightly positive” (33.33%), and one answered as “Very positive” (33.33%). These results further support our hypothesis and suggest that the procedure is seen as positive by 66.67% of HH participants.

## **Saccade Monitoring**

Among the 1476 stimuli presented to all participants in this study, there were 1306 fixations and 170 abnormal saccades at stimulus onset, including 49 abnormal saccades in Act 2, and 121 in Act 3. According to these results, the N proportion comparison test ( $X^2$  adjustment) indicates 88.5% fixations at stimulus onset and 11.5% abnormal saccades ( $X^2=132$ ,  $DF=1$  and  $p < 0.001$ ). The number of abnormal saccades exceeded our expectations, so we explored the data using supplementary analyses to determine if these saccades were directed toward the stimulus. We also

explored the data to specify whether these abnormal saccades occur randomly or were related to identifiable factors.

### **Analysis of the Direction of Abnormal Saccades**

Most abnormal saccades were not directed toward the stimulus for Acts 2 and 3. Furthermore, in Act 3, abnormal saccades were significantly directed away from the stimulus, in both the vertical and horizontal axes. Vertical and horizontal saccades were unmatched for each act. For Act 2, 37.8% were concordant ( $X^2 = 310, p < 0.001$ ) and 62.2% were non-concordant. No significant difference between the two directions ( $X^2 = 2.69, p = 0.101$ ) were found. Similarly, for Act 3, 31.1% of the saccades were concordant ( $X^2 = 910, p < 0.001$ ) and 68.9% non-concordant. However, in contrast to Act 2, a significant difference was found between the directions ( $X^2 = 15.1, p < 0.001$ ). Regarding each axis individually, abnormal saccades were predominantly unmatched in the vertical axis for both acts. For Act 2, 51.1% were concordant ( $X^2 = 182, p < 0.001$ ) and 48.9% were non-concordant, with no significant difference between the two directions ( $X^2 = 0.0222, p = 0.881$ ). Act 3 showed a similar pattern, with 47.2% concordant ( $X^2 = 511, p < 0.001$ ) and 52.8% mismatch, with no significant difference between the directions ( $X^2 = 0.340, p = 0.56$ ). For Act 2, 55.6% horizontal saccades were concordant ( $X^2 = 147, p < 0.001$ ) and 44.4% non-concordant with no significant difference between the two directions ( $X^2 = 0.556, p = 0.456$ ). For Act 3, horizontal saccades were equally distributed, with 50% concordant ( $X^2 = 452, p < 0.001$ ) and 50% non-concordant, with no significant difference between the directions ( $X^2 = 0.00, p = 1$ ).

### **Variability in Saccades**

**Individuals' Inherent Factors.** Analysis of variability in the total number of abnormal saccades revealed that saccades were made by a subset of participants with a distinct eye behaviour while the number of saccades for other remains reasonably low. On average, participants in our study

made 4.15 saccades (SD = 4.41). However, the relatively high SD of 4.41 suggested a great variability in the number of saccades among participants. As the median number of abnormal saccades was 2, this implied that 50% of the participants performed 2 or fewer abnormal saccades. The distribution of saccades among participants revealed considerable disparity. To identify participants who substantially perform more saccades than others, we examined the z score of total number of saccades for everyone. The number of saccades ranged from 0 to 15, with corresponding z scores ranging from 0.94 to -2.46. The z score threshold was set at -1.34, corresponding to the lower limit of the average range, according to the conventional neuropsychological score interpretation. Six participants (15% of the sample) making significantly more saccades than average were identified and exceeded the z score threshold. Together, these participants made 44% of the total number of saccades observed. This disproportion clearly highlights the existence of significant variability in participants' eye behaviour. Furthermore, these results point out the importance of taking interindividual variability into account when analyzing eye movements.

**Task-Inherent Factors.** Analyses were made between acts, sub-acts and stimulus positions. A significant difference between the proportions of abnormal fixations and the saccades was found in Act 2 and Act 3 ( $X^2 = 34.5$ ,  $DF = 1$ ,  $p < 0.001$ ). Examining the observed frequencies, we found that the proportion of abnormal saccades was higher in Act 3 (121 abnormal saccades) compared with Act 2 (49 abnormal saccades). These results suggest that the proportion of abnormal saccades increased significantly between Act 2 and Act 3. In view of these results, we explored these differences at a lower level, i.e., between sub-acts and position. Act 2 analysis reveals an overall significant difference in the proportions of abnormal fixations and saccades between sub-acts ( $X^2=31.3$ ,  $DF=17$ ,  $p=0.018$ ). This suggests a potential correlation between the sub-acts and these types of eye movements. However, after Bonferroni and Benjamini-Hochberg corrections, no



significant differences were detected between specific pairs of sub-acts. This apparent discrepancy may indicate that the observed variability is distributed across sub-acts rather than between specific pairs. In contrast, for Act 3, a significant difference in the proportions of abnormal fixations and the saccades between sub-acts was found ( $X^2=71.1$ ,  $DF =17$ ,  $p < 0.001$ ). Specifically, after Bonferroni adjustment, several sub-acts showed significant differences, particularly sub-act 3.1.6, which differed significantly from several other sub-acts (from  $p < 0.05$  to  $p < 0.01$ ). In addition, significant differences were observed between sub-act 3.2.6. and sub-acts 3.2.2. and 3.3.4 ( $p < 0.05$ ). In summary, Act 3 shows significant variability in the proportions of abnormal fixations and saccades between sub-acts, in contrast to Act 2. These results suggest distinct visual behaviours as a function of the different sub-acts. Significant differences were observed in the saccades position (see Annex 2) for Act 2, indicating variability in the proportions of abnormal fixations and saccades as a function of stimulus onset position ( $X^2=32.1$ ,  $DF=17$ ,  $p=0.015$ ). This suggests a possible correlation between the position and these types of eye movements. However, after Bonferroni and Benjamini-Hochberg corrections, no significant differences were detected between specific position pairs. This observation may indicate that the observed variability is distributed between positions rather than between specific position pairs. In contrast, a significant difference was found in the proportions of abnormal fixations and saccades between positions ( $X^2=36.2$ ,  $DF =9$ ,  $p < 0.001$ ) in Act 3. After Bonferroni correction, position 3 (see Annex 3) showed significant differences with several other positions ( $p < 0.05$ ). The less conservative Benjamini-Hochberg correction revealed that position 2 (Annex 3) also differs significantly with several other positions ( $p < 0.05$ ).

In sum, in Act 3, positions 2 and 3 shows significant variability in the proportions of abnormal fixations and saccades in contrast with the other positions. However, these results do not suggest

distinct visual behaviours across positions. In fact, these positions correspond to sub-acts 3.1.6. and 3.2.6., which also reveal higher proportions of saccades. Therefore, position and sub-act compete, and it becomes difficult to determine whether the observed effect is due to one or the other, especially since each position appears only once. We believe that these higher proportions of saccades are more related to sub-acts 3.1.6. and 3.2.6. than to positions 2 and 3.

To understand if the difference was due to a different background, character features (distractibility) or to a fatigue effect, we paid attention on the sixth animations of act 3.1 which led to problematic eye movements by 14 participants. Among the animation's features, one was bright change of colour when a white rabbit started to spit fire. The sixth animation of act 3.2, depicting a rabbit being swallowed by a carnivore plant, also led to problematic eye movements by 11 participants. In that case, the wide movement of the plant could easily entice the gaze. Finally, the sixth animation of act 3.3, a rabbit being crushed by a blue elephant, also led to problematic eye movements by eight participants.

## **DISCUSSION**

This study aimed at developing and validating an innovative, entertaining, and versatile assessment tool in the form of an animated video, designed to measure central and peripheral visual field defects in adults. The assessment tool was significantly powerful for the detection of animated characters located in specific location of the visual field and was well appreciated by the participants. As for the stimuli presented to the participants, 99.4% of animations were detected which was well above the 95% threshold we set. A relatively low saccades rate was measured although a strong variability between participants was noted, with some participants making 44% of the total saccades count. A standard for the data collection using this visual field assessment tool was established in adults with healthy vision thanks to a consistent statistical analysis to confirm

that all animations were seen correctly and no systematic bias in ocular movements was shown. HH participants' scores were below the standard score, indicating the efficacy of using this animation for detecting visual field defects.

### *Saccades*

Our results showed that despite the given instructions, a small number of participants performed a significant number of saccades, indicating the difficulty for certain people to maintain a fixed gaze. This observation aligns with previous studies showing that saccades are common events in visual perception as they allow our visual system to adapt to constant visual stimulation (Hernandez et al., 2008; Martinez-Conde et al., 2004; Martinez-Conde et al., 2013). Therefore, it is possible that the saccades observed among our participants are a manifestation of these involuntary eye movements. In addition, various factors such as fatigue, loss of concentration, emotion and boredom may have influenced the ability to maintain a fixed gaze (Hoppe et al., 2018). Eye blink, which can interrupt gaze fixation, has been shown to increase with fatigue (Stern et al., 1994). It is therefore possible that these factors also contributed to the saccades observed among our participants. However, saccades might also be due to the interest of the participants for better detecting the different characters and better identifying their action. An interesting addition in our test is that participants were allowed to divert their gaze within a limited area of 5° (a hat), without facilitating or impeding stimulus detection. This could help reduce eye strain and concentration difficulties.

The drastic change in colour or size in some animations could explain the loss of the fixation by participants, possibly inducing distraction. However, as indicated by the concordance analyses, the participants' gaze would not systematically move toward the stimulus; rather it is more randomly driven. Thus, this suggests that it was not necessarily the feature of the character that induced

saccades in these scenes. Furthermore, there seems to be a trend of significant differences in the number of saccades between the first and the last animation in each sub-act for Act 3. This might indicate that each sub-act of the third act might be too lengthy, enhancing fatigue that resulted in the loss of fixation (Ackerman et Kanfer, 2009; Martinez-Conde et al., 2004). The fatigue effect inducing more eye saccades, while not apparent in Act 2, became significant in Act 3. This observation is particularly relevant for the last sub-acts of each block of six animations, namely sub-acts 3.1.6, 3.2.6, and 3.3.6. Of these sub-acts, the first two (3.1.6 and 3.2.6) showed a significant increase in saccades, suggesting a potential impact of fatigue on eye movements. While we also explored the effect of the stimulus position on saccades, the results mainly highlight the impact of fatigue. Indeed, no visual pattern or coherence was detected in relation to the position of the stimuli, and no scientific literature to our knowledge reports an increase in saccades as a function of the position of appearance of a stimulus. In addition, the effect of fatigue or disinterest appeared to be greater, being apparent mainly during the last sub-act of each block in Act 3. It is also worth noting that the number of saccades varied considerably between individuals. This could be due to a multitude of factors, including age, gender, general health, and subjective appraisal of each participant. For example, participants #8, #14, #21, #29, #28, and #41 all showed an increase in saccades from Act 2 to Act 3, although the total number of saccades and the degree of increase have varied.

These results raise interesting questions for future research. For example, additional studies could seek to examine the underlying mechanisms by which fatigue might increase saccades, or to determine whether the increase in saccades in response to fatigue is a general phenomenon or is specific to certain populations or conditions. In addition, it would be relevant to further explore how individual factors such as age, gender, health status, and subjective appraisal may influence

the relationship between fatigue and saccades. Nevertheless, in view of the obtained results, the animated video shows stimuli that are indeed detectable by the participants. Some participants seem to look away from the fixation point. However, even after an in-depth analysis of these movements, it is not possible to identify with any certainty the cause of such deviations. Although analyzing these deviations was important, they do not invalidate the test, since they appear to be random and concern only a small proportion of our sample. Moreover, the ability to move inside a limited boundary (the hat) as a fixation point allows for more ecological validity.

### *Creation of a Norm*

The primary objective of this study was to create a norm for using this animation video as a tool for screening for visual defects such as HH in the general population. We used Guillemette et al. (2020) score classification tool for neuropsychology tests using participants scores percentile distribution to classify scores (Guillemette et al., 2008). Table 1 & 2 give the standard for anyone using the animation video to quickly and easily rate the score of a participant with the following norm. It is important to precise that an eye tracker is not required since eye movement are not taken into consideration in the score calculation. A low score on this test could indicate a visual disorder that will need to be investigated further. This is due to the fact that the animations are very easily visible, as our results indicate, and that it is abnormal not to see all the animated characters. For example, a participant having a score of 17 in Act 2 (raw score) would mean that this person's results were lower than expected. However, if that person had a score of 15 in the same act, they would potentially have a visual deficit.

### *Participants With Homonymous Hemianopia*

The HH participant's data indicates that for Act 2 and Act 3 entirely, the participants failed to detect stimuli that were presented in their blind visual field but detected almost every stimulus presented

in their healthy visual field. For example, the score of participant #42 with HH for Act 2, i.e., 8, was extremely low compared to the norm, which is 17. This should be a good indicator that there seems to be a problem with that participant's vision and that it should be further investigated.

### *Clinical Application*

Act 2 has a greater number of stimulus onset positions compared to Act 3, allowing for a more refined assessment of participants' visual field. We recommend that clinicians use Act 3 first to gain initial insight into visual field integrity. Depending on the results, Act 2 could be used for further assessment of visual detection ability. For example, an individual with a maximum score on Act 3 might not require Act 2, whereas an individual with a score below the normal threshold might benefit from a more detailed assessment with Act 2. To establish the location of the impacted visual field, the experimenter quotation needs to be verified at the end of the session (Annex 4). For a detailed list of instructions given to the participant while administering the test, please refer to Annex 4.

### **Limitations**

Some limitations could potentially impact the scope of the study. First, the visual field of view for each participant was not measured with conventional mean (perimetry) before the experiment. Therefore, if any participant had a deficit or a blind spot in their visual field of view, we were not aware of it, although we might have detected it. As 99% of the targets were identified, this was most certainly not the case. Second, to determine if participants had a healthy vision, we administered a self-reported questionnaire. However, this approach has limitations when gauging the accuracy of their vision status. Some participants could say that their vision is healthy without knowing underlying issues they may have, thus affecting the study's results. We discussed recruiting participants who had just passed an optometry test, but we thought that testing the

population without being tested a priori would put us in an interesting condition of natural variability. Third, the analysis presented in this study regarding HH participants are only preliminary data. Further testing with a larger sample is required to better evaluate this tool for this specific population. Fourth, the animation video is a little longer than anticipated. The total runtime is close to 10 minutes which could be seen as time consuming by clinicians. Fifth, the procedure necessitates that participants give a verbal description of the characters they see on the screens. This could prove to be difficult for people with a speech impairment, a condition frequently observed in patients who have suffered a stroke. This is a limit and should be addressed in a later study.

## **CONCLUSION**

In conclusion, we created a new tool to evaluate visual defects, a 160° attractive animation, and established a norm for each act of the animation. Most participants found the animation enjoyable, and there were no negative opinions expressed by anyone. Although there was a tendency of deviating from the fixation point, possibly indicating a fatigue effect or an attentional bias, this assessment tool was very powerful in evaluating the detection rate of the participants. This could be useful for clinicians who want to do a short and easy screening of a patient with a suspected vision problem like HH. This tool might also prove to be useful with other clinical populations like children who could benefit from a more innovative, entertaining, and versatile assessment tool.

### **Conflict of Interest**

“The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.”

## **Funding**

This work received financial support by CIRCA (Centre Interdisciplinaire de Recherche sur le Cerveau et l'Apprentissage) and the Foundation Nazareth and Louis Braille Institute (INLB, Longueuil, Canada; A.R., E.V.). We thank the Center for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal and the Fonds de la Recherche du Québec en Santé (FRQS): Vision Health Research Network for their resource and support. FJ also received a scholarship from CIRCA.

## **Author Contributions**

JF: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Methodology, Project administration, Validation, Visualization, Writing – original draft. EV: Conceptualization, Formal analysis, Funding acquisition, Methodology, Project administration, Resources, Supervision, Validation, Visualization, Writing – original draft. AS: Conceptualization, Formal analysis, Funding acquisition, Methodology, Project administration, Supervision, Validation, Visualization, Writing – original draft. FP: Conceptualization, Methodology, Validation, Writing – original draft. PV: Conceptualization, Resources, Validation. AK: Data curation, Resources, Software, Validation. SA : Data curation, Formal analysis, Visualization, Writing – original draft.

## **Acknowledgement**

We would like to acknowledge the crucial expertise of Professor Jean-Marie Hansen for the development of the research objectives as well as for valuable advice regarding the protocol of this study. We would also like to acknowledge the work of Philippe Vaucher's students, Pierre Magnat and Audrey Tremblay, for participating in the creation of the animation video and the assistance of Elvire Vaucher's laboratory members, Abdel-Rahamane Kader Fofana and Fatima-Zahrae Meziane, in the recruitment and management of the study's participants.



## References

- Aaron, M., Solley, W. A. et Broocker, G. (2005). General Eye Examination. Dans *Primary Care Ophthalmology* (p. 1-23). Elsevier.
- Ackerman, P. L. et Kanfer, R. J. J. o. E. P. A. (2009). Test length and cognitive fatigue: an empirical examination of effects on performance and test-taker reactions. *15*(2), 163.
- Appelros, P. et Terént, A. (2004). Characteristics of the National Institute of Health Stroke Scale: results from a population-based stroke cohort at baseline and after one year. *Cerebrovasc Dis*, *17*(1), 21-27. <https://doi.org/10.1159/000073894>
- Aust, F. et Edwards, J. (2016, 01/18). Incremental validity of Useful Field of View subtests for the prediction of instrumental activities of daily living. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *38*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/13803395.2015.1125453>
- Ball, K. et Owsley, C. (1993, 02/01). The Useful Field of View Test: A new technique for evaluating age-related declines in visual function. *Journal of the American Optometric Association*, *64*, 71-79.
- Carter, B. T. et Luke, S. G. J. I. J. o. P. (2020). Best practices in eye tracking research. *155*, 49-62.
- Colwell, M. J., Demeyere, N., Vancleef, K. J. D. et Rehabilitation. (2022). Visual perceptual deficit screening in stroke survivors: evaluation of current practice in the United Kingdom and Republic of Ireland. *44*(22), 6620-6632.
- Costela, F. M., Sheldon, S. S., Walker, B., Woods, R. L. J. O. et Optometry, v. s. o. p. o. t. A. A. o. (2018). People with hemianopia report difficulty with TV, computer, cinema use, and photography. *95*(5), 428.
- Duchowski, T. A. (2017). *Eye tracking: methodology theory and practice*. Springer.

- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5<sup>e</sup> éd.). sage.
- Goodwin, D. J. C. O. (2014). Homonymous hemianopia: challenges and solutions. 1919-1927.
- Guilmette, T. J., Hagan, L. D. et Giuliano, A. J. (2008, Jan). Assigning qualitative descriptions to test scores in neuropsychology: forensic implications. *Clin Neuropsychol*, 22(1), 122-139.  
<https://doi.org/10.1080/13854040601064559>
- Hadid, V. et Lepore, F. (2017, 2017-August-29). From Cortical Blindness to Conscious Visual Perception: Theories on Neuronal Networks and Visual Training Strategies [Review]. *II*(64). <https://doi.org/10.3389/fnsys.2017.00064>
- Hanna, K. L., Hepworth, L. R., Rowe, F. J. D. et rehabilitation. (2017). Screening methods for post-stroke visual impairment: a systematic review. *39*(25), 2531-2543.
- Hashimoto, S., Matsumoto, C., Eura, M., Okuyama, S. et Shimomura, Y. J. J. J. o. O. (2017). Evaluation of kinetic programs in various automated perimeters. *61*, 299-306.
- Hernandez, T. D., Levitan, C. A., Banks, M. S. et Schor, C. M. (2008, Jun 2). How does saccade adaptation affect visual perception? *J Vis*, 8(8), 3.1-16. <https://doi.org/10.1167/8.8.3>
- Hoppe, D., Helfmann, S. et Rothkopf, C. A. J. P. o. t. N. A. o. S. (2018). Humans quickly learn to blink strategically in response to environmental task demands. *115*(9), 2246-2251.
- Ichhpujani, P., Thakur, S., Sahi, R. K. et Kumar, S. J. I. J. o. O. (2021). Validating tablet perimetry against standard Humphrey Visual Field Analyzer for glaucoma screening in Indian population. *69*(1), 87.
- Jama, W. M. A. J. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *310*(20), 2191-2194.
- Jamieson, S. J. M. e. (2004). Likert scales: How to (ab) use them? , *38*(12), 1217-1218.
- Jollivet, M., Fortier, J., Besnard, J., Le Gall, D. et Allain, P. J. R. d. n. (2018). Neuropsychologie et technologies numériques. (1), 69-81.

- Khan, A. Z., Munoz, D. P., Takahashi, N., Blohm, G. et McPeck, R. M. J. J. o. V. (2016). Effects of a pretarget distractor on saccade reaction times across space and time in monkeys and humans. *16(7)*, 5-5.
- Lennie, P. et Van Hemel, S. B. (2002). Visual Impairments:: Determining Eligibility for Social Security Benefits.
- Luo, W., Xing, J., Milan, A., Zhang, X., Liu, W. et Kim, T.-K. (2021, 2021/04/01/). Multiple object tracking: A literature review. *Artificial Intelligence*, *293*, 103448.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.artint.2020.103448>
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L. et Hubel, D. H. (2004, 2004/03/01). The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature Reviews Neuroscience*, *5(3)*, 229-240.  
<https://doi.org/10.1038/nrn1348>
- Martinez-Conde, S., Otero-Millan, J. et Macknik, S. L. J. N. R. N. (2013). The impact of microsaccades on vision: towards a unified theory of saccadic function. *14(2)*, 83-96.
- Novack, T. A., Baños, J. H., Alderson, A. L., Schneider, J. J., Weed, W., Blankenship, J. et Salisbury, D. (2006, 2006/01/01). UFOV performance and driving ability following traumatic brain injury. *Brain Injury*, *20(5)*, 455-461.  
<https://doi.org/10.1080/02699050600664541>
- Poncet, F., Swaine, B., Dutil, E., Chevignard, M. et Pradat-Diehl, P. (2017, 2017/07/04). How do assessments of activities of daily living address executive functions: A scoping review. *Neuropsychological Rehabilitation*, *27(5)*, 618-666.  
<https://doi.org/10.1080/09602011.2016.1268171>
- Rowe, F., Brand, D., Jackson, C. A., Price, A., Walker, L., Harrison, S., Eccleston, C., Scott, C., Akerman, N., Dodridge, C. J. A. et ageing. (2009). Visual impairment following stroke: do stroke patients require vision assessment? , *38(2)*, 188-193.

- Sahraie, A., Trevethan, C. T., MacLeod, M. J., Murray, A. D., Olson, J. A. et Weiskrantz, L. (2006, Oct 3). Increased sensitivity after repeated stimulation of residual spatial channels in blindsight. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 103(40), 14971-14976.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.0607073103>
- Saionz, E. L., Busza, A. et Huxlin, K. R. J. H. o. c. n. (2022). Rehabilitation of visual perception in cortical blindness. *184*, 357-373.
- Sand, K., Midelfart, A., Thomassen, L., Melms, A., Wilhelm, H. et Hoff, J. J. A. N. S. (2013). Visual impairment in stroke patients—a review. *127*, 52-56.
- Schofield, T. M. et Leff, A. P. (2009, Feb). Rehabilitation of hemianopia. *Curr Opin Neurol*, 22(1), 36-40. <https://doi.org/10.1097/WCO.0b013e32831f1b2c>
- Stern, J. A., Boyer, D. et Schroeder, D. J. H. f. (1994). Blink rate: a possible measure of fatigue. *36*(2), 285-297.
- Tinelli, F., Cioni, G. et Purpura, G. (2017). Development and Implementation of a New Telerehabilitation System for Audiovisual Stimulation Training in Hemianopia. *Front Neurol*, 8, 621. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00621>
- Warren, M. (2009, Sep-Oct). Pilot study on activities of daily living limitations in adults with hemianopsia. *Am J Occup Ther*, 63(5), 626-633. <https://doi.org/10.5014/ajot.63.5.626>
- Yung, A., Cardoso-Leite, P., Dale, G., Bavelier, D. et Green, S. (2015, 02/19). Methods to Test Visual Attention Online. *Journal of Visualized Experiments*, in press.  
<https://doi.org/10.3791/52470>

## Annex

### Annex 1: The Sociodemographic Form Given to the Participants.

#### Questionnaire sociodémographique

Dans le cadre de notre étude sur la vision, nous aurions besoin de collecter certaines de vos informations personnelles. En effet, elles peuvent nous aider à mieux comprendre et interpréter les résultats de notre étude. Les réponses que vous allez nous fournir vont être grandement bénéfiques à l'accomplissement de ce travail. Soyez d'ailleurs rassuré, toutes les réponses fournies demeureront strictement confidentielles. Nous vous remercions pour votre aide.

#### **Informations sur l'appréciation de la tâche et commentaire sur celle-ci :**

1. Comment évalueriez-vous votre expérience de visionnement pour la première vidéo (celle avec les animaux animés)

(1) Très négative / (2) Légèrement négative / (3) Neutre / (4) Légèrement positive / (5) Très positive

2. Voudriez-vous ajouter un bref commentaire, positif ou négatif, concernant cette procédure?

Commentaire :

---

---

---

#### **Informations Démographiques :**

1. Date de naissance (D/M/Y) : \_

2. Sexe : (*encercler la réponse*) (1) Homme (2) Femme (3) autre

3. Dominance : (*encercler la réponse*) (1) gaucher (2) droitier (3) ambidextre

#### **Condition :**

1. Portez-vous des lunettes de correction de la vue ou des verres de contact?

A) NON / OUI

B) Cause (ex. Myopie, presbytie, astigmatisme, etc.) : \_\_\_\_\_

C) À quand remonte votre dernier test de la vue? \_\_\_\_\_

2. Avez-vous été gravement malade ou hospitalisé au cours des 6 derniers mois?

A) NON / OUI

B) Cause :

C) Durée :

3. Avez-vous ou avez-vous eu dans le passé (*pour tous*) :

		<i>Si oui...</i>
Une pathologie oculaire?	NON / OUI	Nature (la cataracte, le glaucome, la Dégénérescence Maculaire Liée à l'Age (DMLA)) :
Trouble de l'attention et trouble d'apprentissage	NON/OUI	Nature (TDAH, TDA, Dyslexie)
Crises d'épilepsie ?	NON/OUI	Fréquence
Des vertiges?	NON/OUI	

#### 4. Médicament.

Prenez-vous actuellement des médicaments qui affectent, à votre connaissance, votre attention. Si oui, pouvez-vous nous renseigner sur la posologie ?

Type de médicaments	Motif de la consommation	Durée du traitement et dosage (quantité)


**5. Problèmes actuels :** Avez-vous actuellement un des problèmes suivants?

Problème de Concentration/ Attention	NON / OUI	Nature :
Problème de Mémoire	NON / OUI	Nature :
Difficulté à trouver des mots	NON / OUI	Nature:

**Annex 2: Positions of The Animations on the Screens for Act 2.**

<b>Left screen</b>			<b>Central screen</b>	<b>Right screen</b>		
-3	-2	-1	+	1	2	3
-6	-5	-4		4	5	6
-9	-8	-7		7	8	9



**Annex 3: Positions of the Animations on the Screens for Act 3.**

<b>Left screen</b>		<b>Central screen</b>	<b>Right screen</b>	
-2	-1	+	1	2
-4	-3		3	4

**Annex 4: Perception Grid for Act 2 & Act 3.**

<b>Acte 2.1</b>		<b>Acte 2.2</b>		<b>Acte 2.3</b>	
<b>An01</b>		<b>An01</b>		<b>An01</b>	
<b>An02</b>		<b>An02</b>		<b>An02</b>	
<b>An03</b>		<b>An03</b>		<b>An03</b>	
<b>An04</b>		<b>An04</b>		<b>An04</b>	
<b>An05</b>		<b>An05</b>		<b>An05</b>	
<b>An06</b>		<b>An06</b>		<b>An06</b>	
<b>Acte 3.1</b>		<b>Acte 3.2</b>		<b>Acte 3.3</b>	
<b>Log01</b>		<b>Log01</b>		<b>Log01</b>	
<b>Log02</b>		<b>Log02</b>		<b>Log02</b>	
<b>Log03</b>		<b>Log03</b>		<b>Log03</b>	
<b>Log04</b>		<b>Log04</b>		<b>Log04</b>	
<b>Log05</b>		<b>Log05</b>		<b>Log05</b>	
<b>Log06</b>		<b>Log06</b>		<b>Log06</b>	

## **Annex 5: Instructions Given to the Participant During the Study (given verbally in French).**

### **Questions pour le vidéo « Vaudeville Vaucher »**

#### **Consignes générales**

Dans le film que vous allez voir, vous verrez apparaître des animaux animés sur chacun des écrans. Votre tâche consistera à décrire tous les animaux que vous verrez.

Attention, durant le visionnement, nous vous demandons de garder votre menton sur la mentonnière, de fixer le chapeau que vous verrez devant vous sans tourner la tête ou les yeux.

Avez-vous bien compris la consigne ?

Pouvez-vous me la répéter ?

**(si la personne ne semble pas avoir compris)** Je vous rappelle que vous devez fixer le chapeau et décrire tous les animaux que vous verrez. Vous ne devez ni tourner la tête et ni déplacer votre regard vers la gauche ou la droite

Avez-vous bien compris ?

#### **Acte 2**

**Consignes :** Je vous rappelle que vous devez fixer le chapeau et décrire tous les animaux que vous verrez. Vous ne devez ni tourner la tête et ni déplacer votre regard vers la gauche ou la droite

Avez-vous bien compris ?

#### **Acte 3**

**Consignes :** Tout d'abord, avez-vous besoin de prendre une pause ? Nous sommes au dernier acte du vidéo et le décor va changer (il reste 3 minutes). Je vous rappelle que vous devez fixer le chapeau et décrire tous les animaux que vous verrez. Vous ne devez ni tourner la tête et ni déplacer votre regard vers la gauche ou la droite

Avez-vous bien compris ?

**Fin du vidéo.**

## Figures

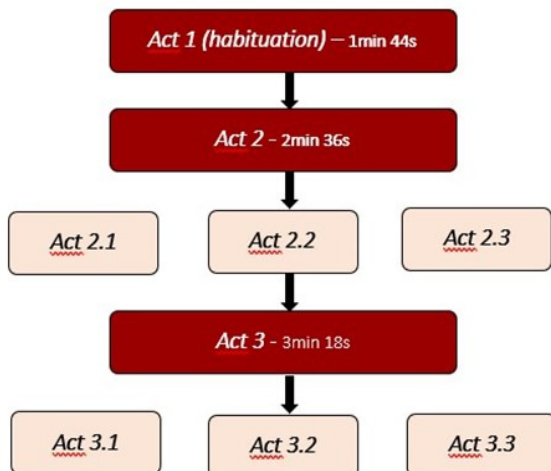
**Figure 1 :** Setup of the experiment.



**Figure 2:** An example of the type of animations shown in the video.



**Figure 3:** Flow chart of the different acts and sub-acts of the video and the time for



## Tables

**Table 1:** Norm Score Table for Act 2

<b>Raw Score</b>	<b>Z score</b>	<b>Percentile</b>
17	-1.96	2.5
18	0.063	52.5

Note. The norm score table is based on the manifest frequency distribution.

**Table 2:** Norm Score Table for Act

3

<b>Raw Score</b>	<b>Z score</b>	<b>Percentile</b>
18	0	50

Note. The norm score table is based on the manifest frequency distribution.

## **Chapitre 3 : Conclusion**

Le développement d'un nouvel outil d'évaluation visuelle demande de prendre en compte, certes, la précision du test, mais également l'expérience de l'utilisateur ou la faisabilité de son administration. Ces facteurs doivent donc rester une priorité et guider la création de ces nouveaux outils. Néanmoins, les outils répondant à ces facteurs pourraient représenter un ajout bénéfique pour le domaine clinique.

### **Comparaison de la vidéo d'animation**

Pour rappel, la technique de confrontation ne nécessite pas d'équipement particulier et est administrée par un clinicien face à la personne en bougeant son doigt dans le champ visuel de cette dernière afin de noter les anomalies. Cette technique est rapide, facile à administrer, mais est soumise à une grande variabilité test-retest qui peut parfois mener à de faux diagnostics. La vidéo d'animation présentée au Chapitre 2 est certes plus coûteuse en matériel, mais pas en termes d'administration, moins de 10 minutes, mais surtout elle évite une variabilité dans les résultats. La procédure est très stricte et ne nécessite pas une interprétation de la part du clinicien. Cela permet donc d'assurer une constance des résultats obtenus afin d'éviter le plus possible une erreur.

Comme vu précédemment, le HFA est un test utilisant une périmétrie automatique et analyse le champ visuel par le biais de petits points lumineux (Lennie et Van Hemel, 2002). Dans le cas de la vidéo d'animation présentée au Chapitre 2, celle-ci ne peut certes prétendre remplacer le HFA. En effet, le HFA est utilisé depuis très longtemps et son utilité a été prouvée dans de nombreuses études alors que la vidéo d'animation vient tout juste d'être validée (Crossland et al., 2012). Toutefois, la vidéo d'animation a permis d'établir des normes claires et précises permettant d'établir la présence d'un déficit de détection chez la personne concernée. Ce test pourrait donc s'avérer complémentaire au HFA afin de réduire la surcharge du domaine clinique en optométrie. La vidéo d'animation requiert la mise en place d'un équipement bien moins cher que celui du HFA.

De plus, celle-ci ne nécessite aucunement une formation approfondie. Cela peut donc être réalisé par n'importe quel professionnel de la santé et accélérera la vitesse de traitement de dossier des patients suspectés de déficit visuel. De plus, la vidéo d'animation est divisée en deux sections qui sont chacune divisées en trois sous-sections. Cela permet donc au clinicien de donner des pauses à la personne faisant le test. Si la personne a de la difficulté à maintenir une attention soutenue, la vidéo pourra être administrée par sous-section d'environ 1-2 minutes. Ensuite, contrairement au HFA qui analyse surtout la vision monoculaire en faisant un œil à la fois, la vidéo d'animation analyse plutôt la vision binoculaire. En analysant les deux yeux simultanément, cela permet d'évaluer la vision de la personne dans un contexte plus écologique donc plus proche de ce qui pourrait se retrouver dans leur vie de tous les jours. Cependant, il est important de préciser que le HFA offre également la possibilité de faire une évaluation binoculaire. La personne se sent donc plus investie dans la tâche et plus engagée, tel que le démontre la satisfaction en majorité positive des participants de l'étude du Chapitre 2. Toutefois, la procédure peut être facilement adaptée afin de venir y ajouter un cache-œil lors de la passation de la vidéo. Cela démontre la grande versatilité de celle-ci qui pourrait être aisément adaptée afin de venir au besoin des cliniciens (Ichhpujani et al., 2021; Lennie et Van Hemel, 2002).

Pour sa part, le Goldmann Manual Perimeter est un outil informatique permettant de faire l'évaluation du champ visuel par le biais de stimuli lumineux variant de position, de mouvement et de luminescence (Lennie et Van Hemel, 2002). Bien que cet outil soit similaire au HFA, il est beaucoup moins utilisé dans le domaine clinique. En effet, puisque c'est le clinicien qui détermine les paramètres des stimuli lumineux montrés aux patients, cela entraîne une forte variabilité entre les passations et limite beaucoup la reproductibilité du test. Ensuite, le Goldmann requiert une formation très approfondie afin de réaliser la procédure et de moins en moins de cliniciens



possèdent celle-ci. La plupart préfèrent utiliser les systèmes de périmétrie automatique qui sont plus simples à utiliser. Il est vrai que le Goldmann permet de présenter des stimuli en mouvement, mais cette procédure manque de précision et est même à risque de manquer un scotome dans la vision d'un individu (Lennie et Van Hemel, 2002; Rowe et Rowlands, 2014). Dans le cas de la vidéo d'animation, la procédure est toujours la même et l'apparition des stimuli est automatique et toujours au même endroit. Cela permet donc d'avoir une constance entre les participants et de pouvoir comparer adéquatement leur résultat avec la norme établie. De plus, la procédure de la vidéo est simple et ne nécessite pas de formation approfondie afin d'opérer l'équipement. Toutefois, il est très important de noter que la vidéo d'animation ne prétend aucunement remplacer le Goldmann puisqu'il manque de précision comparée à celui-ci et qu'il vise plutôt une analyse dynamique dans un contexte plus écologique pour le participant.

Concernant le système Octopus 900, celui-ci est très similaire au Goldmann, mais diffère quant à sa capacité d'utiliser des paramètres automatiques et aussi des paramètres manuels. Ceux-ci peuvent être en mouvement ou statiques. Il s'agit donc d'un appareil combinant les avantages, mais également les désavantages du Goldmann Manual Perimeter et de HFA. Toutefois, grâce à son utilisation simplifiée, il est plus facile à utiliser par le clinicien (Rowe et al., 2021; Rowe et Rowlands, 2014). Il reste cependant plus difficile à utiliser que la vidéo d'animation. Il est encore important de spécifier que la vidéo d'animation ne peut remplacer la précision d'une telle procédure, mais peut être très utile comme outil de première ligne. Dans un milieu où les ressources sont limitées, cet outil pourrait s'avérer une façon moins onéreuse de faire un premier dépistage avant de référer à un clinicien plus qualifié.

Pour rappel, le test UFOV est administré sur un ordinateur avec un écran et dont l'objectif est de venir mesurer la vitesse de détection de stimuli, l'attention divisée et l'attention sélective à l'aide

de 4 sous-tests. Il possède de nombreux points de comparaison avec la vidéo d'animation du Chapitre 2. En effet, les deux tests sont administrés par ordinateur, testent la vision binoculaire, sont composés de plusieurs sous-tests et présentent des stimuli qui sont familiers pour les participants. Toutefois, malgré ces similitudes, de nombreuses nuances sont importantes à souligner. Tout d'abord, alors que le test UFOV est administré sur un écran d'ordinateur et que cela limite les analyses possibles de la vision périphérique, la vidéo d'animation est administrée sur trois écrans identiques qui permettent de couvrir une plus grande partie du champ visuel, soit 160°. Alors que le test UFOV prend environ 15 minutes à administrer, la vidéo d'animation rend moins de 10 minutes à administrer, ce qui n'est pas une grande différence, mais permet au participant de prendre moins de temps sur le test. De plus, une petite musique accompagne la passation de la vidéo d'animation afin de rendre celle-ci plus dynamique et d'améliorer l'expérience de l'utilisateur (Lennie et Van Hemel, 2002; Matas et al., 2014).

D'ailleurs, contrairement aux tests précédemment énoncés, la vidéo d'animation permet de faire l'évaluation avec une bonne validité écologique, qui représente la capacité d'un test à prédire un comportement dans un contexte de vie quotidienne (Jollivet et al., 2018). En effet, les stimuli représentent des personnages en mouvement qui réalisent des actions familières (ex. saut sur trampoline ou lever de poids) et ont une apparence d'allure familière (ex. perroquet, lapin, ours). Les stimuli sont également présentés en mouvement, ce qui est plus probable dans la vie quotidienne.

### **L'apport clinique de la vidéo d'animation pour l'évaluation visuelle**

Tel que vu dans l'étude présentée au Chapitre 2, l'outil d'évaluation clinique utilisant une vidéo d'animation pourrait s'avérer très utile pour les cliniciens. En effet, celui-ci répond à un ensemble de défis rencontrés avec les outils d'évaluation traditionnelle. Il est facile à utiliser et relativement

peu coûteux à mettre en place. De plus, bien que cela doit être vérifié, cet outil pourrait s'avérer utile auprès d'une population infantile et être mieux accueilli par la population clinique. La vidéo d'animation est d'ailleurs perçue positivement par les personnes l'ayant passé et plusieurs personnes l'ont trouvé très ludique. De plus, la procédure est toujours la même entre les différentes personnes et celle-ci ne devrait pas varier entre les différents administrateurs du test. Comme vu précédemment, les premiers tests d'évaluation visuelle donnés aux personnes suspectées d'un trouble de la vision sont souvent très rapides à effectuer, mais sont soumis à une grande variabilité inter-juge ainsi qu'une difficulté à reproduire les mêmes résultats à différent moment. De plus, le clinicien doit avoir une formation approfondie pour faire passer ces tests, et cela peut retarder l'évaluation visuelle d'un patient, surtout dans un pays où il y a un important déficit de personnel qualifié.

Afin d'administrer la vidéo d'animation, il faut certes que la clinique soit équipée de trois écrans vidéo, mais celle-ci sera disponible gratuitement à tous professionnels de la santé. La formation ne demande pas une formation très approfondie et peut être effectuée par une personne n'ayant pas nécessairement les qualifications pour diagnostiquer un patient. Cet outil d'évaluation ne remplacerait pas le travail d'un ophtalmologue ou d'un optométriste, mais viendrait plutôt se présenter comme une façon de détecter un problème visuel rapidement et très facilement. D'ailleurs, tel que vu précédemment, puisque certaines sections semblent équivalentes dans la vidéo d'animation, il serait possible de diminuer encore plus le temps de passation. Pour cette première évaluation, le professionnel de la santé ne serait donc pas immédiatement sollicité, ce qui éviterait un engorgement clinique.

Il est vrai toutefois que ce test n'est pas suffisamment précis comparé à des tests plus objectifs tels que le HFA, mais peut s'avérer utile comme outil de première ligne afin de déceler un problème

visuel sans pour autant prétendre diagnostiquer le trouble en soi. De plus, certains cliniciens pourraient présenter une réticence à l'utilisation de cet outil qui n'a été utilisé qu'en contexte de recherche. C'est pour cette raison qu'il sera très important de reproduire les résultats obtenus dans de nouvelles études. Si l'efficacité de la vidéo d'animation est prouvée à plusieurs reprises et qu'elle est administrée à plusieurs types de populations cliniques, de nombreux cliniciens pourront être plus à l'aise d'utiliser ce nouvel outil. Ensuite, certaines régions moins fortunées pourraient avoir une difficulté à mettre en place tout l'équipement nécessaire pour administrer cette vidéo d'animation. En effet, il faut acheter trois écrans, un ordinateur, un bureau ajustable ainsi qu'une mentonnière. Cela entraîne donc certains coûts supplémentaires puisque l'ordinateur nécessite une bonne carte graphique et que les écrans ont besoin d'avoir une très bonne résolution. Toutefois, avec la réduction progressive des coûts des appareils technologiques, l'achat de ce type d'équipement deviendra de plus en plus accessible à travers le monde (Scott Kruse et al., 2018). Cette contrainte est donc encore bien présente puisque les composantes des ordinateurs ne sont pas encore très abordables, mais celles-ci devraient le devenir dans un futur proche.

### **La possibilité d'adaptation de la vidéo d'animation**

Pour l'instant, la vidéo d'animation présentée au Chapitre 2 a été développée afin de permettre d'évaluer en première ligne la capacité de détection visuelle d'une personne. L'étude présentée était avant tout une validation de cette vidéo d'animation afin de vérifier sa capacité à exécuter cette fonction de dépistage. Bien que celle-ci ait été validée comme l'indiquent les résultats obtenus, il pourrait être intéressant de créer de nouvelles normes avec des populations différentes. L'outil pourrait être validé avec des personnes atteintes de dégénérescence maculaire qui, contrairement aux personnes ayant une hémianopsie, ont une atteinte progressive de leur vision

centrale. Cela permettrait alors de donner une importante versatilité à cet outil qui pourra être adapté aisément à différentes populations cliniques.

Par ailleurs, il serait intéressant d'adapter la procédure de la vidéo d'animation afin de venir évaluer l'attention visuelle. L'attention peut être définie comme la gestion des ressources énergétiques du cerveau afin de guider de façon optimale une action vers son but (Atkinson et Braddick, 2012). En effet, notre environnement est composé d'une multitude de stimuli qui sollicitent toute notre attention. Toutefois, puisque le cerveau humain nécessite beaucoup d'énergie pour fonctionner, dû à un rendement métabolique très élevé, il doit prioriser certains stimuli. C'est ce qui est appelé l'attention sélective. Ce type d'attention peut d'ailleurs être influencé par les facteurs endogènes ou exogènes. Le terme endogène réfère ici aux facteurs internes de la personne qui va venir guider son attention et le terme « exogène » réfère aux facteurs externes, tels que les caractéristiques des stimuli, qui viennent guider l'attention (Ordikhani-Seyedlar et al., 2016; Theeuwes, 1993). Le concept de l'attention sélective est particulièrement pertinent dans le cas de la vidéo d'animation présentée au Chapitre 2. En effet, comme abordé dans le chapitre précédent, la vidéo présente 36 stimuli ayant des caractéristiques très variées. Certains stimuli sont caractérisés par des lapins, des ours ou encore des oiseaux et leur couleur varie durant la vidéo. Il serait donc intéressant de demander à des participants de peser sur un bouton lorsqu'ils détectent des stimuli rouges par exemple. Il serait donc possible d'évaluer les capacités attentionnelles de la personne en analysant la capacité de la personne à diriger son regard vers un but donné. De plus, les actions réalisées par les personnages de cette vidéo d'animation font également des mouvements ayant une orientation variée ainsi que des actions précises d'une saillance variée. Un exemple serait un lapin qui crache du feu vers la gauche sur l'écran de droite. Il pourrait alors être intéressant d'analyser la vitesse de

détection des participants selon la saillance des stimuli. Il faudrait toutefois adapter les procédures et coter la saillance des différents stimuli présentés dans la vidéo.

Il serait également intéressant d'évaluer d'autres facultés telles que la mémoire. En effet, la personne pourrait avoir pour tâche de se rappeler le nombre de lapins vu à l'écran ou encore le nombre de personnages rouges apparaissant dans la vidéo. Une telle adaptation ne serait pas facile puisqu'une validation serait à nouveau nécessaire. Toutefois, cela ouvre la voie à des méthodes d'évaluations plus ludiques et versatiles.

### *L'évaluation chez les enfants*

L'évaluation de la vision chez l'enfant présente un défi de taille pour les cliniciens. En effet, les enfants ont souvent de la misère à expliquer ce qu'ils ressentent empêchant ainsi le clinicien de bien cerner l'atteinte visuelle. De plus, le clinicien peut manquer d'aisance dans le contact avec un enfant et pourrait manquer des informations cruciales pour diagnostiquer un possible déficit visuel. Cette difficulté de l'évaluation chez l'enfant peut d'ailleurs être porteur de conséquences lourdes pour le bon développement de celui-ci (Chokron et al., 2010; Gogate et al., 2011; Lennie et Van Hemel, 2002). En effet, selon Gogate et al. (2011), de nombreux cas de cécité infantile seraient évitables avec un diagnostic posé plutôt. Si on prend l'exemple de la vision binoculaire, elle se développe entièrement vers 6 mois. Si l'enfant présente une cécité non diagnostiquée et que celui-ci n'est pas suffisamment stimulé visuellement, il pourrait développer une incapacité à bien percevoir son environnement en trois dimensions. De plus, les enfants qui ne reçoivent pas une aide suffisamment rapidement peuvent rencontrer des difficultés développementales. Puisque l'enfant se base beaucoup sur sa vision pour apprendre, un trouble visuel pourrait négativement affecter son développement social, psychologique ou éducatif (Chokron et al., 2010; Gogate et al., 2011).

Afin de favoriser une détection rapide de problèmes visuels chez l'enfant, plusieurs solutions seraient envisageables. Tout d'abord, il serait important de mieux former les cliniciens à évaluer les enfants et d'adapter les méthodes traditionnelles utilisées. Ensuite, il serait intéressant de former d'autres professionnels de la santé qui interagissent avec les enfants à réaliser quelques tests très rapides afin de constater la présence de certains troubles visuels tels qu'une opacité de leurs yeux. Tous les problèmes mentionnés précédemment sont peut-être moins un enjeu dans les sociétés davantage privilégiées, mais pourraient représenter un défi de taille dans des régions moins fortunées. C'est dans cette situation qu'une solution rapide et peu coûteuse peut aider les professionnels de la santé, quel qu'il soit, à venir dépister la présence d'un trouble visuel (Gogate et al., 2011; Lennie et Van Hemel, 2002). Un outil d'évaluation tel que celui mentionné au Chapitre 2 vient donc, par son aspect ludique et peu coûteux, offrir une solution possible aux cliniciens qui composent avec ces défis. De plus, les enfants rencontrent généralement une difficulté à maintenir le regard sur un point fixe de façon soutenue. La vidéo d'animation tolère des mouvements très légers dans la zone de fixation centrale. Cela pourrait donc être utile afin de maintenir plus aisément le regard d'un enfant. Toutefois, il est important de réitérer l'importance de valider cet outil avec une population infantile afin de confirmer ces suppositions.

De plus, il est important de mentionner que les défis rencontrés ci-haut sont également rencontrés chez une population ayant des troubles cognitifs limitant la compréhension des tests et leur coopération lors de la passation des tests (Gogate et al., 2011). Cet outil pourrait donc s'avérer moins contraignant, moins intimidant et faciliterait la réalisation rapide de l'évaluation. Toutefois, encore pour ce point, il sera primordial de valider cette théorie auprès de la population concernée.

## **Les nouvelles méthodes d'évaluation visuelle**

S'ajoutant à l'outil d'animation mentionné au chapitre 2, il y a émergence de nouvelles méthodes d'évaluation utilisant de nouvelles technologies ou procédures afin d'améliorer le service donné aux personnes atteintes ou suspectées d'un trouble visuel.

### *La télémédecine en évaluation visuelle*

L'utilisation de la télémédecine est décrite comme « L'utilisation d'informations médicales échangées d'un site à l'autre par le biais de communications électroniques afin d'améliorer l'état de santé clinique d'un patient [traduction libre] » (Burke Jr et al., 2015). Le transfert de données médicales ne date pas d'hier et s'améliore au fil des années avec l'évolution technologique. D'ailleurs, la télémédecine est déjà utilisée entre professionnels de santé et pour la consultation de patients. Cette méthode a été prouvée comme étant une façon de joindre des patients éloignés et de fournir un service plus efficace tout en restant moins cher (Burke Jr et al., 2015). Si, par exemple, une clinique reçoit un patient qui présente un trouble que personne à cet endroit n'est habilitée à évaluer, un professionnel qualifié pourrait être rapidement contacté. Celui-ci pourrait donc évaluer les données de tests effectués telles que des résultats d'imagerie et guider le personnel présent avec le patient. Comme il a été mentionné précédemment, la rapidité de l'établissement d'un diagnostic est parfois cruciale pour la guérison du patient (Gogate et al., 2011). Si nous prenons l'exemple d'une hémianopsie à la suite d'un AVC, il est primordial de diagnostiquer la personne et de lui fournir une réadaptation rapidement (Zhang et al., 2006). La télémédecine pourrait donc aisément aider à cet égard.

Dans le domaine de l'ophtalmologie, la télémédecine est donc tout à fait envisageable pour la consultation de certains patients ou la réalisation de certains tests visuels. Certes de nombreux tests d'évaluation visuelle requièrent une machine dédiée à cet effet. Toutefois, certains tests se font



sous format d'un questionnaire et cela peut être aisément adapté afin d'être administré à distance, surtout si on prend l'exemple de la réadaptation à la suite de l'apparition d'un trouble visuel. Cela commence d'ailleurs déjà à être implanté dans certains pays (Yuen et al., 2022). Un exemple, donné par Yuen et al. (2022), présente le réseau Joslin Vision, qui opère depuis 2000 pour l'évaluation visuelle des personnes possiblement atteintes de rétinopathies liées au diabète chez les vétérans (Yuen et al., 2022). Bien entendu, il est également très important de mentionner certains défis ou limites associés à la télémédecine. Tout d'abord, les gens qui utilisent cette méthode, patients comme professionnel de la santé, ont parfois une difficulté à utiliser le matériel informatique nécessaire pour la consultation. Cela peut d'ailleurs s'accompagner d'une difficulté de certaines personnes à accepter une modification des méthodes traditionnelles de consultation. Ensuite, les coûts peuvent également représenter un défi pour l'utilisation de la télémédecine surtout dans des pays en voie de développement où l'accès à la technologie n'est pas aussi facile. Toutefois, malgré tous ces défis, il est important de préciser que la technologie devient de plus en plus ergonomique et accessible à tous par la réduction du prix de la plupart des équipements informatiques. La télémédecine s'annonce alors comme une étape probablement inévitable dans le domaine de l'évaluation visuelle et pourrait s'avérer être une option intéressante dans le futur (McKendrick et Optometry, 2005; Scott Kruse et al., 2018). Toutefois, bien que la vidéo d'animation du Chapitre 2 soit réalisée sur un ordinateur, le fait qu'elle soit présentée sur trois écrans limite grandement la possibilité de l'utiliser à distance par les patients. La technologie évolue certes rapidement et devient plus accessible, mais l'utilisation de trois écrans amène la nécessité d'un environnement dédié à cette procédure. Cependant, dans une étude ultérieure, cette limite de la vidéo d'animation pourrait être corrigée en l'adaptant dans un format moins restrictif tel que la réalité virtuelle (RV), un équipement qui devient de plus en plus abordable.

### *La réalité virtuelle pour l'évaluation visuelle*

Lorsque nous regardons les avenues futures possibles de l'évaluation visuelle, la réalité virtuelle (RV) s'avère être une idée très prometteuse pour ce type d'évaluation. En effet, l'évaluation visuelle se fait généralement en clinique et nécessite la passation de tests standardisés donnés par un professionnel formé. Toutefois, la RV permet de créer aisément des environnements contrôlés permettant à l'expérimentateur de bien gérer les conditions expérimentales exposées aux participants, de répéter la tâche facilement, de simuler des situations qui seraient difficilement simulées dans la vraie vie et de diminuer les coûts de telles expérimentations (Jollivet et al., 2018; Ragan et al., 2015). La réalité virtuelle s'avère être déjà utilisée dans des domaines tels que la réadaptation, l'entraînement cognitif ou encore l'éducation de certaines tâches. De ce fait, il devient plus facile d'évaluer une condition spécifique selon ce qui est affecté chez la vision de la personne. Par exemple, un test pourrait évaluer l'acuité visuelle, le champ visuel, la perception des couleurs ou encore la vision stéréoscopique. Cette grande versatilité et précision permet à l'évaluation d'être toujours la même et de limiter les variables confondantes en favorisant une grande reproductibilité. Ce type de test est également connu pour avoir une importante validité écologique (Jollivet et al., 2018). De plus, ces évaluations visuelles peuvent s'avérer plus stimulantes et intéressantes pour le participant, ce qui faciliterait grandement leur aisance à effectuer ces tâches. Cependant, il est important de garder en tête que l'utilisation de la RV n'est pas accessible dans tous les pays et que le coût y étant associé est tout de même élevé, même si elle est moins chère que certains des équipements traditionnels. Aussi, il est important de souligner que pour l'instant les tests usant de la RV manquent de précision quant à leur capacité à détecter un trouble visuel. Ce domaine est dans ses débuts cliniques, mais une amélioration de l'équipement RV et une diminution du coût de celui-ci permettront d'en augmenter l'accessibilité dans les prochaines années (Jollivet et al., 2018; Ragan et al., 2015).

## **Le futur de l'évaluation visuelle**

Le futur associé aux méthodes d'évaluation visuelle est très prometteur, et ce, autant pour les patients que pour les cliniciens. Avec l'amélioration des méthodes existantes et le développement de nouvelles méthodes plus efficaces, l'évaluation visuelle sera plus facile à administrer pour le clinicien et sera moins exigeante pour le patient. Cela est dû notamment aux avancées technologiques importantes du 21<sup>e</sup> siècle et à une plus grande accessibilité de la technologie. Il devient plus simple de faire passer des tests n'importe où dans le monde et des contrées alors trop loin pour être desservies pourront l'être plus aisément. Il devient également plus facile de contrôler les conditions d'évaluation afin de limiter au maximum les variables confondantes. La technologie est aujourd'hui omniprésente dans la vie de la majorité des gens à travers le monde. De nombreuses études abordent d'ailleurs les bénéfices actuels ou potentiels d'utiliser les nouvelles technologies pour l'évaluation visuelle. De plus, avec l'avancement des technologies, il devient plus facile d'assurer une bonne validité écologique qui est trop souvent mise de côté dans le domaine de la clinique (Jollivet et al., 2018).

Ces améliorations permettront peu à peu d'augmenter l'efficacité du service offert par les cliniciens et permettront aux patients d'avoir une meilleure expérience d'utilisateur. Si l'efficacité augmente, cela pourrait également permettre aux personnes d'être diagnostiquées plus rapidement afin d'avoir une réadaptation le plus rapidement possible selon la gravité du déficit visuel bien évidemment. D'ailleurs, toutes ces nouvelles façons d'aborder l'évaluation visuelle pourraient permettre d'adapter plus facilement les procédures afin d'évaluer différents types de déficit visuel ou d'autres facultés. Il deviendra donc très important que les futures études abordant ce sujet mettent en importance la précision du test, mais également l'expérience de l'utilisateur, la facilité d'utilisation, l'accessibilité et le coût de tels outils d'évaluation.



## Références de l'introduction et de la conclusion

- AARON, M., SOLLEY, W. A. et BROOCKER, G. (2005). General Eye Examination. Dans *Primary Care Ophthalmology* (p. 1-23). Elsevier.
- Atkinson, J. et Braddick, O. (2012, Jul). Visual attention in the first years: typical development and developmental disorders. *Dev Med Child Neurol*, 54(7), 589-595.  
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04294.x>
- Aust, F. et Edwards, J. (2016, 01/18). Incremental validity of Useful Field of View subtests for the prediction of instrumental activities of daily living. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 38, 1-19. <https://doi.org/10.1080/13803395.2015.1125453>
- Ball, K. et Owsley, C. (1993, 02/01). The Useful Field of View Test: A new technique for evaluating age-related declines in visual function. *Journal of the American Optometric Association*, 64, 71-79.
- Bear, M. F., Connors, B. W. et Paradiso, M. A. (2016). *Neurosciences : à la découverte du cerveau* (vol. 4). John Libbey Eurotext.
- Beck, R. W., Bergstrom, T. J. et Lighter, P. R. J. O. (1985). A clinical comparison of visual field testing with a new automated perimeter, the Humphrey Field Analyzer, and the Goldmann perimeter. 92(1), 77-82.
- Burke Jr, B. L., Hall, R., Care, S. o. T., Dehnel, P. J., Alexander, J. J., Bell, D. M., Bunik, M.,  
Burke Jr, B. L. et Kile, J. R. J. P. (2015). Telemedicine: pediatric applications. 136(1), e293-e308.
- Chen, W., Li, R., Yu, Q., Xu, A., Feng, Y., Wang, R., Zhao, L., Lin, Z., Yang, Y. et Lin, D. J. N. m. (2023). Early detection of visual impairment in young children using a smartphone-based deep learning system. 29(2), 493-503.

- Chokron, S., Cavézian, C. et de Agostini, M. J. D. (2010). Troubles neurovisuels chez l'enfant : Sémiologie, retentissement sur les apprentissages et dépistage. (1), 17-25.
- Colwell, M. J., Demeyere, N., Vancleef, K. J. D. et Rehabilitation. (2022). Visual perceptual deficit screening in stroke survivors: evaluation of current practice in the United Kingdom and Republic of Ireland. *44*(22), 6620-6632.
- Costela, F. M., Sheldon, S. S., Walker, B., Woods, R. L. J. O. et Optometry, v. s. o. p. o. t. A. A. o. (2018). People with hemianopia report difficulty with TV, computer, cinema use, and photography. *95*(5), 428.
- Courteix, C. et Sion, B. (2018, 2018/05/01/). Physiologie de l'œil et principes généraux de la vision. *Actualités Pharmaceutiques*, *57*(576), 20-24.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.actpha.2018.03.004>
- Crossland, M., Jackson, M.-L. et Seiple, W. H. J. O. R. (2012). Microperimetry: a review of fundus related perimetry. *2*(1), e2-e2.
- Felgueiras, S., Costa, J., Gonçalves, J. et Soares, F. (2018). Mobile-based Risk Assessment of Diabetic Retinopathy using a Smartphone and Adapted Ophthalmoscope. Dans. HEALTHINF.
- Fonteh, C. N., Mathias, M. T., Mandava, N., Manoharan, N., Lynch, A. M., Navo, R., Patnaik, J. L. et Jeffery, U. o. C. R. R. G. A. M. C. K. L. D. R. E. R. T. G. C. R. H. S. L. A. M. O. S. N. O. (2022). Mental health and visual acuity in patients with age-related macular degeneration. *22*(1), 391.
- Gogate, P., Gilbert, C. et Zin, A. J. M. E. A. j. o. o. (2011). Severe visual impairment and blindness in infants: causes and opportunities for control. *18*(2), 109.
- Goodwin, D. J. C. O. (2014). Homonymous hemianopia: challenges and solutions. 1919-1927.

- Hanna, K. L., Hepworth, L. R., Rowe, F. J. D. et al. (2017). Screening methods for post-stroke visual impairment: a systematic review. *39*(25), 2531-2543.
- Hashimoto, S., Matsumoto, C., Eura, M., Okuyama, S. et Shimomura, Y. J. J. J. o. O. (2017). Evaluation of kinetic programs in various automated perimeters. *61*, 299-306.
- Howren, M. B., Vander Weg, M. W. et Wolinsky, F. D. J. J. o. c. e. r. (2014). Computerized cognitive training interventions to improve neuropsychological outcomes: evidence and future directions. *3*(2), 145-154.
- Ichhpujani, P., Thakur, S., Sahi, R. K. et Kumar, S. J. I. J. o. O. (2021). Validating tablet perimetry against standard Humphrey Visual Field Analyzer for glaucoma screening in Indian population. *69*(1), 87.
- Jollivet, M., Fortier, J., Besnard, J., Le Gall, D. et Allain, P. J. R. d. n. (2018). Neuropsychologie et technologies numériques. (1), 69-81.
- Lennie, P. et Van Hemel, S. B. (2002). Visual Impairments: Determining Eligibility for Social Security Benefits.
- Maaswinkel, I. M., van der Aa, H. P., van Rens, G. H., Beekman, A. T., Twisk, J. W. et van Nispen, R. M. J. B. p. (2020). Mastery and self-esteem mediate the association between visual acuity and mental health: a population-based longitudinal cohort study. *20*, 1-9.
- Majumdar, S. et Tripathy, K. (2020). Hyperopia.
- Matas, N. A., Nettelbeck, T., Burns, N. R. J. A. A. et al. (2014). Cognitive and visual predictors of UFOV performance in older adults. *70*, 74-83.
- McKendrick, A. M. J. C. et al. (2005). Recent developments in perimetry: test stimuli and procedures. *88*(2), 73-80.

- Mohaghegh, N., Ghafar-Zadeh, E. et Magierowski, S. J. V. (2019). Recent advances of computerized graphical methods for the detection and progress assessment of visual distortion caused by macular disorders. *3*(2), 25.
- Morgan, I. G., Ohno-Matsui, K. et Saw, S.-M. J. T. L. (2012). Myopia. *379*(9827), 1739-1748.
- Nowomiejska, K., Vonthein, R., Paetzold, J., Zagorski, Z., Kardon, R. et Schiefer, U. J. O. (2005). Comparison between semiautomated kinetic perimetry and conventional Goldmann manual kinetic perimetry in advanced visual field loss. *112*(8), 1343-1354.
- Ordikhani-Seyedlar, M., Lebedev, M. A., Sorensen, H. B. et Puthusserypady, S. J. F. i. n. (2016). Neurofeedback therapy for enhancing visual attention: state-of-the-art and challenges. *10*, 352.
- Phansalkar, R., Lockman, A. J., Bansal, S., Moss, H. E. J. C. N. et Reports, N. (2022). Management of Functional Vision Disorders. *22*(4), 265-273.
- Prasad, S. et Galetta, S. L. (2011). Chapter 1 - Anatomy and physiology of the afferent visual system. Dans C. Kennard et R. J. Leigh (dir.), *Handbook of Clinical Neurology* (vol. 102, p. 3-19). Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52903-9.00007-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52903-9.00007-8)
- Ragan, E. D., Bowman, D. A., Kopper, R., Stinson, C., Scerbo, S., McMahan, R. P. J. I. t. o. v. et graphics, c. (2015). Effects of field of view and visual complexity on virtual reality training effectiveness for a visual scanning task. *21*(7), 794-807.
- Read, S. A., Vincent, S. J., Collins, M. J. J. O. et Optics, P. (2014). The visual and functional impacts of astigmatism and its clinical management. *34*(3), 267-294.
- Remington, L. A. et Goodwin, D. (2021). *Clinical Anatomy and Physiology of the Visual System: Clinical Anatomy and Physiology of the Visual System E-Book*. Elsevier Health Sciences.



- Rowe, F., Brand, D., Jackson, C. A., Price, A., Walker, L., Harrison, S., Eccleston, C., Scott, C., Akerman, N., Dodridge, C. J. A. et al. (2009). Visual impairment following stroke: do stroke patients require vision assessment? , *38*(2), 188-193.
- Rowe, F. J., Czanner, G., Somerville, T., Sood, I. et al. (2021). Octopus 900 automated kinetic perimetry versus standard automated static perimetry in glaucoma practice. *46*(1), 83-95.
- Rowe, F. J., Hepworth, L. R. et al. (2019). Development of core outcome sets for vision screening and assessment in stroke: a Delphi and consensus study. *9*(9), e029578.
- Rowe, F. J. et al. (2014). Comparison of diagnostic accuracy between Octopus 900 and Goldmann kinetic visual fields. *2014*.
- Saionz, E. L., Busza, A. et al. (2022). Rehabilitation of visual perception in cortical blindness. *184*, 357-373.
- Sand, K., Midelfart, A., Thomassen, L., Melms, A., Wilhelm, H. et al. (2013). Visual impairment in stroke patients—a review. *127*, 52-56.
- Saw, S.-M., Katz, J., Schein, O. D., Chew, S.-J. et al. (1996). Epidemiology of myopia. *18*(2), 175-187.
- Saxena, R., Sharma, P., Gopal, S. et al. (2020). National consensus statement regarding pediatric eye examination, refraction, and amblyopia management. *68*(2), 325.
- Scott Kruse, C., Karem, P., Shifflett, K., Vegi, L., Ravi, K., Brooks, M. J. et al. (2018). Evaluating barriers to adopting telemedicine worldwide: a systematic review. *24*(1), 4-12.
- Skalicky, S. E. J. C. A., 1st edition. Singapore: Springer366. (2016). Ocular and visual physiology.
- Theeuwes, J. J. A. p. (1993). Visual selective attention: A theoretical analysis. *83*(2), 93-154.

- Tomita, M., Kanamori, T., Waring IV, G. O., Yukawa, S., Yamamoto, T., Sekiya, K., Tsuru, T. J. J. o. C. et Surgery, R. (2012). Simultaneous corneal inlay implantation and laser in situ keratomileusis for presbyopia in patients with hyperopia, myopia, or emmetropia: six-month results. *38*(3), 495-506.
- Wolfe, B., Dobres, J., Rosenholtz, R. et Reimer, B. J. A. e. (2017). More than the Useful Field: Considering peripheral vision in driving. *65*, 316-325.
- Yuen, J., Pike, S., Khachikyan, S. et Nallasamy, S. J. E. P. (2022). Telehealth in ophthalmology. 45-61.
- Zhang, X., Kedar, S., Lynn, M. J., Newman, N. J. et Biousse, V. (2006, Mar 28). Natural history of homonymous hemianopia. *Neurology*, *66*(6), 901-905.  
<https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000203338.54323.22>