



HAL
open science

La vision des couleurs

Morgane Wetter

► **To cite this version:**

| Morgane Wetter. La vision des couleurs. Sciences du Vivant [q-bio]. 2022. dumas-04002471

HAL Id: dumas-04002471

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04002471>

Submitted on 23 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



Faculté des sciences
médicales et paramédicales
Aix-Marseille Université

École des Sciences de la Réadaptation
École d'Orthoptie

La vision des couleurs

WETTER Morgane

Maître et directrice de mémoire :
TRINQUET Laure
Orthoptiste et directrice de la formation

Année Universitaire 2021-2022
Mémoire de fin d'études d'Orthoptie

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier notre directrice pédagogique de l'école d'orthoptie de Marseille, Madame Laure Trinquet qui par son investissement et son accompagnement a su nous offrir la meilleure formation.

Je souhaite également remercier Madame Chloé Monticolo, pour la richesse de ses cours ainsi que l'ensemble de nos professeurs et intervenants.

Je remercie l'ensemble des orthoptistes en CHU et libéral qui ont acceptés de m'accueillir en stage, notamment Madame Marianne Favrat ; Madame Isabelle Odin-Iozzino ainsi que Madame Alexandra Bolufer. Leurs connaissances et conseils m'ont été bénéfiques.

Je tiens à remercier Madame Élodie Giorico pour ses conseils et ses avis pour la réalisation de ce mémoire.

Merci à toutes les personnes qui ont répondu à mon questionnaire, et qui l'ont diffusé autour d'elles. Merci à Alexandra du site mondaltonisme.fr pour l'intérêt qu'elle a porté à mon mémoire. Et un merci à Tiffany de Sens&Tiff d'avoir pris le temps d'échanger avec moi.

J'adresse mes sincères remerciements à mes proches, mes parents, mes frères, mes amis et Victor pour leurs soutiens et leurs encouragements tout au long de mon parcours qui m'ont permis d'en arriver là. Un grand merci à Cloé et Nadine pour le temps consacré à m'aider à la réalisation de ce mémoire.

Je souhaite, pour terminer, remercier la promotion 2019-2022 pour ces trois belles années source de nombreux souvenirs. Et enfin merci à mes camarades les plus proches, pour leur joie de vivre et tous ces moments que je n'oublierai jamais.

Résumé

La vision des couleurs est la capacité de notre cerveau à analyser et traiter l'information lumineuse afin de créer une sensation colorée de l'objet observé. Trois types de photorécepteurs coniques rentrent en jeu dans ce système, desquels découlent différents types de déficience de vision des couleurs nommées dyschromatopsies.

L'étude des impacts des dyschromatopsies congénitales a permis de comprendre la nécessité du dépistage précoce pour limiter les difficultés que ce soit dans les tâches quotidiennes ou au niveau des apprentissages scolaires.

Bien qu'à ce jour aucun traitement n'existe pour traiter ces déficiences, les résultats de thérapie génique chez les primates pour traiter les dyschromatopsies congénitales de type deutan et protan ont apporté l'espoir d'un futur traitement. La solution des « lunettes pour daltoniens » est remise en cause du fait de leur manque d'efficacité.

Un manque notable d'accompagnement et d'explication a été relevé auprès des personnes atteintes, c'est pourquoi une fiche technique a été mise en œuvre dans l'optique d'améliorer ces lacunes.

Mots clés : *vision des couleurs/ dyschromatopsie/ impact / accompagnement/ orthoptie*

Abstract

Color vision is the ability of our brain to analyze and process light information to create a colored sensation of the object being viewed. Three types of cone photoreceptors are involved in this system, from which different types of color vision deficiencies arise, known as dyschromatopsia.

The study of the impact of congenital dyschromatopsia has made it possible to understand the need for early detection to limit the difficulties in daily tasks and in school learning.

Although to date there is no treatment for these deficiencies, the results of gene therapy in primates to treat congenital dyschromatopsia of the deutan and protan type have brought hope for a future treatment. The solution of "colorblind glasses" is being questioned because of their lack of effectiveness.

A notable lack of support and explanation has been noted among sufferers, so a technical sheet has been implemented with a view to improving these shortcomings.

Key words: *color vision/ dyschromatopsia or color blindness/ impact/ support/ orthoptic*

Morgane WETTER

| 3^{ème} année d'orthoptie
Année 2021-2022

La vision des couleurs

En quoi la prise en charge de la vision des couleurs ne doit pas être délaissée ?

Mots clés : vision des couleurs/ dyschromatopsie/ impact / accompagnement/ orthoptie

Key words: color vision/ dyschromatopsia or color blindness/ impact/ support/ orthoptic



RESUME

La vision des couleurs est la capacité de notre cerveau à analyser et traiter l'information lumineuse afin de créer une sensation colorée de l'objet observé. Trois types de photorécepteurs coniques rentrent en jeu dans ce système, desquels découlent différents types de déficience de vision des couleurs que l'on nomme dyschromatopsies.

L'étude des impacts des dyschromatopsies congénitales a permis de comprendre la nécessité du dépistage précoce pour limiter les difficultés que ce soit dans les tâches quotidiennes ou au niveau des apprentissages scolaires.

Bien qu'à ce jour aucun traitement n'existe pour traiter ces déficiences, les résultats de thérapie génique chez les primates pour traiter les dyschromatopsies congénitales de type deutan et protan ont apporté l'espoir d'un futur traitement. La solution des « lunettes pour daltoniens » est remise en cause du fait de leur manque d'efficacité.

Un manque notable d'accompagnement et d'explication a été relevé auprès des personnes atteintes, c'est pourquoi une fiche technique a été mise en œuvre dans l'optique d'améliorer ces lacunes.

ABSTRACT

Color vision is the ability of our brain to analyze and process light information to create a colored sensation of the object being viewed. Three types of cone photoreceptors are involved in this system, from which different types of color vision deficiencies arise, known as dyschromatopsia.

The study of the impact of congenital dyschromatopsia has made it possible to understand the need for early detection to limit the difficulties in daily tasks and in school learning.

Although to date there is no treatment for these deficiencies, the results of gene therapy in primates to treat congenital dyschromatopsia of the deutan and protan type have brought hope for a future treatment. The solution of "colorblind glasses" is being questioned because of their lack of effectiveness.

A notable lack of support and explanation has been noted among sufferers, so a technical sheet has been implemented with a view to improving these shortcomings.



Comment fonctionne la vision des couleurs chez l'homme ?

Introduction

Nombreuses sont les personnes qui ont étudié la perception de la vision des couleurs.

Isaac Newton fut l'un des premiers à s'y intéresser avec ses travaux sur la décomposition de la lumière exposés dans son ouvrage *Opticks* rendu public en 1704. Puis **Thomas Young** et **Hermann Von Helmholtz**, suggèrent la théorie trichromatique, et déterminent que les longueurs d'ondes des cônes étaient : les ondes courtes (bleu), les ondes moyennes (vert) et les ondes longues (rouge). En 1878, **Ewald Hering** développe la théorie du processus opposé. **John Dalton**, lui, initia au XVIII^{ème} siècle les travaux sur la perception des couleurs et ses déficiences. (1) (2) (3) (4)

Les débuts de la vision des couleurs chez les mammifères

La trichromatie serait apparue au moment où les singes de l'Ancien et du Nouveau Monde se sont séparés, il y a **23 à 40 millions** d'années. En effet le gène qui code pour l'opsine L/M (absorption maximale dans le jaune)

porté par le chromosome X a subi une duplication accompagnée de mutation. Ce gène ancestral s'est donc distingué en deux gènes qui codent pour les opsines M (absorption dans le vert) et L (absorption dans le rouge) toujours situés sur le chromosome X. (5) (6) (7)

L'évolution de la vision des couleurs chez les mammifères et chez l'homme est en lien avec l'évolution du mode de vie et des besoins de ces individus.

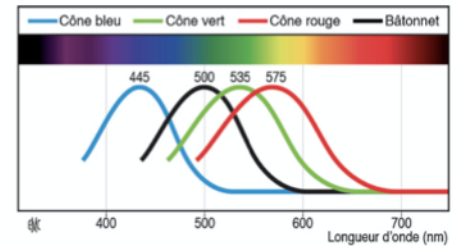
Le développement de la vision des couleurs

La vision des couleurs se fait grâce à notre organe récepteur qu'est l'œil, et plus précisément par la rétine qui transmet les informations visuelles au cerveau. Pour parvenir à ce phénomène, la lumière en est la principale actrice. Une fois que la lumière parvient à l'œil, une partie des rayonnements ultra-violet (UV) est absorbée par la cornée, les rayonnements infra-rouge (IR) par le cristallin, et les photons sont eux captés par la rétine. C'est au niveau des photorécepteurs que la lumière est captée.

Les photorécepteurs sont de deux sortes, les bâtonnets et les cônes.

Trois types de photorécepteurs coniques existent, lesquels possèdent trois pigments spécifiques sensibles au bleu, au vert et au rouge. Le **cône S** pour *Short wavelength*, qui est sensible aux courtes longueurs d'ondes, avec un pic d'absorption à 420nm, il s'agit du cône sensible dans le violet-bleu. Le **cône M** pour *Middle wavelength*, lui est sensible aux moyennes longueurs d'ondes, avec un pic d'absorption à 530nm, il s'agit

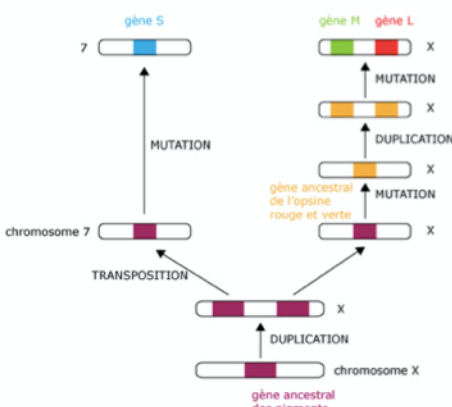
dans ce cas du cône sensible au vert. Enfin le **cône L** pour *Long wavelength*, sensible aux longues longueurs d'ondes, avec un pic d'absorption à 560nm, il s'agit du cône sensible au rouge.



Chaque cône est sensible à une couleur préférentielle mais ils répondent aussi aux autres couleurs mais en plus faible quantité. (8) (9) (10) (11)

Les cellules coniques M et L sont connectées aux cellules ganglionnaires naines formant la voie parvocellulaire, c'est ici l'aboutissement de l'antagonisme « rouge – vert ». Quant à la voie konicellulaire, elle est formée par les cellules ganglionnaires bi stratifiées qui sont spécifiques des cellules coniques S, les cellules coniques M et L envoient aussi indirectement des afférences et nous y retrouvons un aboutissement de l'antagonisme « bleu-jaune ». C'est au niveau de la voie magnocellulaire, constituée des cellules ganglionnaires parasols connectées aux cônes M et L que l'antagonisme noir-blanc naît. Ces phénomènes exposent la théorie du processus opposé décrite par E. Ering. (10) (11)

Les signaux rejoignent ensuite les différentes aires corticales pour être analysés et construire une image colorée. C'est au niveau de l'aire visuelle primaire et secondaire que les signaux sont principalement analysés. C'est l'aire V4 qui permet le traitement de la couleur. D'autres systèmes rentrent également en jeu pour finir l'analyse tel que le cortex frontal et temporal pour mettre en lien la couleur, l'objet et la mémoire. (10) (11)



Pour que le système de la vision des couleurs se développe correctement, il faut que les autres systèmes se développent convenablement tels que l'acuité visuelle et le champ visuel. Ce n'est que vers la fin de l'enfance, 6-7ans que les capacités visuelles sont en place. (10) (11) (12)

Les déficiences de la vision des couleurs

Les déficiences de la vision des couleurs ou dyschromatopsies vont se catégoriser en deux classes, les dyschromatopsies congénitales et les dyschromatopsies acquises.

Lors d'une dyschromatopsie congénitale, il y a une altération d'un ou de plusieurs des pigments visuels. La déficience se traduit par une atteinte symétrique, binoculaire et touche le champ visuel dans son entièreté. Le tableau ci-contre détaille les différents types de dyschromatopsies congénitales en fonction du cône affecté, de la transmission et de la prévalence.

A savoir que d'après le rapport de la SFO de 2018, les dyschromatopsies liées aux cônes M et L toucheraient 5 à 8% des hommes et 0,50% des femmes. (10) (12) (13) (14) (15) (16)

Les déficiences acquises de la vision des couleurs, sont une perturbation de la vision des couleurs qui va être le plus souvent asymétrique, monoculaire ou binoculaire, évolutive, la personne est consciente du changement de couleur, et seul une partie du champ visuel peut être atteint. (17)

Les dyschromatopsies acquises sont secondaires à une maladie ou une atteinte des voies optiques et ont trois classes principales de causes : les maladies générales ; les maladies oculaires et les intoxications. (8) (17) (18)

La classification des dyschromatopsies acquises est plus compliquée que celle des dyschromatopsies congénitales. Plusieurs classifications existent, la classification de Verriest est la plus utilisée. La détection et la classification de ces déficiences sont utiles pour le dépistage, le diagnostic et la surveillance de certaines pathologies, cela permet également d'évaluer le traitement. Le

tableau ci-dessous présente les différents types de dyschromatopsies acquises associées à leurs axes de confusion ainsi qu'aux pathologies associées. (13) (17)

Les tests de vision des couleurs

Le dépistage chez les enfants peut être réalisé dès 5/6 ans, lors d'un contrôle ophtalmologique ou orthoptique par exemple.

Selon les tests réalisés et le type de dyschromatopsie, la passation peut se faire œil par œil ou en binoculaire. Dans les dyschromatopsies acquises cela doit être réalisé en monoculaire car la dyschromatopsie peut être asymétrique, alors qu'en cas de dyschromatopsie congénitale cela peut être réalisé en binoculaire car la déficience est symétrique sur les deux yeux. Et évidemment les tests se réalisent avec la correction optique associée à la correction de près quand la vision de près est nécessaire pour les tests. (10) (11) (12)

De nombreux tests existent, ils peuvent être classés de différentes façons. Pour ce qui est des tests ergonomiques, nous retrouvons les tests de lanterne qui

permettent de déterminer les capacités d'un individu pour pratiquer une profession en toute sécurité. Ainsi que les tests de dénomination (Ex : test des laines colorées).

Par la suite les tests de confusions avec les planches pseudo-isochromatiques (PIC) telles que le test d'Ishihara ou l'album de Hardy Rand et Ritter (HRR) permettent un diagnostic qualitatif et quantitatif de la dyschromatopsie. Parmi les tests de confusion, nous retrouvons aussi les tests de classements tels que le



test Farnsworth 15 Hue. (10) (11)

Les derniers types de tests sont les tests d'égalisation tel que l'anomaloscope où une analyse qualitative mais aussi quantitative de la dyschromatopsie est étudiée. (11)



Dyschromatopsies acquises	Confusion	Principales pathologies associées
Type I ou Rouge-vert I	Confusion avec la couleur rouge, avec un axe rouge-vert	Dystrophie des cônes, maladie de Stargardt, intoxication aux APS...
Type II ou Rouge-vert II	Confusion avec la couleur verte, avec un axe rouge-vert	Neuropathie optique, intoxication à l'ethambutol...
Type III ou Bleu-jaune	Confusion avec le bleu-violet	Atteintes des milieux transparents (cataracte), couche externe de la rétine (œdème rétinien) et de la papille (œdème papillaire, glaucome) ...
Type IV	Sans axe	Pathologies visuelles (rétinopathie, neuropathies optiques avancées ...)

Dyschromatopsies congénitales	Cône(s) affecté(s)	Transmission	Prévalence	
Trichromatisme anormal	<i>Protanomalie</i>	Cône L	RX	1%
	<i>Deutéranomalie</i>	Cône M	RX	5%
	<i>Tritanomalie</i>	Cône S	AD	0,0001%
Dichromatisme	<i>Protanopie</i>	Cône L	RX	1%
	<i>Deutéranopie</i>	Cône M	RX	1%
	<i>Tritanopie</i>	Cône S	AD	0,001%
Monochromatisme	<i>Monochromatisme au cône L</i>	Cône M et S	RX et AD	< 1/ 1 000 000
	<i>Monochromatisme au cône M</i>	Cône L et S	RX et AD	< 1/ 1 000 000
	<i>Monochromatisme au cône S</i>	Cône L et M	RX	1/ 100 000
Achromatopsie	Cônes L, M et S	AR	0,0001%	

Quels sont les impacts d'une dyschromatopsie congénitale et les solutions étudiées à ce jour ?



Les impacts d'une dyschromatopsie congénitale

Deux études qui traitaient l'impact d'une déficience congénitale de la vision des couleurs (DCVC), nous ont permis d'analyser et d'observer ce que pourraient être les difficultés rencontrées par ces personnes.

En effet comme l'a montré une étude réalisée en Malaisie, en 2018, les enfants avec une DCVC ont tendance à être plus sujets à des problèmes comportementaux et émotionnels. Une autre étude réalisée en Égypte, et publiée en 2021, n'a pas mis en évidence ce type de problème mais elle a constaté un état de santé plus faible qu'une personne non atteinte.

Cette dernière étude a aussi mis en évidence certaines difficultés de la vie quotidienne et l'accès à certains domaines qu'ils soient culturels ou d'études. L'étude menée en Malaisie n'a pas étudié ce point-là mais en revanche elle a souligné le fait que ces enfants ont plus tendance à posséder des problèmes d'interaction sociale pouvant affecter leur apprentissage scolaire. (18)

Ainsi ces deux études ont voulu démontrer que ce soit des problèmes d'apprentissage ou l'accès à un domaine d'étude, le dépistage précoce est nécessaire pour orienter, conseiller et accompagner au mieux ces enfants, et d'autant plus lorsque l'enfant est soumis à des facteurs de risques tels que des antécédents familiaux de dyschromatopsies congénitales et/ou étant de sexe masculin. (19)

La vision des couleurs dans l'amblyopie fonctionnelle

Selon le rapport de la SFO de 2013, il y est indiqué que dans l'amblyopie monoculaire il est possible de retrouver en plus d'une atteinte de l'acuité visuelle, une altération de la vision des couleurs et des contrastes. (20)

Une étude clinique menée par A. Roth a démontré que lorsque la fixation de l'œil amblyope était fovéolaire aucune altération de la vision des couleurs n'est retrouvée. En revanche dès que la fixation est extra-fovéolaire, des modifications du sens chromatique sont constatées. (21)

Pour A. Roth, l'analyse de la sensibilité chromatique pourrait être un moyen complémentaire de déterminer la fixation et l'état sensoriel de l'œil atteint dans les amblyopies monoculaires. (21)

La thérapie génique

Bien qu'à ce jour aucun traitement n'existe pour traiter les dyschromatopsies, les résultats de thérapie génique chez les primates pour traiter les dyschromatopsies congénitales de type deutan et protan ont apporté l'espoir d'un futur traitement.

En effet K. Mancuso et al, ont réalisé une étude publiée en 2009. Cette étude consistait au traitement de la dyschromatopsie rouge-vert par thérapie génique sur des singes écureuils adultes mâles dichromates dépourvus du gène codant pour l'opsine L. Après injection (à la 20^{ème} semaine) d'un virus vecteur rAAV2/5 contenant le gène de l'opsine L humaine associé à son promoteur dans la couche photoréceptrice, les singes arrivaient à distinguer des couleurs qui jusqu'à présent été confondues. (22)

La thérapie génique pour traiter certaines dyschromatopsies chez l'homme pourrait donc s'apparenter comme une éventuelle future solution de traitement.

Les « lunettes pour daltoniens »

Depuis quelques années des publications sur les réseaux sociaux et dans les médias montrent en scène des personnes atteintes de dyschromatopsies pouvant par le biais de lunettes avoir une perception de couleurs qu'ils n'arrivaient pas à distinguer.

Ces types de lunettes sont destinés aux personnes ayant une dyschromatopsie congénitale de type deutan ou protan et dont la sévérité est modérée, cela s'apparente donc au type de trichromatisme anormal tel que la deutéranomalie et la protanomalie.

Pour ce qui est des dyschromatopsies de type deutéranomalie et protanomalie, les cônes M et L ayant une absorption maximale dans le vert et le rouge, leurs courbes d'absorption sont donc décalées selon le type créant une plage d'absorption qui se chevauche entre les cônes M et L. Ces longueurs d'ondes qui devraient être analysées séparément créent ainsi une confusion chez les personnes ayant un type deutan ou protan. Les lunettes mises au point permettent de filtrer certaines longueurs d'ondes afin de limiter les confusions créées par les cônes M et L et ainsi distinguer ces couleurs. Les couleurs paraissent plus saturées et lumineuses. (23) (24)

D'après différentes recherches et études, ces lunettes ne permettent pas aux sujets d'avoir une vision trichromatique normale. Elles représentent alors plus une aide qu'une solution. (23) (24)



Questionnaire et témoignages

Un questionnaire a été réalisé afin d'évaluer le dépistage et l'accompagnement des personnes ayant une déficience congénitale de la vision des couleurs ainsi que la place de l'orthoptiste.

Ce questionnaire a reçu les réponses de 50 personnes dont 92% de personne de sexe masculin et 8% de sexe féminin.

Les résultats laissent transparaitre un manque d'information de ces personnes concernant leur atteinte de vision des couleurs. En effet seuls 36% des participants au questionnaire avaient connaissance de leur type de dyschromatopsie.

Pour la découverte de la déficience, il est observé que pour la majorité des cas le dépistage a été fait avant ou presque au début de l'entrée à l'école primaire. En revanche, 6 personnes prétendent avoir été dépistées entre 14 et 25 ans, ces résultats laissent penser que ce dépistage tardif aurait pu avoir des conséquences sur des éventuelles difficultés rencontrées lors des apprentissages à l'école primaire notamment. Au niveau du dépistage seul 24% ont été dépisté par un orthoptiste montrant alors une faible place de l'orthoptiste dans le dépistage.

L'impact va varier en fonction de l'intensité de la dyschromatopsie, c'est pourquoi seuls 30% des personnes ressentent cela comme un handicap. Un pourcentage similaire dit avoir été contraint de ne pas pouvoir accéder au métier souhaité. Le témoignage de deux femmes a permis de mettre en avant des difficultés quotidiennes rarement étudiées jusqu'aujourd'hui telles qu'au

niveau de l'esthétique et « pour être féminine ». Des difficultés scolaires ont été retrouvées dans 56% des cas mettant en avant un manque de sensibilisation auprès de l'équipe éducatrice.

En ce qui concerne l'accompagnement, il a été mis en évidence que dans la plupart des cas aucun professionnel n'a pris le temps d'expliquer à ces personnes leur dyschromatopsie. Pour les 11 personnes ayant reçu des explications, il s'agissait d'un orthoptiste que pour 3 de ces personnes. Nous nous apercevons alors que la place de l'orthoptiste n'est pas réellement marquée dans ce sondage, la question de savoir si les orthoptistes devraient être plus sensibilisés à l'accompagnement des dyschromatopsies se pose. De plus certaines personnes témoignent d'un manque d'information, d'explications et de conseils auprès des professionnels de santé ce sur quoi 78% des personnes interrogées auraient aimé l'être.

Explications et recommandations au patient et aux parents

L'explication au patient et aux parents peut parfois dans le cas des dyschromatopsies être assez succincte au vu du faible impact sur la santé. En revanche les résultats du questionnaire réalisé ont montré que sur les 50 personnes interrogées seules 22% ont reçu des explications d'un professionnel de santé sur leur déficience de la vision des couleurs et 78% auraient aimé être conseillées et accompagnées.

Bien que les atteintes de la vision des couleurs puissent paraître anodines, l'explication au patient et aux parents est importante. D'une part le

Quel rôle a l'orthoptiste dans l'accompagnement des personnes avec une dyschromatopsie congénitale ?

patient doit comprendre sa déficience et son fonctionnement, d'autre part l'importance de l'explication est nécessaire pour l'accompagnement. Il est nécessaire que le patient sache que tous les métiers ne seront pas accessibles, de ce fait plus le dépistage et les explications seront réalisés tôt et meilleure sera l'orientation du patient pour ses études et ses activités.

Afin d'accompagner le patient nous pouvons recommander des outils et astuces pour les aider dans leur quotidien. Voici quelques exemples : lunettes pour daltoniens, Seekey, étiquettes, applications, mémorisation, mode daltonien sur les jeux vidéo, groupe Facebook, site internet, chaîne YouTube, sensibilisation de l'équipe éducatrice... (25) (26)

Dans le but d'améliorer l'accompagnement des personnes atteintes de dyschromatopsies congénitales, une fiche technique à destination des orthoptistes et des patients a été réalisée.

Conclusion

Nous avons exploré le sujet de la vision des couleurs sous plusieurs aspects. Le début de ce travail donne l'occasion d'étudier la vision chromatique chez l'Homme, les déficiences et ses impacts qui en découlent. De plus, ce travail nous a permis de porter notre intérêt sur la place de la vision chromatique dans le quotidien des personnes avec une déficience de la vision des couleurs, mais a également mis en lumière la question de l'accompagnement de ces personnes, ainsi que la place de l'orthoptiste.

Bibliographie

1. Masters BR. A History of Human Color Vision-from Newton to Maxwell. Optics & Photonics News, OPN. 1 janv 2011;22(1):43-7.
2. Comprendre la théorie trichromatique de la vision des couleurs / Les théories [Internet]. Forte santé et développement mental! [cité 6 déc 2021]. Disponible sur: <https://fr.amenajari.org/articles/theories/understanding-the-trichromatic-theory-of-color-vision.html>
3. Qui a découvert le daltonisme? John Dalton [Internet]. Daltonisme. 2014 [cité 6 déc 2021]. Disponible sur: <http://www.daltonisme.com/historique-du-daltonisme>
4. Vision de la couleur : comment perçoit-on les couleurs ? [Internet]. Nos Pensées. 2020 [cité 6 déc 2021]. Disponible sur: <https://nospensees.fr/vision-de-la-couleur-comment-percoit-on-les-couleurs/>
5. Jacobs GH. Primate color vision: A comparative perspective. Vis Neurosci. sept 2008;25(5-6):619-33.
6. Jacobs GH. Evolution of colour vision in mammals. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 12 oct 2009;364(1531):2957-67.
7. Famille multigénique des opsines — Site des ressources d'ACCES pour enseigner les Sciences de la Vie et de la Terre [Internet]. [cité 6 déc 2021]. Disponible sur: <http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/evolution/accompagnement-pedagogique/accompagnement-au-lycee/terminale-2020/la-terre-la-vie-et-l-organisation-du-vivant/genetique-et-evolution/famille-multigenique-des-opsines/famille-multigenique-des-opsines>
8. LANTHONY P. Vision des couleurs et daltonisme. Ediss. 2001. 70 p. (Questions de vue).
9. Salesse C. Physiologie du signal visuel rétinien : de la phototransduction jusqu'au cycle visuel. Journal Français d'Ophthalmologie. mars 2017;40(3):239-50.
10. Marechal M, Delbarre M, Berguiga M, Benisty D, Froussart-Maille F. Dyschromatopsies héréditaires : physiologie, classification, diagnostic et application à l'aéronautique. Journal Français d'Ophthalmologie. févr 2019;42(2):177-88.
11. Orssaud C. La vision des couleurs de l'enfant et son exploration. Revue Francophone d'Orthoptie. juill 2014;7(3):192-9.
12. Rigaudière F, Leid J, Viénot F, Le Gargasson J-F. Comprendre et tester les déficiences de la vision des couleurs de l'enfant, en pratique. Journal Français d'Ophthalmologie. 1 janv 2006;29(1):87-102.
13. Hasrod N, Rubin A. Defects of colour vision: A review of congenital and acquired colour vision deficiencies. African Vision and Eye Health. 22 nov 2016;75(1):6.
14. Simunovic MP. Colour vision deficiency. Eye. mai 2010;24(5):747-55.
15. Rapport SFO 2018 - Rétine et vitré [Internet]. [cité 22 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/em/SFO/H2018/B9782294756399000115.html>
16. Sharpe LT, Stockman A, Jägle H, Nathans J. Opsin genes, cone photopigments, color vision, and color blindness. color vision. :50.
17. Simunovic MP. Acquired color vision deficiency. Survey of Ophthalmology. 1 mars 2016;61(2):132-55.
18. Thomas BAWM, Kaur S, Hairol MI, Ahmad M, Wee LH. Behavioural and emotional issues among primary school pupils with congenital colour vision deficiency in the Federal Territory of Kuala Lumpur, Malaysia: A case-control study. F1000Research [Internet]. 2018 [cité 8 nov 2021];7. Disponible sur: https://journals.scholarsportal.info/details/20461402/v7inone/nfp_baeiapklmacs.xml
19. Osman S, Khalaf S, Mohammed H, El-Sebaity D, Osman D. Prevalence and predictors of colour vision defects among Egyptian university students. East Mediterr Health J. 27 avr 2021;27(4):399-406.
20. Rapport SFO - Strabisme [Internet]. [cité 26 févr 2022]. Disponible sur: https://www.em-consulte.com/em/SFO/2013/html/file_100015.html
21. Roth A. Le sens chromatique dans l'amblyopie fonctionnelle. Documenta Ophthalmologica. 1968;24(1):113-200.
22. Mancuso K, Hauswirth WW, Li Q, Connor TB, Kuchenbecker JA, Mauck MC, et al. Gene therapy for red-green colour blindness in adult primates. Nature. 8 oct 2009;461(7265):784-7.
23. Gómez-Robledo L, Valero EM, Huertas R, Martínez-Domingo MA, Hernández-Andrés J. Do EnChroma glasses improve color vision for colorblind subjects? Opt Express. 29 oct 2018;26(22):28693.
24. ICI.Radio-Canada.ca ZS-. Des lunettes pour daltoniens, efficaces? | La semaine des sciences [Internet]. Radio-Canada.ca. Radio-Canada.ca; [cité 2 mars 2022]. Disponible sur: <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1092183/enchroma-lunettes-daltonisme-etude-critique-uqam>
25. Traiter le daltonisme [Internet]. Les yeux du daltonisme. 2019 [cité 1 mars 2022]. Disponible sur: <https://lesyeuxdudaltonisme.fr/traiter-le-daltonisme/>
26. Seekey – Daltoniens Voir Autrement Couleurs Invisibles – Colblindor [Internet]. [cité 1 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.color-blindness.com/2007/10/31/seekey-colorblinds-see-otherwise-invisible-colors/>

SOMMAIRE

Introduction	1
1 Généralités sur la vision des couleurs	2
1.1 Les débuts de la vision des couleurs chez les mammifères	2
1.2 Développement de la vision des couleurs	3
1.2.1 Physiologie de la vision des couleurs.....	3
1.2.1.1 La lumière	3
1.2.1.1.1 Sa composition et ses caractéristiques	3
1.2.1.1.2 Le spectre du visible	3
1.2.1.1.3 Relation psychophysique de la couleur.....	3
1.2.1.2 La rétine	4
1.2.1.2.1 La composition de la rétine	4
1.2.1.2.2 La phototransduction	4
1.2.1.3 Les photorécepteurs	5
1.2.1.3.1 La composition des photorécepteurs.....	5
1.2.1.3.2 Les bâtonnets	5
1.2.1.3.3 Les cônes	5
1.2.1.4 Interprétation du signal	6
1.2.2 Sa progression et son développement au fil de l'âge.....	6
1.3 Les déficiences de la vision des couleurs et les tests	7
1.3.1 Congénitales	7
1.3.1.1 Les différents types.....	7
1.3.1.1.1 Trichromatisme anormal.....	7
1.3.1.1.2 Dichromatisme	8
1.3.1.1.3 Monochromatisme ou achromatopsie incomplète.....	8
1.3.1.1.4 Achromatisme totale.....	8
1.3.1.2 Génétique et prévalence.....	9
1.3.2 Acquisés.....	10
1.3.2.1 Généralités.....	10
1.3.2.2 Les différents types et pathologies associés	11
1.4 Les différents tests utilisés	12
1.4.1 Les tests ergonomiques	13
1.4.1.1 Lanternes chromoptométriques	13
1.4.1.1.1 Lanterne de Beyne	13
1.4.1.1.2 Optec 900, Holmes Wright, Fletcher-Evans CAM.....	13
1.4.1.2 Test de dénomination	13
1.4.1.2.1 Test des laines colorées/ Test de Holmgren.....	13
1.4.1.2.2 Test des fils téléphoniques colorés ou des résistances	14
1.4.2 Les tests de confusion	14
1.4.2.1 Les albums de planches pseudo-isochromatiques (PIC)	14
1.4.2.1.1 Ishihara.....	14
1.4.2.1.2 L'album de Hardy Rand et Rittler	14
1.4.2.1.3 L'album tritan de Lanthony	14
1.4.2.1.4 Le City University Colour Vision Test (CUCVT).....	14
1.4.2.1.5 Baby Dalton	15
1.4.2.2 Les tests de classement.....	15
1.4.2.2.1 Le test Farnsworth 15 Hue	15
1.4.2.2.2 Le test de Farnsworth 100 Hue	15
1.4.2.2.3 Le test 40 Hue de Lanthony.....	15
1.4.2.2.4 Le test 28 Hue de Roth	15
1.4.3 Tests d'égalisation, l'anomaloscope	15

2	Études sur l'impact d'une déficience de la vision des couleurs. Et quelles sont les solutions étudiées à ce jour ?	16
2.1	Impacts que peut avoir une déficience congénitale de la vision des couleurs chez l'enfant	16
2.1.1	Les impacts	16
2.1.1.1	Étude menée en Malaisie montrant les problèmes comportementaux et émotionnels chez les élèves du primaire atteints d'une DCVC	16
2.1.1.2	Étude réalisée en Égypte montrant la prévalence et les prédictors des défauts de la vision des couleurs chez des étudiants	19
2.1.2	Les liens	22
2.1.2.1	Étude de la vision des couleurs dans l'amblyopie fonctionnelle.....	22
2.2	Les solutions étudiées.....	22
2.2.1	La thérapie génique : solution d'avenir pour traiter la vision des couleurs ?.....	23
2.2.2	Les filtres et lentilles colorés pour daltoniens, réellement efficace ?	23
2.2.2.1	Pour qui ?	23
2.2.2.2	Comment ça marche ?	23
2.2.2.3	Quelle marque ?.....	24
2.2.2.4	Études ? Efficacité ?	24
3	Orthoptie et vision des couleurs	25
3.1	Questionnaire et témoignages.....	25
3.1.1	Prévalence, nature et découverte de la déficience	25
3.1.1.1	Prévalence.....	25
3.1.1.2	Connaissance et nature de la déficience.....	25
3.1.1.3	Découverte de la déficience.....	25
3.1.2	Impact et accompagnement.....	26
3.1.2.1	Impact de la déficience	26
3.1.2.2	Accompagnement	29
3.2	Explications et recommandations aux parents, avec présentation d'une fiche technique	31
3.2.1	Explications et recommandations	31
3.2.1.1	Importance de l'explication	31
3.2.1.2	Proposition d'outils et astuces.....	32
3.2.2	Présentation d'une fiche technique	32
3.2.2.1	Son objectif	32
3.2.2.2	Fiche technique sur la vision des couleurs.....	32
	Conclusion	34
	Bibliographie	35

Introduction

Nombreuses sont les personnes qui ont étudié la perception de la vision des couleurs.

Isaac Newton fut l'un des premiers à s'y intéresser avec ses travaux sur la décomposition de la lumière exposés dans son ouvrage *Opticks* rendu public en 1704.

Puis **Thomas Young** très proche des idées d'Isaac Newton fit la même hypothèse que lui sur la théorie ondulatoire de la lumière. C'est Thomas Young qui suggéra en 1801 la théorie trichromatique, selon laquelle il existerait trois récepteurs de la rétine sensibles à des fréquences de vibrations différentes. Ces photorécepteurs seraient particulièrement sensibles au rouge, jaune et bleu qui après synthèse permettraient de reconstituer les couleurs. (1)

Par la suite **Hermann Von Helmholtz**, en 1852, ayant repris la théorie de T. Young détermina que les longueurs d'ondes des cônes étaient : des ondes courtes (bleu), des ondes moyennes (vert) et des ondes longues (rouge). Cette théorie se nommera plus tard la théorie de Young-Helmholtz. (2)

Quant à **James Clerk Maxwell** c'est en 1859 qu'il approuva cette théorie. (3)

En 1878, **Ewald Hering** développa la théorie du processus opposé. (4) En d'autres termes cela signifie que la perception des couleurs est dirigée par trois systèmes opposés qui seraient : bleu-jaune ; rouge-vert et noir-blanc. (5)

Les deux théories de Young-Helmholtz et de E. Ering ont pendant un moment été en concurrence et même considérées comme contradictoire. Des chercheurs au XXème siècle ont fini par comprendre que la théorie trichromatique de Young-Helmholtz permet, elle, de décrire le fonctionnement de la vision des couleurs au niveau des cônes. Alors que la théorie du processus opposé de Ering, explique comment fonctionne la vision des couleurs au niveau neuronal et du système rétino-géniculo-strié. (2) (4)

John Dalton, lui, initia au XVIIIème siècle les travaux sur la perception des couleurs et ses déficiences, dont il était lui-même atteint, il nomma cela le daltonisme. (3)

Ces physiciens et chercheurs ont permis de comprendre le fonctionnement de la perception de la vision des couleurs, des processus qui continuent aujourd'hui d'être étudiés.

Nous allons tout au long de ce mémoire aborder le sujet de la perception chromatique, dans le but d'apporter de la connaissance, ainsi que d'étudier la place de l'orthoptiste dans l'accompagnement des personnes dyschromates.

La première partie exposera les généralités sur la vision des couleurs permettant de comprendre son histoire, son développement chez l'Homme et les déficiences qui en découlent.

Par la suite nous nous intéresserons à ce qui est traité dans la littérature. Notamment à certaines études qui relatent les impacts que peut avoir une déficience de la vision des couleurs congénitales chez les enfants, ou encore aux différentes solutions étudiées à ce jour telles que la thérapie génique ou les filtres colorés et leur efficacité.

En effet, même si les impacts peuvent sembler anodins pour certains, ils peuvent représenter un réel frein à l'insertion sociale. Des témoignages et un questionnaire permettront de le démontrer. Cela permettra d'exposer d'autres problèmes comme une explication aux parents/patients de mauvaise qualité, trop complexe ou inexistante ; tout comme l'accompagnement.

De ce fait, j'ai essayé d'apporter mon aide en mettant en œuvre une fiche technique qui je l'espère, permettra de décrire plus simplement ce qu'est une vision altérée des couleurs.

1 Généralités sur la vision des couleurs

1.1 Les débuts de la vision des couleurs chez les mammifères

L'évolution de la vision des couleurs et de ses origines, a été étudiée sur le plan physique dans un premier temps, puis une approche génétique a été travaillée. L'étude des débuts de la vision des couleurs chez les hommes a été faite en se basant sur des travaux de génétique qui s'intéressaient notamment aux relations et liens entre l'homme et les primates, dans le but d'établir une phylogénie en se basant sur des critères d'appartenances, et mettant en lumière des ancêtres communs. L'une des études qui fut menée est celle du gène des opsines.

D'après Gerald H. Jacob, les pigments visuels des vertébrés résultent de cinq familles de gènes d'opsine, dont Rh1 code pour la rhodopsine des bâtonnets et les autres SWS1 (short-wavelength sensitive), SWS2, Rh2 (rhodopsinlike) et LWS/MWS (long/middle-wavelength sensitive) codent des opsines coniques. Ces familles seraient issues d'un enchaînement de duplication de gènes, dont le gène des opsines des cônes qui serait apparu il y a 540 millions d'années. (6) (7)

C'est il y a 300 millions d'années que les premiers mammifères vont se séparer des autres vertébrés. Ils sont alors des mammifères nocturnes, et des études se contredisent sur le fait qu'ils possédaient ou non la vision des couleurs. En revanche, nous savons que les premiers primates qui sont apparus il y a 80 à 90 millions d'années étaient dichromates, et de par leur mode de vie diurne la trichromatie parue. (6)

Nous savons que, l'homme appartient aux singes de l'Ancien Monde, les Catarhiniens. Cette catégorie possède une vision principalement trichromatique car ces individus possèdent les 3 gènes qui codent pour les trois protéines d'opsine. L'opsine S dont le gène est porté par le chromosome 7 ; l'opsine M et l'opsine L dont les gènes sont portés par le chromosome X. L'idée que tous les Catarhiniens soit trichromate n'est pas entièrement validée dû au faible nombre d'espèces étudiées. (6) (8) Les singes du Nouveau Monde, les platyrhiniens, ont une vision dichromatique car ils ne possèdent que deux gènes qui codent pour l'opsine SWS1 dont le gène est porté par le chromosome 7 et un autre pour l'opsine LWS/MWS dont le gène est porté par le chromosome X. (6) (7)

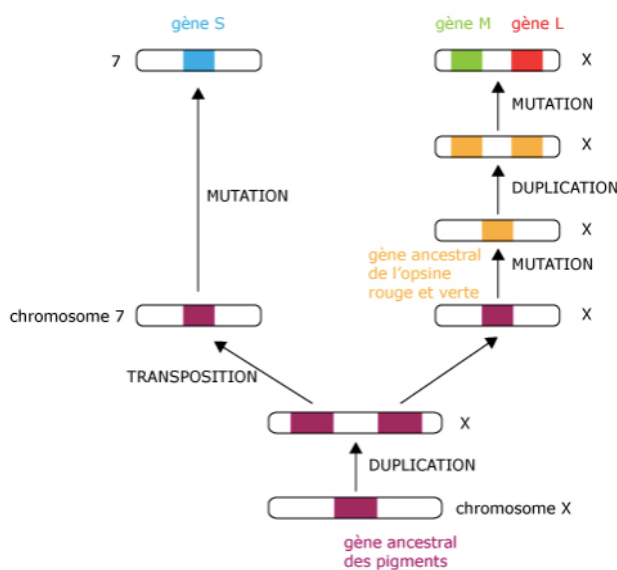


Figure 1 : Schéma représentant l'évolution des gènes codant pour les opsines

La trichromatie serait apparue donc au moment où les singes de l'Ancien et du Nouveau Monde se sont séparés, il y a 23 à 40 millions d'années. En effet, le gène qui code pour l'opsine LWS/MWS (absorption maximale dans le jaune) porté par le chromosome X a subi une duplication accompagnée de mutation. Ce gène ancestral s'est donc distingué en deux gènes qui codent pour les opsines M (absorption dans le vert) et L (absorption dans le rouge) toujours situés sur le chromosome X. (8) (6) (7) Les protéines étant homologues, le tout forme une famille multigénique. L'évolution de la vision des couleurs chez les mammifères et chez l'homme est en lien avec l'évolution du mode de vie et des besoins de ces individus.

1.2 Développement de la vision des couleurs

Maintenant que nous en savons un peu plus sur les origines de notre perception de la vision des couleurs, il serait intéressant de se demander comment nous arrivons à percevoir les couleurs et comment cela se développe dans notre système au fil de l'âge.

1.2.1 Physiologie de la vision des couleurs

La vision des couleurs se fait grâce à notre organe récepteur qu'est l'œil, et plus précisément par la rétine qui transmet les informations visuelles au cerveau. Pour parvenir à ce phénomène, la lumière en est la principale actrice.

1.2.1.1 La lumière

1.2.1.1.1 Sa composition et ses caractéristiques

La lumière est une onde à rayonnement électromagnétique qui se compose de photon. Cette onde est caractérisée par sa longueur d'onde et suit la théorie ondulatoire de la lumière décrit par I. Newton.

Pour que nous puissions voir un objet, il doit être éclairé. La lumière arrive sur l'objet, les particules présentes dans l'objet ne vont laisser se réfléchir qu'une partie de la lumière, ainsi ces ondes incidentes vont arriver jusqu'à l'œil.

Comme l'avait décrit I. Newton dans une de ses expériences, la lumière est constituée de sept couleurs au total. Ces couleurs sont en fait un ensemble d'ondes électromagnétiques de différentes tailles. (9) (10)

1.2.1.1.2 Le spectre du visible

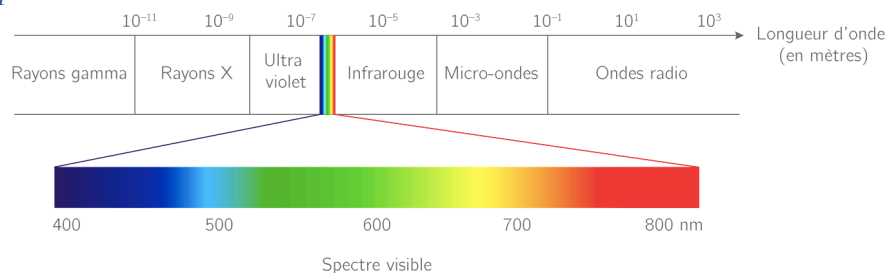


Figure 2 : Spectre de la lumière

En effet, la lumière fait partie du spectre électromagnétique, mais seule une gamme d'onde est visible par notre œil. Le spectre du visible s'étend de 400 nm à 780 nm avec comme limite les rayonnements infrarouges et ultraviolets. (10)

1.2.1.1.3 Relation psychophysique de la couleur

La couleur possède trois caractéristiques décrites selon plusieurs niveaux.

On retrouve sur le plan physique la longueur d'onde qui correspond au niveau colorimétrique à la longueur dominante qui est présente soit la tonalité ou la teinte de la couleur sur le plan psychologique.

Au niveau physique nous retrouvons également l'intensité énergétique qui du point de vue chromatique correspond à la luminance soit en fait la luminosité qui dépendra de la quantité des autres ondes présentes. En effet, plus il y aura d'autres longueurs d'ondes, plus cela se rapprochera de la lumière blanche et plus ce sera lumineux.

Et enfin la dernière caractéristique qui est décrite au niveau physique, est la répartition spectrale, elle représente la pureté d'une couleur et dépend aussi de la quantité des autres ondes présentes. Au niveau psychologique, cette caractéristique correspond à la saturation. (10) (11)

1.2.1.2 La rétine

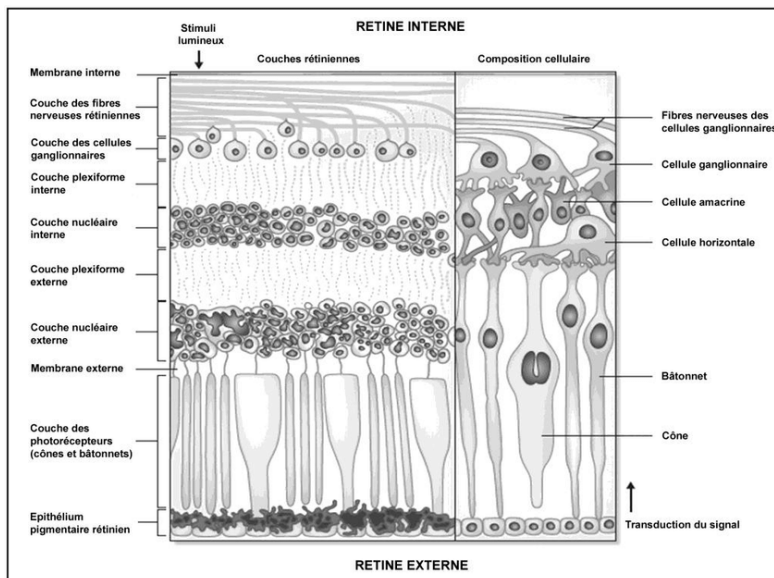
Une fois que la lumière parvient à l'œil, une partie des rayonnements ultra-violet (UV) est absorbée par la cornée, les rayonnements infra-rouge (IR) par le cristallin, et les photons sont eux captés par la rétine.

1.2.1.2.1 La composition de la rétine

La rétine se décompose en deux parties, la rétine neurosensorielle et l'épithélium pigmentaire.

L'épithélium pigmentaire, est une couche cellulaire monostratifiée, elle représente une barrière hémato rétinienne (BHR). Dans cette partie se produit de nombreuses activités métaboliques, notamment la phagocytose des segments externes des photorécepteurs, elle intervient également dans le phénomène de phototransduction.

La rétine neurosensorielle, est composée dans sa première couche des segments externes et internes des photorécepteurs, les cônes et les bâtonnets. Les photorécepteurs se trouvent dans la couche la plus profonde pour pouvoir être alimentés en oxygène et nutriments par les vaisseaux de la choroïde.



La troisième couche correspond à la membrane limitante externe. C'est ici que vont se créer des connexions entre les cellules gliales de Müller et les segments internes des photorécepteurs mais également entre les photorécepteurs eux-mêmes avec des jonctions adhérentes et serrées.

On retrouve ensuite une couche composée des noyaux des photorécepteurs, et de la couche nucléaire externe.

Figure 3 : Schéma des couches de la rétine Ces photorécepteurs vont faire synapses avec les cellules bipolaires et les cellules horizontales qui vont permettre de moduler le message nerveux. C'est la couche plexiforme externe.

La couche nucléaire interne elle, est composé par les noyaux des cellules horizontales, bipolaires, amacrines et des cellules gliales de Müller.

C'est au sein de la couche plexiforme interne, que les cellules bipolaires et ganglionnaires vont faire synapses. On y retrouve donc les dendrites des cellules bipolaires et les axones des cellules ganglionnaires.

Les couches suivantes sont constituées, pour la première de noyaux cellules ganglionnaires et pour la seconde des axones des cellules ganglionnaires qui créent le nerf optique.

Enfin on retrouve la membrane limitante interne. (12)

1.2.1.2.2 La phototransduction

Les photons traversent toutes les couches de l'œil et de la rétine pour être captés par les photorécepteurs. C'est au niveau des disques membranaires des photorécepteurs que l'énergie lumineuse va se convertir en influx nerveux par une réaction biochimique d'isomérisation du rétinol.

En effet, le rétinol 11- cis subit un cycle qui lui permet d'être constamment réutilisé, ce rétinol avec les opsines permet de constituer, la rhodopsine et les pigments des cônes. (13)

A partir du rétinal, un dérivé de la vitamine A, ce cycle consiste à soit former un rétinal trans qui après isomérisation donne un rétinal 11- cis. Ce rétinal 11- cis sous l'effet d'un photon devient un rétinal trans par isomérisation qui par la suite sera réduit en rétinal. Ces réactions conduisent à une hyperpolarisation des photorécepteurs, c'est ainsi que l'énergie lumineuse est transformée en énergie électrique. Ce cycle implique les photorécepteurs, l'épithélium pigmentaire et les cellules de Müller. (11) (14) (15) (13)

1.2.1.3 Les photorécepteurs

C'est au niveau des photorécepteurs que la lumière est captée.

1.2.1.3.1 La composition des photorécepteurs

Les photorécepteurs se composent de différents éléments.

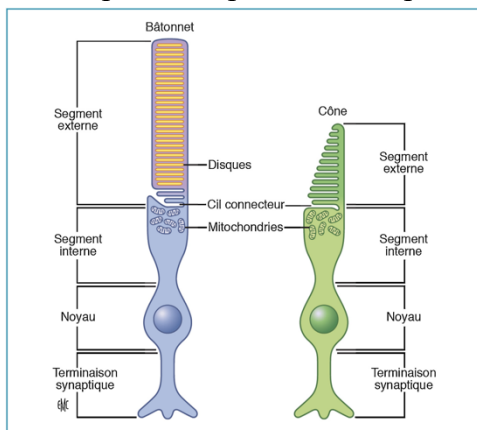


Figure 4 : Schéma de la composition des photorécepteurs cônes et bâtonnets

L'article externe, formé par des disques de membranes plasmiques (600-2000) aplatis et empilés, c'est la partie photosensible du photorécepteur. Ces disques membranaires sont recyclés et phagocytés par les cellules de l'épithélium pigmentaire rétinien. C'est au niveau de l'article externe que l'on va retrouver des protéines, les pigments visuels. Ces protéines sont composées de deux parties, le rétinal un dérivé de la vitamine A et une glycoprotéine appelé opsine. Différentes opsines existent, la iodopsine pour les cônes avec trois types différents, et la rhodopsine pour les bâtonnets.

L'article externe est relié à l'article interne par le cil connectif.

L'article interne contient une grande quantité de mitochondries et un appareil de Golgi nécessaire à l'activité métabolique des photorécepteurs. C'est au niveau de l'article interne que l'on va retrouver le corpuscule basal d'où naît le cil connectif ainsi que le noyau du photorécepteur.

Enfin le photorécepteur se termine par l'expansion interne, soit les terminaisons synaptiques.

Les photorécepteurs sont de deux sortes, les bâtonnets et les cônes. (11) (12) (16) (17)

1.2.1.3.2 Les bâtonnets

Les bâtonnets se répartissent en périphérie de la macula, ils sont aux nombres de 130 millions. Ces photorécepteurs permettent la vision scotopique/nocturne, en effet ils sont plus sensibles aux faibles luminances et sont très vite saturés. Les bâtonnets contiennent comme pigment visuel la rhodopsine qui a une absorption maximale à 498nm. (11) (18) (16)

1.2.1.3.3 Les cônes

Cinq millions de cônes sont situés au sein de la macula et permettent une vision photopique précise. La théorie trichromatique de Young-Helmoltz a été validée et met en évidence la présence de trois types de photorécepteurs coniques possédant trois pigments spécifiques sensibles au bleu, au vert et au rouge.

C'est le cône S pour *Short wavelength*, qui est sensible aux courtes longueurs d'ondes, avec un pic d'absorption à 420nm, il s'agit du cône sensible dans le violet-bleu. Les cônes S représentent 10% des cônes.

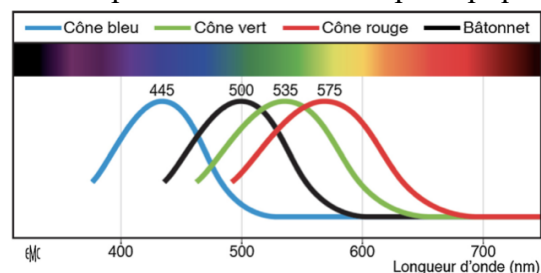


Figure 5 : Spectre d'absorption des pigments visuels des cônes et bâtonnet

Le cône M pour *Middle wavelength*, lui est sensible aux moyennes longueurs d'ondes, avec un pic d'absorption à 530nm, il s'agit dans ce cas du cône sensible au vert. Les cônes M représentent 30% des cônes.

Enfin le cône L pour *Long wavelength*, sensible aux longues longueurs d'ondes, avec un pic d'absorption à 560nm, il s'agit du cône sensible au rouge. Les cônes L représentent 60% des cônes.

Chaque cône est sensible à une couleur préférentielle mais ils répondent aussi aux autres couleurs mais en plus faible quantité. (11) (16) (18) (17)

Les photorécepteurs convergent ensuite vers les cellules ganglionnaires, en passant par les cellules bipolaires. C'est à ce niveau que les deux types de photorécepteurs vont aussi se différencier. Effectivement, au centre de la rétine, la macula, un cône va être connecté avec une cellule bipolaire qui elle-même est connectée à une cellule ganglionnaire. Tandis qu'en périphérie de la rétine, plusieurs photorécepteurs principalement des bâtonnets (entre 100 et 200 milles) vont se connecter à une seule cellule bipolaire connectée à une cellule ganglionnaire. Ce phénomène explique que la vision est plus précise avec une acuité visuelle maximale au sein de la macula. Alors qu'en périphérie la discrimination visuelle est plus faible avec une résolution spatiale elle aussi faible, mais plus sensible à la lumière. (9) (16)

1.2.1.4 Interprétation du signal

Le signal créé par les photorécepteurs continue son chemin jusqu'au cerveau pour être interprété.

Les cellules horizontales et amacrines vont permettre de moduler l'information et d'ajuster la perception visuelle.

Les cellules coniques M et L sont connectées aux cellules ganglionnaires naines formant la voie parvocellulaire, c'est ici l'aboutissement de l'antagonisme « rouge – vert ». Quant à la voie konicellulaire, elle est formée par les cellules ganglionnaires bi stratifiées qui sont spécifiques des cellules coniques S, les cellules coniques M et L envoient aussi indirectement des afférences et nous y retrouvons un aboutissement de l'antagonisme « bleu-jaune ». C'est au niveau de la voie magnocellulaire, constituée des cellules ganglionnaires parasols connectées aux cônes M et L que l'antagonisme noir-blanc naît. Ces phénomènes exposent la théorie du processus opposé décrite par E. Ering.

Les signaux rejoignent ensuite les différentes aires corticales pour être analysés et construire une image colorée. C'est au niveau de l'aire visuelle primaire et secondaire que les signaux sont principalement analysés. C'est l'aire V4 qui permet le traitement de la couleur. D'autres systèmes rentrent également en jeu pour finir l'analyse tel que le cortex frontal et temporal pour mettre en lien la couleur, l'objet et la mémoire. (18) (17)







1.2.2 Sa progression et son développement au fil de l'âge

Pour avoir cette sensation chromatique, tout le système exposé au-dessus, doit se développer correctement. C'est durant les premiers mois de vie que tout se met en place.

Dès la naissance, le système visuel permettant la vision en couleur est présent, il n'est seulement pas développé et immature. Cela implique que le nouveau-né est incapable de voir en couleur les premiers jours de sa vie, il perçoit le monde en nuances de noir/gris et blanc.

A l'âge de deux mois, le nourrisson possède la capacité de discriminer les couleurs, cela va commencer par le système rouge-vert, l'enfant va être sensible à la couleur rouge en premier. Par la suite, à 3 mois c'est la couleur verte qu'il va être capable de distinguer, puis à 4 mois la couleur bleue. Ce sont jusqu'à présent seulement des couleurs vives et saturées que l'enfant arrive à percevoir (9 mois). Son système chromatique va encore se développer et c'est vers

l'âge de 1 an que l'enfant va pouvoir distinguer les couleurs plus faibles telles que les couleurs pastel.

Age	Perception des couleurs	
Naissance		Noir et blanc
2 mois		Noir, blanc + rouge
3 mois		Noir, blanc, rouge + vert
4 mois		Noir, blanc, rouge, vert + bleu
9 mois		Noir, blanc ainsi que les couleurs vives
1 ans		Noir, blanc, ensemble des couleurs vives et pastel

Pour que le système de la vision des couleurs se développe correctement, il faut que les autres systèmes se développent convenablement tels que l'acuité visuelle et le champ visuel qui sont motivés par l'appétence visuelle. Ce n'est que vers la fin de l'enfance, 6-7ans que les capacités visuelles sont en place.

La vision des couleurs peut encore se modifier au fil des années mais cela sera dû à la transparence des milieux. En vieillissant notamment, le cristallin a tendance à jaunir, ou même avec la cataracte les couleurs peuvent paraître plus ternes. (18) (19) (20) (21) (17)

1.3 Les déficiences de la vision des couleurs et les tests

1.3.1 Congénitales

1.3.1.1 Les différents types

Comme nous l'avons vu plus tôt l'homme est doté d'une trichromatie, avec la présence de trois cônes/ pigments visuels qui fonctionnent normalement. Lors d'une dyschromatopsie congénitale, il y a une altération d'un ou de plusieurs de ces des pigments visuels.

1.3.1.1.1 Trichromatisme anormal

La trichromatie anormale est la déficience la moins importante, ces personnes possèdent les trois pigments visuels dont un est altéré avec une courbe d'absorption décalée. Nous allons retrouver trois types d'altérations :

La protanomalie, (proto : premier), avec comme pigment altéré le pigment rouge du cône L, dans ce cas, la personne aura une diminution de la sensibilité dans les grandes longueurs d'ondes, correspondant à la couleur rouge.

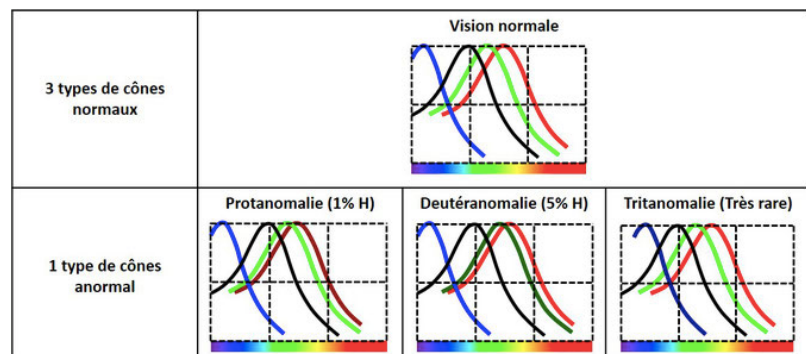


Figure 6 : Schéma des courbes d'absorption en fonction de l'atteinte de la vision des couleurs

La deutéranomalie, (deuteros : deuxième), ici le pigment altéré est le pigment vert du cône M, donnant une baisse de sensibilité à la couleur verte.

Et enfin la tritanomalie, (tritos : troisième), dans ce cas c'est le pigment bleu du cône S qui est altéré, amenant à un affaiblissement de la détection de la couleur bleue. (22) (11) (23)

1.3.1.1.2 Dichromatisme

Le deuxième type de déficience qui existe est le dichromatisme. Dans ce cas-ci, les personnes dichromates ne possèdent que deux cônes/pigments visuels sur les trois qui fonctionnent ou qui sont présents. Comme pour la trichromatie, il en existe trois sortes :

la protanopie, où seuls les cônes M et S sont opérants, avec une absence du pigment rouge.

la deutéranopie, dans ce cas c'est le pigment vert du cône M qui ne fonctionne pas.

la tritanopie, où le cône manquant est le cône S avec le pigment bleu. (22) (11) (23)

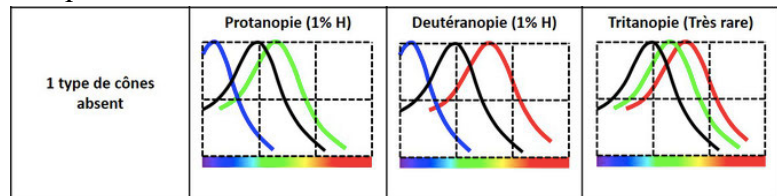


Figure 7 : Schéma des courbes d'absorption en fonction de l'atteinte de la vision des couleurs

1.3.1.1.3 Monochromatisme ou achromatopsie incomplète

En ce qui concerne le monochromatisme, deux des pigments visuels sont altérés. Une vision monochromatique ne permet pas d'avoir une perception visuelle colorée, en réalité il est nécessaire d'avoir au minimum deux pigments fonctionnels. Ces personnes-là ont donc une vision plutôt achromatique, qui se situe dans les teintes de noir et de blanc grâce aux photorécepteurs, les bâtonnets. L'acuité visuelle est très faible soit de 6/60 mais sera légèrement supérieure à celle d'une achromatopsie complète, et des signes tels qu'un nystagmus et une photophobie peuvent être retrouvés.

Différents types de monochromatisme existent.

La monochromie des cônes bleus, dans ce cas les cônes M et L sont absents et la vision est assurée par les bâtonnets et les cônes S. A l'ERG sera retrouvée une réponse des cônes S et des bâtonnets.

Il existe aussi des monochromies des cônes rouge et vert, mais ces déficiences sont encore plus rares. Dans ces cas, la vision est assurée par les bâtonnets et soit les cônes M ou L selon le type. (22) (11) (23)

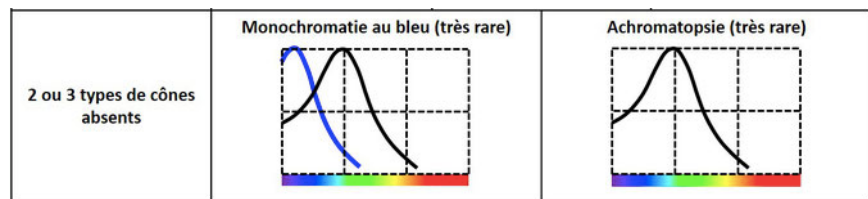


Figure 8 : Schéma des courbes d'absorption en fonction de l'atteinte de la vision des couleurs

1.3.1.1.4 Achromatisme totale

L'achromatisme, est le fait de ne présenter aucun pigment visuel fonctionnel qui permet la vision colorée. Les personnes achromates comme les personnes monochromates ont une perception visuelle dans les nuances de noir, gris et blanc, la vision est assurée par les bâtonnets. Ces personnes, comme dans le cas du monochromatisme, peuvent présenter un déficit d'acuité visuelle qui se présente entre 1/10 et 2,5/10. Un nystagmus est retrouvé dès l'enfance avec des possibilités d'amélioration avec l'âge. Une photophobie est aussi associée à la forte sensibilité des bâtonnets à la lumière.

A l'examen complémentaire de l'ERG, il est possible d'observer une absence de réponse des cônes et une réponse normale des bâtonnets, confirmant le diagnostic. (23) (22) (11) (24) (17) (25)

1.3.1.2 Génétique et prévalence

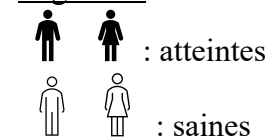
Les différents types de déficiences congénitales cités au-dessus sont d'origine génétique.

Le trichromatisme anormal affecterait 5 à 6% des hommes de la population d'après le rapport de la SFO. Pour ce qui est des déficiences de type protan et deutan, elles sont dues à une anomalie ou une absence des gènes codant pour les opsines M et L se situant sur le bras long du gonosome X. La transmission se fait de manière récessive. D'après le rapport de la SFO de 2018, les dyschromatopsies liées aux cônes M et L toucheraient 5 à 8% des hommes et 0,50% des femmes.

La transmission des dyschromatopsies liées au chromosome X se fait par la mère. En effet, pour qu'un homme soit atteint, il faut que son chromosome X soit atteint, or un homme reçoit le chromosome Y de son père et le chromosome X de sa mère, ainsi le chromosome X n'ayant pas d'homologue la déficience peut se déclarer.

En revanche, pour qu'une femme soit atteinte, elle doit avoir ses deux chromosomes X atteints. Donc elle doit recevoir le chromosome X de son père qui est atteint également de dyschromatopsie et un chromosome X atteint de sa mère qui est soit porteuse, soit-elle aussi atteinte, ce qui explique la rareté des dyschromatopsies chez la femme.

Légende :



X : chromosome atteint

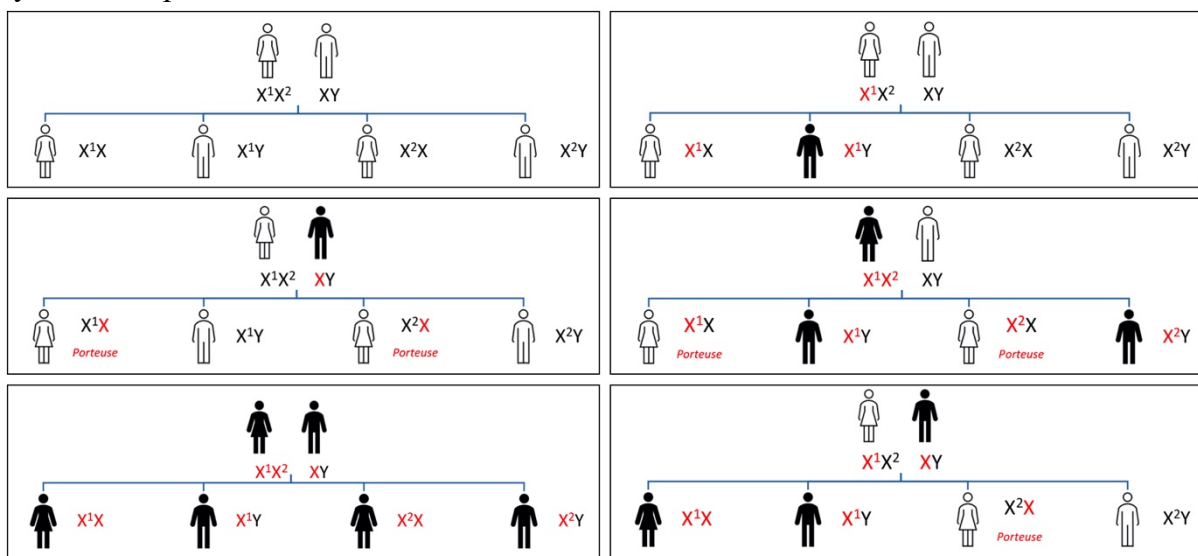


Figure 9 : Schéma transmission des dyschromatopsies liées à l'X

Pour le déficit tritan, cette déficience est due à l'absence ou l'anomalie du gène codant pour l'opsine S qui se situe sur le chromosome 7. Cette déficience est plus rare, selon le rapport de la SFO seul 0,0001% de la population ont une tritanomalie et 0,001% ont une tritanopie. La transmission suit le mode autosomique dominant.

Pour le monochromatisme ou l'achromatopsie incomplète la transmission est plus rare. Quand il s'agit de la monochromie des cônes bleus la transmission est liée au chromosome X et suit un schéma de transmission récessif, cette déficience est rare et représente 1/100 000 personnes.

Pour les monochromies des cônes verts et rouges, cela serait dû à une double transmission d'une tritanopie et d'une protanopie pour le monochromatisme aux cônes verts, et d'une tritanopie et

d'une deutéranopie pour le monochromatisme aux cônes rouges. Dans les deux derniers cas, la transmission est récessive liée au chromosome X mais aussi autosomique dominant liée au chromosome 7. De ce fait, la prévalence du monochromatisme aux cônes rouges et monochromatisme aux cônes verts est extrêmement rare et est estimée à moins de 1/ 1 000 000 personnes.

L'achromatopsie complète est une déficience également rare soit 0,0001% de la population, dans ce cas il s'agit d'une transmission autosomique récessive liée aux chromosomes 2 et 8 principalement qui aboutissent à un dysfonctionnement de la transduction au niveau des cellules photoréceptrices coniques.

Selon le rapport de la SFO, en 2014, 5 gènes ont été retrouvés comme étant en association avec l'achromatopsie. Les gènes identifiés sont :

- CNGA3 sur 2q11 dans 20 à 30% des cas ;
- CNGB3 sur 8q21 dans 40 à 50% des cas ;
- et les trois derniers gènes CNAT2 sur 1p13.3, PDE6C sur 10q23.33 et PDE6H sur 12p13 dans moins de 5% des cas.

Dyschromatopsies congénitales		Cône(s) affecté(s)	Transmission	Prévalence
Trichromatisme anormal	<i>Protanomalie</i>	Cône L	RX	1%
	<i>Deutéranomalie</i>	Cône M	RX	5%
	<i>Tritanomalie</i>	Cône S	AD	0,0001%
Dichromatisme	<i>Protanopie</i>	Cône L	RX	1%
	<i>Deutéranopie</i>	Cône M	RX	1%
	<i>Tritanopie</i>	Cône S	AD	0,001%
Monochromatisme	<i>Monochromatisme au cône L</i>	Cône M et S	RX et AD	< 1/ 1 000 000
	<i>Monochromatisme au cône M</i>	Cône L et S	RX et AD	< 1/ 1 000 000
	<i>Monochromatisme au cône S</i>	Cône L et M	RX	1/ 100 000
Achromatopsie		Cônes L, M et S	AR	0,0001%

(20) (23) (24) (17) (25) (26)

1.3.2 Acquisées

1.3.2.1 Généralités

Les déficiences acquises de la vision des couleurs, sont une perturbation de la vision des couleurs qui va être le plus souvent asymétrique, monoculaire ou binoculaire, évolutive, la personne est consciente du changement de couleur, et seule une partie du champ visuel peut être atteint. L'atteinte va alors toucher différemment les deux yeux alors que dans le cas de déficiences congénitales l'atteinte est symétrique, binoculaire et touche le champ visuel dans son entièreté. (27)

Les déficiences acquises sont secondaires à une maladie ou une atteinte des voies optiques et ont trois classes principales de causes :

Les **maladies générales**, soit métaboliques ; neurologiques ou nutritionnelles peuvent être la cause d'une déficience des couleurs comme la sclérose en plaques, le diabète et l'avitaminose.

Les **maladies oculaires** bien évidemment peuvent avoir un impact sur la perception chromatique avec une atteinte des milieux transparents comme la cataracte, une dégénérescence de la rétine ou une atteinte du nerf optique dans le cas du glaucome.

Les **intoxications** en sont responsables, elles aussi, avec les intoxications alimentaires (alcool), médicamenteuses dans le cas de l'ethambutol dans le traitement de la tuberculose ou bien professionnelles avec une exposition au benzène. (11) (27)

En ce qui concerne la prévalence, une étude réalisée à Shahaoud en Iran, avec le Farnsworth D-15 comme test, a montré que sur 5102 participants, âgés entre 40 et 64 ans, 10,1% d'entre eux présentaient une déficience acquise de la vision des couleurs. (28)

Une autre étude réalisée en Amérique du Nord avec le test Adams D-15 désaturé et le test Farnsworth D-15, réalisée sur 865 personnes âgées de 58 à 102 ans a montré que 36,2% des personnes avait une déficience acquise de la vision des couleurs avec le test Adams D-15 désaturé et 20,76% pour le test Farnsworth D-15. (29)

Ces deux études tendent aussi à démontrer que la prévalence d'avoir une déficience acquise de la vision des couleurs augmente avec l'âge.

Pour ce qui est de l'étude réalisée en Iran, 66,1% des personnes déficientes avaient une atteinte bleu-jaune alors que celle réalisée en Amérique du Nord, comptabilisait 88% d'atteinte bleu-jaune pour 17,5% de rouge-vert.

Cela démontre également que le type d'atteinte bleu-jaune serait le plus fréquent. (11) (27)

1.3.2.2 Les différents types et pathologies associés

La classification des dyschromatopsies acquises est plus compliquée que celle des dyschromatopsies congénitales. Plusieurs classifications existent, la classification de *Verriest* est la plus utilisée. Dans cette classification, les dyschromatopsies acquises sont classées selon le type de couleurs atteintes.

La détection et la classification de ces déficiences sont utiles pour le dépistage, le diagnostic et la surveillance de certaines pathologies, cela permet également d'évaluer le traitement.

Nous allons retrouver les **types I** ou **rouge-vert I**, qui correspond à un décalage de la sensibilité spectrale maximale dans les longueurs d'ondes plus courtes soit une perception de la couleur rouge confondu avec le vert. Dans ce type, ce sont principalement les étiologies avec atteintes des cellules coniques de la macula qui sont retrouvées telles que la maladie de Stargardt, dystrophie des cônes et l'intoxication aux APS.

Les **types II** ou **rouge-vert II**, pour lesquelles la déficience est semblable à un déficit deutan, une réduction de la sensibilité aux courtes longueurs est retrouvée. Cela se traduit par des difficultés de discriminations sur l'axe rouge-vert et également sur l'axe bleu-jaune mais de manière moins intensive. Dans cette classe ce sont les étiologies avec atteinte dans la partie internes des voies optiques ainsi que le nerf optique qui sont listées telles que les neuropathies optiques et l'intoxication à l'ethambutol.

Les **types III** ou **bleu-jaune**, correspondent à une atteinte avec difficulté de discrimination sur l'axe bleu-jaune. On peut retrouver un décalage de la sensibilité spectrale maximale dans les longueurs d'ondes plus courtes. Une déficience principale sur les couleurs bleu-violet est retrouvée. Cette atteinte correspond aux étiologies qui ont un impact sur les milieux transparents tel que le vieillissement du cristallin, la couche externe de la rétine avec la papille. Ce sont des étiologies comme la cataracte, un œdème rétinien, un glaucome...

Enfin le **type IV** est mal déterminé mais correspond aux types de déficience que l'on ne peut pas classer.

(27) (23)

Dyschromatopsies acquises	Confusion	Principales pathologies associées
Type I ou Rouge-vert I	Confusion avec la couleur rouge, avec un axe rouge-vert	Dystrophie des cônes, maladie de Stargardt, intoxication aux APS...
Type II ou Rouge-vert II	Confusion avec la couleur verte, avec un axe rouge-vert	Neuropathie optique, intoxication à l'éthambutol...
Type III ou Bleu-jaune	Confusion avec le bleu-violet	Atteintes des milieux transparents (cataracte), couche externe de la rétine (œdème rétinien) et de la papille (œdème papillaire, glaucome) ...
Type IV	Sans axe	Pathologies visuelles (rétinopathie, neuropathies optiques avancées ...)

1.4 Les différents tests utilisés

Avant toute passation de tests un protocole est à respecter.

Les tests doivent être dans un état correct, pour les tests pigmentaires c'est-à-dire les tests qui mettent en jeu une visualisation d'objet coloré, une conservation à l'abri de la lumière et de l'humidité est recommandée pour éviter sa détérioration. En effet, les pigments présents sont particulièrement fragiles, ils doivent être manipulés avec soin car l'éventuel risque serait que les nuances ne correspondent plus à celles de base dû à la détérioration. C'est pourquoi certaines personnes manipulent ces tests avec des gants.

En ce qui concerne les tests spectraux, c'est-à-dire les tests qui reposent sur la visualisation d'une lumière colorée, une maintenance avec un étalonnage régulier est recommandée.

La passation doit se faire dans un environnement bien éclairé sur une surface sombre pour limiter l'éblouissement et avec une inclinaison de 45°. Le meilleur éclairage pour la passation des tests doit être semblable à la lumière du jour, car le spectre de la lumière est complet sans déficit qui pourrait perturber les résultats des tests. Il n'existe pas de réglementation pour l'éclairage des tests cependant les meilleures conditions d'éclairage sont recommandées pour limiter les erreurs. Différentes lampes sont actuellement disponibles sur le marché. Les principaux types de lampes retrouvées sont :

- Les lampes halogènes ou les tubes fluorescents, ne sont pas conseillés car certaines longueurs d'ondes sont absentes dans son spectre d'émission ce qui risque de fausser ou de modifier les résultats.
- L'utilisation de lampe avec ampoule à incandescence est quant à elle recommandée. Par exemple la lampe Macbeth qui est spécifique pour la passation des tests, son coût reste néanmoins relativement élevé. Cette lampe a été améliorée avec la mise en place d'une lentille filtre bleu qui lui a permis de corriger l'excédent de couleur rouge et l'insuffisance en couleur bleue.



Figure 10 : Photographie de la lampe Macbeth

D'après une étude sortie en 2020, J. Leid et G. Kraft ont mis au point une lampe à LED du nom de TRUE COLOR LED. Les objectifs de cette lampe sont une technologie moderne, une ergonomie spécifique, une basse consommation en énergie, un moindre entretien, un faible encombrement et une efficacité pour l'éclairage des tests pigmentaires grâce à son spectre optimal. Les essais ont montré qu'avec cette lampe les résultats retrouvés sont au minimum les mêmes qu'avec les lampes d'anciennes technologies. Cette lampe a aussi permis d'affiner certains diagnostics, ce qui a été confirmé à l'aide d'anomaloscope.



Figure 11 : Photographie de la lampe TRUE COLOR LED

En ce qui concerne le dépistage chez les enfants il peut être réalisé dès 5/6 ans, lors d'un contrôle ophtalmologique ou orthoptique par exemple.

Selon les tests réalisés, la passation peut se faire œil par œil ou en binoculaire. Dans les dyschromatopsies acquises, cela doit être réalisé en monoculaire car la dyschromatopsie peut être asymétrique, alors qu'en cas de dyschromatopsie congénitale cela peut être réalisé en binoculaire car la déficience est symétrique sur les deux yeux. Et évidemment les tests se réalisent avec la correction optique associée à la correction de près quand la vision de près est nécessaire pour les tests.

(18) (20) (17) (30)

De nombreux tests existent, c'est pourquoi nous allons par la suite énoncer les tests les plus connus et les plus pratiqués.

1.4.1 Les tests ergonomiques

1.4.1.1 Lanternes chromoptométriques

La lanterne n'est pas un test qualitatif ni quantitatif de la déficience, mais elle va permettre de déterminer les capacités d'un individu pour pratiquer une profession en toute sécurité. (17)

1.4.1.1.1 Lanterne de Beyne

La lanterne de Beyne est la plus répandue, le principe du test est de présenter au patient cinq couleurs sur un fond noir placé à 5 mètres : rouge, jaune-orangé, vert, bleu et blanc. Une fois la couleur présentée, le patient doit la nommer sans se rectifier. Il est possible pour les patients qui veulent se diriger vers des professions comme la marine ou l'aviation de rajouter une condition de brume. Cette lanterne n'est actuellement plus commercialisée et commence à disparaître. (17)

1.4.1.1.2 Optec 900, Holmes Wright, Fletcher-Evans CAM

Dans différents pays, d'autres lanternes ont été développées telles que la lanterne Optec 900 aux États-Unis ; la lanterne de Holmes Wright en Grande-Bretagne qui elle aussi n'est plus commercialisée. La lanterne de Holmes Wright a été améliorée, et se nomme la lanterne de Fletcher-Evans CAM, elle est utilisée dans les tests de capacités professionnelles pour la marine et l'aviation, et se base sur la présentation de feux colorés. (17)

1.4.1.2 Test de dénomination

Les tests de dénomination ont l'avantage de pouvoir être réalisés sur les jeunes enfants.

1.4.1.2.1 Test des laines colorées/ Test de Holmgren

Le test de Holmgren, principalement utilisé pour les personnes travaillant dans l'univers du textile et de la teinture. Le principe de ce test est de pouvoir nommer et classer des bouts de laine par ordre de dégradé. Le test comprend 40 brins de laines test et 3 brins de références de

couleurs vertes, rouges et bleues. C'est un test qui n'est ni quantitatif ni qualitatif, mais il permet de déterminer la capacité pour certains métiers tel que le milieu de l'électricité. (18) (17)

1.4.1.2.2 Test des fils téléphoniques colorés ou des résistances

Ce test est du même principe que les laines colorées, sauf que dans ce cas ce sont des fils téléphoniques ou des résistances qui sont utilisés et qu'il faudra classer. Ce test va être utilisé pour les personnes travaillant dans l'électronique ou la radiotélévision. (17)

1.4.2 Les tests de confusion

1.4.2.1 Les albums de planches pseudo-isochromatiques (PIC)

Les différents albums de planches pseudo-isochromatiques se basent principalement sur le même principe. Ils comprennent : une planche de démonstration lue par tout le monde qui permet d'en exposer le fonctionnement, une planche d'épreuve seulement lue par le sujet normal, une planche de confusion lue différemment selon les personnes normales ou atteintes, une planche de contre-épreuve seulement lue par les dyschromates, une planche de diagnostic qualitatif et une autre quantitatif.

Ces planches vont contenir des images où des formes, lettres, chiffres peuvent être représentés sous forme de tâches de couleurs où la tonalité, la saturation et les surfaces sont variées.

Ce sont des tests qui en général permettent de qualifier et de quantifier la dyschromatopsie.

Pour pouvoir passer ces tests il est recommandé que le patient ait une acuité visuelle supérieure à 1/10^{ème}. De nombreux tests pseudo-isochromatique existent, ils se différencient par l'âge de passation et ce qu'ils permettent de rechercher. (18) (17)

1.4.2.1.1 Ishihara

Le test d'Ishihara, représente le test le plus connu et le plus pratiqué. Il s'utilise dans le dépistage des dyschromatopsies d'ordre congénital, et s'applique seulement aux types deutan et protan. Ce test comporte trente-huit planches dont parmi les vingt-cinq premières : une de démonstration, 8 de confusion, 8 d'épreuve, 4 de contre-épreuve et 4 de diagnostic qualitatif. Les planches restantes peuvent servir pour les enfants ou les personnes analphabètes car elles ne mettent pas en jeu un apprentissage, il suffit simplement d'observer des chemins. Une grille est à remplir en fonction des erreurs du patient. Lorsque moins de quatre erreurs sont commises la personne est considérée comme non atteinte. (17) (18)

1.4.2.1.2 L'album de Hardy Rand et Rittler

L'album HRR lui dépiste les dyschromatopsies de type protan, deutan mais aussi tritan. Il va permettre de quantifier la dyschromatopsie en trois niveaux : faible/ moyen/ fort. C'est un test qui peut être utilisé en pédiatrie car l'enfant peut venir poser des formes, triangle / rond / carré sur la planche. (17) (18)

1.4.2.1.3 L'album tritan de Lanthony

En ce qui concerne l'album tritan de Lanthony, celui-ci permet d'exploiter l'axe bleu/jaune mais seul un diagnostic qualitatif est analysé. (17)

1.4.2.1.4 Le City University Colour Vision Test (CUCVT)

Il est possible de citer dans cette catégorie le City University Colour Vision Test (CUCVT), qui permet d'analyser les axes rouge/vert et bleu/jaune, une évaluation quantitative et qualitative est permise par ce test. Ce test est un dérivé du Farnsworth 15 Hue mais il se présente sous forme de planche. Chaque planche comporte cinq ronds colorés. Un rond central entouré de quatre ronds de couleurs différentes. Le principe est alors de retrouver le rond dont la couleur se rapproche le plus de celui au centre. C'est un test qui n'est pas vraiment compliqué de compréhension et plutôt ludique c'est pourquoi il peut être réalisé chez les plus jeunes enfants dès 5 ans. (17) (18)

1.4.2.1.5 *Baby Dalton*

Ce test est composé de 4 planches, où sont représentés des animaux. Le baby Dalton est facile d'application sur les jeunes enfants car il suffit de nommer les animaux, et sa passation est rapide.

1.4.2.2 Les tests de classement

La plupart des tests de classement représentent un appariement de pions colorés. Ces pions pour être classés ont des teintes différentes mais en revanche leur saturation et luminance sont identiques. Le principe de ces tests est de ranger les pions colorés de proche en proche. Ces tests de classement requièrent une acuité visuelle minimale de 4/10^{ème}. (18)

1.4.2.2.1 *Le test Farnsworth 15 Hue*

Le Farnsworth 15 Hue est le test le plus utilisé et le plus connu. C'est un test de classement où 16 pions sont à organiser de proche en proche. L'examineur reportera l'ordre des pions sur une feuille et tracera un schéma montrant une éventuelle droite de confusion mettant en évidence un axe de déficience de la vision des couleurs.

La sensibilité de ce test est relativement faible c'est pourquoi P. Lanthony a mis au point le test 15 Hue de Lanthony désaturé. Pour ce test désaturé, les pions sont identiques en longueurs d'onde par rapport au test saturé, mais la saturation dans ce cas sera réduite c'est pourquoi les pions paraissent plus blanc. (17) (18)

1.4.2.2.2 *Le test de Farnsworth 100 Hue*

Le test de Farnsworth 100 Hue, est de même principe que le 15 Hue. C'est un test qui peut être utilisé sur n'importe quel type de dyschromatopsie que ce soit acquise ou congénitale. Dans ce cas, les 85 pions présents doivent être organisés sur 4 plumiers. Ce test peut être ressenti comme long et difficile c'est pourquoi il est recommandé de ne le réaliser pas avant 10/12 ans. En revanche il s'avère être un test très fiable. Pour ce qui est de l'analyse, elle aussi est assez longue, c'est donc pour cela qu'il existe un test de Farnsworth 100 Hue automatique qui va par conséquent faciliter l'analyse. (18)

1.4.2.2.3 *Le test 40 Hue de Lanthony*

Pour le 40 Hue de Lanthony le principe est toujours le même. Pour ce test P. Lanthony a gardé un pion sur deux du Farnsworth 100 Hue. La fiabilité reste aussi très haute comme le 100 Hue du fait du grand nombre de pions mais en revanche en pratique il s'avère être aussi plutôt long.

1.4.2.2.4 *Le test 28 Hue de Roth*

Le 28 Hue de Roth se base sur le même principe que précédemment. Et dans ce cas c'est un pion sur trois du Farnsworth 100 Hue qui est présent. Ce test se présente comme être un bon compromis entre la vitesse de réalisation qui est moindre par rapport au Farnsworth 100 Hue et la sensibilité. (18)

1.4.3 Tests d'égalisation, l'anomaloscope

Les anomaloscopes permettent d'avoir une analyse qualitative mais aussi quantitative de la dyschromatopsie. Pour ce test seules les dyschromatopsies deutane et protane sont analysées. L'anomaloscope est un appareil à choix multiples qui va tester une ou plusieurs équations. Lors de ce test des cercles séparés en deux couleurs sont affichés et la sensibilité pour cette tonalité est analysée en confrontant deux équations colorées.

Le patient va alors observer les cercles et juger quand les deux parties se sont égalisées et qu'il n'y a pas de différence de couleurs. Ces cercles ont une partie qui ne change jamais, de couleurs jaunes légèrement orangées et une autre partie à couleurs variables. (18)

2 Études sur l'impact d'une déficience de la vision des couleurs. Et quelles sont les solutions étudiées à ce jour ?

Comme nous l'avons vu précédemment le sujet de la vision des couleurs est à ce jour bien développé. Nous en savons davantage sur son origine, son développement, sa physiologie, les déficiences qui en découlent et les tests mis en place pour les dépister. Bien que tous ces domaines restent encore étudiés aujourd'hui, le sujet paraît déjà bien complet.

Cependant un des axes de la vision des couleurs qui demeure peu abordé est celui des liens et des conséquences que peut avoir un trouble de la vision des couleurs. Nous allons donc dans cette partie s'intéresser à des études montrant l'impact d'une déficience de la vision des couleurs, les éventuels liens qu'ils peut y avoir avec celle-ci. Et enfin nous nous intéresserons aux solutions étudiées à ce jour ainsi qu'à leur efficacité.

2.1 Impacts que peut avoir une déficience congénitale de la vision des couleurs chez l'enfant

Les déficiences congénitales de la vision des couleurs abordées dans cette partie correspondent plus précisément aux dyschromatopsies d'ordre congénitales tels que les trichromatismes anormaux et dichromatopsies, plus communément appelé « daltonisme ». Certaines études ont tenté de prouver un lien ou des impacts qu'une déficience congénitale de la vision des couleurs pouvait avoir sur la vie des patients atteints.

2.1.1 Les impacts

2.1.1.1 Étude menée en Malaisie montrant les problèmes comportementaux et émotionnels chez les élèves du primaire atteints d'une DCVC

Une étude menée en 2018, en Malaisie, a tenté de prouver qu'une déficience congénitale de la vision des couleurs (DCVC), pouvait avoir un lien avec des problèmes comportementaux et émotionnels chez des enfants.

Pour cette étude ce sont des élèves de 10 écoles primaires du territoire fédéral de Kuala Lumpur en Malaisie qui ont été dépistés. 1732 élèves ont participé au dépistage dont 49% (849) de garçons et 51% de filles (883). Sur ces 1732 élèves après la réalisation d'un dépistage visuel et d'un dépistage de la vision des couleurs à l'aide du test d'Ishihara et d'un Farnsworth D-15, 2,7% présentaient une DCVC soit 45 garçons et 1 fille. Tous les enfants participant à l'étude n'ont pas d'antécédents médicaux et oculaire connu.

Pour pouvoir participer à l'étude les mères des élèves avec une DCVC devaient signifier leur consentement à l'écrit, au final 44 mères ont consenti à participer, il ne restait donc plus que des garçons. Le groupe témoin est lui composé du même nombre d'élèves, aux mêmes caractéristiques (âge, sexe, classes), n'ayant pas d'atteintes de la vision des couleurs et ayant obtenu le consentement de leurs mères.

Afin de démontrer un éventuel impact d'une DCVC sur le comportement des enfants, les chercheurs ont fait remplir un questionnaire aux mères des élèves DCVC et sans atteinte de la vision des couleurs.

Le questionnaire utilisé est la liste de contrôle du comportement de l'enfant âgé de 4 à 18, soit le Child Behavior Checklist (CBCL/4-18) de Achenbach datant de 1991.

Ce questionnaire analyse huit sous parties, ainsi que trois grands groupes d'échelles de syndrome listés dans le tableau ci-contre.

Groupes		Sous parties
Problèmes totaux	Problèmes d'intériorisation	Anxieux/ déprimé
		Retiré/déprimé
		Plaintes somatiques
		Problèmes sociaux
		Problèmes de pensée
		Problèmes d'attention
	Problèmes d'extériorisation	Comportement de non-respect des règles
		Comportement agressif

Les données démographiques de tous les élèves ont été enregistré, à savoir l'âge, le type de déficience de vision des couleurs, l'état de santé, l'histoire oculaire et la prise de conscience du problème de vision des couleurs. Les données démographiques de la mère ont elles aussi été enregistrées, il s'agit de l'âge ; la race ; le niveau d'éducation ; le revenu familial et l'état matrimonial.

Les résultats des données démographiques montrent que 86,36% des mères des élèves avec une DCVC et 72,72% des mères des élèves du groupe témoins ont entre 31 et 50 ans.

Dans quasiment la totalité des cas ces dernières sont mariées.

En ce qui concerne le niveau d'étude, 45,45% des mères des élèves avec une DCVC ont un diplôme de premier cycle pour 38,64% pour les mères d'élèves n'ayant pas de déficience de la vision des couleurs.

Pour les familles des élèves DCVC, le revenu familial s'élève entre 4,001 et 6,000 RM dans 65,91% des cas pour 77,27% des familles des enfants du groupe témoins. Dans 15,91% des cas des élèves atteints de DCVC la famille a connaissance de la déficience de la vision des couleurs de leur enfant. Enfin 75% des enfants avec une DCVC ont une deutéranomalie et 25% ont une protanomalie.

L'analyse de la distribution des résultats du CBCL/4-8, avec le test de Shapiro-Wilk, a démontré que les données étaient anormalement distribuées. Les données ont été convertis en scores standards et cela a montré que les élèves des deux groupes se trouvent dans la normalité pour les huit sous parties, avec des résultats légèrement plus élevés pour les enfants DCVC dans les sous parties : retiré ; plaintes somatiques ; problèmes sociaux ; problèmes de pensée ; problèmes d'attention et comportement agressif.

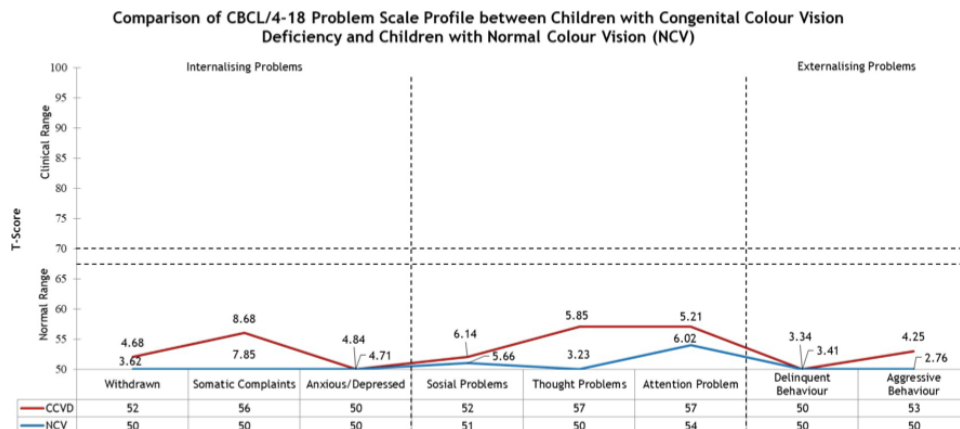


Figure 12 : Comparaison des résultats du CBCL/4-18 entre les élèves ayant une déficience congénitale de la vision des couleurs et une vision normale des couleurs.

La distribution des données étant mal réparties, les résultats ont été analysés avec un autre test, le test U de Mann-Whitney.

Scale	Group	Mean Rank	U	p-value
Withdrawn	CCVD	50.27	714.00	0.02
	NCV	38.73		
Somatic Complaints	CCVD	48.49	792.50	0.13
	NCV	40.51		
Anxious/Depressed	CCVD	46.57	877.00	0.40
	NCV	42.43		
Social Problems	CCVD	48.43	795.00	0.13
	NCV	40.57		
Thought Problems	CCVD	56.53	438.50	<0.001
	NCV	32.47		
Attention Problems	CCVD	46.19	893.50	0.53
	NCV	42.81		
Delinquent Behaviour	CCVD	47.09	854.00	0.27
	NCV	41.91		
Aggressive Behaviour	CCVD	49.73	738.00	0.04
	NCV	39.27		
Internalising Problems	CCVD	48.30	801.00	0.16
	NCV	40.70		
Externalising Problems	CCVD	50.65	697.50	0.02
	NCV	38.35		
Total Problems	CCVD	51.80	647.00	0.01
	NCV	37.20		

Après analyse, il est possible d'observer que les élèves atteints d'une DCVC ont des résultats plus élevés que le groupe témoins sans problème de vision des couleurs dans les sous parties : retiré avec un score moyen de 50,27 contre 38,73 pour le groupe témoin ; problèmes de pensée avec le score moyen de 56,53 pour les élèves DCVC contre seulement 32,47 pour le groupe témoin ; comportement agressif dont le score moyen des élèves DCVC est de 49,73 et de 39,27 pour les enfants sans atteinte de vision des couleurs ; problèmes d'extériorisation avec 50,65 comme score moyen pour les élèves DCVC et seulement 38,35 pour le groupe témoin et en fin pour les problèmes totaux le groupe avec DCVC a un résultat de 51,80 et le groupe témoin 37,20.

Figure 13 : Résultats obtenus avec l'analyse statistique Mann-Whitney U

CCVD – congenital colour vision deficiency, NCV – normal colour vision

Un rapport de côtes a également été calculé pour déterminer les chances des élèves DCVC d'avoir des scores élevés dans les différentes sous parties. Pour ce faire il a été calculé avec un intervalle de confiance à 95% des scores élevés pouvant être cliniquement limite c'est-à-dire un score supérieur ou égale à 60. Le risque est de 2,39 pour les enfants DCVC d'avoir des problèmes totaux ; 2,32 d'avoir des problèmes d'extériorisation ; 2,67 d'être en retrait ; 9,64 d'avoir des problèmes de pensée et 10,26 d'avoir un comportement agressif.

	Total Problem			Externalising Problem			Withdrawn			Thought Problems			Aggressive Behaviour		
	T-score <60 (%)	T-score ≥60 (%)	OR (CI)/p-value	T-score <60 (%)	T-score ≥60 (%)	OR (CI)/p-value	T-score <60 (%)	T-score ≥60 (%)	OR (CI)/p-value	T-score <60 (%)	T-score ≥60 (%)	OR (CI)/p-value	T-score <60 (%)	T-score ≥60 (%)	OR (CI)/p-value
CCVD	31 (72.09)	12 (27.91)	2.39 (1.0-5.7)/.040	24 (55.81)	19 (44.19)	2.32 (1.0-5.5)/.043	22 (51.16)	21 (48.84)	2.67 (1.1-6.5)/.024	30 (69.77)	13 (30.23)	9.64 (3.6-26.1)/<.001	39 (90.70)	4 (9.30)	10.26 (3.4-31.0)/<.001
NCV	22 (51.16)	21 (48.84)		15 (34.88)	28 (28.65)		12 (27.91)	31 (72.09)		8 (18.60)	35 (81.40)		19 (44.19)	24 (55.81)	

Figure 14 : Résultats obtenus à partir des rapports de côtes avec des intervalles de confiance à 95 % de scores élevés (c'est-à-dire un score T ≥ 60 indiquant un syndrome clinique limite) sur les échelles récapitulatives du CBCL/4-18 chez les élèves DCVC par rapport au groupe témoin.

La présente étude a mis évidence que les élèves atteints de DCVC étaient plus sujet et plus à risque de présenter des problèmes comportementaux et émotionnels que les autres bien qu'ils se situent dans la normalité. D'après Fink et al cité dans cette étude, les enfants DCVC de plus de 7 ans qui ont obtenus des résultats élevés dans des sous parties telles que le retrait sont plus sujets à présenter des problèmes d'interactions sociales. Quant à Matthews et al également cité dans cette étude ce retrait social peut être amené en étant adulte à une tendance dépressive et une perception de solitude. Enfin pour Rhoades et al, les enfants DCVC avec un retrait, un comportement agressif et des problèmes de pensée, cette association a tendance à réduire les capacités d'apprentissage scolaire.

De ce fait, les enfants atteints de DCVC ont tendances à avoir des problèmes comportementaux et émotionnels pouvant affecter leurs apprentissages scolaires. Leurs interactions sociales peuvent être impactées, et créer à l'âge adulte des troubles tels que de l'anxiété et de la dépression. Cette étude met donc en avant l'intérêt d'un dépistage précoce afin de limiter les impacts et améliorer au mieux l'apprentissage et les performances scolaires.

L'étude démographique associée à la comparaison des deux types d'enfants a permis d'étudier la possible influence des facteurs démographiques dans les problèmes comportementaux et émotionnels de ces enfants.

Cette étude montre néanmoins des limites comme la différence de sexe ou de classe économique.

Aucune analyse n'a pu être réalisée concernant la différence entre fille et garçon étant donné qu'aucune fille n'a participé à l'étude.

La totalité des familles étudiées ont un revenu familial proche du seuil de pauvreté, il aurait été intéressant d'effectuer cette étude dans des écoles où les enfants viennent de milieux plus aisés, pour observer si les résultats sont semblables.

(31)

2.1.1.2 Étude réalisée en Égypte montrant la prévalence et les prédicteurs des défauts de la vision des couleurs chez des étudiants

Une étude réalisée en Égypte dès 2018, et publiée en 2021 dans la revue de santé de la Méditerranée orientale, avait pour objectif de montrer la prévalence et les prédicteurs des défauts de la vision des couleurs chez des étudiants en Égypte. Cette dernière analysait également les difficultés des étudiants avec une déficience de la vision des couleurs dans l'exécution des tâches quotidiennes.

La participation de 1426 étudiants de l'Université d'Assiout en Égypte a permis la réalisation de cette étude. Dans un premier temps ce sont six facultés qui ont été sélectionnées (ingénierie, commerce, droit, sciences infirmières, dentaire et art). Enfin après avoir choisi de façon aléatoire certaines sections, les étudiants volontaires et consentants ont pu participer à l'étude. Sur les 1426 étudiants, on compte 58,9% d'étudiantes (840) et 41,1% d'étudiants (586), avec une moyenne d'âge de 20,35 ans soit des étudiants âgés entre 17 et 25 ans.

Dans le but d'examiner la prévalence et les prédicteurs des défauts de la vision des couleurs ainsi que les difficultés rencontrées par les étudiants avec un trouble de la vision des couleurs, les chercheurs ont fait passer un questionnaire à tous les étudiants ainsi qu'un dépistage de la vision des couleurs.

Le questionnaire comprend quatre parties. La première section correspond aux caractéristiques personnelles telles que l'âge, le sexe, les antécédents familiaux de déficience congénitale de la vision des couleurs, la consanguinité des parents, la connaissance d'un défaut de réfraction et son type, ainsi que la présence d'une maladie chronique. La deuxième partie, convient à savoir si les étudiants ont connaissance de leur état de vision des couleurs que ce soit atteint ou normal. Les étudiants ayant connaissance de leur déficience ont répondu à des questions dans cette partie s'intéressant au moment où ils en ont été conscients et la façon dont ils l'ont reconnue. La troisième partie elle, s'intéresse aux difficultés que peuvent amener un défaut congénital de la vision des couleurs dans les tâches que ce soit quotidiennes ou au travail/études. Enfin la dernière partie est un questionnaire sur la fonction visuelle (VFQ-25). C'est un questionnaire créé par Rand avec le parrainage du National American Eye Institute permettant d'analyser l'impact de la déficience visuelle sur la santé générale ainsi que les tâches quotidiennes nécessitant la fonction visuelle. Ce questionnaire répertorie 25 questions allant des questions générales portant sur la santé à des questions plus ciblées sur la vision (difficultés dans les activités de près/ de loin, limitation de la fonction sociale dû à la vision, dépendance aux autres, symptômes de santé mentale, difficultés de conduite, limitation de la vision périphérique, limitation de la vision des couleurs et douleurs oculaires).

En ce qui concerne le dépistage de la vision des couleurs, il a été réalisé à l'aide du test d'Ishihara.

Les résultats de la première partie du questionnaire portant sur les caractéristiques personnelles, ont permis de savoir qu'une consanguinité des parents a été relevée dans 35,3% des cas (503 étudiants) ainsi que 8,9% (127 étudiants) des étudiants avait connaissance d'antécédents familiaux de déficience congénitale de la vision des couleurs. 9,8% des cas (127 étudiants) présentaient une maladie chronique. En ce qui concerne les défauts de réfraction, 24,1% des cas (344 étudiants) ont conscience de présenter une erreur de réfraction dont la majorité représente des erreurs de type myopie (75,3% soit 259 étudiants). Seul 3,8% des étudiants prétendent avoir subi une chirurgie oculaire antérieure soit un total de 54 étudiants. Sur la totalité des 1427 personnes étudiées seul 19,8% ont déjà réalisé un test de vision des couleurs et pour la majorité ce test a été pratiqué à leur entrée à l'université.

Les résultats des tests de vision des couleurs ont montré qu'environ 99 étudiants soit 6,9% présentaient un défaut de vision des couleurs dont 4,3% de dyschromatopsie d'axe rouge-vert. Les tests ont montré également une plus forte prévalence chez les étudiants de sexe masculin avec un pourcentage de 7,7% de dyschromatopsie d'axe rouge-vert contre 1,9% chez les étudiantes de sexe féminin.

Comme nous l'avons déjà énoncé auparavant, les chercheurs ont également voulu connaître les difficultés des personnes atteintes de défauts de la vision des couleurs dans les tâches quotidiennes ainsi qu'au travail et pour les études. Les résultats ont été répertoriés dans le tableau ci-dessous en exprimant un rapport de côtes afin d'analyser les difficultés rencontrées dans les activités quotidiennes des personnes avec un défaut de la vision des couleurs comparé aux personnes sans atteintes. Ainsi nous pouvons observer que les domaines dans lesquels ces personnes sont le plus gênées ou sont amenées à être gênées sont de choisir la couleur des vêtements/ accessoires/ voitures/ peinture des murs/ cosmétiques ; distinguer les couleurs dans les activités artistiques/ travaux manuels ; identifier les fleurs et plantes en se basant sur la couleur ; reconnaître un problème cutané tel qu'un coup de soleil ; prendre le mauvais médicament ; observer ou pratiquer un sport en raison des couleurs des maillots/chasubles ; choisir un domaine de travail/ étude avec parfois une exclusion à celui-ci en raison du défaut de vision des couleurs.

Difficulties of daily activities and study/work tasks	Odds ratio	95% confidence interval	P
Choosing the colours of clothes, accessories, cars , wall paint, furniture and cosmetics	2.89	1.81-4.65	<0.001
Distinguishing the colours of wires, threads, tools, wool, paints and other things during hobbies and crafts work	2.58	1.49-4.47	0.001
Identification of flowers and plants based on their colours	2.68	1.36-5.29	0.004
Determining the ripening of fruit and vegetables based on their colours	0.84	0.41-1.72	0.84
Determining if meat is cooked based on its colour	1.86	1.14-3.05	0.013
Satisfactory adjustment of TV colour balance	1.47	0.85-2.54	0.168
Recognizing skin conditions such as rash and sunburn	2.05	1.21-3.44	0.007
Taking the wrong medication because of difficulties with their colours	3.46	1.98-6.055	< 0.001
Participation in or watching of sports activities because of sport shirt colours	3.21	1.76-5.84	< 0.001
Choosing of study field/work affected by colour vision	2.78	1.53-5.04	0.001
Exclusion from work/study due to problems with distinguishing colours	4.88	2.71-8.80	< 0.001
Having colour difficulties in daily work/study activities?	4.84	2.88-8.14	< 0.001
Having colour difficulties in previous work/study activities?	4.16	2.42-7.16	< 0.001
Work on computer	2.60	1.62-4.17	< 0.001

Univariate regression analysis; difficulties in daily activities and study/work tasks (dependent variable), CVD (explanatory variable).
CVD = colour vision defect.

Figure 15 : Difficultés perçues par les étudiants dyschromates dans les activités quotidiennes ainsi que dans les tâches de travail

Quant aux résultats du test VFQ-25, cela a permis d'observer que les étudiants avec une déficience de la vision des couleurs avaient un résultat moyen de 57,82 ce qui est plus faible

que les étudiants avec une perception normale de la vision des couleurs pour la santé générale où le score moyen est de 65,32. Les étudiants avec une déficience de la vision des couleurs se trouvent en moyenne légèrement en dessous des résultats de ceux des étudiants sans déficience de la vision des couleurs pour ce qui est des variables spécifiques à la vision (fonctionnement social, santé mentale, difficultés de rôle, dépendance, conduite, vision des couleurs, vision périphérique). Cependant les résultats ne sont pas significativement en deçà de ceux des personnes sans atteintes pour pouvoir faire une quelconque association entre les défauts de la vision des couleurs et les fonctions de perception visuelle.

Variables	CVD (n = 99) mean (SD)	Normal colour perception (n = 1327) mean (SD)	P*
General health	57.82 (29.59)	65.32 (26.81)	0.015
General vision	80.60 (17.25)	78.70 (23.61)	0.91
Ocular pain	78.28 (21.93)	82.23 (20.96)	0.05
Near activities	88.67 (15.14)	89.86 (15.29)	0.40
Distant activities	88.72 (14.54)	89.05 (15.88)	0.49
Vision specific			
Social functioning	89.52 (16.43)	91.21 (16.48)	0.13
Mental health	82.32 (19.23)	85.34 (17.61)	0.169
Role difficulties	78.40 (26.11)	83.24 (25.51)	0.039
Dependency	89.98 (19.12)	92.89 (17.08)	0.205
Driving	82.73 (20.52)	85.91 (18.87)	0.249
Color vision	86.22 (21.57)	91.34 (18.64)	0.003
Peripheral vision	90.15 (17.06)	90.20 (18.96)	0.64

*Mann-Whitney U test. CVD = colour vision defect.

Figure 16 : Lien entre la dyschromatopsie et la fonction visuelle

Et enfin le dernier point analysé dans cette étude était les facteurs de risque des déficiences de la vision des couleurs. Les résultats ont été listé dans le tableau ci-dessous. Nous observons donc que les facteurs de risque retrouvés dans cette étude sont le fait d'être de sexe masculin avec un rapport de côte ajusté à 6,55 et d'avoir des antécédents de dyschromatopsie dans la famille avec un rapport de côte ajusté à 8,48. En revanche les facteurs étudiés tels que la consanguinité des parents (0,91), l'affection d'une maladie chronique (1,44) ou la présence d'une amétropie (1,33) ne ressortent pas comme facteurs de risque.

Cette étude avait comme objectif de présenter les facteurs de risque, la prévalence mais également les difficultés rencontrées par des étudiants avec une dyschromatopsie dans les activités quotidiennes ainsi qu'au travail et à l'université.

Les facteurs de risque énoncé sont des antécédents familiaux de dyschromatopsie ainsi que le sexe masculin. La prévalence de dyschromatopsie s'élève à 6,9% dans cette étude et est plus importante chez les étudiants masculins.

Cette étude a permis de montrer que les étudiants avec une déficience de la vision des couleurs présentaient des difficultés dans les activités nécessitant une perception des couleurs et que cela pouvait affectés leurs vies quotidiennes ainsi que leur santé générale. Ces personnes sont également impactées dans le choix du domaine d'étude ou de travail entraînant dans certains domaines une exclusion des personnes avec atteinte de la vision des couleurs.

Ces deux études qui traitaient l'impact d'une DCVC, nous ont permis d'analyser et d'observer ce que pourraient être les difficultés rencontrées par ces personnes.

En effet comme la montré l'étude réalisée en Malaisie, les enfants avec une DCVC ont tendance à être plus sujet à des problèmes comportementaux et émotionnels. L'étude réalisé en Égypte, n'a pas mis en évidence ce type de problème mais elle a constaté un état de santé plus faible qu'une personne non atteinte.

Cette dernière étude a aussi mis en évidence certaines difficultés de la vie quotidienne et l'accès à certains domaines que ce soit culturels ou d'étude. L'étude menée en Malaisie n'a pas étudié ce point-là mais en revanche elle a souligné le fait que ces enfants ont plus tendance à posséder des problèmes d'interaction sociale pouvant affecter leur apprentissage scolaire. Ainsi ces deux études ont voulu démontrer que ce soit des problèmes d'apprentissage ou l'accès à un domaine d'étude, le dépistage précoce est nécessaire pour orienter, conseiller et accompagner au mieux ces enfants, et d'autant plus lorsque l'enfant est soumis à des facteurs de risques tels que des antécédents familiaux de dyschromatopsies congénitales et/ou étant de sexe masculin. (32)

2.1.2 Les liens

2.1.2.1 Étude de la vision des couleurs dans l'amblyopie fonctionnelle

Selon le rapport de la SFO de 2013, il y est indiqué que dans l'amblyopie monoculaire il est possible de retrouver en plus d'une atteinte de l'acuité visuelle, une altération de la vision des couleurs et des contrastes. (33)

Dans une étude clinique réalisée par A. Roth, il expose les termes de Javal qui en 1871 avait déjà fait le constat de cette altération dans les strabismes convergent avec amblyopie. Cette atteinte de la vision des couleurs n'est pas considérée comme une réelle dyschromatopsie mais plus comme une altération de la perception des couleurs comme l'exprima A. Roth.

L'étude clinique menée par A. Roth, avec la participation de 103 personnes, et à l'aide trois types de tests de vision des couleurs tels que des planches pseudo-isochromatique (le H.R.R et Tritan-Plate de FARNSWORT) ; tests de classement (Panel D-15, 100 Hue et 28 Hue) et des cartons d'ENGELKING avaient pour but d'étudier le sens chromatique dans les amblyopies fonctionnelles.

Les résultats ont montré que lorsque la fixation de l'œil amblyope était fovéolaire aucune altération de la vision des couleurs n'est retrouvée. En revanche dès que la fixation est extra-fovéolaire, des modifications du sens chromatique sont constatées. Dans ce dernier cas l'altération sera plus ou moins significative selon les personnes et l'importance de leur fixation extra-fovéolaire. Cette modification de la perception chromatique se traduit par un décalage de la sensibilité lumineuse vers les courtes longueurs d'ondes.

Dans le groupe étudié, 6 personnes parmi les 59 personnes de sexes masculins présentaient une dyschromatopsie congénitale en plus de l'amblyopie. A. Roth a alors observé que dans ce cas les deux phénomènes s'additionnent.

A. Roth note également qu'après traitement de l'amblyopie fonctionnelle, si le mode de fixation se rapproche d'une fixation fovéolaire, cela s'accompagne d'une amélioration de la perception des couleurs. Cette dernière permet alors démontrer une fois de plus le lien entre la vision des couleurs et l'aire de fixation rétinienne.

Pour A. Roth, l'analyse de la sensibilité chromatique pourrait être un moyen complémentaire de déterminer la fixation et l'état sensorielle de l'œil atteint dans les amblyopies monoculaires. (34)

2.2 Les solutions étudiées

Comme nous l'avons vu précédemment, les dyschromatopsies congénitales selon leurs degrés peuvent avoir un impact plus ou moins significatif sur la vie quotidienne des personnes

atteintes. C'est pourquoi certains chercheurs essaient de mettre au point un traitement ou de trouver des solutions pour palier à cette déficience.

2.2.1 La thérapie génique : solution d'avenir pour traiter la vision des couleurs ?

La thérapie génique est une des solutions étudiées à ce jour pour traiter les dyschromatopsies congénitales.

K. Mancuso et al, ont réalisé une étude publiée en 2009. Cette étude consistait au traitement de la dyschromatopsie rouge-vert par thérapie génique sur des primates adultes. Ce sont deux singes écureuils adultes mâles dichromates dépourvus du gène codant pour l'opsine L qui ont participé à cette étude.

Pour la réalisation de cette expérience, les chercheurs ont injecté un virus vecteur rAAV2/5 contenant le gène de l'opsine L humaine associé à son promoteur dans la couche photoréceptrice. L'expression du gène de l'opsine L s'est réalisée dans les cônes d'opsine M.

Afin d'observer l'efficacité de la thérapie génique, ces primates ont réalisé un test de vision des couleurs informatisé avant et après l'expérience.

Avant l'injection du virus, ces singes écureuils avaient des seuils bas ($<0,3$ unités dans l'espace colorimétrique) pour la perception des couleurs bleus et jaunes et n'arrivaient pas à distinguer les teintes bleu-vert et rouge-violet.

Dès la vingtième semaine après l'injection soit cinq mois après, les singes arrivaient à percevoir les teintes bleu-vert et rouge-violet avec un résultat de 0,8 unités dans l'espace colorimétrique. En comparaison une femelle trichromate testé a eu des seuils bas pour toutes les couleurs ($<0,3$ unités dans l'espace colorimétrique) et les singes écureuils dichromates n'ayant pas reçu d'injection n'arrivaient toujours pas à distinguer les teintes bleu-vert et rouge-violet. Cette comparaison a permis d'affirmer l'efficacité de la thérapie génique sur ces deux singes traités.

K. Mancuso et al, ont grâce à cette étude pu montrer l'efficacité du traitement par thérapie génique des dyschromatopsies congénitales rouge-vertes chez les primates. Bien que l'étude ait montré que les singes arrivaient à distinguer de nouvelles teintes, il serait intéressant de savoir s'ils en avaient réellement conscience.

La thérapie génique pour traiter certaines dyschromatopsies chez l'Homme pourrait donc s'apparenter comme une éventuelle future solution de traitement lorsque les risques d'injections intrarétiniennes seront étudiés. (35)

2.2.2 Les filtres et lentilles colorés pour daltoniens, réellement efficace ?

Depuis quelques années des publications sur les réseaux sociaux et dans les médias mettent en scène des personnes atteintes de dyschromatopsies pouvant par le biais de lunettes avoir une perception de couleurs tout à fait normale. Nous allons donc dans cette sous-partie s'intéresser à cette solution et à son efficacité.

2.2.2.1 Pour qui ?

Ces types de lunettes sont destinées aux personnes ayant une dyschromatopsie congénitale de type deutan ou protan et dont la sévérité est modérée, cela s'apparente donc au type de trichromatisme anormal tel que la deutéranomalie et la protanomalie. (36)

2.2.2.2 Comment ça marche ?

Pour ce qui est des dyschromatopsies de type deutéranomalie et protanomalie, les cônes M et L ayant une absorption maximale dans le vert et le rouge sont donc décalés selon le type

créant une plage d'absorption qui se chevauche entre les cônes M et L. Ces longueurs d'ondes qui devraient être analysées séparément créent ainsi une confusion chez les personnes ayant un type deutan ou protan. Les lunettes mise au point permettent de filtrer certaines longueurs d'ondes afin de limiter les confusions créées par les cônes M et L et ainsi distinguer ces couleurs. Les couleurs seront plus saturées et lumineuses. (37)

2.2.2.3 Quelle marque ?

Les premières lunettes pour daltoniens sont apparues vers 2010, c'est la société Enchroma qui a été l'un des premiers distributeurs. D'autres marques sont actuellement disponibles sur le marché telles que Colorlite, Pilestone, Vino, Kolorblind, ColorCorrection system et bien d'autres. Certains distributeurs proposent un test de vision des couleurs directement sur leur site afin de trouver le filtre correspondant le mieux à l'atteinte. Pour ce type de correction il faut compter une moyenne de 400€, les prix étant très variés, cela peut aller de 100€ pour les moins chers jusqu'à 650€ voire plus si une correction optique est associée. Depuis 2019, la marque Izocolors propose des lentilles de contact, pour ce format il faut compter 349€ la paire. Le principe reste le même qu'avec les verres sauf que la teinte n'est présente qu'au centre de la lentille. D'autres marques proposent également ce type de lentille telle que la marque Colorcorrection system. (38) (39) (40) (41) (42) (43)

2.2.2.4 Études ? Efficacité ?

Comme l'a décrit L. Gomez-Robledo et al. dans son étude, les filtres ne permettent pas de voir de nouvelles couleurs, cela permet de pouvoir distinguer des couleurs qui jusqu'à présents étaient confondues aux détriments d'autres couleurs. Il a également relevé que les filtres ne permettent pas d'avoir de meilleurs résultats aux tests de vision des couleurs et que seul le contraste est augmenté, c'est pourquoi certaines couleurs sont distinguées. L. Gomez-Robledo a, grâce à son étude remis en question l'efficacité de ces types de filtres dans les dyschromatopsies congénitales de types deutan et protan. Dans une autre étude, ces mêmes chercheurs ont remis en évidence que le port de ces filtres ne permet pas à ces personnes d'avoir la même perception des couleur qu'une personne sans atteinte. (36) (44)

Pour le Professeur J. S. Werner, B. Marsh-Armstrong et K. Knoblauch, les filtres de sélection spectrale à large bande les plus commercialisés ne sont pas efficaces pour la discrimination des couleurs. D'après son étude, ce sont les filtres coupe-bandes qui seraient les plus efficaces pour améliorer la différenciation des informations traitées par le cône M et le cône L. En effet, d'après J. S. Werner « Nous avons constaté qu'une utilisation prolongée sur deux semaines conduisait non seulement à une augmentation de la réponse au contraste chromatique, mais, plus important encore, que cette amélioration persistait lorsque les personnes étaient testées sans les filtres, démontrant ainsi une réponse visuelle adaptative. », ces résultats pourraient donc être la source d'une future réadaptation visuelle. (45)

Le Dr. Tal Ellenbogen ainsi que S. Karepov ont mis au point des lentilles de contact pour les daltoniens. Ils ont utilisé les propriétés optiques des méta-surfaces afin d'améliorer la perception chromatique des personnes ayant une deutéranomalie. Après avoir trouvé une méthode pour installer ce film de méta-surfaces sur la lentille de contact, ces lentilles ont subi des simulations en pratiquant le test d'Ishihara. D'après S. Karepov, « les lentilles améliorent par dix la distinction des couleurs et rétablissent presque entièrement le contraste visuel perturbé par la deutéranomalie. ». (46)

A l'heure actuelle les filtres sur lunettes représentent donc plus une aide qu'une solution pour ces personnes et les lentilles à méta-surfaces pourrait représenter une nouvelle solution.

3 Orthoptie et vision des couleurs

3.1 Questionnaire et témoignages

3.1.1 Prévalence, nature et découverte de la déficience

3.1.1.1 Prévalence

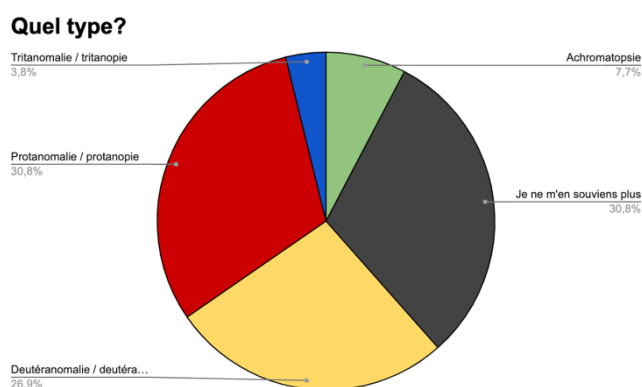
Le questionnaire mis en place, a reçu les réponses de 50 personnes dont 92% (46 personnes) de personne de sexe masculin et 8% (4 personnes) de sexe féminin.

La répartition des âges est à peu près équilibrée, 24% des personnes sont âgées entre 25 et 40 ans de même entre 40 ans et plus, 20% sont âgées entre 19 et 25 ans de même entre 0 et 11 ans, la part la moins représentée est celle de 12 à 18 ans avec 12%.

La prévalence concernant le sexe, valide celle exprimée plus tôt dans ce travail, avec une majorité d'homme atteint. La répartition des groupes d'âges a été faite de sorte à analyser plus loin les impacts selon l'âge et l'époque à laquelle les personnes se trouve ou se trouvaient à l'école.

3.1.1.2 Connaissance et nature de la déficience

Le groupe étudié, présentait 52% de personnes qui avait connaissance du type de déficience dont ils sont atteints et le reste n'en avait donc pas connaissance. Parmi ces 52% il a été relevé une majorité de protanomalie/protanopie et de deutéranomalie/deutéranopie avec 30,8% et 26,9% respectivement. Une personne présentait un type tritan, deux personnes une achromatopsie et aucune personne répertoriée pour le type de monochromatisme. Il a également été relevé que 30,8% des personnes ne se souvenaient plus de leur type de déficience, bien que cela n'a pas été prouvé, tout laisse à penser que ces personnes pensaient connaître leur type de déficience sous le nom de « daltonisme ».



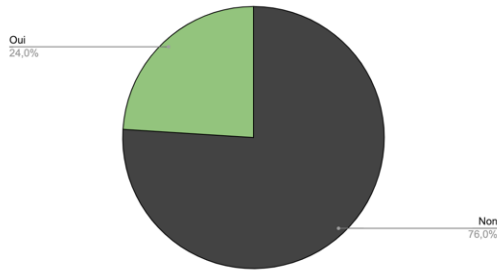
Ces résultats laissent transparaître un manque d'information de ces personnes concernant leur atteinte de vision des couleurs. En effet les résultats prouvent cela car 48% ne connaissaient pas la dénomination de leur déficience et 30,8% des 52% des personnes ayant répondu oui pour avoir connaissance du type de déficience, ne se souvenaient finalement plus du type. Au final après calcul, seul 36% des participants au questionnaire avaient connaissance de leur type de dyschromatopsie.

3.1.1.3 Découverte de la déficience

Le diagnostic ou le résultat du dépistage a révélé que sur les 52% de personnes qui prétendaient connaître le nom du type de déficience dont il est atteint, 3 personnes ont été dépistés entre 13 mois et 3 ans ; 11 personnes entre 4 et 7 ans ; 5 personnes entre 8 et 10 ans et en fin 6 personnes entre 14 et 25 ans.

Parmi la totalité des 50 personnes, seul 24% disent avoir été dépistés par un orthoptiste. Dans le reste des cas, soit parmi 32 réponses recensées, ils s'agissaient pour 10 personnes lors de la

Avez vous été dépisté par un orthoptiste?



visite auprès de l'infirmière scolaire ; pour 7 personnes lors d'un rendez-vous chez un ophtalmologiste ; pour 6 personnes ce sont les parents qui l'ont dépisté ; pour 5 personnes lors d'un rendez-vous à la médecine du travail ; pour 3 personnes lors d'un contrôle pour le service militaire ou l'entrée à l'armée et une personne par un généticien.

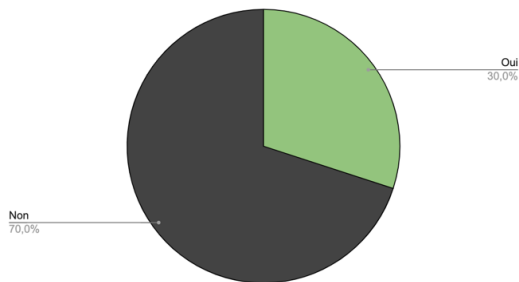
Les résultats pour la partie découverte de la déficience montrent que pour la majorité des cas le dépistage a été fait avant ou presque au début de l'entrée à l'école primaire. En revanche, 6 personnes prétendent avoir été dépisté entre 14 et 25 ans, ces résultats laissent penser que le dépistage a été tardif et que, par conséquent des éventuelles difficultés ont pu être rencontrées lors des apprentissages à l'école primaire notamment. Le reste des résultats permet de montrer que la place de l'orthoptiste dans le dépistage des dyschromatopsies n'est pas réellement présente.

3.1.2 Impact et accompagnement

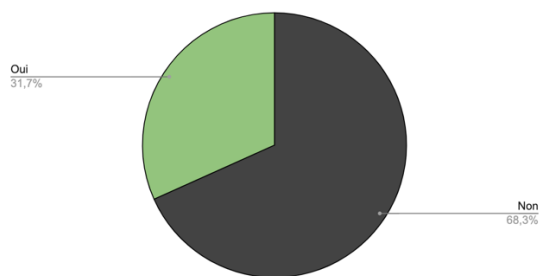
3.1.2.1 Impact de la déficience

L'impact de ces dyschromatopsies a été analysé par la suite, pour la majorité des personnes interrogées, soit 70%, la dyschromatopsie n'est pas ressentie comme un handicap.

Ressez-vous cette déficience comme un handicap?



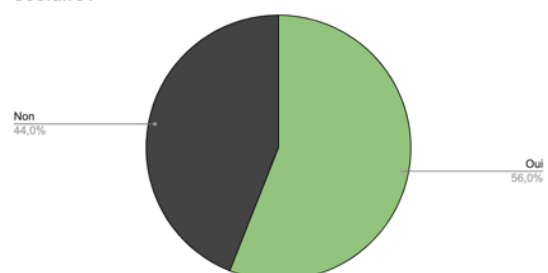
Cela vous a-t-il empêché de faire le métier que vous souhaitiez?



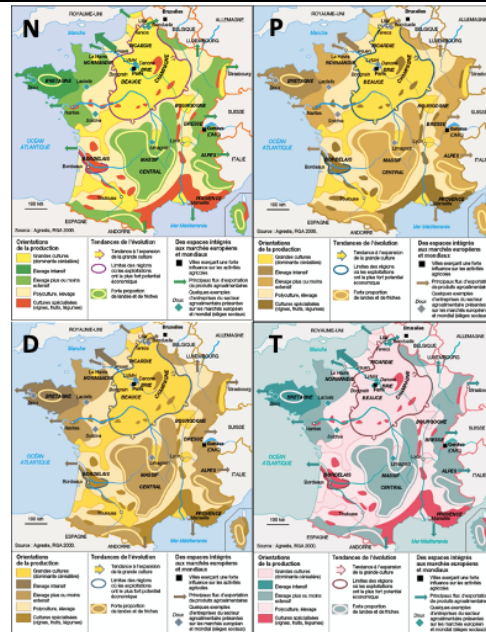
Sur 41 réponses, 31,7% disent que cette atteinte a exclus l'accès au métier souhaité. Ces métiers étaient pilote de ligne dans la majorité des cas, conducteur de train à la SNCF, commissaire de police, électricien/ électrotechnicien, techniciens télécom à la SNCF ou encore artiste. Deux femmes ont exprimé que leurs souhaits étaient d'accéder à des métiers dans l'esthétique ou encore maquilleuse professionnelle. Elles ont également exprimé qu'à cause de la faible part de femme atteinte de dyschromatopsie, très peu de solutions existent, je cite : « pour être féminine » et « les problèmes rencontrés au quotidien » comme notamment pour ce qui est de « l'habillement, maquillage, couleur de cheveux... ». Une autre femme a déclaré que comme peu de gens ont la connaissance que les femmes aussi peuvent être atteinte : « ...J'ai souvent droit à un interrogatoire quand les gens l'apprennent. Bien sûr j'ai eu droit à des « les filles daltoniennes ça n'existe pas » ... ».

Par la suite l'impact au niveau scolaire a été analysé et 56% des participants disent que la dyschromatopsie a été un handicap dans les apprentissages scolaires. Voici les exemples répertoriés :

Cela vous a-t-il handicapé dans votre apprentissage scolaire?



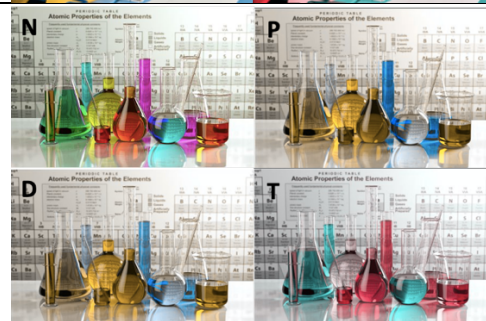
Histoire-Géographie
 Étude des cartes avec les légendes de couleurs (12 personnes)



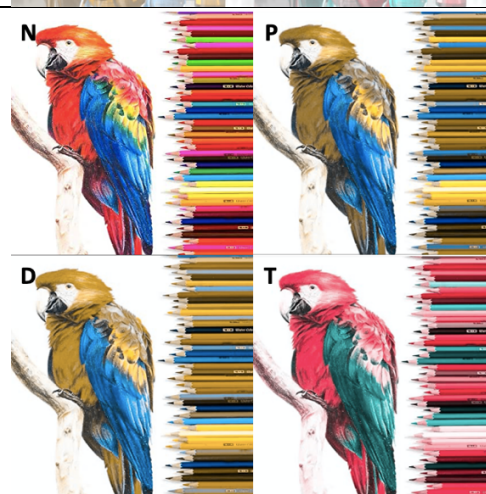
Arts plastiques
 Difficultés générales (5 personnes)



Physique-chimie
 Analyse chimique et analyse de spectre de couleur (4 personnes)



Difficultés avec les crayons de couleurs et le coloriage (2 personnes)



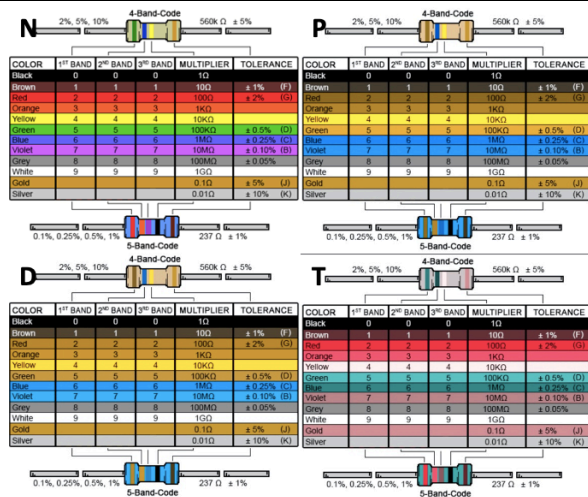
Différenciation craie rouge sur le tableau vert (2 personnes)



Comportements déplacés des professeurs ou mauvaise notation (2 personnes)

Mathématiques
Apprentissage avec les barrettes de couleurs (1 personne)

Technologie
Travaux de résistance/ étude d'électronique avec les codes couleurs (2 personnes)



Sport
Différenciation des chasubles (1 personne)



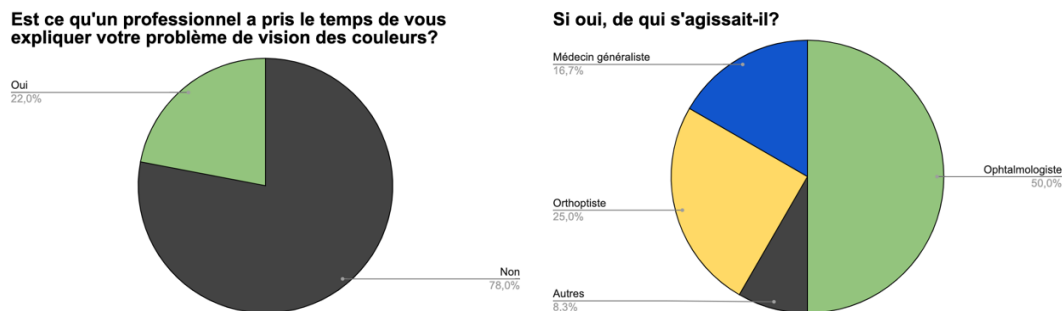
Pense être étourdi, avoir besoin de lunette (1 personne)

Voici le témoignage de certaines personnes concernant le comportement déplacé de certains professeurs : « Le maître d'école me jetait des craies lorsque je me trompais de couleur pensant que j'étais idiot. » ; « Les professeurs d'art plastique ne sont pas sensibilisé à cette problématique » ; « Réflexions inappropriées des profs d'histoire géographie » ; « Grondé par un professeur sans raison » ; « On me mettait faux alors que j'avais bon .. » cela était simplement dû au fait « ...que je ne voyais pas bien les couleurs ».

L'impact va varier en fonction de l'intensité de la dyschromatopsie, c'est pourquoi seul 30% des personnes ressentent cela comme un handicap. Un pourcentage similaire dit avoir été contraint de ne pas pouvoir accéder au métier souhaité. Le témoignage de deux femmes ont permis de mettre en avant des difficultés quotidiennes rarement étudiées jusqu'aujourd'hui. Des difficultés scolaires ont été retrouvés dans 56% des cas mettant en avant un manque de sensibilisation auprès de l'équipe éducatrice.

3.1.2.2 Accompagnement

Quant à l'accompagnement, dans 78% des cas aucun professionnel n'a pris le temps d'expliquer le problème de vision des couleurs. Pour le reste des participants les professionnels ayant pris le temps d'expliquer la dyschromatopsie s'agissait dans 50% des cas d'un ophtalmologiste, d'un orthoptiste dans 25% des cas, puis du médecin généraliste dans 16,7% et pour une personne il s'agissait d'un autre professionnel.



Voici quelques témoignages concernant l'accompagnement :

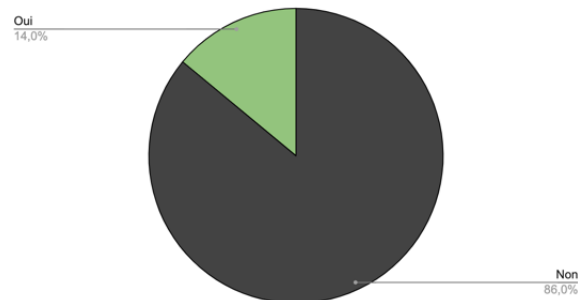
« La difficulté rencontrée pour mon fils était de savoir son degré de daltonisme. L'ophtalmo que j'ai rencontré n'avait pas trop d'informations à ce sujet, il ne m'a rien appris... »,

« ... à l'école maternelle, les maîtresses avaient du mal à le comprendre et l'accepter tant que ce n'était pas diagnostiqué par un professionnel, et les professionnels rencontrés jusque 6 ans et demi disaient que c'était trop tôt pour poser un diagnostic. Mais du coup à l'école on me mettait souvent Faux alors que je ne pouvais pas faire l'exercice je ne voyais pas bien les couleurs. Depuis le diagnostic confirmé par un ophtalmologue à mes 6 ans et demi, ça se passe mieux à l'école. La maîtresse prend en compte le fait que je suis daltonien quand on fait des exercices, elle les adapte pour moi. »,

« A 10ans mon médecin traitant détecte un trouble de la vision des couleurs. Vers mes 25ans lors d'une visite à la médecine du travail on me fait le test d'Ishihara et on me diagnostic une forme de daltonisme, sans plus d'explications. De mes 18ans jusqu'à aujourd'hui j'ai eu plusieurs visites chez des ophtalmologues et personnes ne m'a vraiment expliqué. C'est comme ça, il n'y a rien à faire. Et en janvier 2022, après une longue série d'entretiens pour rentrer à la SNCF, il me reste plus que la visite médicale pour être embauché. Ils me font faire pleins d'exams médicaux que je réussis sauf chez l'ophtalmologue où elle me fait le test d'Ishihara. Je fais plus de 5 erreurs je suis inapte pour la SNCF, merci au revoir. C'est la première fois que je ressens ça comme un handicap. ».

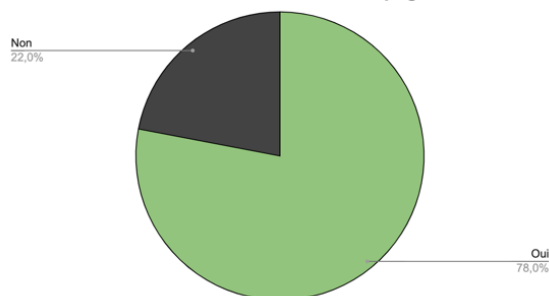
J'ai eu l'opportunité de pouvoir échanger avec une jeune femme achromate, point sur lequel je reviendrai un peu plus loin dans ce mémoire. Voici son parcours dont elle m'a fait part, pour commencer c'est assez tôt que sa déficience a été dépistée, dès l'école maternelle au moment des coloriage notamment. De là a débuté de nombreuses consultations ophtalmologiques avec beaucoup d'examen qui ont permis de confirmer une déficience de la vision des couleurs mais aucun diagnostic n'a été posé. Ce n'est qu'à l'âge de 23 ans, après avoir cherché un spécialiste, que le diagnostic d'achromatopsie est posé, cependant aucun suivis n'est proposé, et on lui dit qu'« il faut vivre avec ». Ce n'est finalement qu'après un autre rendez-vous dans un autre hôpital qu'une prescription de verre photophobe est proposée. Cette personne m'a également fait part que parmi tous les ophtalmologistes rencontrés très peu avait des connaissances sur cette déficience. Lors de la période scolaire, cela était assez compliqué, notamment avec le tableau. En effet, la craie de couleur rouge n'était pas perçue sur le tableau vert et les tableaux blancs reflétaient beaucoup de lumière créant de l'inconfort. Au niveau des études, cela s'est également compliqué, les études de médecine n'étaient pas possibles, l'incapacité à la conduite du fait de la faible acuité réduit les possibilités de métier. Cette personne a donc trouvé intéressant de développer un autre sens et travaille donc dans l'analyse sensorielle avec des tests consommateurs que ce soit en agroalimentaire ou cosmétique et également avec des panélistes. Elle a l'opportunité également de pouvoir travailler avec le groupe *Dans le noir*.

Est ce que quelqu'un vous a conseillé pour vous aider au quotidien? Avec la mise en place de solutions / matériel pour vous aider par exemple.

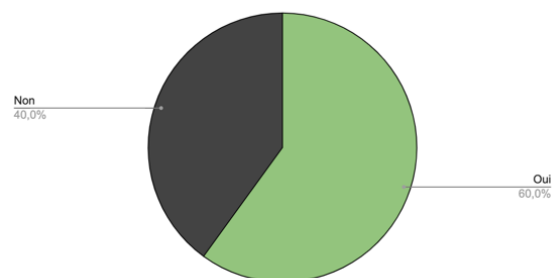


Dans seulement 14% des cas on note un conseil et accompagnement, dans ces cas-là ce sont principalement les proches et les parents/ grands-parents qui viennent en aide. Pour un cas d'achromatisme l'aide a été apporté par le Service d'accompagnement à l'acquisition de l'autonomie et à l'intégration scolaire (S.A.A.S.).

Auriez vous aimé être conseillé et accompagné?



Avez-vous su mettre en place des solutions pour pallier à la déficience?



Parmi tous les participants, 78% auraient aimé être conseillé et accompagné et 60% des personnes ont réussi à mettre en place des solutions pour pallier à la déficience.

Voici ce qui a été cité :

- Mise en place d'étiquettes (ex : sur crayons de couleurs ou feutres),
- Utilisation d'une application mobile qui nomme les couleurs (ex : colorname),
- Mémorisation,

- Adaptation, c'est-à-dire n'utiliser que des couleurs perçus, s'habiller qu'avec des couleurs perçus et donc éviter les couleurs dérangeantes,
- Remplacement des couleurs par des symboles sur les cartes en Histoire-Géographie,
- Demande d'aide
- Utilisation des lunettes adaptées avec filtre

En ce qui concerne l'accompagnement, il a été signifié que dans la plupart des cas aucun professionnel n'a pris le temps d'expliquer à ces personnes leurs dyschromatopsies. Concernant les personnes ayant reçu des explications, dans seulement 3 cas sur 11 il s'agissait d'un orthoptiste.

Nous nous apercevons alors que la place de l'orthoptiste n'est pas réellement marquée dans ce sondage, il est important de se questionner sur l'accompagnement des orthoptistes vis-à-vis des dyschromatopsies. Les témoignages relatent un manque d'information, d'explication et de conseils auprès des professionnels de santé alors qu'une grande majorité des personnes interrogées auraient aimé l'être.

3.2 Explications et recommandations aux parents, avec présentation d'une fiche technique

3.2.1 Explications et recommandations

3.2.1.1 Importance de l'explication

Comme nous l'avons vu précédemment dans le questionnaire diffusé, une problématique autour de l'explication au patient a été mise en évidence.

En effet, l'explication au patient et aux parents peut parfois dans le cas des dyschromatopsies être assez succincte au vu du faible impact sur la santé. En revanche comme nous l'avons observé dans les résultats du questionnaire réalisé, sur les 50 personnes interrogées seul 22% ont reçu des explications d'un professionnel de santé sur leur déficience de la vision des couleurs et 78% aurait aimé être conseillé et accompagné.

Bien que les atteintes de la vision des couleurs puissent paraître anodines, l'explication au patient et aux parents est importante. D'une part le patient doit comprendre sa déficience et son fonctionnement, d'autre part l'importance de l'explication est nécessaire pour l'accompagnement. Il est nécessaire que le patient sache que tous les métiers ne seront pas accessibles, de ce fait plus le dépistage et les explications seront réalisés tôt et meilleure sera l'orientation du patient pour ses études et ses activités.

Voici une liste des métiers où une trichromatie normale est nécessaire : (47)

Métiers des transports :	Métiers de la sécurité publique :	Autres professions :
Armée : pilotes, conducteurs et mécaniciens	Police, gendarmerie	Électricité et électronique
Aviation civile : pilotes et mécaniciens, contrôle aérien	Douanes	Laboratoires : techniciens et pharmaciens
Marine marchande : marins et officiers	Pompiers ...	Métiers du textile et de l'imprimerie
Chemins de fer : conducteur et mécaniciens		Métiers de la peinture et de la photographie
Transports en commun : autobus, métro		Métiers de la lumière (théâtre, cinéma et télévision)
		Métiers de tri : alimentation par exemple (fruits, légumes)

3.2.1.2 Proposition d'outils et astuces

Nous allons par la suite proposer des astuces et outils, pour certains évoqués par les participants au questionnaire réalisé pour ce mémoire. Ils ont pour but d'aider les patients de les aider dans leur quotidien.

Comme nous l'avons déjà cité plutôt, les « lunettes ou lentilles pour daltoniens » peuvent être un moyen pour distinguer des couleurs confondues mais en aucun cas ces lunettes permettent à l'heure actuelle d'avoir une vision trichromatique parfaite.

Un petit outil, nommé Seekey, permet aux dyschromatopsies de type deutan et protan de distinguer les couleurs confondues. Les couleurs rouge et orange à travers le filtre rouge paraîtront plus claires/ lumineuses alors que les couleurs dans les tons verts seront plus sombres. A l'inverse les teintes vertes seront plus lumineuses à travers le filtre vert et les tons rouge à orange seront plus sombres. Cette différence de perception au travers des filtres permet la distinction de couleurs jusque-là confondues. (48) (49)

Des applications ont été développées pour nommer les couleurs, telles que clorgrap, colorname et bien d'autres.

Une des astuces largement répandues est celle des petites étiquettes avec le nom des couleurs. En tant que parent, il est possible d'écrire le nom des couleurs sur les crayons de couleurs par exemple.

La mémorisation est une autre astuce utilisée par ces personnes, comme par exemple se souvenir de la couleur de ses vêtements pour les assortir. L'objectif étant de mémoriser la couleur de certaines choses à des fins utiles.

Personne n'est mieux placée qu'une personne qui se trouve dans la même situation pour conseiller, c'est pourquoi de nombreux sites et personnes sur les réseaux sociaux proposent leurs astuces pour aider les personnes dyschromates. Pour ce qui est des sites internet voici quelques exemples : <https://lesyeuxdudaltonisme.fr/> ou <http://www.mondaltonisme.fr/>.

Par le biais des réseaux sociaux, des pages ou des groupes Facebook existent, par lesquels les utilisateurs partagent leurs quotidiens et astuces. Des chaînes YouTube traitent le sujet des déficiences de la vision des couleurs, pour en expliquer le principe. D'autre chaîne telle que Sens&Tiff, une jeune femme achromate, partage son quotidien, ses astuces et ses expériences en tant qu'achromate.

L'univers des jeux vidéo commence à s'adapter aux dyschromatopsies notamment avec la mise en place d'un mode daltonien. Des jeux tels que Call of Duty, Fortnite, World of Warcraft etc... proposent ce mode et permettent ainsi un meilleur accès au jeu pour ces personnes.

Un des points le plus important, qui est ressortis dans les témoignages du questionnaire est la sensibilisation à l'école et notamment auprès des éducateurs. En effet c'est à l'école que les personnes avec une dyschromatopsie se retrouvent le plus en difficultés, il est donc important que le corps enseignant soit sensibilisé sur cet aspect, en essayant justement de limiter les difficultés quand cela est possible.

3.2.2 Présentation d'une fiche technique

3.2.2.1 Son objectif

Afin d'améliorer l'accompagnement des personnes atteintes de dyschromatopsies congénitales, une fiche technique à destination des orthoptistes et des patients a été réalisée. Cette fiche permet à l'aide d'explication simple et de visuelles d'en comprendre davantage sur les dyschromatopsies congénitales.

3.2.2.2 Fiche technique sur la vision des couleurs

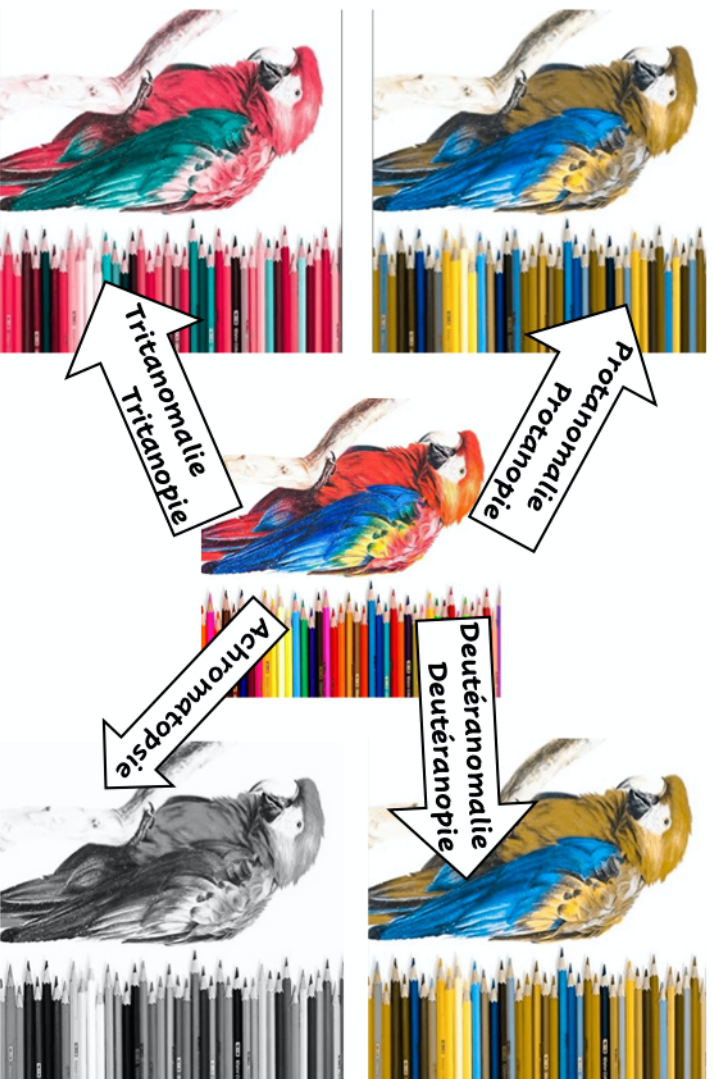
Qu'est-ce que le daltonisme ou dyschromatopsies congénitales ?

EXPLICATIONS

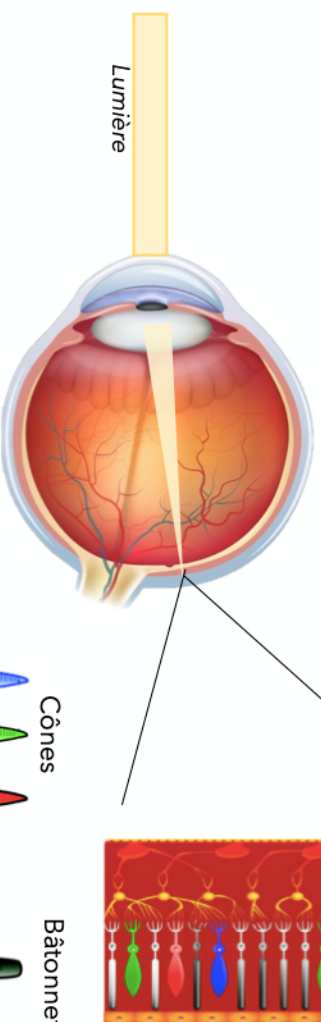
Afin d'obtenir une vision colorée, des récepteurs de la rétine rentrent en jeu dans ce système, les cônes et les bâtonnets. Les cônes sont de trois types, schématisés ci-contre. Lorsqu'un ou plusieurs de ces cônes est déficient ou même absent, la vision des couleurs sera alors perturbée. Les déficiences de la vision des couleurs ou dyschromatopsies sont couramment appelées « daltonisme ».

DIFFERENTS TYPES

Selon le type de cône affecté, plusieurs types de daltonisme sont définis. Si le cône affecté est dysfonctionnant, on parle de protanomalie ; deutéranomalie et tritanomalie. Si le cône affecté est absent on parle alors de protanopie ; deutéranopie et tritanopie. Les types protan auront baisse de sensibilité aux teintes rouges, les types deutan aux teintes vertes et les types protan aux teintes bleues. D'autres types existent tel que le monochromatisme, correspond à l'absence de deux types de cônes et l'achromatopsie où aucun cône n'est fonctionnel. L'achromatopsie se traduit par une perception visuelle dans les teintes de gris, noir et blanc associée à une photophobie, une acuité visuelle faible et un nystagmus.



La vision des couleurs est la capacité de notre cerveau à analyser et traiter l'information lumineuse afin de créer une sensation colorée de l'objet observé.



OUI OU NON ?

Le saviez-vous ?

Près d'un homme sur 20 et d'une femme sur 200 sont atteints de daltonisme.

Peut-on le diagnostiquer ?

De nombreux tests existent pour le dépistage, tel que le test d'Ishihara et le Farnsworth 15 Hue. Le dépistage chez les enfants peut être réalisé dès 5/6 ans, lors d'un contrôle ophtalmologique ou orthoptique par exemple.

Est-ce héréditaire ?

Dans la majorité des cas la transmission du daltonisme se fait par la mère et est liée au chromosome X.

Existe-t-il des astuces pour faciliter le quotidien ?

- Mise en place d'étiquettes avec le nom des couleurs (ex : sur les crayons de couleurs),
- Travailler la mémorisation (ex : se souvenir de la couleur des vêtements pour les assortir),
- Associer les couleurs à un symbole (ex : pour la réalisation des cartes en géographie),
- Utilisation d'application pour nommer les couleurs,
- Utiliser le mode daltonien sur les jeux vidéo quand il est disponible.

Pour plus de conseils et d'explications, n'hésitez pas à en parler avec un orthoptiste.

Conclusion

Ce présent travail nous a permis d'explorer le sujet de la vision des couleurs sous plusieurs aspects. Ce qui a pu nous sensibiliser sur la place de la vision des couleurs dans le quotidien de l'être humain mais également dans le métier d'orthoptiste.

Nous avons pu aborder le sujet de la vision des couleurs en exposant les généralités sur ce sujet. Ce qui a permis d'en comprendre davantage sur son histoire du point de vue génétique avec l'étude des gènes des opsines. Le développement de cette vision chromatique chez l'Homme a été traité afin d'assimiler son fonctionnement et d'avoir une meilleure compréhension des déficiences qui en découlent.

En deuxième lieu, nous avons porté notre intérêt sur ce qui est étudié dans la littérature. Nous avons repris des études qui développaient les impacts que peuvent avoir une déficience congénitale de la vision des couleurs notamment une menée en Malaisie et une autre en Égypte. Ces deux études ont montré que ces personnes sont ou pouvait être amené à avoir des difficultés dans la vie quotidienne, l'accès à certains domaines d'étude ou culturel, être disposer à avoir des problèmes d'interaction sociale ce qui affecterait les apprentissages scolaires. La nécessité d'un dépistage précoce a donc été soulevé pour un meilleur accompagnement. Un lien a également été retrouvée entre l'amblyopie fonctionnelle et une altération de la vision des couleurs, ce qui permettrait d'analyser l'état sensorielle et la fixation de l'œil amblyope. Par la suite nous nous sommes intéressés aux solutions et traitement étudiés ainsi qu'à leur efficacité pour les dyschromatopsies. La thérapie génique s'est montrée concluante sur le traitement des dyschromatopsies congénitales de types protan ou deutan sur des primates, leur permettant de distinguer des couleurs qui jusqu'à présent été confondus. En revanche l'utilisation des lunettes ou lentilles avec filtres colorés, qui permettrait de donner une vision des couleurs proche de celle d'une personne non atteinte, est aujourd'hui décrié du fait de son manque d'efficacité.

Enfin, pour clôturer ce travail, il était important d'évoquer la place de la vision des couleurs dans le métier d'orthoptiste. Les réponses au questionnaire et les témoignages des personnes dyschromates ont pu mettre en évidence un manque notable d'accompagnement, d'explications et finalement une faible place de la prise en charge orthoptique. La mise en œuvre d'une fiche technique pourrait être un moyen d'améliorer l'explication aux patients/ parents.

Ce travail a donc servi d'une part à étudier la vision chromatique chez l'Homme, les déficiences et ses impacts qui en découlent. D'autre part, d'aborder la place de la vision chromatique dans le quotidien des personnes avec une déficience de la vision des couleurs, a également mis en lumière la question de l'accompagnement de ces personnes, ainsi que la place de l'orthoptiste dans le dépistage et l'accompagnement de cette atteinte.

Comme nous le savons un être humain est capable de distinguer un panel de couleur important. La perception de la couleur varie donc entre une personne avec ou sans dyschromatopsie, ainsi cela a mis en évidence que les couleurs que l'on nomme ne sont pas les même vus que par ces personnes bien qu'ils nomment certaines de ces couleurs de la même façon que nous. Par conséquent nous ne sommes pas certains que la perception de la couleur soit ressentie de la même façon d'une personne à l'autre. En effet, il est difficile de décrire une couleur autrement que par le biais d'exemple, de ce fait une question se pose. La sensation de vision des couleurs est-elle objective ou propre à chacun ?

Bibliographie

1. Masters BR. A History of Human Color Vision-from Newton to Maxwell. Optics & Photonics News, OPN. 1 janv 2011;22(1):43-7.
2. Comprendre la théorie trichromatique de la vision des couleurs / Les théories [Internet]. Forte santé et développement mental! [cité 6 déc 2021]. Disponible sur: <https://fr.amenajari.org/articles/theories/understanding-the-trichromatic-theory-of-color-vision.html>
3. Qui a découvert le daltonisme? John Dalton [Internet]. Daltonisme. 2014 [cité 6 déc 2021]. Disponible sur: <http://www.daltonisme.com/historique-du-daltonisme>
4. Vision de la couleur : comment perçoit-on les couleurs ? [Internet]. Nos Pensées. 2020 [cité 6 déc 2021]. Disponible sur: <https://nospensees.fr/vision-de-la-couleur-comment-percoit-on-les-couleurs/>
5. Sandvik E, Diener E, Larsen RJ. The opponent process theory and affective reactions. Motiv Emot. déc 1985;9(4):407-18.
6. Jacobs GH. Primate color vision: A comparative perspective. Vis Neurosci. sept 2008;25(5-6):619-33.
7. Jacobs GH. Evolution of colour vision in mammals. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 12 oct 2009;364(1531):2957-67.
8. Famille multigénique des opsines — Site des ressources d'ACCES pour enseigner les Sciences de la Vie et de la Terre [Internet]. [cité 6 déc 2021]. Disponible sur: <http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/evolution/accompagnement-pedagogique/accompagnement-au-lycee/terminale-2020/la-terre-la-vie-et-l-organisation-du-vivant/genetique-et-evolution/famille-multigenique-des-opsines/famille-multigenique-des-opsines>
9. La couleur [Internet]. [cité 22 nov 2021]. Disponible sur: <https://www-cairn-info.lama.univ-amu.fr/la-couleur--9782130632153.htm>
10. FLEURY P, IMBERT C. COULEUR. In Encyclopædia Universalis; [cité 7 déc 2021]. Disponible sur: <http://www.universalis-edu.com.lama.univ-amu.fr/encyclopedie/couleur/>
11. LANTHONY P. Vision des couleurs et daltonisme. Ediss. 2001. 70 p. (Questions de vue).
12. Behar-Cohen F, Gelizé E, Jonet L, Lassiaz P. Anatomie de la rétine. médecine/sciences. juin 2020;36(6-7):594-9.
13. Les dystrophies rétinienne et le cycle visuel dans l'épithélium pigmentaire rétinien [Internet]. [cité 7 déc 2021]. Disponible sur: <http://www.inmfrance.com/inmfrance-j3/index.php/fr/vision-fr/23-1-les-dystrophies-retiniennes-et-le-cycle-visuel-dans-l-epithelium-pigmentaire-retinien>
14. La physiologie de la phototransduction rétinienne - Pôle Vision Val d'Ouest - Centre spécialiste de l'ophtalmologie à Lyon [Internet]. [cité 25 nov 2021]. Disponible sur: https://www.polevision.fr/Physiologie_oeil_normal_la_phototransduction_ophtalmologie_Centre_Pole_Vision_Lyon.php
15. CHIMIE DE LA VISION [Internet]. [cité 25 nov 2021]. Disponible sur: <https://tice.ac-montpellier.fr/ABCDORGA/Famille/VISION.html>
16. Salessé C. Physiologie du signal visuel rétinien : de la phototransduction jusqu'au cycle visuel. Journal Français d'Ophtalmologie. mars 2017;40(3):239-50.
17. Marechal M, Delbarre M, Berguiga M, Benisty D, Froussart-Maille F. Dyschromatopsies héréditaires : physiologie, classification, diagnostic et application à l'aéronautique. Journal Français d'Ophtalmologie. févr 2019;42(2):177-88.
18. Orssaud C. La vision des couleurs de l'enfant et son exploration. Revue Francophone d'Orthoptie. juill 2014;7(3):192-9.
19. Niessen F. Développement des fonctions visuelles du fœtus et du nouveau-né et unités

de soins intensifs néonataux. Archives de Pédiatrie. août 2006;13(8):1178-84.

20. Rigaudière F, Leid J, Viénot F, Le Gargasson J-F. Comprendre et tester les déficiences de la vision des couleurs de l'enfant, en pratique. Journal Français d'Ophtalmologie. 1 janv 2006;29(1):87-102.

21. Magalie G. Le développement de la fonction visuelle chez l'enfant : étude bibliographique.

22. LANTHONY P. DALTONISME. In Encyclopædia Universalis; [cité 8 nov 2021]. Disponible sur: <http://www.universalis-edu.com.lama.univ-amu.fr/encyclopedie/daltonisme/>

23. Hasrod N, Rubin A. Defects of colour vision: A review of congenital and acquired colour vision deficiencies. African Vision and Eye Health. 22 nov 2016;75(1):6.

24. Simunovic MP. Colour vision deficiency. Eye. mai 2010;24(5):747-55.

25. Rapport SFO 2018 - Rétine et vitré [Internet]. [cité 22 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/em/SFO/H2018/B9782294756399000115.html>

26. Sharpe LT, Stockman A, Jägle H, Nathans J. Opsin genes, cone photopigments, color vision, and color blindness. color vision. :50.

27. Simunovic MP. Acquired color vision deficiency. Survey of Ophthalmology. 1 mars 2016;61(2):132-55.

28. Jafarzadehpur E, Hashemi H, Emamian MH, Khabazkhoob M, Mehravaran S, Shariati M, et al. Color vision deficiency in a middle-aged population: the Shahroud Eye Study. Int Ophthalmol. 1 oct 2014;34(5):1067-74.

29. Schneck ME, Haegerstrom-Portnoy G, Lott LA, Brabyn JA. Comparison of Panel D-15 Tests in a Large Older Population. Optometry and Vision Science. mars 2014;91(3):284-90.

30. Leid J, Kraft G. Bien éclairer les tests de vision des couleurs, la lampe TRUE COLOR LED : une innovation dans ce domaine. Journal Français d'Ophtalmologie. févr 2021;44(2):224-38.

31. Thomas BAWM, Kaur S, Hairol MI, Ahmad M, Wee LH. Behavioural and emotional issues among primary school pupils with congenital colour vision deficiency in the Federal Territory of Kuala Lumpur, Malaysia: A case-control study. F1000Research [Internet]. 2018 [cité 8 nov 2021];7. Disponible sur: https://journals.scholarsportal.info/details/20461402/v7inone/nfp_baeiapklmacs.xml

32. Osman S, Khalaf S, Mohammed H, El-Sebaity D, Osman D. Prevalence and predictors of colour vision defects among Egyptian university students. East Mediterr Health J. 27 avr 2021;27(4):399-406.

33. Rapport SFO - Strabisme [Internet]. [cité 26 févr 2022]. Disponible sur: https://www.em-consulte.com/em/SFO/2013/html/file_100015.html

34. Roth A. Le sens chromatique dans l'amblyopie fonctionnelle. Documenta Ophthalmologica. 1968;24(1):113-200.

35. Mancuso K, Hauswirth WW, Li Q, Connor TB, Kuchenbecker JA, Mauck MC, et al. Gene therapy for red-green colour blindness in adult primates. Nature. 8 oct 2009;461(7265):784-7.

36. Gómez-Robledo L, Valero EM, Huertas R, Martínez-Domingo MA, Hernández-Andrés J. Do EnChroma glasses improve color vision for colorblind subjects? Opt Express. 29 oct 2018;26(22):28693.

37. ICI.Radio-Canada.ca ZS-. Des lunettes pour daltoniens, efficaces? | La semaine des sciences [Internet]. Radio-Canada.ca. Radio-Canada.ca; [cité 2 mars 2022]. Disponible sur: <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1092183/enchroma-lunettes-daltonisme-etude-critique-uqam>

38. Zoltán H. System [Internet]. Colorlite | Correction du daltonisme. [cité 2 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.fr.colorlitelens.com/systeme-de-daltonisme.html>

39. Ltd EE. Lunettes EnChroma® pour daltoniens | Technologie de pointe en matière de

- verres [Internet]. EnChroma Europe Ltd. [cité 2 mars 2022]. Disponible sur: <https://eu.enchroma.com/>
40. Collections | Glasses for Colour Blindness | Pilestone UK [Internet]. Pilestone Colour Blind Experts. [cité 2 mars 2022]. Disponible sur: <https://pilestone.co.uk/collections/colour-blind-glasses>
41. Lentilles anti daltonisme, lunettes anti daltonisme, correction daltonisme [Internet]. [cité 2 mars 2022]. Disponible sur: https://www.izicolors.com/lentilles_anti_daltonisme_lunettes_anti_daltonisme_correction_daltonismes_boutique_en_ligne
42. Treatment for Colorblindness | Pass a Color Blind Test | Color Blind Lenses [Internet]. Color Vision Correction. [cité 2 mars 2022]. Disponible sur: <https://colormax.org/>
43. KolorBlind - Koptical [Internet]. [cité 2 mars 2022]. Disponible sur: <http://koptical.fr/marques-et-produits/verres/kolorblind/>
44. Martínez-Domingo MÁ, Valero EM, Gómez-Robledo L, Huertas R, Hernández-Andrés J. Spectral Filter Selection for Increasing Chromatic Diversity in CVD Subjects. *Sensors*. janv 2020;20(7):2023.
45. Werner JS, Marsh-Armstrong B, Knoblauch K. Adaptive Changes in Color Vision from Long-Term Filter Usage in Anomalous but Not Normal Trichromacy. *Current Biology*. août 2020;30(15):3011-3015.e4.
46. Administrator. Des lentilles de contact pour daltoniens mises au point à l'Université de Tel-Aviv [Internet]. ami-universite-telaviv.com. [cité 3 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.ami-universite-telaviv.com/index.php/2013-05-26-08-41-51/recherche/sciences/ingenierie-et-robotique/1189-des-lentilles-de-contact-pour-daltoniens-mises-au-point-%C3%A0-l%E2%80%99universit%C3%A9-de-tel-aviv>
47. Liste des métiers... [Internet]. [cité 2 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.visiondescouleurs.com/liste-des-metiers/>
48. Traiter le daltonisme [Internet]. *Les yeux du daltonisme*. 2019 [cité 1 mars 2022]. Disponible sur: <https://lesyeuxdudaltonisme.fr/traiter-le-daltonisme/>
49. Seekey – Daltoniens Voir Autrement Couleurs Invisibles – Colblindor [Internet]. [cité 1 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.color-blindness.com/2007/10/31/seekey-colorblinds-see-otherwise-invisible-colors/>