



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>

Université Claude Bernard



Lyon 1

**INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LA
READAPTATION**

Directeur Docteur Xavier PERROT

ETUDE DE LA FATIGUE VISUELLE SOUS ECLAIRAGE OPERATOIRE

MEMOIRE présenté pour l'obtention du

**CERTIFICAT DE CAPACITE
D'ORTHOPTE**

par

DROULAS Charlie
MARTINE Lionel
THIBAUT Tanguy

Autorisation de reproduction

LYON, le **27 juin 2017**

Professeur Ph. DENIS
Responsable de l'Enseignement

N° 2017/11

Mme C. CHAMBARD
Directrice des Etudes

Président
Pr Frédéric FLEURY

Vice-président CFVU
M. CHEVALIER Philippe

Vice-président CA
M. REVEL Didier

Vice-président CS
M. VALLEE Fabrice

Directeur Général des Services
Mme MARCHAND Dominique

Secteur Santé

U.F.R. de Médecine Lyon Est
Directeur
Pr. RODE Gilles

U.F.R d'Odontologie
Directeur
Pr. BOURGEOIS Denis

U.F.R de Médecine Lyon-Sud
Charles Mérieux
Directrice
Pr BURILLON Carole

Institut des Sciences Pharmaceutiques
et Biologiques
Directrice
Pr VINCIGUERRA Christine

Département de Formation et
Centre de Recherche en Biologie
Humaine
Directeur
Pr SCHOTT Anne-Marie

Institut des Sciences et Techniques de
Réadaptation
Directeur
Dr Xavier PERROT

Comité de Coordination des
Etudes Médicales (CCEM)
Pr COCHAT Pierre

Secteur Sciences et Technologies

U.F.R. Des Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (S.T.A.P.S.)

Directeur

M. VANPOULLE Yannick

Institut des Sciences Financières et d'Assurance (I.S.F.A.)

Directeur

M. LEBOISNE Nicolas

Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education

Directeur

M. MOUGNIOTTE Alain

UFR de Sciences et Technologies

Directeur

M. DE MARCHI Fabien

POLYTECH LYON

Directeur

Pr PERRIN Emmanuel

IUT LYON 1

Directeur

M. VITON Christophe

Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique de Lyon (ESCPE)

Directeur

M. PIGNAULT Gérard

Observatoire astronomique de Lyon

Directeur

Mme DANIEL Isabelle

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le professeur Philippe Denis responsable de l'enseignement, ainsi que Mme Claudine Chambard directrice des études de l'école d'orthoptie de Lyon pour avoir pris part aux réunions et discussions, pour ses directives et avis éclairés et bienveillants.

Nous remercions de la même façon l'ensemble du corps enseignant de l'école d'orthoptie pour leur pédagogie et l'enseignement dispensés durant ces trois années.

Nous remercions notre maître de mémoire, le Docteur Patrice Peyrat praticien chirurgien au centre Léon Bérard à Lyon, à l'origine de cette étude et de son organisation, pour ses remarques avisées et constructives, pour ses précieux conseils, nécessaires à la réalisation de notre mission.

Nous remercions aussi M. Jean-Pierre Breysse, directeur du département innovation du groupe Maquet Getinge ®. Pour ses renseignements techniques sur les équipements Powerled du groupe Maquet Getinge ®, ses participations aux réunions et le partage d'études réalisées décrivant l'impact de la lumière sur la vision.

Nous remercions les internes et orthoptistes croisés tout au long de notre cursus pour le partage de leur savoir.

Sommaire

1. La Vision Binoculaire	9
1.1 Qu'est-ce que la Vision Binoculaire ?.....	9
1.1.1 Définition.....	9
1.1.2 Correspondance des points réiniens	9
1.1.3 Les différents degrés de la VB	10
Perceptions simultanées.....	11
Fusion	11
Vision stéréoscopique.....	11
1.2 Mécanismes et caractéristiques de la Vision Binoculaire.....	12
1.2.1 Fonction visuelle	12
1.2.2 Contrastes	12
1.2.3 Vision des couleurs.....	12
1.2.4 Champ visuel	13
1.3 Examens de la VB	14
1.3.1 Vision stéréoscopique.....	14
1.3.2 ESE.....	14
1.3.3 Mesure de l'angle de déviation : Aile de Maddox.....	14
1.3.4 PPC.....	15
1.3.5 Amplitude de fusion aux prismes	15
1.3.6 Vision des contrastes	15
1.4 Les anomalies de la VB	15
1.4.1 Amblyopie	15
1.4.2 Strabisme	16
1.4.3 Anisométrie	16
1.4.4 Causes organiques	16
1.4.5 Anomalie des vergences	16

1.5	Mesure de la fatigue visuelle et vision binoculaire	16
2.	Lumière blanche et vision	17
2.1	Définition.....	17
2.2	Les sources lumineuses	17
2.3	Température de couleur.....	18
2.4	Le spectre solaire.....	19
2.5	Spectre de la LED blanche	20
2.6	Interactions entre les UV et les différentes structures de l'œil	20
2.7	L'éclairage opératoire.....	21
2.7.1	Définition et histoire.....	21
2.7.2	Le système Powerled Maquet.....	22
3.	La fatigue visuelle	23
3.1	Définition de la fatigue.....	23
3.2	Facteurs de fatigue.....	23
3.2.1	L'équilibre oculomoteur.....	23
3.2.2	L'accommodation.....	24
3.2.3	Anomalies réfractives.....	24
3.2.4	Qualité de la lumière	25
3.3	Méthodes de mesure.....	25
3.4	Chirurgiens et qualité de vision.....	25
4.	Introduction de l'étude	27
5.	Matériel et Méthode.....	27
6.	Résultats.....	29
7.	Discussion.....	40
8.	Conclusion	44

INTRODUCTION

Suite à une proposition de l'équipementier Maquet ® d'installer une nouvelle option à son système d'éclairage opératoire dans le but de réduire la fatigue visuelle des praticiens, le service de chirurgie digestive du Centre Léon Bérard (CLB) à Lyon, dirigé par le Dr Patrice Peyrat, a pris contact avec l'école d'Orthoptie de Lyon au printemps 2016. Afin d'en connaître plus sur le phénomène de fatigue visuelle et de pouvoir mettre en place un protocole d'étude permettant de l'évaluer, une première phase de tests destinée à établir la faisabilité de cette étude a donc été organisée en collaboration avec Claudine Chambard, directrice des études de l'école, ainsi que trois étudiants en deuxième année, au mois de juin 2016.

Suite à cette première expérience, il a été décidé à la diligence et sous la responsabilité du Dr Peyrat, en accord avec le groupe Maquet, de poursuivre le processus. C'est donc dans ce cadre que nous avons entrepris de continuer cette collaboration en mettant en place un protocole d'exploration de la fatigue visuelle au bloc opératoire au sein de l'équipe de chirurgie digestive du CLB.

Les références au sujet de telles études sont assez rares dans la littérature et c'est pourquoi des questions persistent sur la valeur des examens les plus appropriés pour pouvoir la mesurer ainsi que sur la place que tient l'exposition lumineuse dans ce phénomène. Nous savons toutefois que l'effort visuel en vision binoculaire repose sur l'activité de six paires de muscles oculomoteurs et que leur bon fonctionnement peut être altéré en cas de fatigue visuelle.

Voilà pourquoi dans une première partie, théorique, nous aborderons d'abord le fonctionnement de la vision binoculaire et les examens qui permettent l'exploration de ces différentes composantes. Nous poursuivrons en nous intéressant à la nature de la lumière et ses interactions avec l'œil. Enfin nous terminerons par définir la fatigue visuelle.

Dans une seconde partie, nous vous exposerons alors le protocole que nous avons mis en place et nous vous présenterons les résultats obtenus lors de notre étude que nous commenterons puis discuterons pour terminer.

PARTIE THEORIQUE

1. La Vision Binoculaire

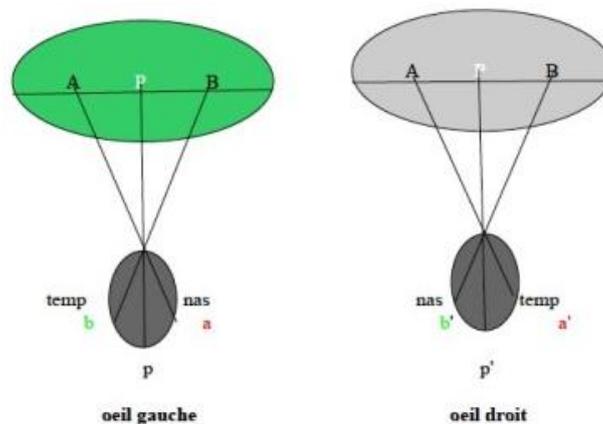
1.1 Qu'est-ce que la Vision Binoculaire ?

1.1.1 Définition

Etymologiquement, « binoculaire » vient du latin bini qui signifie « double » et oculus qui signifie « yeux ». Voir avec deux yeux. Nous possédons deux yeux, chacun capable de voir en monoculaire, la vision binoculaire est donc la capacité d'associer les capacités de ces deux yeux et profiter des avantages que cela confère : champ visuel élargi de 180°, vision des reliefs (perspective, appréciation des distances). La maturation visuelle du nouveau-né résidera donc dans le fait d'assembler, d'intégrer grâce à ce formidable outil qu'est notre cerveau, les deux images issues des deux rétines.

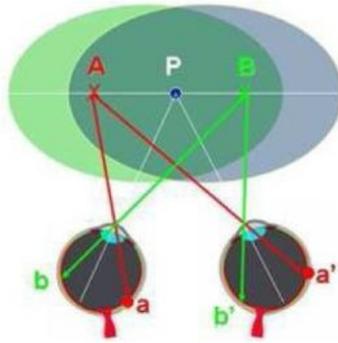
1.1.2 Correspondance des points rétiniens

Vision monoculaire



Si on ne considère que **l'œil gauche** (occlusion de l'œil droit), celui-ci reçoit une image caractérisée par P, celle-ci sera vue nette étant donné qu'elle sera formée sur la macula, noté *m*. Alors un objet B situé à droite de P formera son image sur l'hémirétine temporale de l'œil gauche, *b'*, et sera vue floue car distante de la macula.

De la même façon, pour **l'œil droit**, si on occlut l'œil gauche, en fixant P, son image se formera sur la macula, *m'*. B situé à droite de P formera son image sur l'hémirétine nasale de l'œil droit, noté *b*.



Vision binoculaire

Si l'on considère les points P et B :

P se projette sur la macula de l'œil gauche représenté par m et sur la macula de l'œil droit représenté par m' .

B se projette sur l'hémirétine temporale de l'œil gauche représenté par b et sur l'hémirétine nasale de l'œil droit représenté par b' .

Par extension, nous pouvons donc dire que chaque point du champ visuel binoculaire se verra projeté à la fois sur une hémirétine nasale, et une hémirétine temporal de chaque œil.

On appelle points correspondant rétiniens, dans notre exemple, le couple de points mm' vus nets, ainsi que le couple bb' .

Œil cyclope

L'impression visuelle perçue par le cerveau peut être représentée par la notion d'œil cyclope, les deux yeux s'assimilent à un seul et même organe :

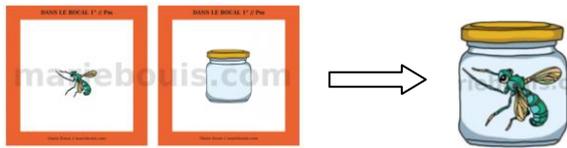
- Superposition de la macula de l'œil gauche et de la macula de l'œil droit
- Superposition de l'hémirétine temporale gauche avec l'hémirétine nasale de l'œil droit
- Superposition de l'hémirétine nasale gauche avec l'hémirétine temporale de l'œil droit

1.1.3 Les différents degrés de la VB

Worth a permis l'étude de la vision binoculaire selon 3 degrés. Ceux-ci s'étudient principalement au synoptophore, à l'aide de mires.

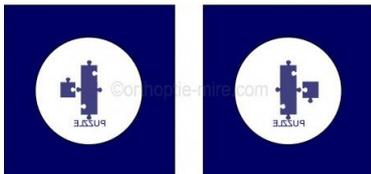
Perceptions simultanées

Dans le cas d'une correspondance rétinienne normale (les deux maculas sont des points correspondant rétiniens) on appelle perceptions simultanées, le fait de présenter devant chaque œil une image différente. Grâce au principe de confusion, il y aura superposition de chaque image.



Fusion

Cette fois-ci nous présenterons deux images, chacune différant à un détail près. Ainsi, grâce à une bonne vision binoculaire, nous pourrions étudier l'amplitude sur laquelle les deux yeux pourront maintenir une image simple.



Vision stéréoscopique

Plus communément appelé vision du relief, la vision stéréoscopique résulte de la différence de projection rétinienne vis-à-vis des images des deux yeux, la parallaxe stéréoscopique. Au synoptophore, le fait de présenter deux images strictement identiques, légèrement décalées, provoquera une impression de relief.

1.2 Mécanismes et caractéristiques de la Vision Binoculaire

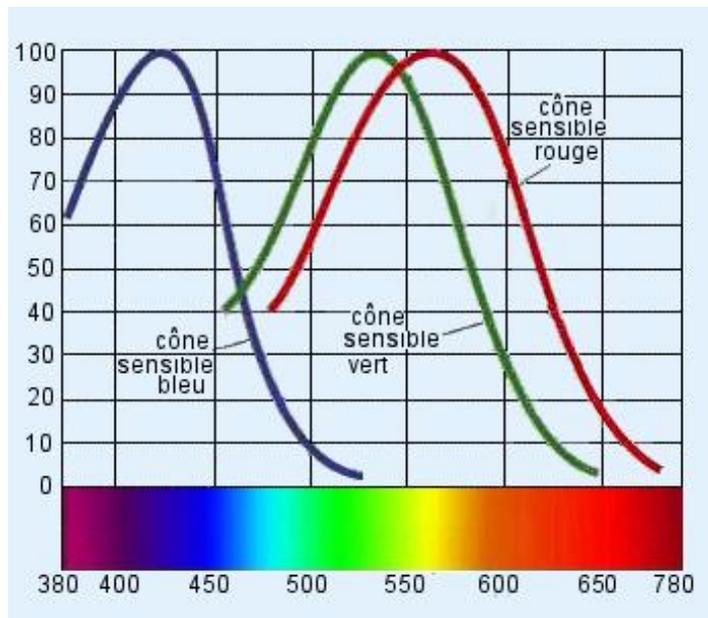
1.2.1 Fonction visuelle

1.2.2 Contrastes

La fonction visuelle qui met le plus de temps à arriver à maturité est la vision des contrastes. Dans les 2 premiers mois, l'enfant ne distingue pas encore les contrastes inférieurs à 20 %. Ce seuil de sensibilité augmentera très lentement au cours des prochaines années, puis atteindra environ 0,4 % au début de l'adolescence (12 ans). Il est important de noter que l'enfant durant sa jeunesse ne nécessite pas un seuil de sensibilité aussi bas, il évolue dans un environnement (jouets, visages des proches etc.) dont les contrastes sont largement supérieurs à ce seuil.

1.2.3 Vision des couleurs

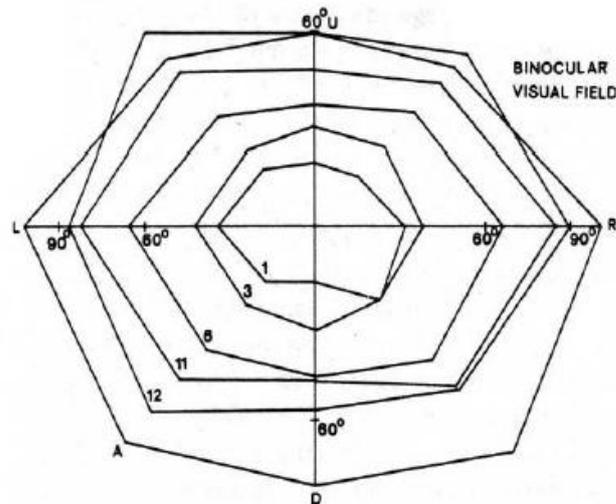
La vision des couleurs qui implique le développement des photorécepteurs (cônes, bâtonnets) mais aussi des voies optiques est inopérante à la naissance. Ces photorécepteurs à la base de la vision des couleurs, sont de trois types : les cônes S, M, et L tous sensibles à trois longueurs d'onde différentes. C'est donc l'assemblage de ces trois couleurs (trichromatisme) qui est à l'origine du principe de la vision des couleurs. Comme pathologie bien connue, nous pouvons citer le daltonisme, d'origine congénitale. Il fait partie des dyschromatopsies, soit une incapacité à distinguer les couleurs.



1.2.4 Champ visuel

Le champ visuel de l'enfant, immature à sa naissance se développe d'abord en temporal, puis en nasal. Sa forme ressemble à celle qu'il aura à la fin de son adolescence, c'est-à-dire étendu horizontalement et aplati verticalement, avec une prédominance en temporal. A 12 mois son champ visuel arrivera à sa taille adulte avec encore un léger déficit vers le bas. Concrètement, cela donne un champ visuel pouvant aller jusqu'à 90° en temporal, et 60° en nasal.

(cf. photo ci-dessous)



Légende : évolution du CV de 1 à 12 mois. A correspond au CV adulte

D'une manière générale, la vision des contrastes et celle des couleurs, décroît en fonction que l'on s'éloigne du centre du champ visuel. Les limites de ce dernier s'amenuisent avec l'âge, en raison du vieillissement de l'organe qu'est l'œil et ces divers tissus (cristallin, fibres nerveuses, photorécepteurs, etc.)

Il est important de noter que le champ visuel étudié en ophtalmologie diffère du champ visuel fonctionnel pour les raisons suivantes :

- Le sujet se sert simultanément de ses deux yeux
- Les yeux et la tête ne sont pas toujours dans le même axe
- La fatigue, l'attention ainsi que l'apprentissage entrent en jeu lors de longs travaux

1.3 Examens de la VB

1.3.1 Vision stéréoscopique

Les tests permettant d'apprécier la vision stéréoscopique sont de deux sortes : la première catégorie s'articule autour de deux photographies vues d'un angle différent provoquant une disparité rétinienne. La deuxième catégorie repose sur le principe de nappes de points répartis au hasard.

Comme exemple nous pouvons évoquer le Lang I et/ou II (points aléatoires). Ce test est présenté à 40 cm, le sujet doit alors nommer les images qu'il perçoit en trois dimensions dont les acuités stéréoscopiques de l'étoile, le chat et la voiture sont respectivement 1200 " 600" et 550" d'arc.

Le deuxième test, le TNO, dont l'acuité stéréoscopique testée est bien plus fine : 6 planches allant de 480 à 15" d'arc. Celui-ci sera présenté aussi à 40 cm mais cette fois-ci nécessitera une paire de lunettes rouge-vert :



1.3.2 ESE

L'examen sous écran, effectué à l'aide d'un écran opaque ou translucide est un test objectif nous renseignant sur l'équilibre binoculaire du sujet. Il laissera apparaître une éventuelle déviation latente de l'appareil oculomoteur. L'examen s'effectue d'abord en unilatéral, puis en alternance sur chacun des yeux, de près et de loin.

1.3.3 Mesure de l'angle de déviation : Aile de Maddox

La déviation latente peut également être déterminée de façon subjective cette fois-ci à l'aide de l'aile de Maddox : en binoculaire, le sujet nous indiquera alors le chiffre qu'il aperçoit au dessus de la flèche blanche, qui évoquera son équilibre oculomoteur (phorie).



1.3.4 PPC

Le Punctum Proximum de Convergence qui est le point le proche vu simple par les deux yeux, est évalué à l'aide d'un objet que l'on approche doucement jusqu'à la base du nez.

1.3.5 Amplitude de fusion aux prismes

A l'aide d'une barre de prismes de Berens s'échelonnant de 1 à 40 dioptries, nous déterminons jusqu'à quelle valeur le sujet voit simple, en convergence et en divergence (vergences). Une attention particulière sera portée à la neutralisation, en stimulant l'œil en cause.

1.3.6 Vision des contrastes

Le test des contrastes, est mesurable à l'aide du test de Pelli-Robson : en monoculaire, puis en binoculaire, présenté à 33 cm, le sujet devra lire des plus foncées aux plus pâles des 8 lignes comportant chacune 2 triplés (chaque triplé correspondant à un contraste différent) de 3 lettres chacun.



1.4 Les anomalies de la VB

Malheureusement il peut arriver que la vision binoculaire souffre de certains troubles, présents à la naissance. Dès lors, celle-ci ne se développerait pas naturellement entraînant maladresse, des troubles de la localisation dans l'espace, une mauvaise appréciation des distances, une absence de vision du relief : l'amblyopie, organique et fonctionnelle (strabisme et anisométrie), en est la principale cause.

1.4.1 Amblyopie

L'amblyopie se définit par des aptitudes visuelles déficientes unilatérales ou bilatérales. C'est principalement l'acuité visuelle qui détermine le degré d'amblyopie ; elle devient significative à partir d'une différence d'acuité visuelle entre les deux supérieure ou égale à 2/10°

1.4.2 Strabisme

Le strabisme se définit par la déviation objective des axes visuels, donc une privation de stimulation de l'œil dévié. L'image reçue par cet œil est neutralisée, supprimée, et engendre une absence de développement de sa macula : la vision binoculaire ne peut pas se développer harmonieusement.

1.4.3 Anisométrie

Ici, il s'agira d'un défaut réfractif unilatéral ou bilatéral à l'origine de l'amblyopie :

- Myopie
- Hypermétropie
- Astigmatisme

Ces amétropies entraînent des déformations dimensionnelles de l'image (aniséïconie) perçue par l'œil, que celui-ci va neutraliser. La vision binoculaire ne pourra pas se mettre en place.

1.4.4 Causes organiques

Les lésions organiques (glaucome congénital, atteintes rétiniennes ou du nerf optique), souvent irréversibles, doivent être détectées le plus tôt possible chez l'ophtalmologiste.

1.4.5 Anomalie des vergences

Une fois que le système visuel est mature, celui-ci peut encore être altéré. En effet les hétérophories (75 % de la population est touchée), qui peuvent s'apparenter à des déséquilibres oculomoteurs, peuvent entraîner des troubles des vergences, ceux-là pouvant détériorer la qualité de la vision binoculaire.

Les symptômes tels que : les rougeurs oculaires, céphalées diffuses ou frontales, picotements, larmoiements appellent souvent le diagnostic **d'insuffisance de converge**.

1.5 Mesure de la fatigue visuelle et vision binoculaire

Pour conclure, nous pouvons dire que la fatigue visuelle que nous allons décrire prochainement, est quantifiable. Pour se faire, une indication est primordiale : la présence d'une vision binoculaire. Ainsi, toutes les anomalies de la vision binoculaire citées précédemment ne permettront pas d'établir de mesure concernant la fatigue visuelle. Celle-ci ayant un impact direct sur les résultats obtenus lors des examens de la vision binoculaire, comme : le PPC, l'amplitude de fusion aux prismes, etc.

2. Lumière blanche et vision

2.1 Définition

Afin de pouvoir donner une définition simple de la lumière, précisons d'abord le terme. Nous parlons ici de la lumière visible, ce phénomène physique, correspondant à un transport d'énergie sans transport de matière, support d'une des principales activités sensorielles de l'être humain : la vision.

La lumière visible est l'ensemble des rayonnements électromagnétiques ayant une longueur d'onde située entre 380 et 780 nanomètres (nm). On parle alors de spectre du visible ou spectre de la lumière blanche.

En effet, la lumière naturelle du soleil, ou celle des sources lumineuses artificielles que nous utilisons au quotidien, nous paraît blanche. Ceci est le résultat de l'addition de différentes longueurs d'ondes émises par cette source. On peut vérifier ce phénomène en décomposant la lumière blanche à l'aide d'un prisme ou bien lors de la formation d'un arc-en-ciel, les gouttelettes d'eau présentes dans l'air diffractant la lumière.

Chacune de ces longueurs d'onde correspond à un niveau d'énergie donné et est perçue par l'œil humain comme une couleur unique. Cette palette de couleurs s'étend du violet-bleu, dont la longueur d'onde correspond au niveau d'énergie le plus élevé du spectre du visible, au rouge, qui a le niveau d'énergie le plus bas, et suivent les infrarouges que nous ne percevons pas. On retrouve, en glissant vers des niveaux d'énergie plus élevés, le spectre ultra-violet (UV), non perceptibles par l'œil humain. Nous verrons plus tard que ces rayonnements sont la cause de certaines modifications des milieux transparents de l'œil ainsi que de la rétine.

2.2 Les sources lumineuses

Pour expliquer le terme du point de vue physique, nous pouvons reprendre cette définition d'une source considérée comme « un convertisseur qui transforme une énergie en un rayonnement » (P.CHAUVEL & M.DERIBERE., 1968). Pour être perçue, tout objet doit être une source de lumière dont les rayons atteignent l'œil. Il existe deux types de sources lumineuses : les sources primaires et les sources secondaires.

Les sources primaires sont des objets qui produisent eux-mêmes leur propre lumière. Ce phénomène peut être dû à la température élevée émise par ce corps, c'est le cas du soleil, des braises ou encore du filament de métal d'une ampoule à incandescence. On utilise alors, pour analyser leur rayonnement, le modèle du corps noir, c'est-à-dire que nous assimilons la source lumineuse étudiée à un objet qui absorbe tous les rayonnements qu'il reçoit et qui émet donc un rayonnement issu de la seule énergie qu'il libère. Cette même énergie correspondant à une température donnée.

Ainsi, le physicien allemand Wilhelm Wien énonce en 1893 la loi du déplacement de Wien, relation d'inversement proportionnel entre la température d'un corps noir et le maximum de longueur d'onde de son rayonnement émis :

$$T = b / \lambda$$

Avec T : la température en Kelvin ; λ : la longueur d'onde du maximum d'émission (m) ; b : la constante de Wien ($b = 2,897\ 768\ 5 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$)

Mais la température d'une source lumineuse primaire n'explique pas toujours qu'elle émette cette lumière. En effet, les diodes électroluminescente, ou LED, aujourd'hui très utilisées notamment dans la fabrication d'écran, mais aussi de plus en plus pour des systèmes d'éclairage, ont une température légèrement supérieure à la température ambiante, quand elles fonctionnent, et émettent pourtant un rayonnement visible. C'est le fait d'autres phénomènes physiques, ici l'effet photo électrique.

Les sources secondaires sont tous les objets qui, pour être vus, diffusent la lumière qu'ils reçoivent d'une autre source. En somme, tous les objets que nous voyons et qui ne sont pas des sources primaires ou des sources secondaires. Lorsqu'une source secondaire est éclairée, elle absorbe une partie du rayonnement reçu et diffuse le reste du spectre. C'est ce phénomène qui explique que nous percevons un objet de telle ou telle couleur.

2.3 Température de couleur

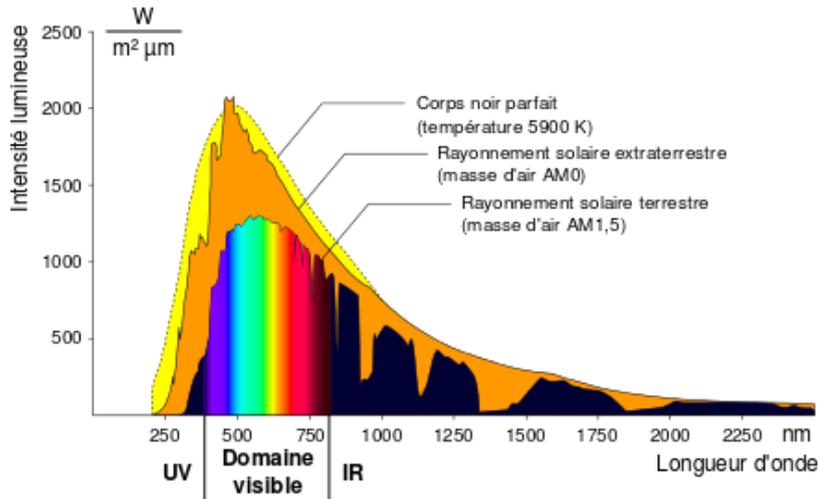
Nous l'avons vu, les sources primaires de lumière blanche sont variées, et les spectres dont elles sont composées tout autant. Il est donc nécessaire de les analyser afin de pouvoir les classer. Pour ce faire, les scientifiques se sont basés sur le modèle du corps noir que nous avons évoqué précédemment. En effet, pour attribuer à une source sa température de couleur, on compare son rayonnement à celui d'un corps noir ayant une température donnée. Sa température de couleur correspond alors à celle du corps noir ayant l'apparence lumineuse la plus proche de cette source.



Classification de différentes sources lumineuses en fonction de leur température de couleur

2.4 Le spectre solaire

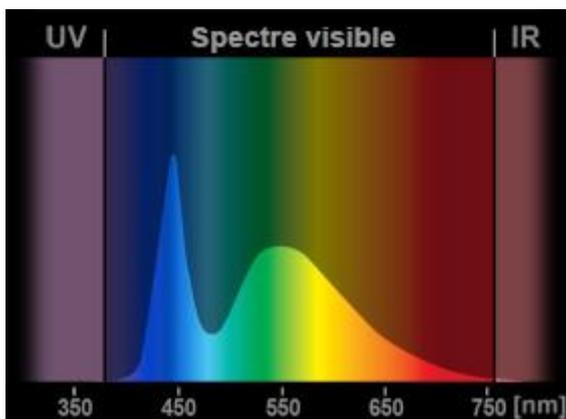
Nous avons vu précédemment que le soleil produit sa propre lumière que nous percevons et qui nous permet de voir tous les autres objets le jour. Intéressons-nous au spectre de radiations qu'il émet.



Spectre d'émission du Soleil : intensité lumineuse en fonction de la longueur d'onde émise

On peut observer que le maximum d'intensité se situe pour une longueur d'onde émise de 500 nm, ce qui correspond à la couleur vert. Mais après avoir traversé l'atmosphère terrestre, ce maximum d'intensité lumineuse se décale pour atteindre une longueur d'onde de 550 nm, soit le maximum de sensibilité à la lumière pour l'être humain. Ceci nous montre que l'œil humain s'est donc parfaitement adapté au cours de l'évolution au rayonnement de l'astre solaire. Au sol, le rayonnement que nous recevons du soleil est composé de 5% d'UV, 39% de rayonnement visible et 56% d'infrarouge. Sa température de couleur est de 5900 K.

2.5 Spectre de la LED blanche



Représentation du spectre de la LED blanche

On observe sur le spectre de la LED blanche que pour cette source, le maximum d'intensité se situe pour une longueur d'environ 450 nm, correspondant à la couleur bleue, et donc ayant un niveau d'énergie plus important que la lumière émise par le soleil. Cependant, la LED blanche n'émet pas de rayonnements UV. Sa température de couleur est d'environ 6000 K, on peut qualifier sa lumière de froide.

2.6 Interactions entre les UV et les différentes structures de l'œil

Les UV sont des rayonnements de haute énergie présents dans le spectre de la lumière du soleil. On les classe en trois catégories : les UVA (315 à 380 nm), les UVB (280 à 315 nm) et les UVC (100 à 280 nm). La quasi totalité des UVC sont absorbés par la couche d'ozone présente dans notre atmosphère, mais la majorité des UVA et environ 10% des UVB atteignent le sol. Les UVB sont les plus agressifs, bien qu'une exposition prolongée et chronique aux UVA est tout aussi nocive. Ces rayonnements peuvent induire une forte inflammation de l'épithélium cornéen, comme un coup de soleil sur la surface de la cornée, que l'on appelle photo kératite.

Le cristallin lui, absorbe environ 80% des UV. Cette exposition conduit à une accélération de l'opacification de cet organe et donc l'apparition d'une cataracte précoce. Selon une estimation de l'OMS, environs vingt millions de cécités par cataracte sont dénombrées dans le monde dont 20 % seraient causés par une exposition aux UV.

Enfin, la rétine elle ne reçoit qu'une très faible quantité de rayons UV. Cependant, selon une récente étude menée par une équipe de chercheurs de l'Institut de la vision de l'Université Pierre et Marie Curie de Paris, il semble que les cellules de la rétine seraient très sensibles à une tranche du spectre de la lumière solaire de haute énergie, situé entre 415 et 445 nm, qui pourraient accélérer le phénomène de dégénérescence de cet organe. Comme nous l'avons vu précédemment, cette « lumière bleue » est présente en forte quantité dans le spectre de la LED et donc dans la majorité des écrans que nous utilisons au quotidien.

2.7 L'éclairage opératoire

2.7.1 Définition et histoire

Le CNRTL définit le scialytique comme un « Dispositif d'éclairage orientable et mobile, destiné à éclairer un champ opératoire dans une salle de chirurgie, sans ombre portée. »

Le scialytique est le nom donné par son créateur, le professeur Louis Verain de la faculté d'Alger, en 1919, au nouveau système d'éclairage opératoire qu'il mît au point. Ce système d'éclairage puissant à l'avantage de supprimer les ombres portées qu'engendraient les anciens dispositifs. En effet, depuis les débuts des opérations à ventre ouvert, qui ont débutées suite aux différents travaux de Pasteur, Lister et Terrier sur l'antisepsie et l'asepsie, les méthodes et dispositifs d'éclairage opératoire n'ont cessé d'évoluer. Au début des années 1880, on décide simplement de placer les salles d'opération au sommet des bâtiments hospitaliers qui bénéficiaient de grandes fenêtres laissant passer un maximum de lumière naturelle. Afin de compléter cet éclairage, certains médecins comme Antonin Poncet à l'hôpital de l'Hôtel Dieu de Lyon, commencent à utiliser des lampes à gaz. Mais ce système se révèle peu efficace, car il persiste une ombre portée sur le champ opératoire, gênant le travail du chirurgien, et également dangereux, car il existe un risque d'explosion du gaz.

C'est alors l'arrivée d'une révolution technique, au début du vingtième siècle, qui va permettre de nouvelles avancées dans le domaine de l'éclairage opératoire : l'électricité. Le système le plus couramment utilisé se constitue des *projecteurs à arc* situés au dessus de la table d'opération. Ce système est complété par la *lampe cyclope*, un miroir hémisphérique que le chirurgien porte sur le front. Le principal inconvénient de ce dispositif est la forte chaleur émanant qui gêne le praticien. De plus, les connaissances en médecine grandissantes poussent les médecins à opérer de plus en plus profondément dans les cavités de l'organisme, ce qui nécessite une meilleure gestion de l'éclairage pour accroître les performances. On voit alors apparaître des systèmes d'éclairage indirects, sous la forme de grands miroirs hémisphériques disposés à plusieurs endroits de la salle d'opération.

En 1919, le professeur Louis Verain révolutionne l'éclairage opératoire avec l'invention du superscialytique. Il s'agit d'une hémicoupole constituée de plusieurs miroirs éclairés, orientables et disposés en dehors du bloc opératoire, derrière une verrière. Ce système a le grand avantage de supprimer les ombres portées, et il permet également aux étudiants de pouvoir suivre les opérations sans risque liés à l'asepsie des blocs opératoires.



De nos jours, les systèmes d'éclairage opératoire utilisés sont conçus sur le même principe. Toutefois, la source lumineuse a changé : il s'agit de LED blanche, qui offre une température de couleur autour de 6000 K, c'est-à-dire une lumière très froide qui permet un rendu des couleurs naturel. Son grand avantage est qu'il ne produit pas de chaleur et se situe à la portée du chirurgien qui peut l'orienter à son gré dans le temps per-opératoire.

2.7.2 Le système Powerled Maquet

C'est donc fort de l'apparition de ces nouvelles technologies que les industriels de l'équipement de bloc opératoire ont développé de nouvelles solutions d'éclairages ces dernières années.

L'équipe de chirurgie digestive du CLB a opté pour le système Powerled du groupe Maquet. Il s'agit d'une coupole circulaire orientable, tapie d'un grand nombre de LED blanches dont la lumière compose, pour chacune d'elle, la même tâche de lumière. De ce fait, lorsque l'une des LED est obstruée par un des praticiens, cela ne provoque aucune ombre portée sur le champ opératoire. De plus, la fonction AIM (Automatic Illumination Management), permet de restituer l'illumination perdue par l'obstruction d'une ou plusieurs LED en augmentant l'intensité de celles qui sont encore efficaces. Ainsi, le champ opératoire conserve tout le temps la même illumination choisie par le chirurgien au début de l'opération.

Les LED utilisées ont une température de couleur de 3800K ce qui permet un rendu naturel des couleurs des tissus. Ce système d'éclairage offre un éclairage maximum de plus de 110000 lux et peut être augmenté en cas de besoin per opératoire jusqu'à 160000 lux (fonction BOOST).

Ce système, par ses performances et son rendu naturel des couleurs, est donc conçu pour que le praticien puisse utiliser au mieux ses capacités visuelles lors de l'intervention, mais les nouvelles avancées de l'équipementier visent un nouvel objectif : réduire la fatigue visuelle des praticiens.

3. La fatigue visuelle

3.1 Définition de la fatigue

Dans la littérature, les termes de fatigue visuelle et d'inconfort visuel sont souvent confondus et mal définis. Dans ce présent mémoire, nous en ferons la distinction :

La fatigue est un état dans lequel nos facultés permettant la réalisation d'une tâche sont altérées, apparaissant après un effort soutenu.

Dans le contexte oculaire, il y aurait une diminution des performances du système visuel. Celle-ci pourrait induire :

- Une baisse de l'acuité visuelle
- Une vision des couleurs de mauvaise qualité
- Une mauvaise fusion
- Des amplitudes de vergence et convergence restreintes
- Un pouvoir accommodatif amoindri
- Une perception du relief déficitaire

L'inconfort visuel est un ressenti subjectif. L'ensemble des symptômes liés à l'inconfort visuel est regroupé sous le terme d'asthénopie.

On peut en distinguer deux formes : la première, qu'on qualifiera d'interne, provient du travail des muscles oculomoteurs et ciliaires (permettant l'accommodation) et peut donner des maux de tête, des douleurs oculaires, une diplopie, une vision floue voire des vertiges.

La seconde forme d'asthénopie sera dite externe ; elle résulte d'une baisse de la fréquence de clignement des yeux et induit des sensations de sécheresse oculaire avec picotements voire une irritation de la surface exposée

L'asthénopie est toujours absente le matin au réveil. Elle apparaît et s'intensifie avec l'avancement du travail visuel effectué.

3.2 Facteurs de fatigue

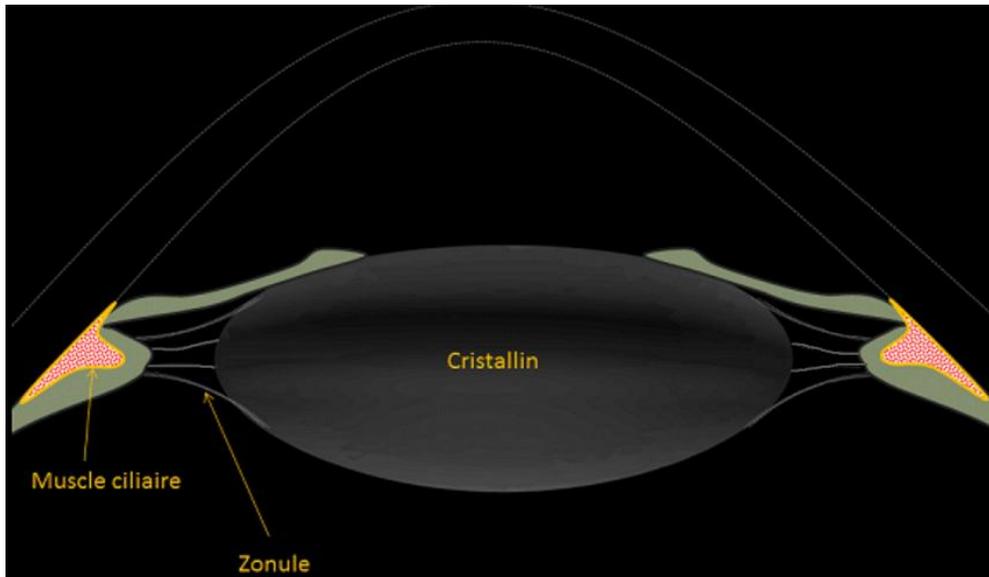
3.2.1 L'équilibre oculomoteur

L'asthénopie peut être induite par une hétérophorie. Pour rappel, une hétérophorie est une déviation des axes visuels maintenue latente par le processus de fusion. Les efforts employés à maintenir cette fusion peuvent favoriser l'apparition de l'asthénopie.

L'insuffisance de convergence est un trouble traduisant une incapacité ou difficulté pour les yeux à adducter conjointement. Un trouble de la convergence peut engendrer une vision floue ou diplopie en vision de près, et induire des maux de tête.

3.2.2 L'accommodation

L'un des principaux facteurs d'asthénopie est l'accommodation. Celle-ci est nécessaire à une vision nette de près et permise par le travail des muscles ciliaires sur le cristallin. On estime que l'accommodation entre en jeu quand la cible fixée se situe à une distance inférieure à cinq mètres du sujet. Plus la cible est proche, plus le travail accommodatif est important.



Dessin en coupe du segment antérieur d'un œil

3.2.3 Anomalies réfractives

Une anomalie réfractive existe lorsque la puissance optique de l'œil et sa longueur ne sont pas correspondants. Il existe trois types d'anomalies : la myopie, l'hypermétropie et l'astigmatisme. L'œil est myope lorsqu'il est trop grand et/ou trop puissant : l'image de l'objet fixé se forme en avant de la rétine. A l'inverse, l'œil est hypermétrope lorsqu'il est trop petit et/ou trop faible : l'image de l'objet fixé est formée derrière la rétine. L'astigmatisme résulte quant à lui d'une différence de puissance entre les méridiens et l'image se forme en deux endroits différents.

L'hypermétropie et la sur-correction d'une myopie (légères) peuvent être compensées en réalisant un effort accommodatif. Le travail accommodatif est ainsi plus conséquent que chez les personnes emmétropes ou portant une correction optique adaptée.

Cependant, l'astigmatisme ne peut être compensé et est en premier lieu responsable d'apparition d'asthénopie selon certains auteurs.

Les anomalies réfractives sont donc, au même titre que les corrections optiques mal adaptées, factrices d'asthénopie.

3.2.4 Qualité de la lumière

Il existe un autre facteur de fatigue oculaire : la lumière.

Plusieurs paramètres sont à prendre en compte :

- L'éclairement, mesuré en lux (lx). Certains auteurs s'accordent à dire qu'un environnement sombre engendre plus de maux de tête qu'un environnement lumineux. Cependant, celui-ci peut altérer les performances de vision des couleurs : il faudrait un délai plus important pour répondre correctement au test de Farnsworth (examen subjectif de la vision des couleurs) sous un éclairage puissant que sous un faible.
- La fréquence d'émission, mesurée en Hertz (Hz). Les lumières ayant une haute fréquence d'émission seraient mieux supportées que celles ayant une fréquence moindre.
- La température de couleur, mesurée en Kelvin (K). La vision des couleurs serait meilleure sous une température de couleur basse que sous une température haute

3.3 Méthodes de mesure

Plusieurs méthodes ont déjà été utilisées pour tenter de quantifier la fatigue ou l'asthénopie :

- un dispositif monté sur la tête des sujets pour mesurer la position, les mouvements et le nombre de clignements des yeux
- réalisation d'une Imagerie à Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf) pour quantifier l'activité cérébrale lors d'une tâche visuelle sous différentes conditions
- Réalisation d'un électro-encéphalogramme (EEG) pour mesurer l'activité cérébrale lors de différentes stimulations visuelles
- réalisation d'un électro-oculogramme (EOG) pour enregistrer les mouvements des yeux et calculer leur vitesse
- réalisation d'un questionnaire pour apprécier l'asthénopie

3.4 Chirurgiens et qualité de vision

Comme nous l'avons vu précédemment, une lumière trop forte peut altérer la vision des couleurs. Or, une vision des couleurs convenable est nécessaire, car celle d'un organe peut renseigner sur son intégrité.

Une fatigue visuelle ou une asthénopie peuvent engendrer une diplopie, des vertiges, une vision floue, ainsi que des douleurs oculaires et maux de tête. Outre l'inconfort ressenti par le chirurgien, il peut donc y avoir confusion ou superposition des objets dans le champ de vision.

Cette situation serait propice aux erreurs médicales. La qualité des soins serait donc en partie dépendante de la qualité de vision.

PARTIE PRATIQUE

4. Introduction de l'étude

Notre but dans cette étude était d'obtenir une tendance, une idée quant à l'apparition d'un phénomène de fatigue visuelle au bloc opératoire sous éclairage. En tant qu'orthoptistes nous pouvons proposer, de par nos compétences, des solutions pour y parvenir. Nous avons donc établi un plan d'action tournant autour du bilan orthoptique. Les différents tests ont été choisis avec pertinence, selon nos disponibilités matérielles, transportables et faciles d'utilisation, dans le but d'obtenir des résultats fiables. C'est le Dr. Peyrat qui a mis à notre disposition une pièce dédiée aux mesures, et a organisé nos diverses interventions au sein du centre Léon Bérard.

5. Matériel et Méthode

L'étude : nous avons étudié le devenir d'un groupe, plutôt d'un échantillon avant opération et après opération. En effet, nous souhaitions observer si la tendance suivante se dégage : la chirurgie au bloc sous éclairage opératoire induit une fatigue visuelle.

L'échantillon incluait des individus des deux sexes, âgés de 27 à 54 ans, soit 9 sujets, pour un total de 15 observations réparties sur 2 mois (novembre et décembre).

Le critère d'inclusion reposait sur le travail au bloc sous éclairage opératoire pendant une durée relativement longue (2h30 minimum jusqu'à 6h30). Ainsi, chirurgiens, internes et infirmiers instrumentistes entraient dans ce cadre.

Le critère de non inclusion, lui, reposait sur la présence d'amblyopie, de strabisme constant, ou tout simplement une absence de vision binoculaire. Pour cette raison nous avons organisé une rencontre préalable afin d'effectuer une prise d'acuité visuelle à l'hôpital Edouard Herriot pour nous assurer de cela. Un seul sujet s'est retrouvé dans le critère de non inclusion : son acuité visuelle de 3/10 de l'œil gauche indiquait une amblyopie donc une absence de vision binoculaire. Toutes les données ainsi recueillies ont été répertoriées dans un tableau que l'on retrouve en annexe.

Le déroulement de l'étude s'est articulé autour de deux bilans orthoptiques (tests strictement identiques pour les deux) pratiqués pour l'un en pré intervention chirurgicale, et pour l'autre en post intervention chirurgicale. Nous avons donc attesté de 15 observations (chacune d'elles correspondant à un sujet dans l'exploitation des résultats), deux bilans chacune, ces derniers se sont présentés comme tel :

- *Vision stéréoscopique (TNO)* : après la mise en place des lunettes rouge/vert, le sujet nous donnait sa meilleure acuité stéréoscopique possible
- *Aile de Maddox* : après stabilisation, le sujet nous informait sur son équilibre oculomoteur par le chiffre se trouvant au niveau de la flèche blanche

- *Punctum proximum de convergence (PPC)* : de manière objective nous déterminions le point de rupture (diplopie) du sujet en rapprochant l'objet en question jusqu'à son nez. A noter que la mesure se faisait subjectivement
- *Vergences aux prismes* : à l'aide d'une barre de prisme horizontale de Berens nous notions l'amplitude de fusion en divergence puis en convergence à 33 cm
- *Vision des contrastes* : nous présentions l'échelle de Pelli-Robson à 33 cm au sujet et notions le résultat obtenu en monoculaire puis en binoculaire
- *Questionnaire* : pour finir chaque sujet était amené à répondre à 10 questions subjectives concernant la fatigue sur une échelle allant de 0 à 10

Le lieu d'examen fut toujours le même : un local de 9 m² avec un éclairage de 300 lux sans ouverture de type fenêtre, au sein du Centre Léon Bérard.

Nous sommes partis du principe qu'une personne physiologique est exophore, de ce fait nous avons décidé de séparer nos résultats en deux : un groupe avec les sujets présentant une exophorie (angle phorique négatif en pré intervention) et un deuxième groupe rassemblant les ésophores et orthophoriques (angle phorique nul ou positif en pré intervention).

6. Résultats

Tous les graphiques et tableaux de cette partie sont issus du tableau de résultats en annexe 1.

Aile de Maddox

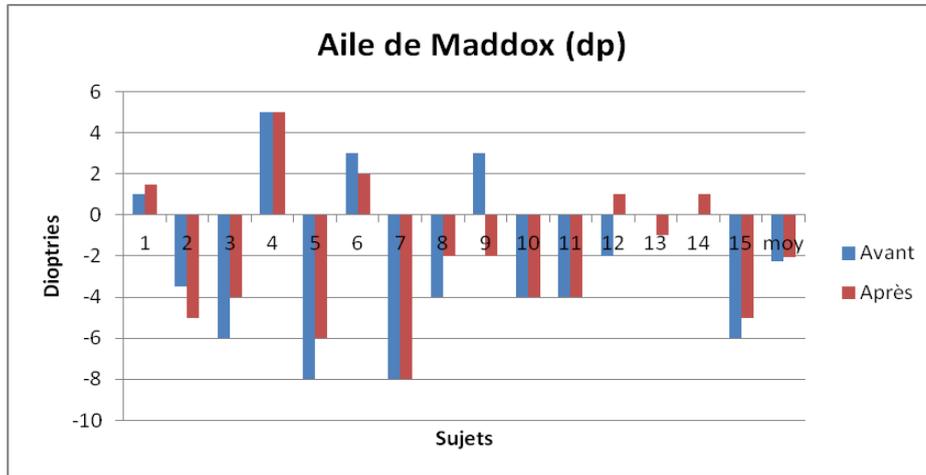


Fig.1

Sur cet histogramme est répertoriée de manière brute la valeur de l'équilibre oculomoteur de chaque sujet avant intervention (en bleu) et après intervention (en rouge).

Moyenne (dp)	
Avant	Après
-2,17	-1,97

Nous obtenons en moyenne une augmentation de l'angle phorique en post intervention.

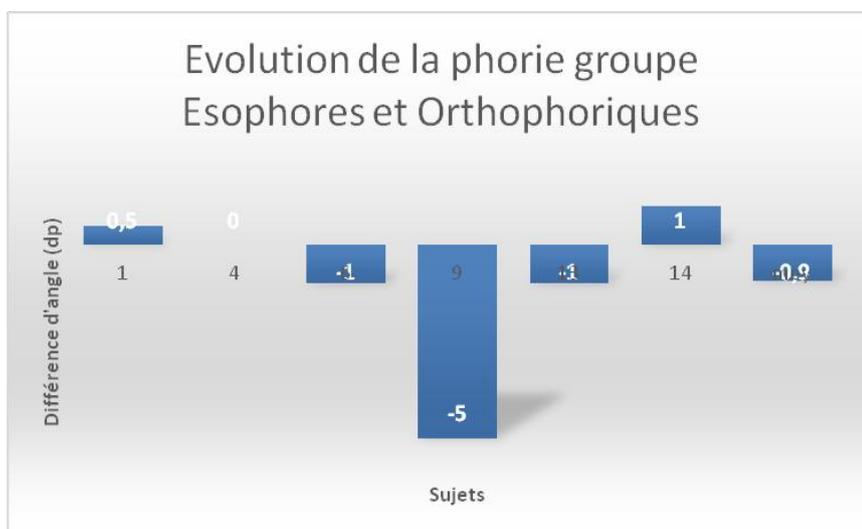


Fig.2

Moyenne (dp)			
Avant	Après	Différence	Ecart-type
2	1,08	-0,92	2,15

Le groupe Eso/orthophorique semble indiquer une diminution de son angle phorique, avec deux sujets allant dans le sens contraire de cette indication, mais ayant toutefois une faible amplitude.

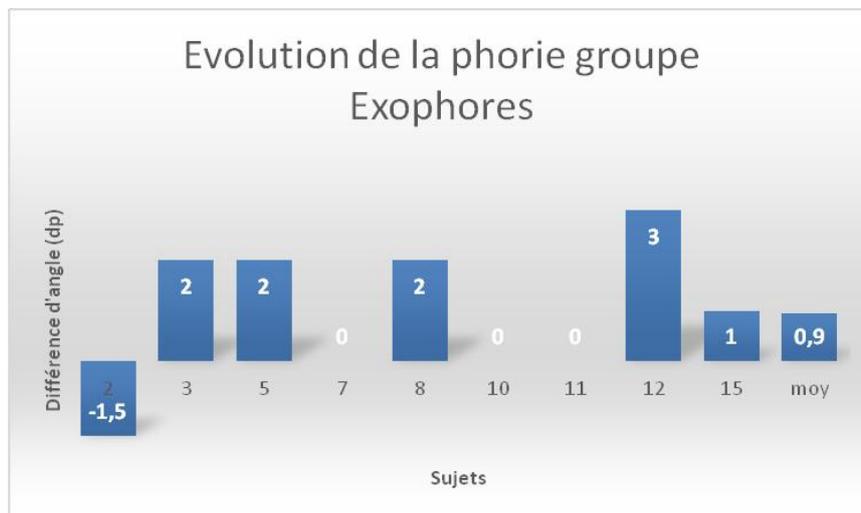


Fig.3

Moyenne (dp)			
Avant	Après	Différence	Ecart-type
-4,94	-4	-0,94	1,42

Concernant le groupe physiologique, celui des exophores, nous observons une diminution majoritaire de l'angle phorique. Un seul cas va dans le sens contraire, et trois autres n'attestent d'aucune modification. L'écart-type inférieur au groupe précédent tend vers une homogénéité des résultats. Quant à la moyenne de l'évolution soit 0,94 dp, elle est plus importante dans ce groupe.

Amplitude de fusion

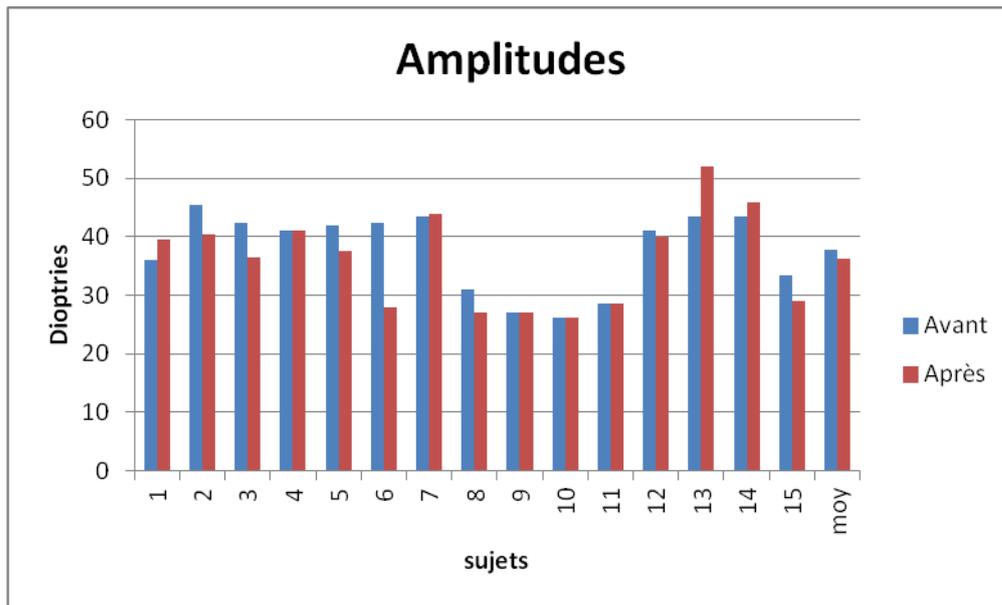


Fig.4

Moyenne (dp)	
Avant	Après
37,8	36,2

Nous observons une moyenne des amplitudes mesurées avant intervention de 37,8 pour un écart-type de 6,8. Après intervention, nous obtenons une moyenne de 36,2 pour un écart-type de 8,1.

Une baisse d'amplitude a été retrouvée chez sept sujets. Ces derniers montrent une diminution moyenne de 5,6 dioptres, soit 14% de leur amplitude initiale.

Aucune différence d'amplitude n'a été retrouvée chez quatre sujets.

Une augmentation d'amplitude a été retrouvée chez quatre sujets. Ces derniers montrent une diminution moyenne de 3,7 dioptres soit 9% de leur amplitude initiale.

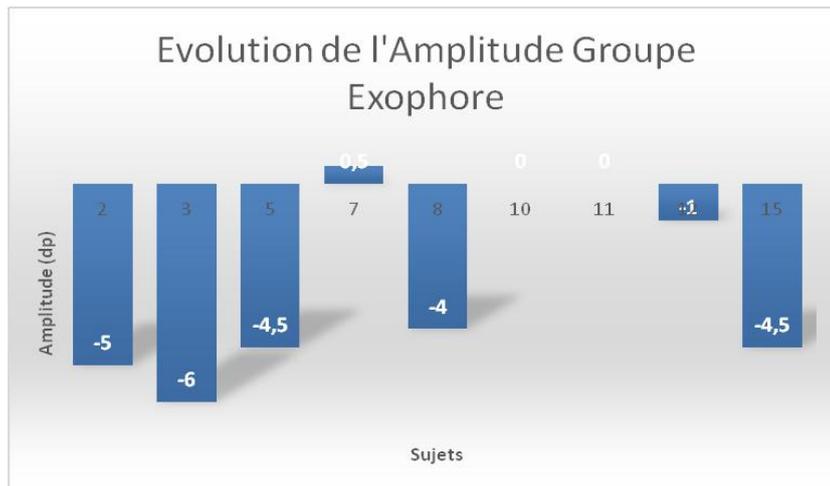


Fig.5

Moyenne (dp)			
Avant	Après	Différence	Ecart-type
37,1	34,4	-2,7	2,3

La figure 5 met en évidence les différences avant-après chez les sujets exophores. Elle représente les valeurs obtenues lors de l'opération « amplitude après » moins « amplitude avant ».

Nous retrouvons une amplitude moyenne avant intervention de 37,1 dioptries avec un écart-type de 7,3. Après intervention, nous obtenons une moyenne de 34,4 dioptries avec un écart-type de 6,7.

Six sujets exophores montrent une baisse d'amplitude. Celle-ci diminue en moyenne de 4,2 dioptries, soit 10,6% de leurs amplitudes initiales

Deux sujets ne montrent pas de différence d'amplitude.

Un seul sujet exophore montre une augmentation de son amplitude. Celle-ci est de 0,5 dioptries et représente 1,1% de son amplitude initiale

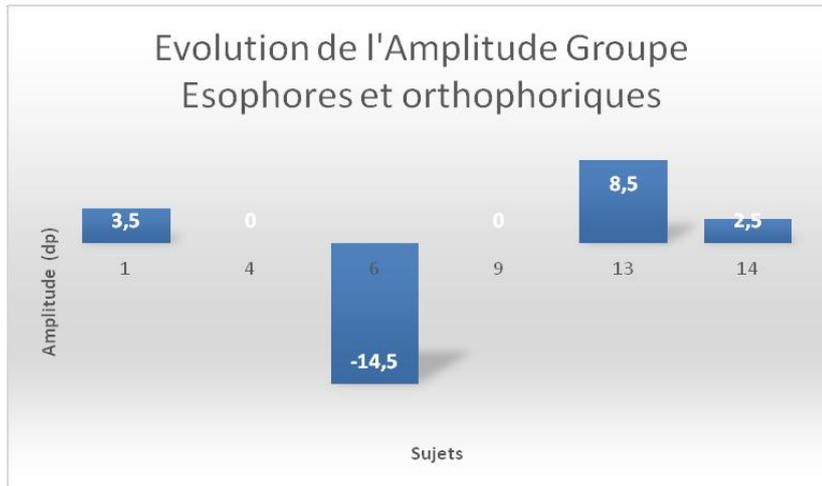


Fig.6

Moyenne (dp)			Ecart-type
Avant	Après	Différence	
38,9	38,9	0	4,8

La figure 6 met en évidence les différences avant-après chez les sujets ésophores et orthophoriques. Elle représente les valeurs obtenues lors de l'opération « amplitude après » moins « amplitude avant ».

Nous retrouvons une amplitude moyenne avant intervention de 38,9 dioptries avec un écart-type de 6,5. Après intervention, nous obtenons une moyenne de 38,9 dioptries avec un écart-type de 9,9.

Un seul sujet montre une baisse d'amplitude. Celle-ci diminue de 14,5 dioptries, soit 34% de son amplitude initiale.

Deux sujets ne montrent aucune différence d'amplitude

Trois sujets montrent une augmentation d'amplitude. Celle-ci est en moyenne de 4,8 dioptries soit 11,8% de leurs amplitudes initiales.

Etude du PPC

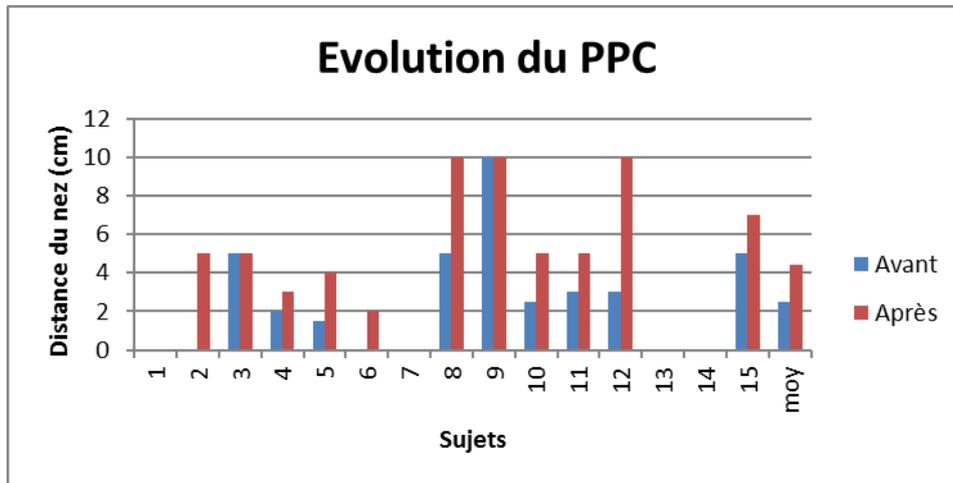


Fig.7

On observe une augmentation du PPC en post opératoire pour les sujets 2, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12 et 15, soit 60% des sujets étudiés. Pour les six autres sujets, on n'observe aucune modification du PPC.

Moyenne (cm)		
Avant	Après	Différence
2,5	4,4	1,9

On constate sur la figure 7 une augmentation moyenne du PPC de 1,9 cm sur l'ensemble des sujets, soit une augmentation du PPC de 76 % en post opératoire.

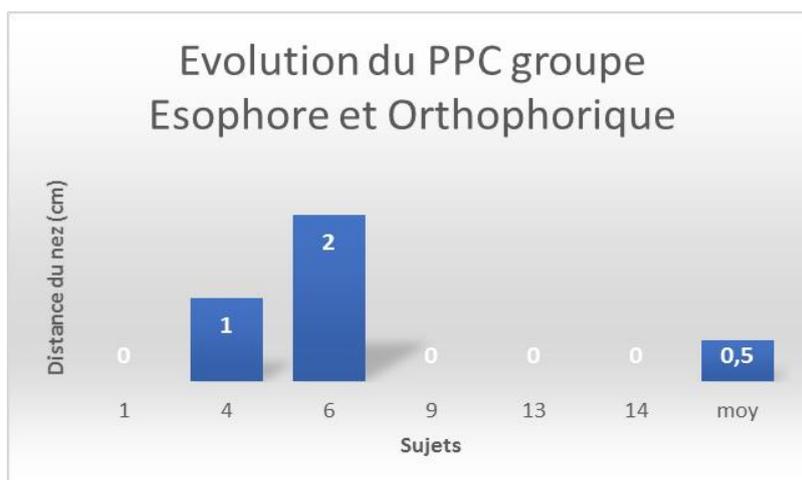


Fig.8

Sur la figure 8 on observe une augmentation du PPC pour les sujets 4 et 6, soit un tiers des sujets faisant partie de ce groupe. L'augmentation moyenne du PPC est 0,5 cm chez les ésophores et orthophoriques.

Moyenne (cm)			
Avant	après	Différence	Ecart-type
2,00	2,50	0,50	0,84

Sur ce tableau on constate que le PPC moyen mesuré avant opération dans ce groupe est de 2,0 cm, celui mesuré après opération est de 2,5 cm, soit une augmentation du PPC de 25 % en post opératoire.

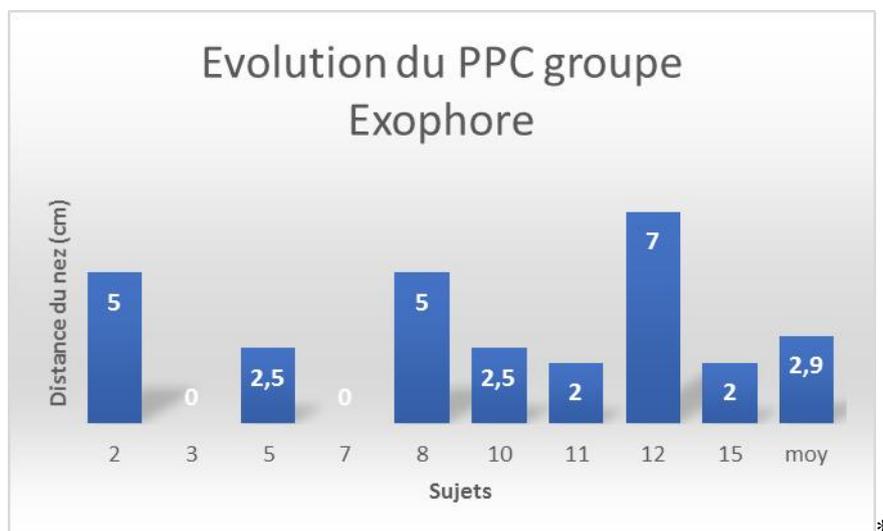


Fig.9

On observe sur la figure 9, une augmentation du PPC pour les sujets 2, 5, 8, 10, 11, 12 et 15, soit environ 78% des sujets faisant partie de ce groupe. L'augmentation moyenne du PPC est de 2,9 cm chez les exophores.

Moyenne (cm)			
Avant	après	Différence	Ecart-type
2,80	5,70	2,90	2,40

Sur ce tableau, on constate que le PPC moyen mesuré avant opération est de 2,8 cm, celui mesuré après opération est de 5,7 cm, soit une augmentation du PPC d'environ 104 % en post opératoire.

TNO

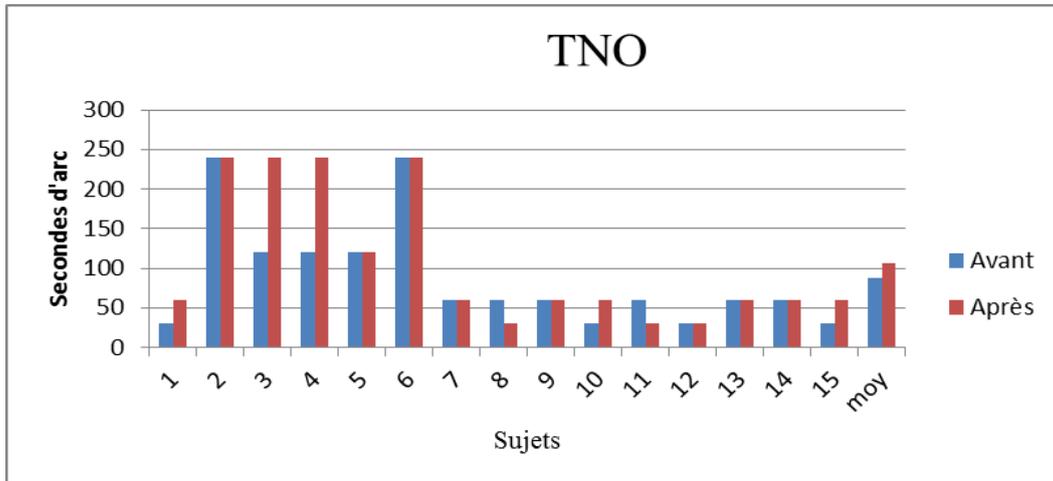


Fig.10

Moyenne (‘‘ d’arc)		
Avant	Après	Différence
88	106	-18

Nous retrouvons une moyenne de vision du relief de 88 secondes d’arc avant intervention, avec un écart-type de 69,4. Après intervention, nous obtenons une moyenne de 106 secondes d’arc avec un écart-type de 86,25.

Cinq sujets présentent une baisse de leurs performances. Celle-ci est en moyenne de 75’’.

Huit sujets ne présentent aucune différence de vision du relief.

Deux sujets présentent une amélioration de leurs performances. Celle-ci est en moyenne de 30’’.

Vision des contrastes

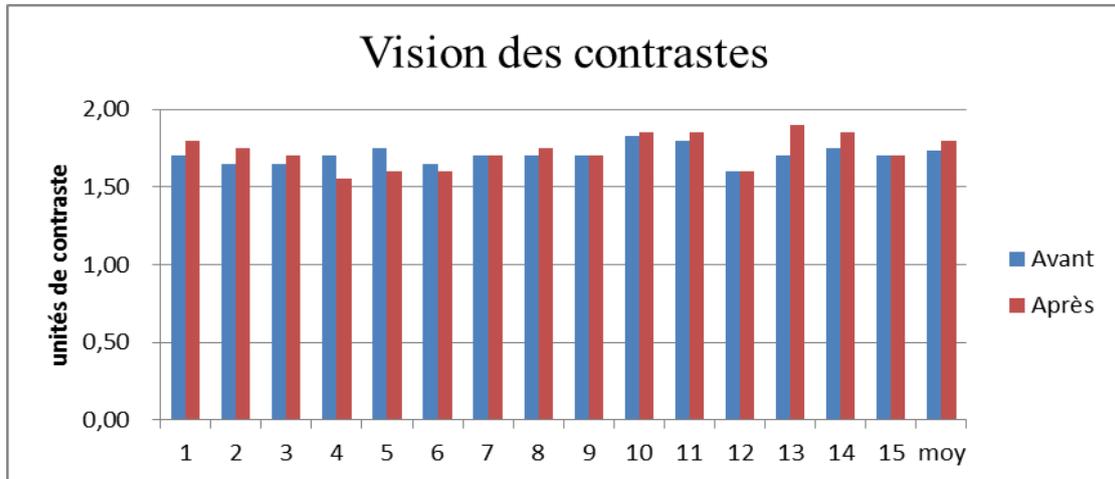


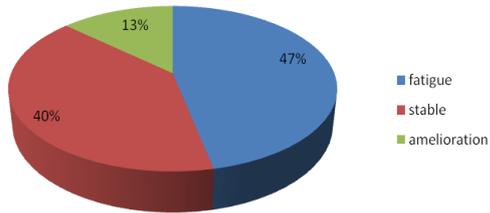
Fig. 11

Moyenne		
Avant	Après	Différence
1,73	1,79	+0,06

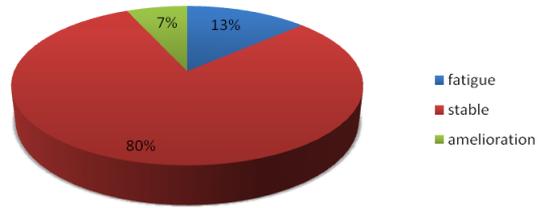
Nous retrouvons une moyenne de vision des contrastes avant intervention de 1,73 avec un écart-type de 0,06. Après intervention, nous obtenons une moyenne de 1,79 avec un écart-type de 0,11.

Questionnaire

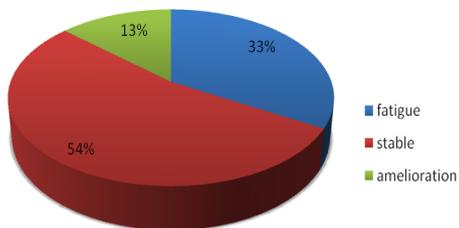
Q1 : Quelle est l'intensité ou la sévérité de la fatigue que vous ressentez en ce moment ?



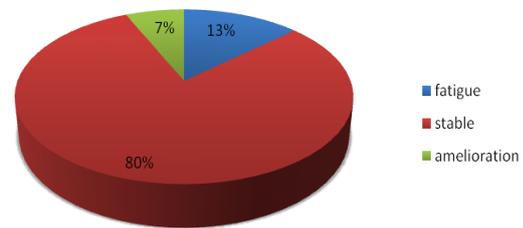
Q2 : La fatigue que vous éprouvez en ce moment est-elle agréable ou désagréable ?



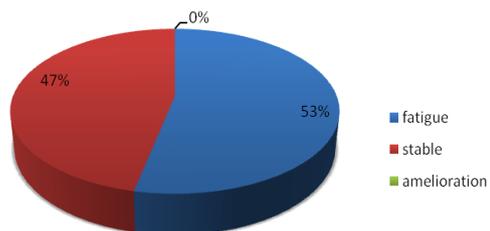
Q3 : Comment vous sentez-vous en ce moment, reposé ou fatigué ?



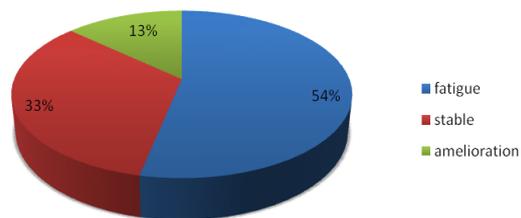
Q4 : Comment vous sentez-vous en ce moment, tendu ou détendu ?



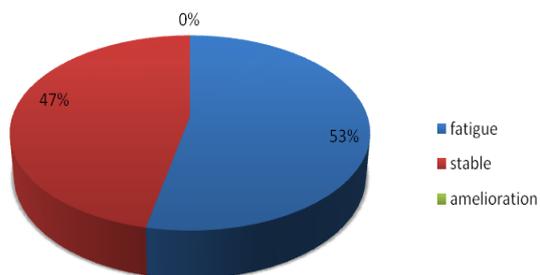
Q5 : Comment vous sentez-vous en ce moment, capable ou incapable de vous concentrer ?



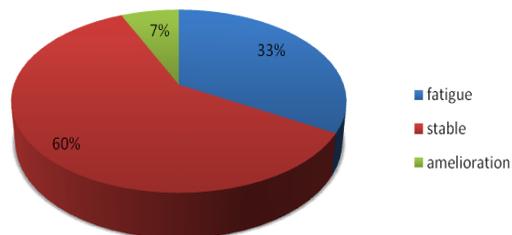
Q6 : Comment vous sentez-vous en ce moment, sans énergie ou énergique ?



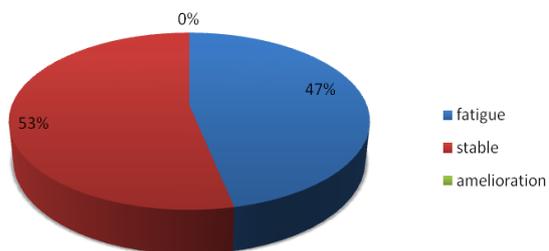
Q7 : Évaluez votre photophobie



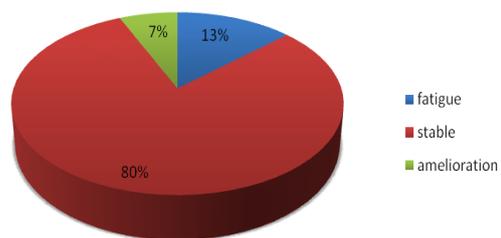
Q8 : ressentez-vous le besoin de fermer vos yeux de façon prolongée (quelques secondes) ?



Q9 : Évaluez votre gêne pour un travail de près, immédiat (lecture/smartphone/ordi)



Q10 : Avez-vous mal à la tête ?



7. Discussion

Afin d'analyser les résultats précédemment évoqués, nous devons partir de notre problématique. Celle-ci s'articule autour du fait que l'on retrouverait une altération des performances de la vision binoculaire aux tests pratiqués par chaque sujet en post intervention, afin d'aller dans le sens d'une fatigue visuelle au bloc opératoire.

Aile de Maddox

Concernant le test de **l'aile de Maddox**, nous sommes partis du fait qu'un sujet physiologique, donc exophore, aurait tendance à spasmer sous l'impact de la fatigue visuelle. On a donc émis l'idée qu'un travail de longue durée sous éclairage opératoire entre 30 et 50 cm de distance aurait tendance à contracter de façon spasmodique les muscles oculomoteurs des sujets, plus particulièrement les droits médiaux. Nous pourrions donc nous attendre à une augmentation de l'angle de phorie.

Les résultats semblent aller dans ce sens, on retrouve de façon homogène et importante, une « ésophorisation » (augmentation de l'angle de phorie) de plus de 1 dp pour les sujets exophores.

Concernant les ésophores et les sujets orthophoriques, l'idée émise est que toute personne faisant partie de ce groupe, sous l'impact de la fatigue visuelle, serait touchée par un relâchement des muscles oculomoteur. Ainsi nous serions amenés à retrouver une « exophorisation » du sujet, c'est-à-dire une diminution de l'angle de phorie.

C'est ce que les résultats indiquent, avec toutefois une valeur largement supérieure aux autres, qui majore la moyenne retrouvée. Si nous admettons que cette valeur est anormalement élevée au regard des autres (à noter un écart-type de 2,15 presque égal au double de l'autre groupe), alors nous pouvons conclure que la tendance à l'ésophorisation (évolution de 0,94 dp en moyenne) est plus importante que la tendance à l'exophorisation (évolution de 0,92 dioptrie en moyenne).

Le principal biais que l'on peut évoquer suite à ce test de l'aile de Maddox, concerne la correction du sujet. Un sujet myope surcorrigé ou hypermétrope sous corrigé fera partie à tort du groupe des ésophores. Pour conclure, nous pouvons évoquer un lien significatif entre l'équilibre oculomoteur et fatigue visuelle au bloc opératoire.

Amplitude de fusion

Les sujets présentant une baisse d'**amplitude** sont plus nombreux (7 sujets) que ceux qui ne montrent pas de changement (4 sujets) ou ceux qui ont une amplitude augmentée (4 sujets). De plus, les baisses de performances ont des valeurs plus importantes que les augmentations. L'amplitude des sujets serait donc amoindrie après intervention.

Nous pensons que la fatigue, si elle existe, aurait tendance à rendre difficile les efforts de mouvements oculaires conjugués, par relâchement conjoint des muscles droits externes et droits internes. Les résultats semblent montrer cette tendance.

Chez les sujets exophores, ceux présentant une baisse d'amplitude sont davantage représentés (6 sujets sur 9), et leur baisse est importante (10,6% de leurs performances initiales).

Chez les sujets ésophores et orthophoriques, ceux présentant une augmentation de leurs performances sont les plus nombreux (3 sujets sur 6) avec une augmentation de 11,8% en moyenne.

Seulement un sujet retrouve son amplitude diminuée et cela de façon plus importante (34% de ses performances initiales, ce qui explique un écart-type élevé de 4,8). La significativité de cet examen est donc moindre.

Nous observons des différences de résultats notables chez les sujets selon leur appartenance au groupe des exophores ou ésophores et orthophoriques. Une fatigue visuelle serait donc davantage mise en évidence chez les sujets exophores. Ceux-là seraient davantage sujets à la fatigue.

PPC

Si on prend le groupe dans sa globalité, on observe une augmentation du **PPC** pour 60 % des sujets soit la majorité d'entre eux. Cette augmentation est franche puisqu'elle est de 76% par rapport au PPC mesuré en pré opératoire. Cette observation est renforcée par le fait qu'aucun des sujets ne présente d'amélioration de ses performances pour ce test. On trouve ici une preuve qui pourrait donc confirmer notre idée selon laquelle un état de fatigue visuelle est mesurable par le recul du PPC chez les sujets étudiés. Ce phénomène s'expliquerait par une fatigue musculaire des muscles droits médiaux qui ne parviennent plus à se contracter conjointement assez efficacement pour avoir les mêmes performances après l'effort effectué durant l'opération.

L'analyse des résultats par groupe montre la proportion de sujets qui présentent un recul du PPC est plus importante chez les exophores (78 % contre un tiers chez les ésophores et orthophoriques). De plus, cette augmentation du PPC est plus massive dans le groupe des exophores (recul moyen mesuré de 104% contre 25% chez les ésophores et orthophoriques). Ces observations pourraient s'expliquer par le fait que, les exophores présentant une position des globes oculaires en abduction, feraient plus travailler leurs muscles droits médiaux que les sujets de l'autre groupe, pour qui les yeux sont droits ou en adduction. De ce fait, les sujets exophores seraient plus vulnérables à une fatigue de ces muscles. Cette fatigue se mesurant par une forte baisse des performances au PPC. On remarque qu'avant l'opération, il existe une différence du PPC entre les sujets des deux groupes (2,8 cm pour les exophores contre 2,0 cm pour le groupe des ésophores et orthophoriques), mais cette différence est bien plus importante après l'opération (5,7 cm pour les exophores contre 2,5 cm pour les ésophores et orthophoriques) ce qui porte à croire que les exophores seraient plus sujets à la fatigue visuelle.

Nous pouvons toutefois discuter de la significativité de ces résultats compte tenu du faible nombre de sujets que nous avons étudié. De plus, la mesure du PPC, se faisant par l'évaluation subjective de l'observateur, peut légèrement varier selon l'expérience de l'évaluateur dans la pratique de cet examen. Pour pallier à ce biais, on pourrait utiliser la plaquette de Mawas (plaquette graduée avec point de fixation mobile) afin de mesurer précisément le PPC en cm.

TNO

Les sujets ne présentant pas de changement au niveau de la **vision du relief** sont majoritaires (8 sujets sur 15) .Viennent ensuite ceux présentant une baisse de leurs performances (5 sujets) puis ceux présentant une amélioration de leurs performances (2 sujets).

Nous pensons que la fatigue, si elle existe, aurait tendance à rendre difficile la coordination et la fusion entre les deux yeux et provoquer une altération de la vision du relief. Bien que certains sujets montrent une baisse de leurs performances, ceux qui n'en montrent pas sont majoritaires. Les résultats ne semblent pas dégager de tendance.

Il existe un biais relatif à l'utilisation de cet examen, l'apprentissage : les sujets peuvent se souvenir des réponses précédemment fournies. Nous pourrions utiliser d'autres tests existants comme le test de Frisby, le Titmus test (Wirt) mais aucun d'eux ne parviendrait à pallier ce biais. Cependant, il serait possible de présenter les planches de ces test dans des sens différents afin que les réponses ne soient pas toujours les mêmes.

Contrastes

Les valeurs obtenues en **sensibilité des contrastes** après intervention sont en moyenne plus élevées que les valeurs reportées avant intervention (1,79 contre 1,73). Il y a donc amélioration globale des performances.

Nous pensons que la fatigue, si elle existe, aurait tendance à diminuer les performances de vision des contrastes par diminution de l'excitabilité des photorécepteurs de la rétine. Il n'y a pas de fatigue mise en évidence dans cet examen.

Il existe un biais relatif à l'utilisation de ce test : l'apprentissage. En effet, les sujets peuvent retenir les réponses fournies avant intervention. Un moyen de pallier à ce biais serait d'utiliser un test sur écran avec réponses randomisées. De plus, nous nous sommes servis d'une reproduction imprimée du test de Pelli-Robson qui plus est, à 33 cm. Il ne s'agit donc pas d'un test normé : les résultats reportés sont donc peut-être faussés.

Questionnaire

Notre postulat de départ afin d'exploiter ce questionnaire, fut d'estimer une éventuelle fatigue ressentie à partir d'une dépréciation d'au moins deux échelons. Ainsi, en pondérant les résultats obtenus, ce sont les questions 5, 6, 7 et 9 qui semblent traduire le plus l'apparition de symptômes liés à la fatigue. Ces réponses affichent un score s'articulant autour des 50%. Partant de ce principe, les autres questions ne montrent pas de vraie tendance allant vers la fatigue. En exploitant ces résultats, nous nous sommes rendus compte que nos questions ne furent pas assez orientées, ciblées sur la fatigue visuelle.

Cette étude est sujette à certains biais généraux. La motivation influe grandement sur l'état de fatigue des sujets et peut varier dans la journée. Elle peut donc influencer les résultats reportés avant et après intervention de manière différente. En moyenne, les examens pratiqués avant intervention se sont déroulés tôt le matin vers 8h30 et ceux pratiqués après se sont déroulés vers 12h30. Il peut exister une différence de niveau d'éveil entre ces deux temps. Le niveau d'éveil étant plus élevé vers midi, il est possible qu'il tende à améliorer les performances reportées à ce moment-là. Faire les premières mesures plus tard et les suivantes après le début d'après-midi serait peut-être un moyen de palier à ce biais. Enfin, les sujets présents dans cette étude sont peu nombreux, les résultats sont donc peu significatifs et peu représentatifs de la population des praticiens en bloc opératoire.

La vision des reliefs testée via le TNO ainsi que la vision des contrastes mesurée grâce au test de Pelli-Robson n'apportent pas de réponses franches quant à notre problématique. Plusieurs tests sont perfectibles afin d'affiner nos résultats, notamment pour les mesures du PPC et de la vision du contraste.

8. Conclusion

Au terme de notre étude, nous sommes parvenus à mettre en évidence des signes de fatigue visuelle dans un contexte d'éclairage au bloc opératoire, notamment grâce aux examens de l'équilibre oculomoteur à l'aile de Maddox, de l'amplitude de fusion aux prismes et de la mesure du PPC, en particulier chez les sujets exophores.

Cependant, il ne s'agit que d'une pré-étude ; nous ne disposions que de peu de moyens d'examens et ceux-là sont perfectibles. Même si les résultats que nous avons observé nous amènent vers une tendance, ceux-ci n'apportent pas de preuve scientifique permettant d'affirmer l'existence d'une fatigue visuelle.

Sous l'impulsion du Dr Peyrat et en s'inspirant de notre travail, une future étude de plus grande ampleur sera certainement mise en place et approfondira les pistes mises en évidence ici.

Dans un souci de détail, et de précision, une étude de l'impact de l'intensité de la lumière sur la fatigue visuelle serait également pertinente, en reprenant certains des examens utilisés ici en faisant varier les niveaux d'éclairement du bloc opératoire. De cette manière nous pourrions par exemple obtenir une corrélation entre le niveau d'éclairement et une possible fatigue visuelle.

Cette étude montre également que les compétences des orthoptistes peuvent être exploitées en dehors des services d'ophtalmologie ou de rééducation, notamment dans des projets de recherche scientifique.

Le maître de mémoire :

Vu et PERMIS D'IMPRIMER
LYON, le 27 juin 2017

Signature :

Professeur Philippe DENIS

ANNEXES

Annexe 1

Sujet	âge	TNO (° d'arc)		Phorie à l'Aile de Maddox (dp)		PPC (cm)		Divergence (dp)	
		Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
1	27,5	30	60	1	1,5	0	0	-6	-7
2	46	240	240	-3,5	-5	0	5	-13	-13
3	46	120	240	-6	-4	5	5	-10	-9
4	46	120	240	5	5	2	3	-11	-11
5	46	120	120	-8	-6	1,5	4	-12	-10
6	54	240	240	3	2	0	2	-5	-3
7	28	60	60	-8	-8	0	0	-11	-14
8	36	60	30	-4	-2	5	10	-12	-8
9	36	60	60	3	-2	10	10	-9	-10
10	27	30	60	-4	-4	2,5	5	-8	-7,5
11	27	60	30	-4	-4	3	5	-8	-8
12	31	30	30	-2	1	3	10	-16	-15
13	30,5	60	60	0	-1	0	0	-11	-12
14	30,5	60	60	0	1	0	0	-11	-11
15	30	30	60	-5	-4	5	7	-11	-9
moy	36,10	88,00	106,00	-2,17	-1,97	2,47	4,40	-10,27	-9,83

Sujet	âge	Convergence (dp)		Amplitude de fusion (dp)		Vision des Contrastes	
		Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
1	27,5	30	32,5	36	39,5	1,70	1,80
2	46	32,5	27,5	45,5	40,5	1,65	1,75
3	46	32,5	27,5	42,5	36,5	1,65	1,70
4	46	30	30	41	41	1,70	1,55
5	46	30	27,5	42	37,5	1,75	1,60
6	54	37,5	25	42,5	28	1,65	1,60
7	28	32,5	30	43,5	44	1,70	1,70
8	36	19	19	31	27	1,70	1,75
9	36	18	17	27	27	1,70	1,70
10	27	18,25	18,75	26,25	26,25	1,83	1,85
11	27	20,5	20,5	28,5	28,5	1,80	1,85
12	31	25	25	41	40	1,60	1,60
13	30,5	32,5	40,0	43,5	52	1,70	1,90
14	30,5	32,5	35	43,5	46	1,75	1,85
15	30	22,5	20	33,5	29	1,70	1,70
moy	36,10	27,55	26,35	37,82	36,18	1,73	1,79

Annexe 2

Fiche de résultats

Sujet n° :

Date :

Durée de l'opération :

Vision du relief

Entourer le résultat

	TNO (sec d'arc)					
	Plate V		Plate VI		Plate VII	
Pré-op	480	480	120	120	30	30
	240	240	60	60	15	15
Post-op	480	480	120	120	30	30
	240	240	60	60	15	15

Aile de Maddox

Phorie à l'Aile de Maddox (dp)	
Pré-op	
Post-op	

PPC

PPC (cm)	
Pré-op	
Post-op	

Amplitude de Fusion

	Divergence (dp)	
	OD	OG
Pré-op		
Post-op		

	Convergence (dp)	
	OD	OG
Pré-op		
Post-op		

Vision des contrastes

	Pelli-Robson		
	OD	OG	Binoculaire
Pré-op			
Post-op			

Annexe 3

1. Quelle est l'intensité ou la sévérité de la fatigue que vous ressentez en ce moment ?

LEGERE

FORTE

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

2. La fatigue que vous éprouvez en ce moment est-elle :

AGREABLE

DESAGREABLE

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

3. Comment vous sentez-vous en ce moment ?

REPOSE(E)

FATIGUE(E)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

4. Comment vous sentez-vous en ce moment ?

DETENDU(E)

TENDU(E)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

5. Comment vous sentez-vous en ce moment ?

CAPABLE DE VOUS CONCENTRER, REFLECHIR

INCAPABLE

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

6. Comment vous sentez-vous en ce moment ?

ENERGIQUE

SANS ENERGIE

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

7. Évaluez votre photophobie

FAIBLE

FORTE

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

8. Ressentez-vous le besoin de fermer vos yeux de façon prolongée (quelques secondes) ?

PAS DU TOUT

ENORMEMENT

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

9. Évaluez votre gêne pour un travail de près, immédiat (lecture/smartphone/ordi)

FAIBLE

FORTE

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10. Avez-vous mal à la tête ?

PAS DU TOUT

ENORMEMENT

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Annexe 4

	Question 1		Question 2		Question 3	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
Sujet 1	6	4	5	2	10	2
Sujet 2	6	5	5	5	6	6
Sujet 3	6	7	5	5	6	6
Sujet 4	5	7	4	5	5	7
Sujet 5	4	6	4	5	3	6
Sujet 6	7	6	6	6	6	7
Sujet 7	7	6	5	4	6	6
Sujet 8	6	3	5	4	6	4
Sujet 9	3	5	3	4	4	5
Sujet 10	3	3	0	0	5	6
Sujet 11	1	1	0	1	1	1
Sujet 12	4	6	3	6	5	7
Sujet 13	3	7	5	5	5	5
Sujet 14	0	3	5	5	1	3
Sujet 15	0	3	1	5	1	4

	Question 4		Question 5		Question 6	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
Sujet 1	0	0	2	1	5	3
Sujet 2	2	2	2	5	6	4
Sujet 3	1	6	2	7	3	5
Sujet 4	2	2	1	3	4	7
Sujet 5	1	2	1	7	2	5
Sujet 6	5	6	5	6	6	5
Sujet 7	7	3	1	3	1	4
Sujet 8	4	3	3	3	4	5
Sujet 9	4	3	2	2	3	5
Sujet 10	1	1	1	4	1	4
Sujet 11	1	1	1	2	1	2
Sujet 12	1	5	1	7	2	7
Sujet 13	3	2	0	5	5	5
Sujet 14	1	2	1	1	1	2
Sujet 15	1	1	1	2	1	4

	Question 7		Question 8		Question 9	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
Sujet 1	0	0	2	0	2	1
Sujet 2	5	6	3	4	6	5
Sujet 3	2	8	2	6	3	6
Sujet 4	4	3	6	6	3	7
Sujet 5	2	4	2	7	2	7
Sujet 6	6	7	6	7	5	7
Sujet 7	0	2	0	4	1	1
Sujet 8	5	2	2	1	2	1
Sujet 9	3	5	1	2	1	3
Sujet 10	3	3	0	0	1	1
Sujet 11	1	1	0	0	1	0
Sujet 12	4	8	4	9	3	6
Sujet 13	3	4	1	1	1	2
Sujet 14	2	4	0	0	0	1
Sujet 15	4	6	1	3	2	4

	Question 10	
	Avant	Après
Sujet 1	0	0
Sujet 2	0	0
Sujet 3	0	0
Sujet 4	0	0
Sujet 5	0	0
Sujet 6	5	5
Sujet 7	0	1
Sujet 8	7	1
Sujet 9	2	2
Sujet 10	0	1
Sujet 11	0	0
Sujet 12	0	1
Sujet 13	0	5
Sujet 14	0	0
Sujet 15	1	3

Bibliographie

Sites internet :

- Ophtalmologie pro. Autre vision binoculaire : diplopie physiologique.
<http://ophtalmologie.pro/autres-vision-binoculaire/#diplopie-physiologique>
- Françoise Jauzein. Actualisation Continue des Connaissances des Enseignants en Sciences. Institut français de l'éducation. Comprendre les mouvements de vergence.
<http://accs.ens-lyon.fr/accs/ressources/neurosciences/vision/comprendre/VisionMarseille/vergence>
- Jean-Marc Turgeon. Strabisme et paralysie oculomotrice (slideplayer).
<http://slideplayer.fr/slide/5556908/>
- Le cinéma en relief.
<http://cinerelief.pagesperso-orange.fr/premierepartie.htm>
- site psychologie. La vision.
<http://www.delapsychologie.com/article-la-vision-51813723.html>
- E. Bui Quoc, P. Lebranchu, A. Péchereau, Ch. Rémy. Physiologie.
http://www.em-consulte.com/em/SFO/2013/html/file_100037.html
- Les asthénopies accommodatives
http://www.strabisme.net/strabologie/Colloques/QuestActualite/QActu_AsthenAcc/QActu_AsthenAcc.html
- INPES. (2012). Les ultra-violets, ultra violents pour la peau et la rétine.
<http://inpes.santepubliquefrance.fr/30000/actus2012/013-UV-peau-retine.asp>
- INSERM. (2013). DMLA : quelles sont les ondes lumineuses responsables de la perte de la vision ?
<http://www.inserm.fr/actualites/rubriques/actualites-recherche/dmla-queelles-sont-les-ondes-lumineuses-responsables-de-la-perte-de-la-vision>
- Lombry, T. (2007). La photographie numérique.
<http://www.astrosurf.com/luxorion/photo-numerique7.htm>
- Neidhart, A. et Neidhart, M. (2009). Genèse du bloc opératoire Saint-Joseph ou L'alliance de la lumière et de l'antisepsie !
https://www.chu-besancon.fr/museum/Histoire/cinquantenaire/lumiere_antiseptie.htm
- OMS. (s. d.). Le rayonnement ultraviolet.
<http://www.who.int/uv/fr/>
- Scialytique. (s. d.). Dans Centre National de Ressources Textuelles et Linguistiques.
<http://www.cnrtl.fr/lexicographie/scialytique>

- Les asthénopies accommodatives
http://www.strabisme.net/strabologie/Colloques/QuestActualite/QActu_AsthenAcc/QActu_AsthenAcc.html

Livres :

- JEANROT N. & JEANROT F. Manuel de strabologie : aspects cliniques et thérapeutiques Elsevier Masson (3^{ème} édition).
- ORSSAUD C. Vision binoculaire, Ophtalmologie, EMC (Elsevier SAS, Paris).
- Magalie Grégoire. Le développement de la fonction visuelle chez l'enfant : étude bibliographique. Médecine humaine et pathologie (2015)
- INRS. Enseigner la prévention des risques professionnels : éclairage et vision (INRS, 2002)
- Dreyer, F. (2009). Histoire de l'hôpital. L'éclairage des salles d'opération aux XIXe et XXe siècles : l'apparition du scialytique. *In Situ* (10). DOI : 10.4000/insitu.3997

Articles :

- G. L. R. Clavijo, J. O. Patiño and D. M. León, "Detection of visual fatigue by analyzing the blink rate," 2015 20th Symposium on Signal Processing, Images and Computer Vision (STSIVA), Bogota, 2015, pp. 1-5.
- Wajuihian SO. "Frequency of asthenopia and its association with refractive errors". *Afr Vision Eye Health*. 2015;74(1), Art. #293, 7 pages. <http://dx.doi.org/10.4102/aveh.v74i1.293>
- Wilkins, A. J., et al, "Fluorescent lighting, headaches and eyestrain", *Lighting Res. Tech*, vol. 21 (1989), pp. 11-18.
- S. H. Cho and H. B. Kang, "The measurement of eyestrain caused from diverse binocular disparities, viewing time and display sizes in watching stereoscopic 3D content," 2012 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, Providence, RI, 2012, pp. 23-28.
- E. C. Lee, H. Heo and K. R. Park, "The comparative measurements of eyestrain caused by 2D and 3D displays," in *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 56, no. 3, pp. 1677-1683, Aug. 2010.
- Chen, Chunxiao et al. "Visual Fatigue Caused by Watching 3DTV: An fMRI Study." *BioMedical Engineering OnLine* 14.Suppl 1 (2015): S12. PMC. Web. 1 May 2017.
- Chen, Chunxiao et al. "EEG-based detection and evaluation of fatigue caused by watching 3DTV" *Displays* 34(2):81-88 · April 2013
- Y. Jiao, Y. Peng, B. L. Lu, X. Chen, S. Chen and C. Wang, "Recognizing slow eye movement for driver fatigue detection with machine learning approach," 2014 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Beijing, 2014, pp. 4035-4041.

- L. Wang, Y. Tu, L. Yang and Y. Chen, "The impact of ambient illumination on visual fatigue while watching TV," 2015 12th China International Forum on Solid State Lighting (SSLCHINA), Shenzhen, 2015, pp. 143-145.
- Amy L. Davis, Erin M. Harvey, J. Daniel Twelker, Joseph M. Miller, Tina Leonard-Green, and Irene Campus "Convergence Insufficiency, Accommodative Insufficiency, Visual Symptoms, and Astigmatism in Tohono O'odham Students" Journal of Ophthalmology Volume 2016 (2016), Article ID 6963976, 7 pages.

Autres :

- Coulangeon LM, Chiambaretta F, Bramoulle A, Chanteloube D, Monneyron N, Guilleminot B, Breysse JP « vision des couleurs et sensibilité aux contrastes morphoscopiques chez des sujets normaux de différentes tranches d'âge et à trois niveaux d'éclairage ».
- Julien BARNEOUD, Jean-Pierre BREYSSE, Rodolphe TESTA, Hélène DALENS, Louise-Marie COULANGEON, Sylvie MICHEL « colour perception in medical environment and under high illuminance levels ».