



BU bibliothèque Lyon 1

<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>

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LA READAPTATION

Directeur Docteur Xavier PERROT

NOUVELLE PRISE EN CHARGE DE L'AMBLYOPIE CHEZ L'ADULTE

MEMOIRE présenté pour l'obtention du

CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPTISTE

par

GUILLI - Imane

Autorisation de reproduction

LYON, le

28 juin 2016

Professeur Ph. DENIS
Responsable de l'Enseignement
Mme C. CHAMBARD
Directrice des Etudes

N° 2016/09

Président
Pr Frédéric FLEURY

Vice-président CEVU
M. CHEVALIER Philippe

Vice-président CA
M. REVEL Didier

Vice-président CS
M. VALLEE Fabrice

Secrétaire Général
M. HELLEU Alain

Secteur Santé

U.F.R. de Médecine Lyon Est
Directeur
Pr. ETIENNE Jérôme

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 (CEM)
Pr ETIENNE Jérôme



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

Sommaire

LISTE DES FIGURES	3
LISTE DES TABLEAUX	4
LISTE DES ABREVIATIONS	5
REMERCIEMENTS	6
INTRODUCTION	7
PARTIE THEORIQUE	9
I- RAPPELS NEURO-ANATOMIQUES	9
1) LES PHOTORECEPTEURS : CONES ET BATONNETS	9
<i>a) Les cônes</i>	10
<i>b) Les bâtonnets</i>	10
2) LES CELLULES DE TRANSMISSIONS	11
<i>a) Les cellules bipolaires</i>	11
<i>b) Les cellules ganglionnaires</i>	11
3) LES CELLULES D'ASSOCIATIONS	12
<i>a) Les cellules horizontales</i>	12
<i>b) Les cellules amacrines</i>	12
4) LES CELLULES GLIALES DE MÜLLER	12
II- LA PLASTICITE DU SYSTEME VISUEL	13
1) LA NOTION DE CHAMPS RECEPTEURS	13
<i>a) La rétine</i>	13
<i>b) Le corps genouillé latéral</i>	15
<i>c) Le cortex visuel primaire</i>	16
2) LA NEUROPLASTICITE	17
3) LA PLASTICITE DEVELOPPEMENTALE	18
4) LA PLASTICITE CHEZ L'ADULTE	18
III- L'AMBLYOPIE	19
1) DEFINITION	19
2) TRAITEMENTS ORTHOPTIQUES DE L'AMBLYOPIE	19
<i>a) L'occlusion totale</i>	20
<i>b) La sectorisation</i>	20
<i>c) La pénalisation optique</i>	20
<i>d) Les filtres</i>	21
<i>e) Les traitements complémentaires</i>	21
IV- L'ACUITE VISUELLE	22
1) DEFINITION	22
2) LES DIFFERENTS TYPES D'ACUITE VISUELLE	23
3) CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES D'EXAMEN	23
4) MESURE DE L'ACUITE VISUELLE	24
5) EARLY TREATMENT DIABETIC RETINOPATHY STUDY	24
6) MESURE DE LA SENSIBILITE AU CONTRASTE	26
V- LE LOGICIEL REVITALVISION®	27
1) PRESENTATION DU LOGICIEL	27
<i>a) Introduction</i>	27
<i>b) L'utilisation de la plasticité neuronale dans l'amblyopie adulte</i>	28

c) <i>L'utilisation de la tâche de Gabor</i>	28
d) <i>Le principe d'utilisation</i>	28
2) LES CONDITIONS D'UTILISATION	32
PARTIE EMPIRIQUE	34
INTRODUCTION	34
I- OBJECTIF	37
II- MATERIEL ET METHODE	37
1) TYPE D'ETUDE	37
2) LES CRITERES DE JUGEMENT	37
3) SUJETS ETUDIES	38
a) <i>Critères d'inclusion</i>	38
b) <i>Les critères d'exclusion</i>	39
4) DEROULEMENT DE L'ETUDE	39
a) <i>Recueil des données</i>	39
b) <i>Concernant les résultats de la sensibilité au contraste</i>	39
III- RESULTATS	40
1) DONNEES DES PATIENTS	40
2) L'AV DE L'ŒIL AMBLYOPE	40
3) L'AV DE L'ŒIL SAIN	41
4) LA VISION DES CONTRASTES DE L'ŒIL AMBLYOPE	42
5) VISION DES CONTRASTES DE L'ŒIL SAIN	44
IV- DISCUSSION	45
1) SELECTION DES DOSSIERS	45
2) L'AV DE L'ŒIL AMBLYOPE	46
3) L'AV DU BON ŒIL	47
4) LA VISION DES CONTRASTES	48
5) CAS PARTICULIER DURANT L'ETUDE	48
CONCLUSION	49
ANNEXES	52
ANNEXE 1: TABLEAU DE CORRESPONDANCE DES DIFFERENTES NOTATIONS DE L'ACUITE VISUELLE EN VISION DE LOIN	52
BIBLIOGRAPHIE	53

Liste des figures

FIGURE 1: GRAPHIQUE REPRESENTANT LA DENSITE DES PHOTORECEPTEURS EN MILLIERS PAR MM ² EN FONCTION DE LA DISTANCE AU CENTRE DE LA FOVEA EN DEGRE: LA DENSITE DES CONES EST REPRESENTEE EN BLEU, CELLE DES BATONNETS EN NOIR ET LES POINTILLES REPRESENTENT LA PAPILLE OPTIQUE.....	9
FIGURE 2: GRAPHIQUE REPRESENTANT LE POURCENTAGE D'ABSORPTION DES PHOTORECEPTEURS EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE	11
FIGURE 3: STRUCTURE SCHEMATIQUE DE L'HISTOLOGIE DE LA RETINE	13
FIGURE 4: CHAMPS RECEPTEURS DES CELLULES BIPOLAIRES	14
FIGURE 5: CHAMPS RECEPTEURS DES CELLULES GANGLIONNAIRES.....	15
FIGURE 6: REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE CORTEX GENOUILLE LATERAL AINSI QUE SES DIFFERENTES COUCHES.....	16
FIGURE 7: CHAMPS RECEPTEUR DES CELLULES SIMPLES, COMPLEXES ET HYPERCOMPLEXES AU NIVEAU DU CORTEX VISUEL PRIMAIRE	17
FIGURE 8: LES DIFFERENTES ECHELLES « EARLY TREATMENT DIABETIC RETINOPATHY STUDY ».....	25
FIGURE 9: RECUEIL DES DONNEES DU GRADUAL TEST	26
FIGURE 10: EXERCICE DE L'IMAGE UNIQUE	29
FIGURE 11: EXERCICE DE L'IMAGE TRIPLE	30
FIGURE 12: EXERCICE DE L'IMAGE LA PLUS SOMBRE	30
FIGURE 13: EXERCICE DES IMAGES DECALEES	31
FIGURE 14: GRAPHIQUE DE PROGRESSION DU PATIENT AMBLYOPE AU COURS DES SESSIONS DE REEDUCATION LORS D'UNE RECUPERATION VISUELLE CORRECTE.....	34
FIGURE 15: GRAPHIQUE REPRESENTANT UNE RECUPERATION CORRECTE DE L'AV	35
FIGURE 16: GRAPHIQUE DE PROGRESSION D'UN PATIENT AMBLYOPE AU COURS DES SESSIONS DE REEDUCATION LORS D'UNE RECUPERATION VISUELLE DIFFICILE.....	35
FIGURE 17: GRAPHIQUE REPRESENTANT UNE RECUPERATION DIFFICILE DE L'AV	36
FIGURE 18: EVOLUTION DE L'AV DE L'OEIL AMBLYOPE AU TEMPS T0, T1, T2 ET T3	41
FIGURE 19: EVOLUTION DE L'AV DU BON OEIL AU TEMPS T0, T1, T2 ET T3	42
FIGURE 20: MOYENNE DE RECUPERATION DE LA VISION DES CONTRASTES DE L'OEIL AMBLYOPE EN FONCTION DE LA LUMINANCE ET DE LA FREQUENCE	43
FIGURE 21: MOYENNE DE RECUPERATION DE LA VISION DES CONTRASTES DE L'OEIL SAIN EN FONCTION DE LA LUMINANCE ET DE LA FREQUENCE	44

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : STADE D'EVOLUTION DES ADAPTATIONS ET DE GRAVITE DE L'AMBLYOPIE STRABIQUE	22
TABLEAU 2: TABLEAU REPRESENTANT L'EVOLUTION DE L'AV DE CHAQUE OEIL DES PATIENTS DANS LE TEMPS	40
TABLEAU 3: TABLEAU STATISTIQUE DE L'EVOLUTION DE LA SENSIBILITE AU CONTRASTE DE L'OEIL AMBLYOPE..	43
TABLEAU 4: TABLEAU STATISTIQUE DE L'EVOLUTION DE LA SENSIBILITE AUX CONTRASTES DE L'OEIL SAIN	45

Liste des abréviations

AV : acuité visuelle

CGL : corps genouillé latéral

CLD : compte les doigts

ETDRS : Early Treatment Diabetic Retinopathy Study

RV : RevitalVision®

SN : système nerveux

SWCT : Side Wave Contrast Sensibility Test

VBLM : voit bouger la main

Remerciements

Je remercie le Professeur Denis, Madame Chambard, Monsieur Goutagny, Madame Lagedamont ainsi que l'ensemble de nos référents de stages d'avoir été présents et bienveillants tout au long de ces années.

Je tiens à remercier tout spécialement Céline Freyria et le Docteur Benhamou pour leur accueil et leur disponibilité à Toulon. Je les remercie également pour leur disponibilité tout au long de cette année.

Je remercie l'ensemble de l'équipe Revitalvision® pour leurs explications qui ont toujours été claires.

Je remercie mon frère Taoufik, qui m'a été d'une aide très précieuse et qui m'a toujours accordé du temps même lorsque ce n'était pas simple pour lui.

Mes parents et ma sœur, pour m'avoir soutenue tout au long de mon cursus scolaire.

Introduction

L'amblyopie est un trouble du développement neurologique provoquant une diminution de l'acuité visuelle qui peut être expliquée par une malformation oculaire. L'amblyopie concerne 2 à 3% de la population générale et constitue la principale cause de cécité visuelle monoculaire⁽¹⁾. L'occlusion de l'œil sain afin de stimuler l'œil amblyope est le traitement le plus efficace durant l'enfance. Néanmoins l'efficacité de ce traitement diminue avec l'âge, expliquée par une plasticité cérébrale réduite chez l'adulte.

Ces dernières années de nouveaux traitements de l'amblyopie ont émergés comme :

- L'entraînement dichotopique
- L'apprentissage perceptuel
- Les jeux vidéos

Ces traitements ont pour effet d'améliorer l'acuité visuelle chez l'amblyope adulte.

Une nouvelle prise en charge de l'amblyopie adulte appelée Revitalvision® semble trouver un intérêt majeur aux Etats-Unis⁽²⁾.

Revitalvision® est une thérapie de l'amblyopie adulte ayant fait ses preuves, dont les précurseurs se trouvent en Israël⁽³⁾. Revitalvision® est un logiciel de stimulation des neurones visuels basé sur les travaux de Gabor (prix Nobel de physique en 1971), et d'Hubbel et Wiesel, prix Nobel pour la description de la structure du cortex visuel (colonnes). Le logiciel envoie des stimuli visuels correspondant aux besoins des patients, tout en s'adaptant sans cesse à ses réponses. Le but étant d'avoir un traitement personnalisé, maintenant toujours le patient dans sa zone de travail.

Le principe de cette méthode est basé sur l'apprentissage perceptif qui se présente comme étant un processus d'amélioration des performances visuelles par l'exercice de certaines tâches visuelles.

Cette thérapie est à ses débuts en France et retrouvée dans un nombre limité de centres⁽⁴⁾. Certains centres proposent cette thérapie aux patients adultes atteints

d'amblyopie, comme l'un d'entre eux situé à Toulon. De plus ce cabinet collabore avec l'hôpital militaire de Saint Anne à Toulon dans le but d'une prise en charge améliorée.

L'utilisation de la méthode Revitalvision® montrerait une amélioration des capacités visuelles et ce de façon durable chez l'amblyope adulte ⁽⁵⁾⁽⁶⁾.

Notre étude aura pour but de démontrer l'efficacité de ce nouveau traitement Revitalvision® dans l'amblyopie.

PARTIE THEORIQUE

I- Rappels neuro-anatomiques

1) Les photorécepteurs : cônes et bâtonnets

Les photorécepteurs sont des cellules nerveuses au nombre de deux : les cônes et les bâtonnets ⁽⁷⁾.

Leurs pigments photosensibles permettent de percevoir les rayons lumineux à différentes longueurs d'onde selon leurs catégories (Figure 3).

Les photorécepteurs composent la dernière couche de la rétine contenant près de 95% de bâtonnets et 5% de cônes.

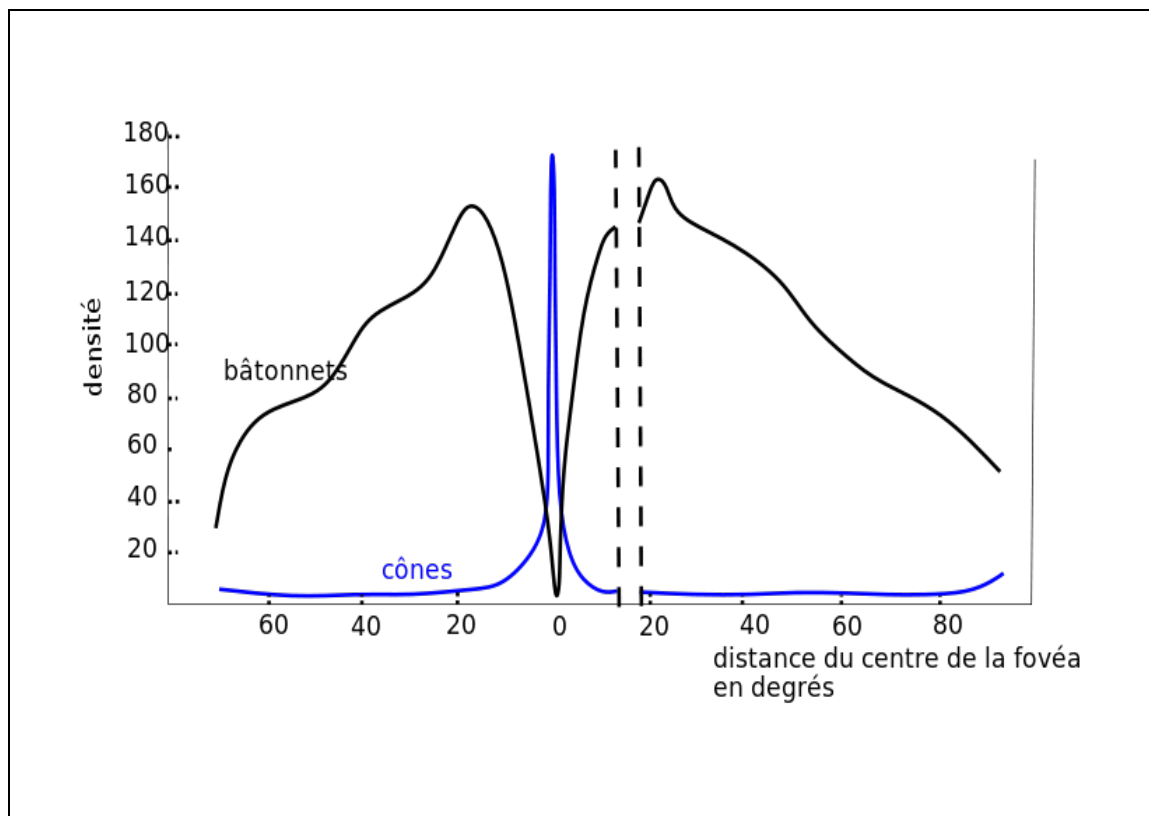


Figure 1: Graphique représentant la densité des photorécepteurs en milliers par mm² en fonction de la distance au centre de la fovéa en degré ⁽⁷⁾ : la densité des cônes est représentée en bleu, celle des bâtonnets en noir et les pointillés représente la papille optique

a) Les cônes

Les premiers types de photorécepteurs sont les cônes. Ils possèdent une sensibilité à la lumière minime ce qui nécessite une intensité lumineuse assez élevée afin de permettre leur activité. Ils sont donc les acteurs de la vision photopique, leur activation nécessite un certain seuil de luminosité.

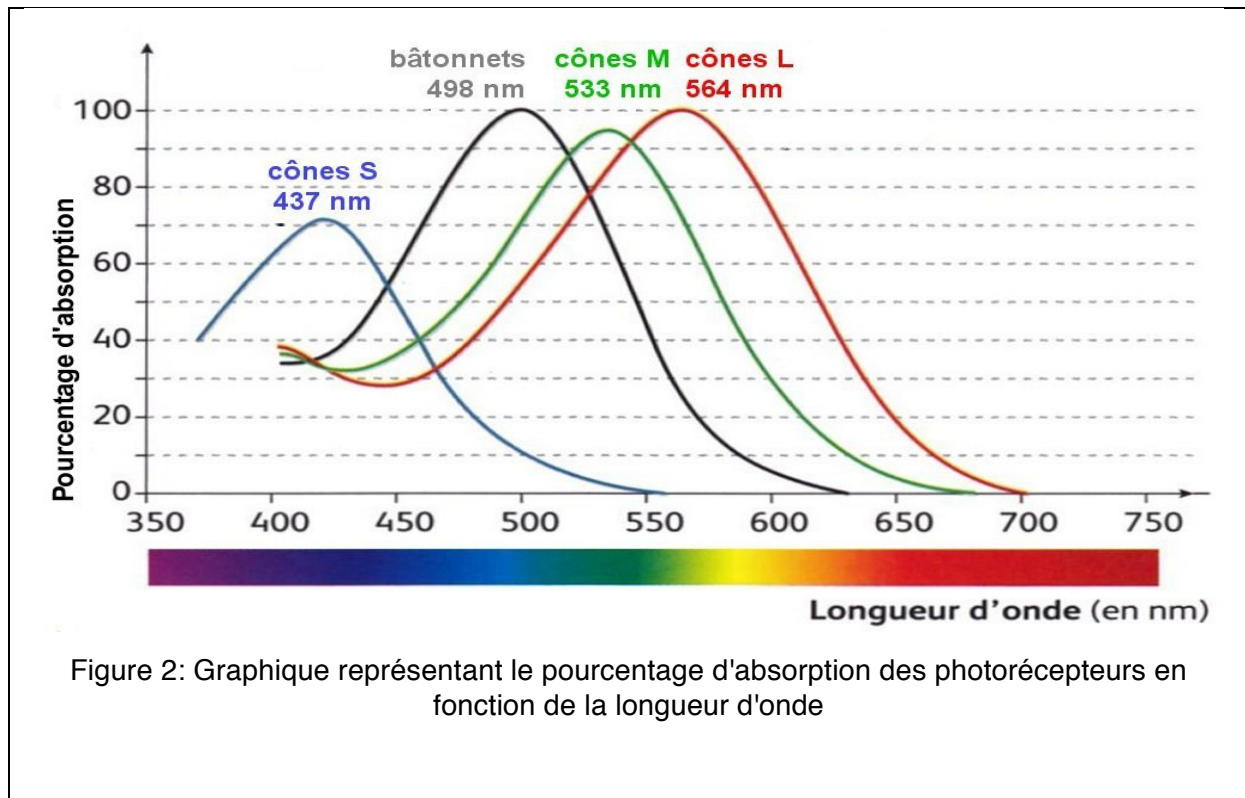
Les cônes sont les seuls photorécepteurs s'activant à différentes longueurs d'ondes et participent activement au niveau de la vision des couleurs. La protéine iodopsine se trouve dans les cônes et permet de les distinguer en trois catégories (Figure 4) :

- les cônes S ou courts sont activés par une longueur d'onde de 437nm (bleu) ;
- les cônes M ou moyens sont activés par une longueur d'onde de 533nm (vert) ;
- les cônes L ou longs sont activés par une longueur d'onde de 564nm (rouge).

b) Les bâtonnets

Les deuxièmes types de photorécepteur sont les bâtonnets. Ils possèdent une sensibilité à la lumière élevée et permettent donc de percevoir les rayonnements de basse intensité lumineuse. Ils sont donc les acteurs de la vision scotopique.

La protéine photosensible rhodopsine se trouve dans les bâtonnets et s'active à une longueur d'onde d'environ 500 nm (Figure 4). Les bâtonnets ne distinguent donc pas les couleurs.



2) Les cellules de transmissions

a) Les cellules bipolaires

Les cellules bipolaires sont des cellules à deux pôles séparées par un corps cellulaire. Elles reçoivent l'information électrique des photorécepteurs et font synapse avec les cellules amacrines et ganglionnaires.

Nous en distinguons trois catégories en fonctions des récepteurs qu'elles sollicitent :

- les cellules bipolaires des bâtonnets ;
- les cellules bipolaires naines à champ réduit en contactent avec qu'une seule catégorie de cônes ;
- les cellules bipolaires plates en contactent uniquement avec des cônes.

b) Les cellules ganglionnaires

Les cellules ganglionnaires ⁽⁹⁾ possèdent une arborisation dendritique leurs permettant d'assurer la connexion entre les cellules bipolaires et les cellules amacrines.

Le nerf optique est constitué de leurs axones.

Leurs densités diminuent de la périphérie de la rétine vers la fovéa où l'on retrouve uniquement quelques cellules isolées.

En connaissant le nombre de récepteurs rétiniens on en déduit qu'il existe une concentration importante des messages nerveux au niveau des cellules ganglionnaires.

Le champ récepteur de la cellule ganglionnaire se décrit comme étant la zone rétinienne au niveau de laquelle l'activation d'un photorécepteur amènera une réponse de la cellule ganglionnaire.

3) Les cellules d'associations

a) Les cellules horizontales

Les cellules horizontales ⁽⁹⁾ permettent une connexion entre les photorécepteurs et les cellules bipolaires grâce à leurs axones et leurs dendrites. Leur rôle est encore méconnu.

b) Les cellules amacrines

Les cellules amacrines ⁽⁹⁾ sont en connexion avec les cellules bipolaires et les cellules ganglionnaires. Elles permettent l'amplification des réponses des cellules ganglionnaires en particulier les informations portant sur les directions des mouvements d'un corps.

4) Les cellules gliales de Müller

Les cellules de Müller⁽⁹⁾ sont alignées sur toute l'épaisseur de la rétine entre la membrane limitante interne et la membrane limitante externe.

Elles assurent le soutien de la rétine et permettent une induction de l'influx nerveux de meilleur qualité en formant une isolation entre les cellules.

La Figure 5 représente l'histologie de la rétine.

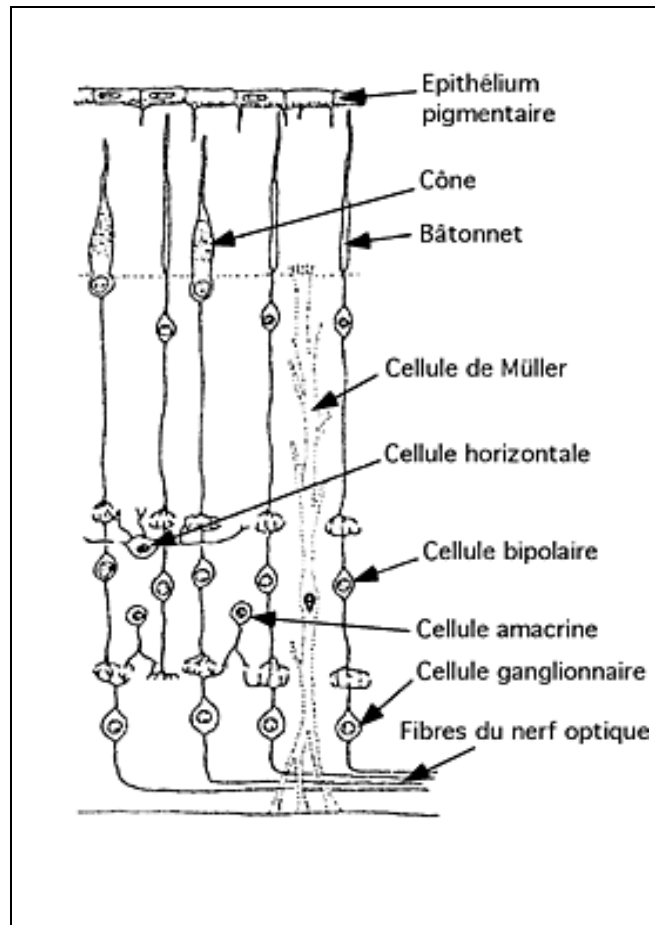


Figure 3: Structure schématique de l'histologie de la rétine ⁽⁹⁾

II- La plasticité du système visuel

1) La notion de champs récepteurs

a) La rétine

A chaque niveau du système visuel, tout neurone est connecté à une population de récepteurs situés dans le même territoire de la rétine, on appelle cette région le champ récepteur ⁽¹⁰⁾.

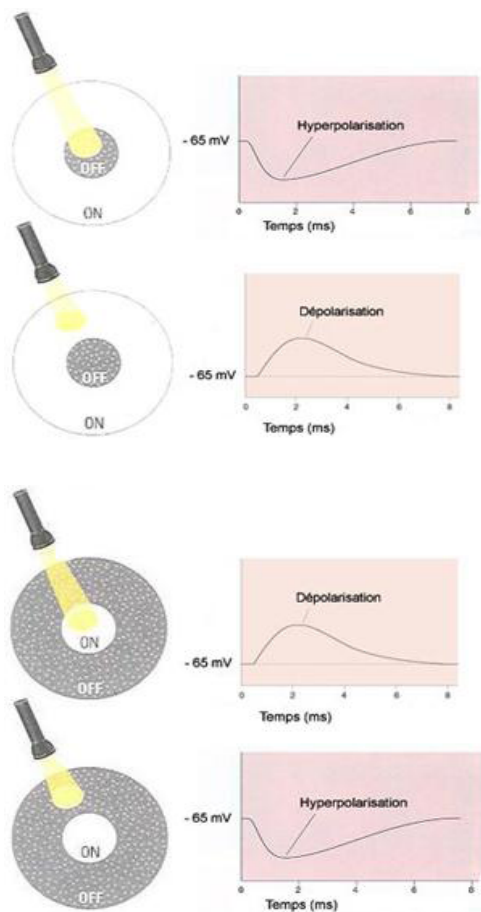
Un changement de l'activité du neurone est constaté lors d'une stimulation de cette région à l'aide d'un flash lumineux. On notera « ON » une réponse excitatrice et « OFF » une réponse inhibitrice selon la position de la stimulation.

La réponse de la cellule va s'ordonner en fonction du signal arrivant, des propriétés de son champ récepteur et de la connexion avec les cellules horizontales.

Selon le type de cellules rétinienne, la réponse ON ou OFF à une stimulation lumineuse peut être différente.

Au niveau des cellules bipolaires, la réponse se fait par dépolarisation (ON) ou hyperpolarisation (OFF) (Figure 6).

Dans le cas des cellules ganglionnaires, le changement d'activité s'effectue par la fréquence de potentiels d'action qui augmente lors d'une stimulation d'une zone ON et diminution d'une stimulation d'une zone OFF (Figure 7).



Cellule bipolaire à centre OFF

Cellule bipolaire à centre ON

Figure 4: Champs récepteurs des cellules bipolaires ⁽¹⁰⁾

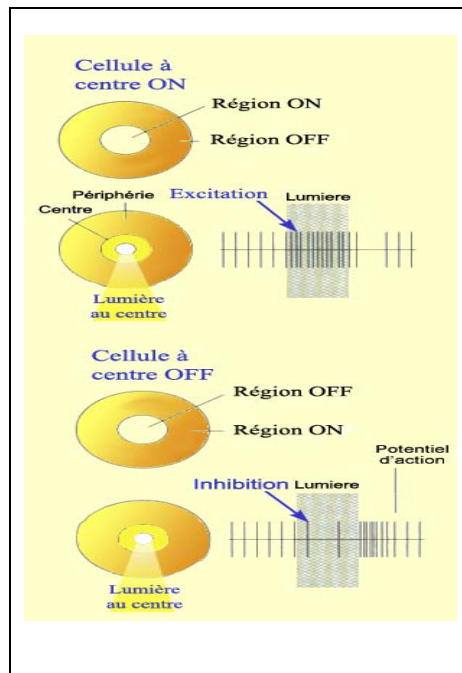


Figure 5: Champs récepteurs des cellules ganglionnaires ⁽¹⁰⁾

b) Le corps genouillé latéral

L'information visuelle est envoyée au corps genouillé latéral (CGL) via le nerf optique, puis le chiasma optique et enfin le tractus optique ⁽¹⁰⁾.

Le CGL est constitué de 6 couches de corps cellulaires:

- les couches 1 et 2 qui représentent les couches magnocellulaires afférentes (cellules ganglionnaires M) assurant la vision des mouvements;
- les couches 3 à 6 qui représentent les couches parvocellulaires afférentes (cellules ganglionnaires P) assurant la vision des couleurs et des détails.

Les couches 1, 4 et 6 reçoivent les axones émergeant de l'hémirétine nasale controlatérale tandis que les couches 2,3 et 5 reçoivent les axones émergeant de l'hémirétine temporale homolatérale (Figure 6).

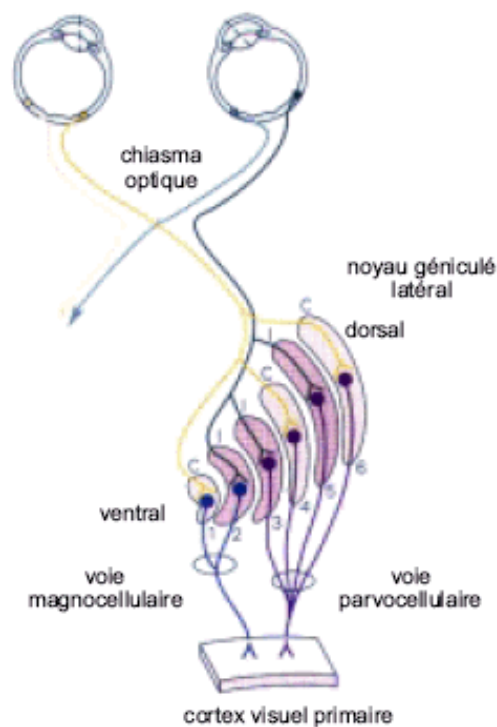


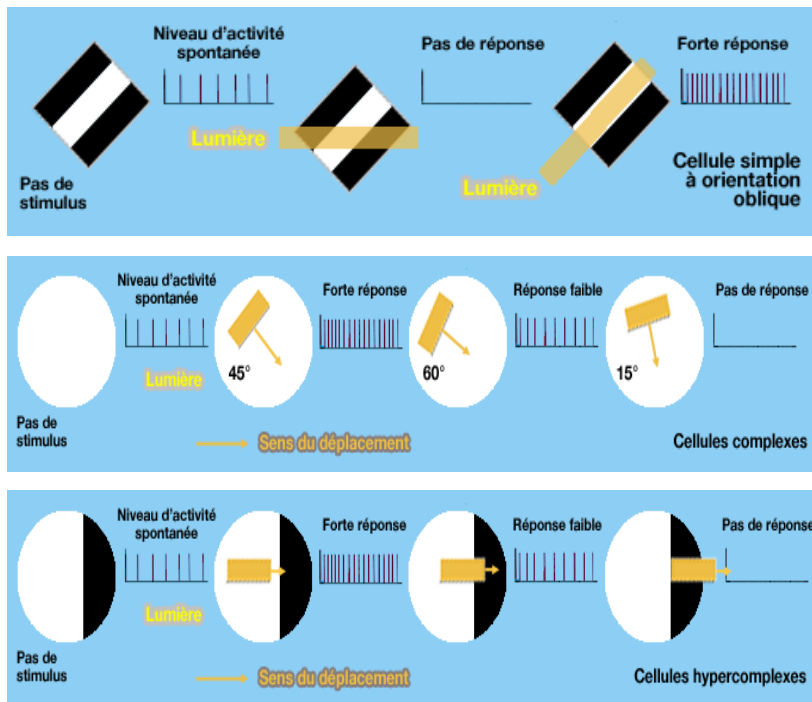
Figure 6: Représentation schématique de cortex genouillé latéral ainsi que ses différentes couches ⁽¹⁰⁾

c) Le cortex visuel primaire

Le cortex visuel primaire est constitué de différentes cellules permettant le traitement de diverses informations visuelles ⁽¹⁰⁾:

- les cellules simples responsables de la perception des axes d'orientation ;
- les cellules complexes responsables de la perception de l'orientation et du mouvement des axes ;

De plus ces neurones possèdent un champ récepteur allongé et s'activent selon la perception de l'axe d'orientation (cellule simple), l'orientation et le mouvement de l'axe (cellule complexe) et la perception des bords et des angles de l'objet perçu (Figure 9).



Cellules simple : axe d'orientation

Cellules complexes : orientation et mouvement de l'axe

Cellules hypercomplexes : bords et angles

Figure 7: Champs récepteur des cellules simples, complexes et hypercomplexes au niveau du cortex visuel primaire ⁽¹⁰⁾

2) La neuroplasticité

La plasticité du système visuel, ou neuroplasticité du système visuel, consiste en des propriétés fondamentales et générales du système nerveux.

Le système nerveux (SN) n'est pas figé. Le SN représente le siège d'un remodelage permanent de ses connexions, nécessaire à la fois à son développement, appelé la plasticité ontogénétique et à son adaptation à un nouveau milieu, appelé la plasticité adaptative.

Il est nécessaire d'intégrer que toute modification d'une structure au niveau neuronal induit également une modification ou une modulation de sa fonction.

Plusieurs types de neuroplasticité peuvent être mentionnées :

- la restructuration au niveau des synapses induisant une modification de la transmission synaptique ;
- la restructuration des connexions au coeur des réseaux neuronaux en formant de nouvelles synapses ;

- la restructuration de la composition d'un réseau neuronal par la différenciation de neurones naissants ;
- la restructuration d'un ensemble de réseaux.

3) La plasticité développementale

A la naissance, le cortex n'est pas totalement structuré. La mise en place correcte des connexions dépend essentiellement de l'expérience sensorielle. Les expériences sensorielles précoces vont déterminer les connexions neuronales définitives. Ces modifications neuronales ne peuvent s'effectuer uniquement pendant la période critique du développement visuel, d'où la forte efficacité des traitements amblyopiques d'occlusion avant l'âge de 6 ans.

4) La plasticité chez l'adulte

A l'âge adulte, la période critique du système visuel est largement dépassée, un traitement d'amblyopie par occlusion classique ne permettra donc aucune amélioration de l'acuité visuelle.

Cependant il existe des éléments de plasticité résiduelle chez l'adulte.

Une étude a prouvé qu'une récupération visuelle grâce à un traitement par jeux vidéo, est possible ⁽¹¹⁾ car ils offrent un environnement visuellement enrichi et stimulant, exigeant différentes compétences visuelles fondamentales. Ceci laisse à penser qu'il y a un certain niveau de neurogenèse dans le cerveau adulte. Le but de cette étude étant de savoir si cette plasticité adulte est suffisante pour établir une nouvelle prise en charge de l'amblyopie adulte ⁽¹²⁾. En effet ces derniers travaux ont permis d'établir qu'observer des détails visuels fins pendant une période suffisante, pourrait jouer un rôle important dans le déclenchement de la plasticité cérébrale.

III- L'amblyopie

1) Définition

L'amblyopie est une différence d'acuité visuelle (AV) entre les deux yeux. Cette différence d'AV persiste alors que les troubles de fixation, de transparence et réfractifs ont été traités. L'amblyopie est donc due à un défaut du traitement de l'information du cerveau car le défaut visuel se maintient également après traitement d'un trouble oculaire⁽¹³⁾. Selon R. Pigassou, l'amblyopie définit une baisse de vision d'un œil et cette dernière peut être d'origine organique ou fonctionnelle⁽¹⁴⁾.

L'amblyopie organique est structurelle car elle est la conséquence d'altération anatomique de l'œil, de ses voies de transmissions ou des zones de réceptions des fibres visuelles maculaires.

L'amblyopie fonctionnelle se définit quant à elle par une défaillance de la fonction maculaire. Ce type d'amblyopie se différencie selon leurs aspects. Nous avons d'abord l'amblyopie strabique où la déviation est responsable de l'amblyopie de l'œil dévié ; ce phénomène est appelé « adaptation neuro-développemental dysbinoculaire à l'environnement ». Ensuite nous avons l'amblyopie réfractive, où l'anisométrie empêche le cerveau de commander la focalisation de l'image perçue et privilégie celle d'un œil au détriment de l'autre ; à terme les mécanismes de transduction rétinien de l'œil non privilégié se détériorent, ce qui a pour conséquence une altération de la binocularité. Enfin nous avons l'amblyopie secondaire causée par un obstacle, empêchant la pénétration des rayons lumineux par l'occlusion palpébrale dit « ptosis » ou à l'opacification des milieux transparents de l'œil.

2) Traitements orthoptiques de l'amblyopie

En France le traitement orthoptique de l'amblyopie ne concerne que les enfants âgés de moins de 6 ans (parfois plus), après la maturation du système visuel⁽¹⁵⁾.

Le traitement de l'amblyopie est établi selon des critères différents:

- la profondeur de l'amblyopie;

- l'âge de l'enfant ;
- le type de l'amblyopie;
- le type de fixation (centrale ou excentrique);

De nombreux procédés peuvent être utilisés:

- l'occlusion totale ;
- les occlusions partielles ou sectorisation ;
- la pénalisation ;
- les filtres ;
- les traitements complémentaires.

a) L'occlusion totale

Cette occlusion doit être pratiquée à l'aide d'un pansement obturant l'œil fixateur dans toutes les directions du regard. L'œil amblyope, quant à lui, doit être muni de sa correction optique. Cette occlusion doit être continue, avec une surveillance de l'œil occlus et de l'œil amblyope, dont le rythme dépend essentiellement de l'âge de l'enfant. Plus l'enfant est jeune et plus le rythme de contrôle doit être accru car l'œil fixateur peut rapidement s'inverser dans ce type de population. Cependant, la notion d'occlusion totale a été remise en cause par l'école anglaise; en effet, d'après elle, excepté pour l'amblyopie profonde, une occlusion de deux heures avec des activités de fixation est aussi efficace qu'une occlusion totale.

L'occlusion est le traitement de l'amblyopie par excellence et reste le plus efficace⁽¹⁵⁾.

b) La sectorisation

La sectorisation a pour but de favoriser l'œil amblyope dans une certaine direction ou une certaine fonction afin d'aboutir à un changement d'œil fixateur⁽¹⁵⁾.

c) La pénalisation optique

Le but de la pénalisation optique est de créer artificiellement une anisométrie par une correction optique qui est délibérément inexacte afin de privilégier l'œil

amblyope. Cette pénalisation peut être associée à un brouillage par l'instillation d'Atropine® ou peut s'effectuer uniquement par l'instillation d'Atropine®.

La pénalisation peut varier selon la préférence de fixation que l'on souhaite et elle peut être en vision de loin, en vision de près, totale (en vision de loin et de près), unilatérale ou alternante ⁽¹⁵⁾.

d) Les filtres

Les filtres permettent une gradation de la gêne de l'œil fixateur. Il existe différents types de filtres calibrés ou filtres Ryser et adhésifs translucides plus ou moins opaques.

Les filtres calibrés limitent l'AV à une valeur choisie allant de 1/20^{ème} à 10/10^{ème}. Cette méthode doit être utilisée de façon à ce que l'œil fixateur ait une acuité nettement inférieure à celle de l'œil amblyope, ou déterminée de façon à ce que la fixation de l'œil amblyope soit privilégiée ⁽¹⁵⁾.

e) Les traitements complémentaires

Sous ces termes, nous y joignons des techniques très spécifiques à certaines amblyopies dans lesquelles nous retiendrons notamment les techniques prismatiques ou d'autres qui peuvent se présenter comme étant un complément au traitement déjà institué afin de lutter, par exemple, contre la neutralisation.

Le Tableau 1 associe le type de rééducation orthoptique aux signes cliniques que présente l'enfant amblyope.

Tableau 1 : Stade d'évolution des adaptations et de gravité de l'amblyopie strabique ⁽¹⁴⁾

Stades	Signes ou indicateur à l'occlusion de l'œil fixateur	Rééducation orthoptique
<i>Stade 1</i> Inhibition	Œil dévié reprend la fixation avec +/- neutralisation Ecart AV supérieur à 0,2	Solliciter relais vision centrale/périphérique de chaque œil, avec lunettes. Faciliter la coordination œil-tête.
<i>Stade 2</i> Zone de neutralisation plus profonde	Œil dévié se redresse mais performance moindres Ecart AV de 0,5 à 0,7	Même projet, plus intensif en insistant nettement sur l'œil dévié et son espace. Faciliter relais OD/OG autant que possible.
<i>Stade 3</i> Réorganisation binoculaire	Reprise lente de fixation de l'œil dévié + déficits sensoriels importants Ecart AV de 1	Chercher orientation du regard référencée pour chaque œil avant instillation d'une occlusion du bon œil.
<i>Stade 4</i> Fixation excentrique	Œil dévié ne se redresse plus, déficits sensoriels, moteurs posturaux.	La seule occlusion totale de l'œil fixateur est le plus souvent insuffisante, mais toujours invalidante. Des aides chirurgicales ou optiques sont proposées.

IV- L'acuité visuelle

Afin d'établir la présence d'une amblyopie, l'AV représente l'indication principale permettant le diagnostic ⁽¹⁴⁾.

1) Définition

L'AV se définit comme étant une mesure du pouvoir de discrimination entre des détails présentant un contraste ⁽¹⁶⁾.

L'AV s'estime à l'aide d'optotypes (lettres, chiffres, dessins) et se mesure au contraste maximal afin d'établir la qualité de la fonction maculaire.

2) Les différents types d'acuité visuelle

L'AV se divise en deux catégories :

- l'AV morphoscopique ou le minimum legibil qui correspond à la capacité à distinguer des optotypes de tailles variables. Cette dernière nécessite une interprétation corticale.
- L'AV angulaire ou le minimum séparable qui se définit par la plus petite mesure permettant de voir deux point ou deux lignes noires séparées sur fond blanc.

3) Conditions environnementales d'examen

Afin d'obtenir une mesure de l'AV convenable, certains critères sont à prendre en considération :

- l'éclairage : il doit être adapté, la mesure se fait en luminosité ambiante satisfaisante et non pas dans l'obscurité.
- La distance : La distance de calibrage du test doit être rigoureusement respectée.
- La qualité de l'environnement : l'environnement doit être calme.
- L'installation du patient : le patient doit être installé de manière adéquate de façon à avoir les pieds au sol et le regard à l'horizontal par rapport au test.
- La mesure de l'AV doit se faire dans les même conditions une fois sur l'autre : afin d'éviter toutes erreurs dans la mesure, le support du test ainsi que les conditions doivent rester inchangés. L'étude de l'AV lors de l'étude de la réfraction nécessite d'être faite rapidement, ceci afin de minimiser tous parasites par phénomène de fatigabilité ou d'accommodation intempestif ⁽¹⁶⁾.

L'AV visuelle peut varier d'une manière extrinsèque mais également intrinsèque selon :

- l'âge du patient ;
- l'état oculaire ;

- l'orientation du regard et l'attitude de la tête ;
- l'état général dont la coopération, la vigilance, la compréhension de l'examen, l'émotivité et la fatigabilité.

4) Mesure de l'acuité visuelle

De nombreux tests d'AV existent en vision de loin, cependant d'après la norme ISO 8596⁽¹⁷⁾ il est indispensable d'utiliser des planches d'AV logarithmique. Ces planches présentent une progression uniforme et constante d'une ligne d'AV à l'autre. En revanche dans l'échelle d'acuité morphoscopique de MONOYER ces caractéristiques ne sont pas retrouvées ⁽¹⁶⁾.

En vision de loin et en vision de près nous avons le Cadet (lettres et dessins), le Rossano-Weiss, le Sander-Zalonghi ainsi que l' « Early Treatment Diabetic Retinopathy Study » (ETDRS). Cette dernière échelle d'acuité visuelle d'ETDRS (Early Treatment Diabetic Retinopathy Study) correspondant à une mesure internationale est celle que nous utiliserons dans notre étude.

En vision de près l'échelle de Parinaud ne correspond pas à un test d'acuité visuelle mais plutôt à une capacité de lecture.

5) Early Treatment Diabetic Retinopathy Study

Les échelles d'ETDRS ⁽¹⁸⁾ (Figure 8), représentant l'abréviation « Early Treatment Diabetic Retinopathy Study », sont au nombre de trois, s'utilisent classiquement dans le cadre de basse vision et notamment dans le cas de DMLA.

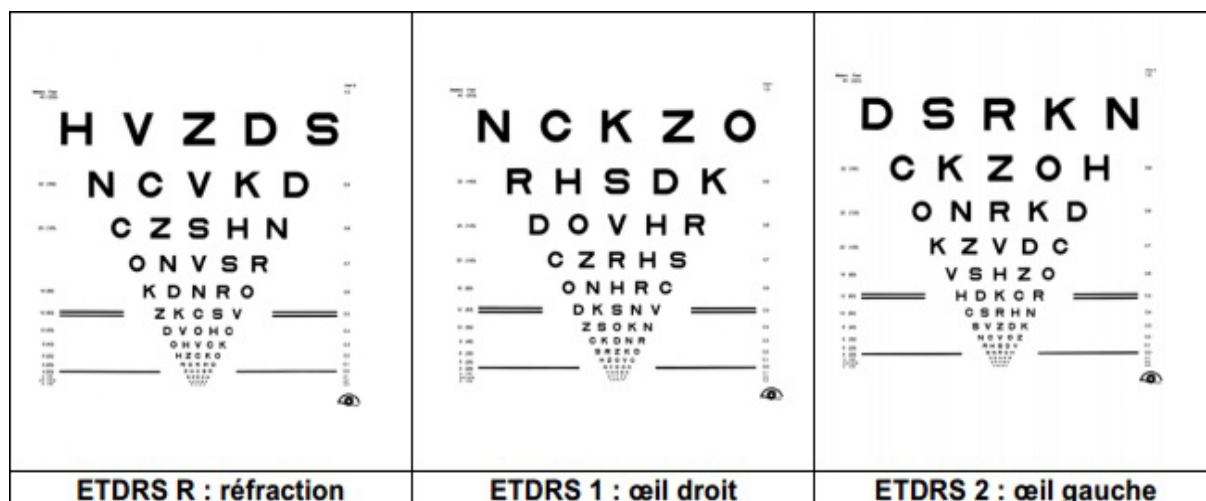


Figure 8: Les différentes échelles « Early Treatment Diabetic Retinopathy Study » : l'échelle R permet de mesurer la réfraction du patient ; L'échelle 1 permet de mesurer la réfraction de l'œil droit et l'échelle 2 celle de l'œil gauche. Chacune d'entre elle présente 14 lignes constituées de 5 lettres. Les lettres de chaque ligne sont séparées par un coefficient constant. L'acuité visuelle de Monoyer se situe sur le côté gauche de l'échelle. L'utilisation de l'ETDRS s'effectue une échelle à la fois et a pour support une boîte lumineuse ⁽¹⁸⁾.

Les conditions d'examen de l'ETDRS sont précises et doivent être rigoureusement respectées.

La lumière doit être éteinte lors de la mesure de l'AV.

Chaque œil doit être testé séparément.

Le patient doit au préalable être placé à 4m du test où l'acuité visuelle s'échelonne entre 1/10e et 20/10e. L'équivalence en AV de Monoyer se situe à gauche de chaque échelle et elle correspond à la dernière ligne lue avec au moins 3 lettres lues sur 5. La réfraction complète en binoculaire s'effectuera à l'aide de l'échelle R.

Dans le cas où l'AV à 4m est inférieure à 2/10e, on approche le test à une distance de 1m et on rajoute un additif de +0,75 à la correction optique et on demande au patient de lire les 6 premières lignes de l'échelle d'ETDRS. L'AV s'échelonnera entre 1/40e et 1/12e.

Il faut encourager le patient à lire le plus de lettres possible et lui dire qu'il ne faut pas hésiter à bouger la tête et les yeux si la lecture est hésitante. Lorsqu'une lettre est correctement lue, l'orthoptiste ou l'ophtalmologiste doit l'entourer sur la feuille d'évaluation indiquant une présentation identique au test utilisé. L'examineur ne

doit jamais corriger les erreurs commises et si le patient se rectifie de lui même, la bonne réponse est acceptée.

Le score final nous permettant d'obtenir le résultat de notre AV qui se qualifie en nombre de lettres correctement lues.

Il existe une équivalence entre l'échelle d'AV de Monoyer et l'échelle internationale en Logmar (Annexe 1).

6) Mesure de la sensibilité au contraste

Afin de mettre à bien notre étude, nous allons effectuer cette mesure grâce au Gradual test ⁽²⁰⁾ (Figure 9). Cet examen apprécie, grâce à des optotypes de fréquences variables, la perception d'optotypes dans trois conditions de luminance. Ce test facile à lire est celui choisi par les militaires pour l'exploration de la vision des contrastes dans différentes conditions de leurs missions.

Il existe cependant d'autres tests permettant de mesurer la sensibilité au contraste tels que le test de Serret, le Side Contrast Sensibility Test (SWCT) et le Pelli-Robson

EXAMEN DE SENSIBILITE AU CONTRASTE

NOM : Date de Naissance : Date de l'examen :
 Prénom : Spécialité :

OEIL DROIT			
LUMINANCE	BASSE	MOYENNE	HAUTE
FREQUENCE 0.1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
0.4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
0.8	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

OEIL GAUCHE			
LUMINANCE	BASSE	MOYENNE	HAUTE
FREQUENCE 0.1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
0.4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
0.8	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Figure 9: Recueil des données du Gradual test

Cette mesure nous informe sur les capacités globales du système visuel en mettant en relation la dimension du stimulus et le contraste de son fond.

Le procédé consiste à présenter au patient un réseau possédant une fréquence spatiale constante en modifiant le contraste. Lorsque le contraste est faible, la plage paraît comme uniforme et c'est à partir d'une certaine valeur que les réseaux apparaissent. Cette dernière se nomme le seuil de sensibilité au contraste. Lors d'un suivi d'amblyopie ou de basse vision cette valeur peut être intéressante à étudier.

V- **Le logiciel REVITALVISION®**

1) **Présentation du logiciel**

a) **Introduction**

Le traitement de l'amblyopie est basé principalement sur une méthode passive pendant la période critique du développement du système visuel (occlusion), cependant certaines études montrent que des méthodes actives seraient également efficaces⁽²¹⁾.

C'est sur ce principe que repose le fonctionnement du logiciel Revitalvision®.

En effet ce logiciel de stimulation du cortex visuel nécessite la coopération du patient et son fonctionnement repose sur le principe de plasticité du cerveau humain permettant une augmentation de l'AV grâce à un apprentissage perceptif.

Le logiciel REVITALVISION® se présente comme étant un logiciel médical permettant d'améliorer la vision de personnes souffrant de troubles dit « durables » tel que la basse vision, les petites amétropies, la presbytie et également l'amblyopie. Ce dernier cas sera le centre de notre étude.

Afin de parvenir à cette amélioration, le programme de rééducation favorise de nouvelles connexions des neurones responsables de la vision à l'aide de stimulation visuelle induite⁽⁴⁾.

Néanmoins il est nécessaire de préciser que ce programme de rééducation ne remplace en aucun cas la méthode passive de l'occlusion pendant la période critique

du développement du système visuelle ⁽²⁾, mais il peut être utilisé en parallèle de l'occlusion de l'enfant, si la coopération le permet.

b) L'utilisation de la plasticité neuronale dans l'amblyopie adulte

Dans le cas de l'amblyopie adulte, nous partons du principe que l'AV n'est plus récupérable après l'âge de 6 ans voir même 10 ans, c'est-à-dire après la période critique du développement du système visuel. Pour ces raisons, il n'existe aucun traitement que l'on pourrait proposer à l'amblyope adulte. Cependant certaines études ont montré qu'une récupération visuelle chez l'amblyope adulte ou après la perte de l'œil « sain » était possible ⁽²²⁾. Cela prouve que l'adulte amblyope présente une plasticité cérébrale après un apprentissage perceptuel. De plus, des études démontrent que la répétition d'exercices a permis, dans certains cas, l'amélioration de l'acuité visuelle atteignant même une acuité visuelle normale. Ce qui permet d'envisager un traitement pour l'amblyopie adulte.

De nouvelles preuves de plasticité cérébrale chez l'adulte atteint d'amblyopie ont été montrées grâce à des études plus contemporaines ⁽²³⁾.

c) L'utilisation de la tâche de Gabor

Denis Gabor (prix Nobel de Physique en 1971) est l'inventeur du filtre de Gabor ou tâche de Gabor. La tâche de Gabor est le produit d'une fonction Gaussienne du sinus et du cosinus. Il permet d'isoler le contour d'une image. Les filtres de Gabor sont couramment utilisés dans des recherches portant sur le traitement des images, ce qui explique son utilisation par le logiciel Revitalvision®. De plus, ces tâches représentent au mieux les champ récepteurs des cellules simples au de l'aire V1 du cortex visuel ⁽²⁰⁾.

d) Le principe d'utilisation

Comme nous l'avons cité précédemment ce nouveau traitement se présente sous la forme d'un logiciel ⁽²⁴⁾.

Le patient va être soumis à plusieurs exigences:

- être à une distance de 1,5 mètres de son écran et dans une pièce sombre, dans un environnement favorisant la concentration;
- occlure, avec un adhésif semi-transparent sur la correction optique, l'œil sain ;
- effectuer 30 à 40 sessions d'exercices visuels sur ordinateur chez soi en monoculaire et une dizaine de sessions en binoculaire ;
- réaliser une session d'exercices durant une demi-heure environ et s'effectuant tous les 2 jours ;
- faire des exercices de stimulation visuelle personnalisés et adaptés à l'acuité visuelle du patient et aux progrès réalisés ;
- exécuter un point réalisé par un professionnel toute les 10 sessions et à mi-traitement une ligne d'AV doit être gagnée.

Les sessions d'entraînement comprennent différents exercices :

- l'exercice de l'image unique : le but étant de déterminer dans une succession de 2 affichages, dans quel encadré se trouve la tache de GABBOR. Il faut cliquer sur le bouton gauche de la souris si elle se trouve dans le premier affichage et à droite si elle est dans le deuxième (Figure 10).

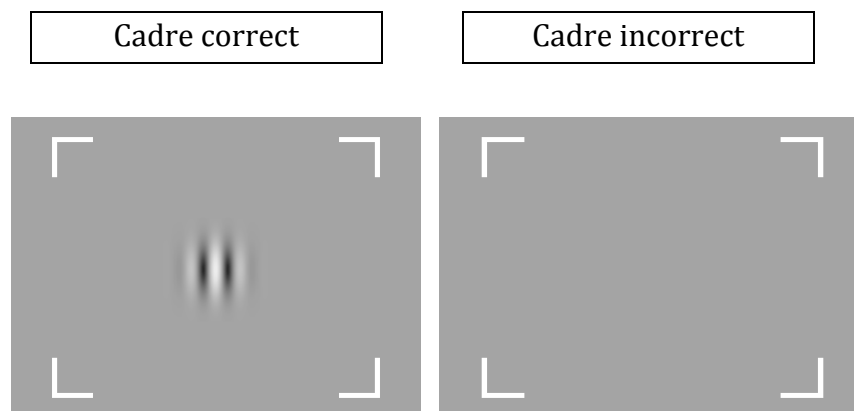


Figure 10: Exercice de l'image unique ⁽²⁴⁾

- L'exercice de l'image triple : le but étant de déterminer dans quel affichage se trouve les 3 images de GABBOR alignée. Il faut cliquer sur le bouton gauche si elles se trouvent dans le premier affichage ou sur le bouton droit si elles se trouvent dans le deuxième (Figure 11).



Figure 11: Exercice de l'image triple ⁽²⁴⁾

- L'exercice de l'image la plus sombre : le but étant de déterminer dans la séquence des 2 images quel affichage présente une tache de GABBOR plus sombre (cadre correct). Il faut cliquer sur le bouton gauche si l'image la plus sombre est perçue sur le premier affichage et sur le bouton droit si elle est perçue dans le deuxième affichage (Figure 12).

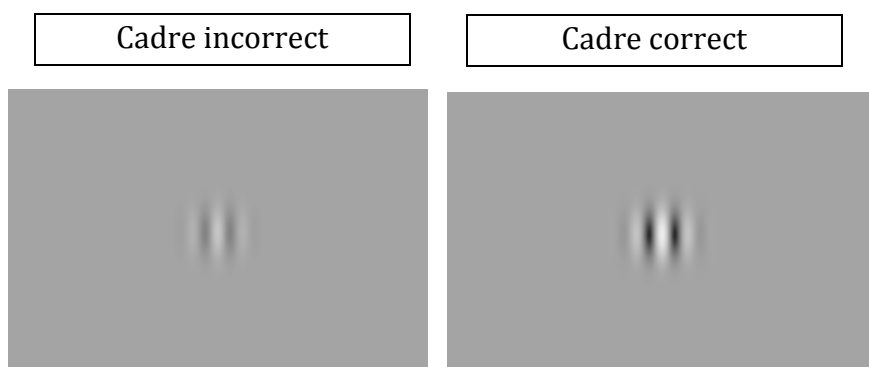


Figure 12: Exercice de l'image la plus sombre ⁽²⁴⁾

- L'exercice de l'image décalée : dans cet exercice consacré uniquement aux cas d'amblyopie, chaque séquence est constitué d'un seul affichage. Il faut répondre correctement quand l'image perçue est décalée (Figure 13):
 - ° Il faut cliquer sur le bouton gauche de la souris quand elle est décalée à gauche et vers le bas;

° Il faut cliquer sur le bouton droit de la souris quand est elle décalée à droite et vers le haut

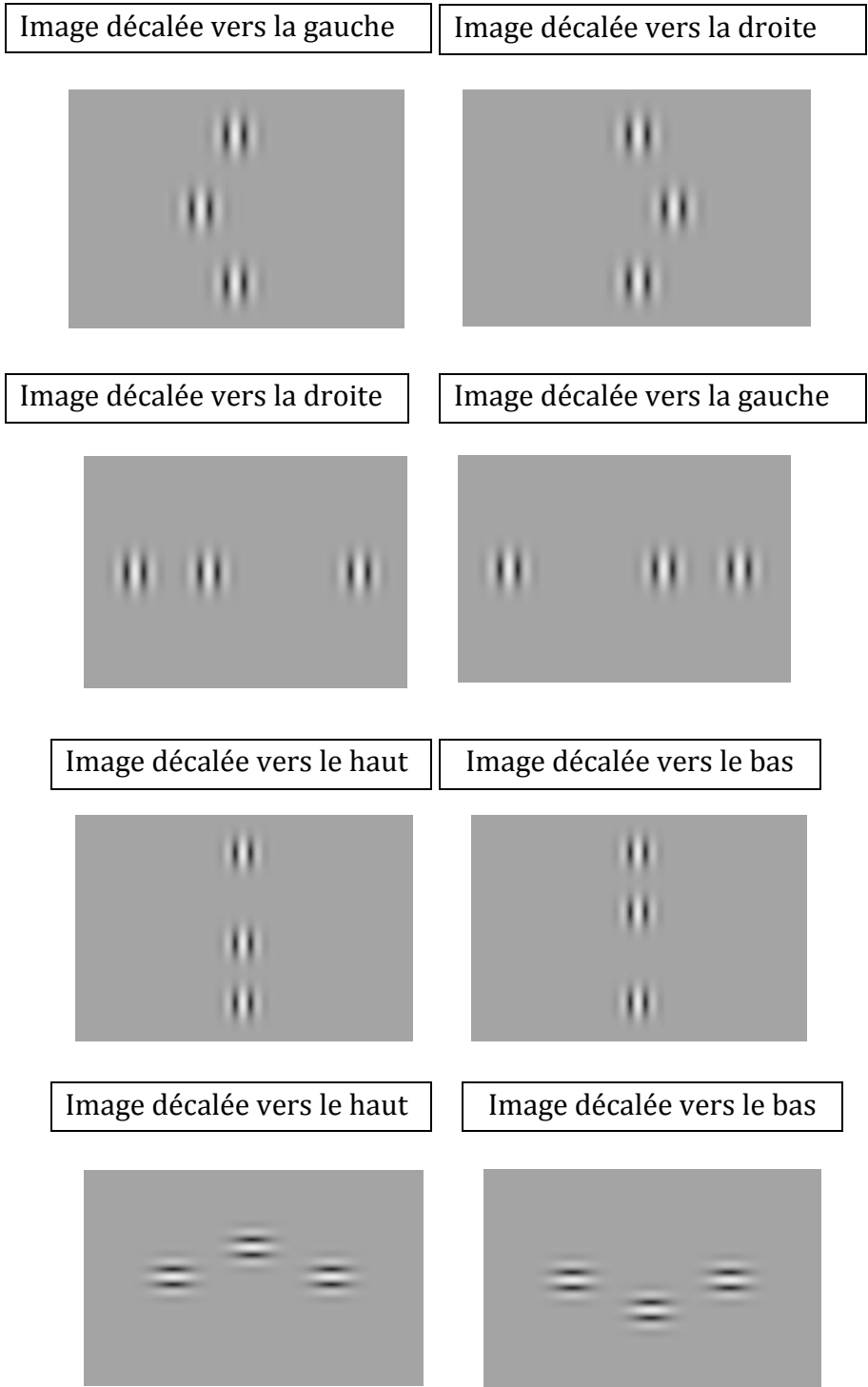


Figure 13: Exercice des images décalées ⁽²⁴⁾

Durant ces différents exercices la taille, l'orientation, le contraste et le temps d'exposition des images peuvent varier.

Dans le cas où le patient n'arrive pas à déterminer la bonne réponse il doit essayer de deviner.

Lorsqu'une réponse n'est pas correcte, un son est émis.

Le système s'adapte en fonction des réponses données par le patient et détecte ses limites visuelles perceptibles. Il adapte le niveau de difficulté selon les réponses reçues afin que le patient demeure constamment dans sa zone de travail.

2) Les conditions d'utilisation

Avant toute chose et pour savoir si le patient peut bénéficier du traitement, il est nécessaire que ce dernier aille faire un bilan au préalable chez un médecin ophtalmologiste et un orthoptiste. Durant cette visite le patient va être soumis à plusieurs examens :

- la réfraction objective ;
- la réfraction subjective ;
- l'examen sous écran ;
- la vergence aux prismes ;
- la motilité oculaire ;
- test de la vision stéréoscopique ;
- la mesure de la pression intraoculaire ;
- l'examen à la lampe à fente ;
- l'examen du fond œil,
- une mise en situation avec une session test de rééducation Revitalvision®.

Ces examens sont nécessaires afin de prévenir tout problème organique au niveau de l'œil qui pourrait être un obstacle à la récupération visuelle, ou de neutralisation qui engendrerait une diplopie chez le patient ⁽²⁵⁾.

Il est de plus essentiel de connaître les antécédents ainsi que les traitements que le patient peut avoir avant de commencer une quelconque rééducation.

Un mois avant le début du traitement le patient doit être équipé d'une correction optique administrée de manière très précise.

Afin de pouvoir bénéficier du traitement de rééducation cérébrale dans le cadre de l'amblyopie, le patient doit être au moins âgé de 9 ans et de plus il devra avoir une AV, sur son mauvais œil, d'au moins 2 lignes d'acuité en dessous par rapport à l'acuité de son meilleur œil sur l'échelle de Monoyer.

La motivation du patient est nécessaire pour effectuer les 40 séances d'une durée de 30 minutes tous les 2 jours afin d'obtenir des résultats significatifs.

Les conditions d'utilisation sont soumises à des critères d'inclusions et d'exclusion très spécifiques que nous développerons dans notre partie empirique.

PARTIE EMPIRIQUE

Introduction

Lorsque le patient effectue certaines sessions d'entraînement, certaines informations concernant les réponses du patient face à une stimulation par une tache de Gabor sont transmises au serveur informatique de Revitalvision®.

D'abord une courbe de progression est envoyée au serveur à chaque fin de session d'entraînement du patient afin d'évaluer une évolution de son AV. Rappelons que le logiciel Revitalvision® s'adapte à chaque réponse du patient afin d'évaluer son seuil perceptif et d'exploiter un maximum sa zone de travail (Figure 14 et Figure 16).

Ensuite, à chaque contrôle d'AV au début, milieu, et fin de traitement ainsi que plusieurs mois après la fin du traitement Revitalvision®, une courbe de progression est établi par le serveur, permettant ainsi de constater une éventuelle efficacité du traitement Revitalvision® (Figure 15 et Figure 17).

Grâce à ces graphiques, deux types d'évolution peuvent être observées.

Un premier type où la récupération de l'AV se fait correctement (Figure 14 et Figure 15), avec une diminution de la taille de la tâche de stimulation au cours des séances (Figure 14) et une AV qui augmente (Figure 15).

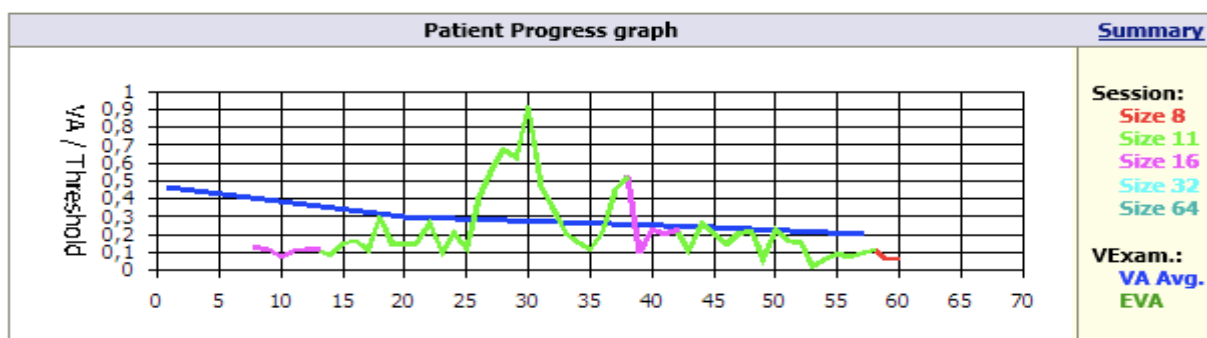


Figure 14: Graphique de progression du patient amblyope au cours des sessions de rééducation lors d'une récupération visuelle correcte. En ordonnée nous pouvons observer l'AV en logmar (échelle internationale) et en abscisse le nombre de sessions. Le code couleur administré à la légende « Session » correspond à différente taille de tâches du stimulus perceptible par le patient. Plus le nombre est grand et plus la tache de Gabor sera grande et inversement. La courbe bleue correspondant à « VA avg » indique l'AV mesurée lors des examens à T0, T1 et T2. Les valeurs sont en Logmar, donc plus les résultats sont proches de 0 plus l'AV augmente.

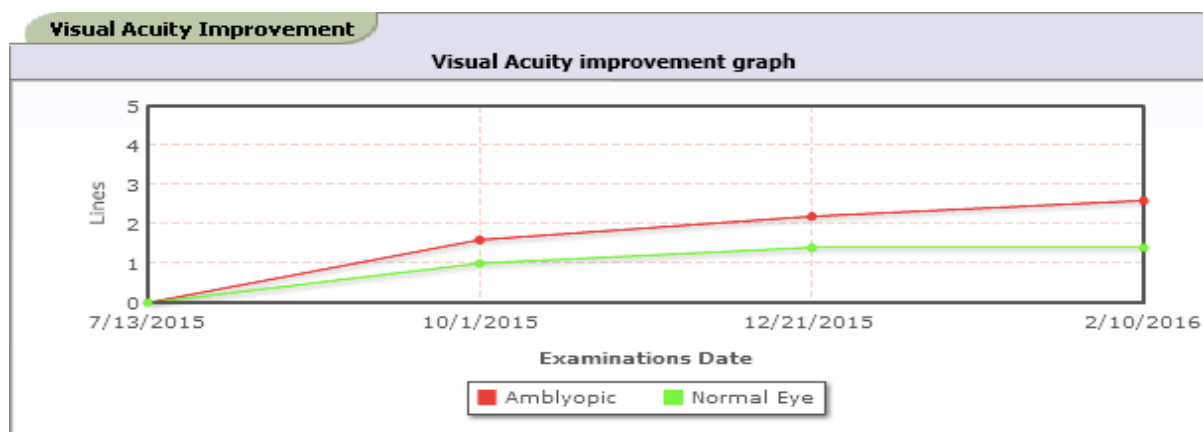


Figure 15: Graphique représentant une récupération correcte de l'AV. L'ordonné désigne le nombre de lignes d'AV visuelle lus en plus, c'est la différence d'AV entre l'examen effectué à la date T1, T2 ou T3 et T0. L'abscisse désigne la date à laquelle a été prise les AV. La courbe en rouge désigne la progression de l'œil amblyope et la courbe en verte désigne celle de l'œil sain.

Un second type où la récupération de l'AV se fait plus difficilement (Figure 16 et Figure 17) avec des tâche de stimulation qui gardent en générale une taille constante tout au long des sessions d'entraînement (Figure 16) et une AV qui peine à augmenter (Figure 17).

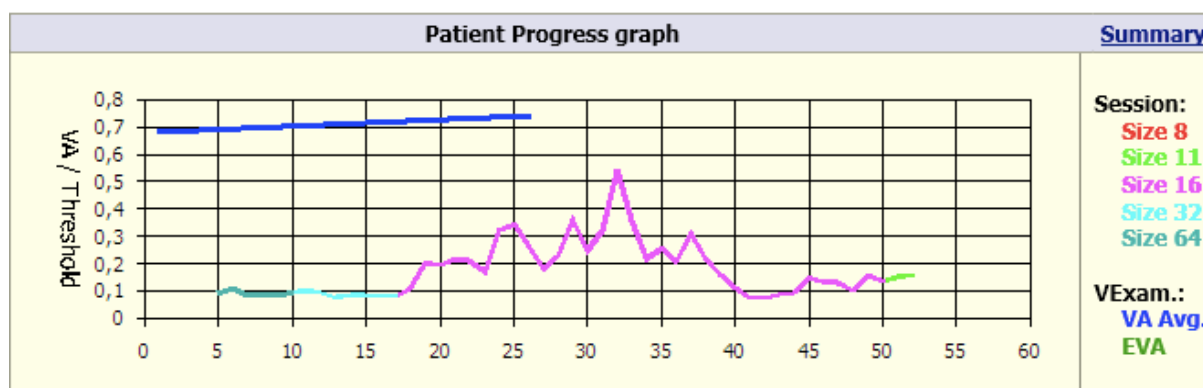


Figure 16: Graphique de progression d'un patient amblyope au cours des sessions de rééducation lors d'une récupération visuelle difficile. En ordonnée nous pouvons observer l'AV en logmar (échelle internationale) et en abscisse le nombre de sessions. Le code couleur administré à la légende « Session » correspond à différente taille de tâches du stimulus perceptible par le patient. Plus le nombre est grand et plus la tâche de Gabor sera grande et inversement. La courbe bleue correspondant à « VA avg » indique l'AV mesurée lors des examens à T0, T1 et T2. Les valeurs sont en Logmar, donc plus les résultats sont proches de 0 plus l'AV augmente.

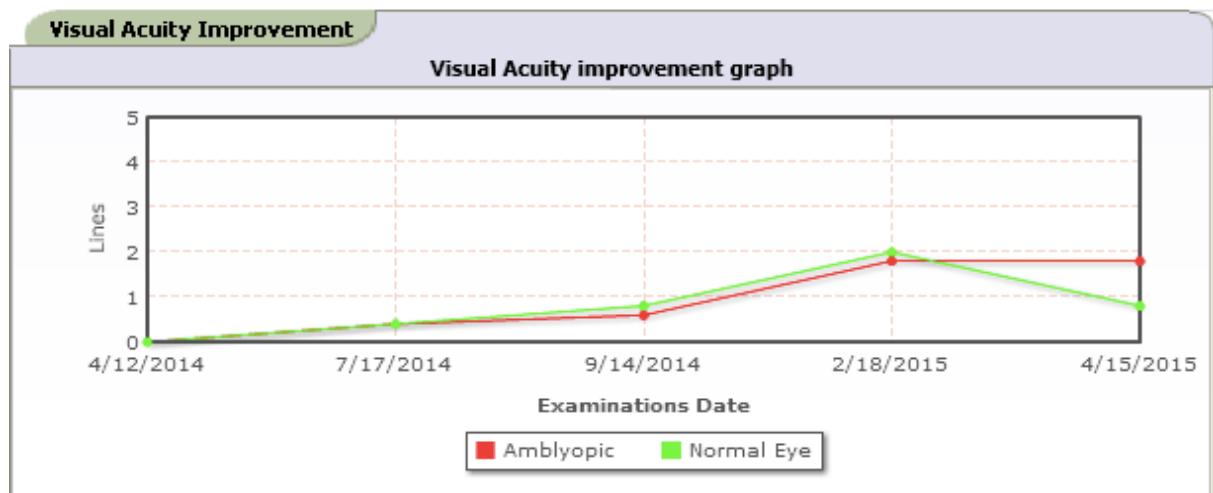


Figure 17: Graphique représentant une récupération difficile de l'AV. L'ordonné désigne le nombre de lignes d'AV visuelle lus en plus, c'est la différence d'AV entre l'examen effectué à la date T1, T2 ou T3 et T0. L'abscisse désigne la date à laquelle a été prise les AV. La courbe en rouge désigne la progression de l'œil amblyope et la courbe en verte désigne celle de l'œil sain

Le logiciel Revitalvision® a donc pour but de permettre une amélioration de la fonction visuelle chez l'adulte amblyope. Pour cela nous allons étudier l'évolution de l'AV et de la vision des contrastes pendant et après les séances de rééducation de patients ayant bénéficié du traitement Revitalvision®.

Les résultats obtenus grâce à ces graphique permettent d'adapter les conditions de rééducation. Grâce à cette méthode, un suivi de près du patient est effectué, puisque nous pouvons constater si les résultats obtenus sont cohérents. Ainsi dans le cas où ces derniers sont aberrants, nous contactons le patient et l'interrogeons sur la bonne compréhension du déroulement des séances de rééducation.

Ainsi grâce aux graphiques de progressions, une adaptation du traitement est réalisée afin de savoir si le patient peut encore progresser ou s'il à atteint le maximum de sa récupération visuelle.

Rappelons néanmoins d'une part que chaque patient termine le traitement de rééducation Revitalvision® par une dizaine de sessions d'entraînement en binoculaire. D'autre part que le nombre de sessions n'est pas fixe puisque nous encourageons le patient à continuer tant que nous jugeons qu'une amélioration de l'AV est encore possible. Le nombre de 40 sessions est donc uniquement théorique.

I- Objectif

L'objectif de cette étude est de déterminer si le logiciel Revitalvision® permet aux patients amblyopes de bénéficier d'une récupération de la fonction visuelle, après la période critique de développement du système visuel, et cela de façon durable.

Pour cela nous allons effectuer deux études parallèles :

- une première reflétant l'évolution de l'AV en début, milieu, et fin de traitement ainsi que plusieurs mois après la fin du traitement Revitalvision® ;
- une deuxième étude démontrant l'évolution de la sensibilité au contraste avant et après le traitement ;

II- Matériel et méthode

1) Type d'étude

Il s'agit d'une étude prospective portées sur 8 patients amblyopes ayant bénéficiés du traitement, dans un cabinet d'ophtalmologie à Toulon entre mai 2013 et mai 2016. Cette étude est menée conjointement entre le cabinet et le centre d'expertise du personnel navigant de l'hôpital militaire de Saint Anne à Toulon.

2) Les critères de jugement

L'AV est la principale donnée que nous allons analyser lors de cette étude. Nous allons la mesurer au début, au milieu, en fin de traitement et plusieurs mois après la fin du traitement lorsque cela est possible. Cette dernière mesure dépendant de l'avancée du traitement pour chacun des patients. Elle va être évaluée à l'aide d'une correction optique adaptée qui aura été préalablement prescrite au patient traité.

Nous noterons alors :

- T0 : l'AV mesurée avant le début du traitement ;
- T1 : l'AV mesurée au milieu du traitement ;
- T2 : l'AV mesurée à la fin du traitement ;
- T3 : l'AV mesurée plusieurs mois après l'arrêt du traitement (allant de 2 à 4 mois).

La récupération de l'amblyopie est évaluée sur la base de la différence entre les AV mesurées de l'œil amblyope, aux temps T0, T1, T2 et T3.

Nous verrons si le traitement de l'œil amblyope n'a pas d'impact sur l'AV de l'œil sain.

La mesure de la sensibilité au contraste est la deuxième donnée que nous allons étudier. Nous allons la mesurer en début et en fin de traitement, c'est-à-dire à T0 et à T3.

Nous étudierons également la sensibilité au contraste de l'œil sain.

3) Sujets étudiés

a) Critères d'inclusion

Les critères d'inclusion au traitement Revitalvision® sont les suivants :

- Patient âgé d'au moins 9 ans.
- Patient avec une amblyopie diagnostiquée.
- Patient avec une meilleure AV corrigée de 2/10 à 6/10 sur l'œil amblyope.
- Pouvant tolérer une correction optique complète (Lentille de contact).
- Pour les patients strabiques, l'angle du strabisme ne doit pas dépasser 8 dioptries prismatiques.
- Le patient doit être intellectuellement intact et apte à suivre des instructions précises.
- Le patient doit être impliqué et motivé.
- Le patient doit être désireux et capable de réaliser toutes les sessions d'entraînement et les visites à la fréquence requise :
 - ° le nombre total de sessions d'entraînement sera de 40 pour les patients atteints d'amblyopie ;
 - ° la disponibilité requise pour effectuer les sessions d'entraînements est en moyenne de 3 sessions par semaines, et au minimum de 9 sessions par mois ;
 - ° aucune interruption prévue excédent 1 semaine au cours du traitement.

b) Les critères d'exclusion

Les critères d'exclusion au traitement Revitalvision sont les suivants :

- Les patients diabétiques non équilibrés.
- Les patients épileptiques.
- Les patients souffrant de migraines chroniques.
- Les femmes enceintes.
- Les patients souffrant de troubles de la concentration ou de troubles de l'attention non traités.

4) Déroulement de l'étude

a) Recueil des données

En dehors des critères d'inclusion et d'exclusion des patients, les données extraites des dossiers sont les suivantes :

- numérotation des patients afin de conserver l'anonymat ;
- l'âge du patient débutant le traitement ;
- AV avant le début du traitement à T0 ;
- AV en milieu de traitement à T1 ;
- AV en fin de traitement à T2 ;
- AV plusieurs mois après le traitement à T3 quand la date de contrôle nous le permet ;
- la mesure de la vision des contrastes à T0 ;
- la mesure de la vision des contrastes à T3 ;

b) Concernant les résultats de la sensibilité au contraste

Le test de la vision du contraste est effectué à l'hôpital militaire de Saint-Anne à Toulon.

Cette étude a donc été menée conjointement avec le Cabinet d'Expertise Médical du Personnel Navigant (CEMPN), sans que le centre d'expertise n'ait connaissance de l'indication ou de l'AV des patients ni de leur stade de traitement.

III- Résultats

1) Données des patients

Le tableau ci-dessous (Tableau 2) représente l'évolution de la meilleure AV corrigée de l'œil amblyope et de l'œil sain, en dixième selon l'échelle de Monoyer, de chaque patient au temps T0, T1, T2 et quand cela était possible au temps T3.

Patient	Sexe	Âge à la date du traitement (en années)	AV œil amblyope (échelle de Monoyer)				AV œil sain (échelle de Monoyer)			
			T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
1	Femme	36	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1	1	1
2	Femme	56	0,4	0,6	0,8	0,6	0,8	1	1	1
3	Femme	46	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1	1
4	Homme	31	0,2	0,4	0,4	0,4	1	1	1	1
5	Femme	12	0,5	0,8	0,8	0,6	1	1	1	1
6	Homme	11	0,6	0,7	0,8	0,5	1	1	0,8	1
7	Homme	36	0,4	0,4	0,4	X	1	1	1,6	X
8	Homme	24	0,8	0,8	1	X	1	1	1	X

Tableau 2: Tableau représentant l'évolution de la meilleure AV corrigée de chaque œil des patients dans le temps

2) L'AV de l'œil amblyope

Le diagramme ci-dessous (Figure 14) représente l'évolution de la meilleure AV corrigée de nos 8 patients au temps T0, T1, T2 et T3 lorsque cela était possible.

L'AV augmente significativement entre le début (T0) et la fin du traitement (T2) (p -value < 0,002) avec une récupération moyenne de 2,1/10e.

L'AV ne reste pas inchangée entre la fin(T2) du traitement et plusieurs mois après (T3) (p-value<0,32).

Le faible échantillon d'étude nous empêche de conclure à une récupération durable significative la date plusieurs mois après le traitement. Néanmoins l'AV reste en majorité (excepté pour le Patient 6) supérieur à la date T3.

Nous n'observons donc pas d'augmentation d'AV significative entre les dates T2 et T3 (p-value<0,06).

Nous pouvons noter néanmoins que la moyenne de récupération entre les dates T0 et T3 est de 1,7/10e, soit une conservation d'environ de 81% de d'AV maximale obtenue grâce au traitement Revitalvision®.

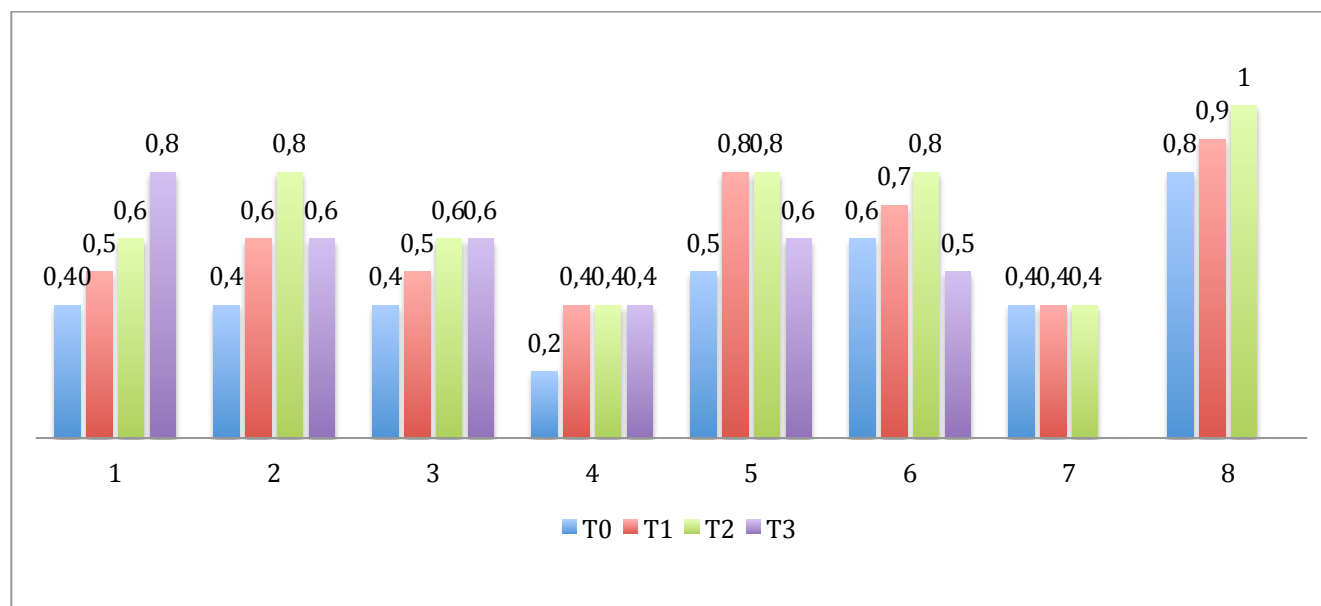


Figure 18: Evolution de l'AV de l'oeil amblyope au temps T0, T1, T2 et T3

3) L'AV de l'œil sain

Le diagramme ci-dessous (Figure 15) représente l'évolution de l'AV de l'œil sain au cours du traitement Revitalvision®.

Nous pouvons constater que l'AV de l'œil sain n'a pas été altérée entre le début et plusieurs mois après l'arrêt du traitement, bien au contraire. Quand celle-ci n'était pas à 10/10e initialement, l'AV de l'œil sain a paradoxalement augmentée à 10/10e et parfois au-delà (patient 7) suite au traitement.

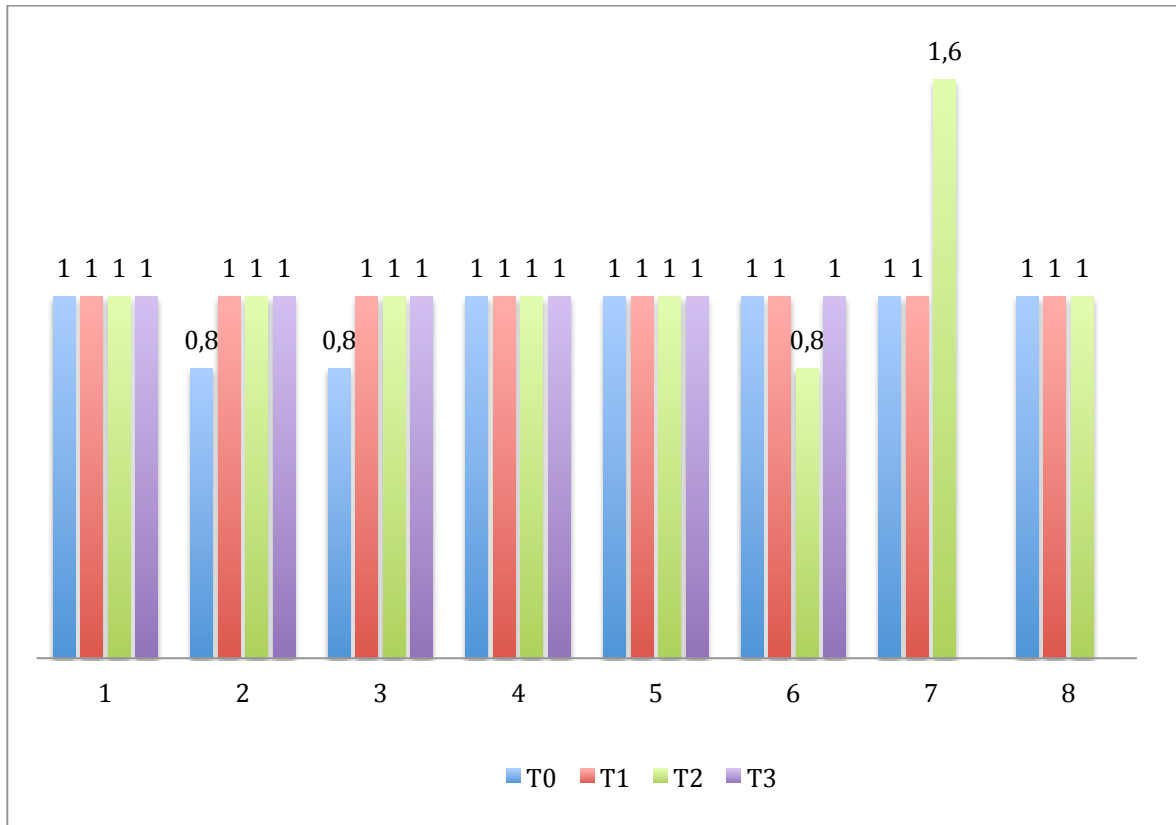


Figure 19: Evolution de l'AV du bon oeil au temps T0, T1, T2 et T3

4) La vision des contrastes de l'œil amblyope

Comme l'indique le diagramme ci-dessous (Figure 16), une amélioration de la vision des contrastes semble être constatée.

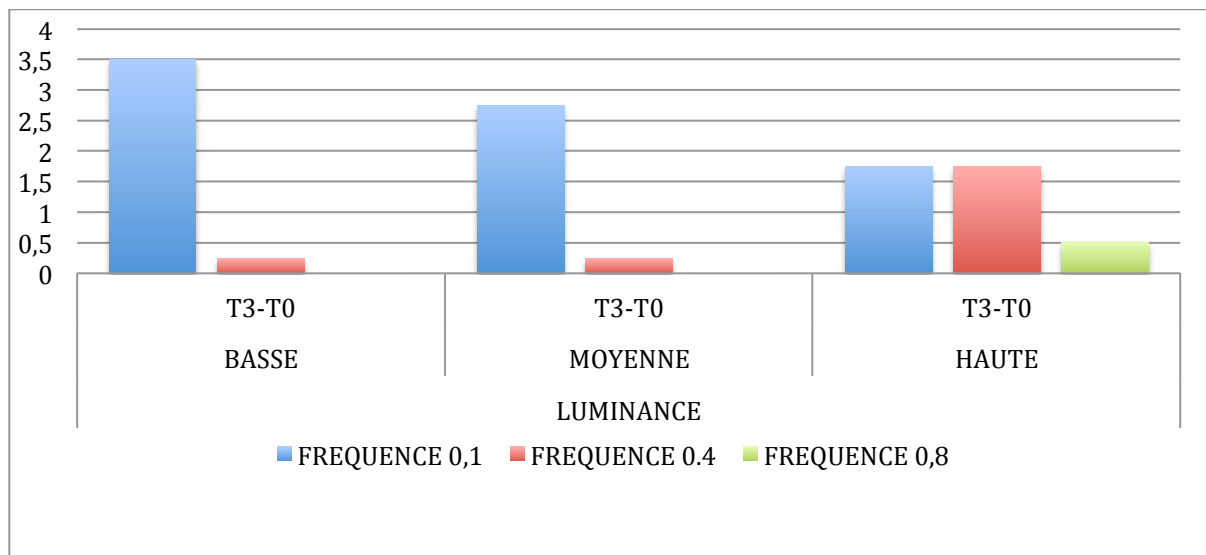


Figure 20: Moyenne de récupération de la vision des contrastes de l'oeil amblyope en fonction de la luminance et de la fréquence

Cependant nous n'observons pas d'amélioration significative de la sensibilité aux contrastes (Tableau 3) dû au faible échantillon d'examen (n=4).

Tableau 3: Tableau statistique de l'évolution de la sensibilité au contraste de l'oeil amblyope

Fréquence (en cycle par degré d'angle)	Luminance		
	Basse	Moyenne	Haute
0,1	p-value > 0,14	p-value > 0,64	NON CALCULABLE
0,4	p-value > 0,062	p-value > 0,39	NON CALCULABLE
0,8	p-value > 0,070	p-value > 0,40	p-value > 0,18

5) Vision des contrastes de l'œil sain

Le diagramme ci-dessous (Figure 17) représente la moyenne de récupération de la vision des contrastes de l'œil sain de chaque patient. Nous constatons la sensibilité au contraste qui semble s'améliorer en générale excepté pour des fréquences de 0,8 cycles par degré d'angle, à moyenne et haute luminance, où la vision des contraste de l'œil sain semble avoir diminuée.

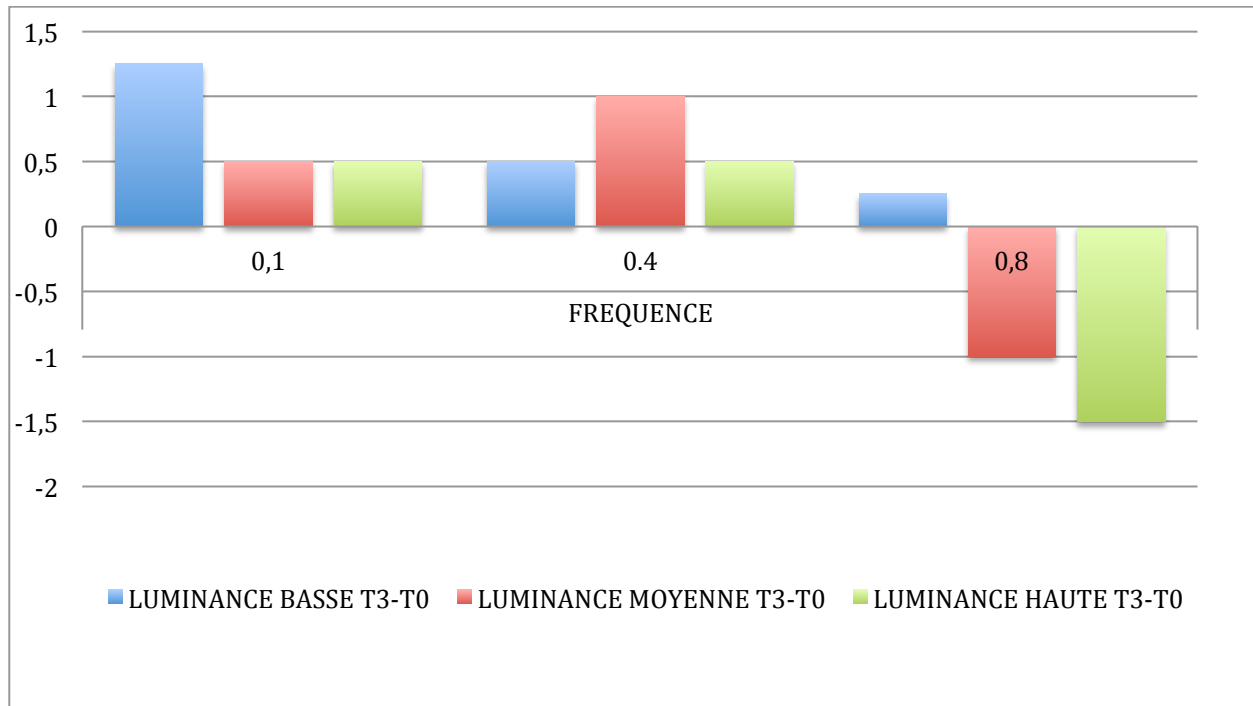


Figure 21: Moyenne de récupération de la vision des contrastes de l'oeil sain en fonction de la luminance et de la fréquence

Cependant les baisses ou les hausse de la sensibilité au contraste ne peuvent pas être interprétés significativement (Tableau 4).

Tableau 4: Tableau statistique de l'évolution de la sensibilité aux contrastes de l'oeil sain

Fréquence (en cycle par degré d'angle)	Luminance		
	Basse	Moyenne	Haute
0,1	p-value > 0,80	p-value > 0,18	p-value > 0,39
0,4	p-value > 0,60	p-value > 0,18	p-value > 0,18
0,8	p-value > 0,72	p-value > 0,49	p-value > 0,54

IV- Discussion

1) Sélection des dossiers

L'étude a été effectuée à partir de données prospectives issues des dossiers de patients complets ou en cours de traitement à la date de l'étude.

Les dossiers des patients étudiés ont été sélectionnés selon les critères d'inclusion et d'exclusion cités précédemment. La liste a été modifiée tout au long de l'année scolaire d'étude variant selon le nombre de patients bénéficiant du traitement Revitalvision®.

Nous avons été confronté à certain cas ne correspondant pas forcément aux critères d'inclusion et d'exclusion, et ayant tout de même bénéficié du traitement Revitalvision®, dont les principaux sont les suivant :

- Patient amblyopique strabique de plus de 8 dioptries prismatique insistant pour essayer le traitement malgré les risques de diplopie après et pendant le traitement (Patient 1).
- Patient ayant une AV de 8/10e sur son œil amblyope avant le traitement Revitalvision® et souhaitant bénéficier du traitement (Patient 8).

Pour les cas cités précédemment, nous devons souligner que ce sont les patients eux mêmes qui ont souhaité bénéficier du traitement Revitalvision®.

2) L'AV de l'œil amblyope

Malgré un échantillon faible nous pouvons constater une augmentation significative de l'AV en moyenne de 2,1/10e entre le début et la fin du traitement ($p\text{-value} < 0,002$). Cela exprime sans doute une augmentation de l'adaptation au traitement et une augmentation des connexions neuronales dans le cortex visuel pendant le traitement⁽¹⁾.

Les résultats obtenus confirment les données annoncées par Revitalvision®⁽⁴⁾.

Plusieurs mois après la fin du traitement nous observons en moyenne une diminution de l'AV restant toujours au dessus de celle mesurée en début de traitement. A l'exception de 2 patients :

- le premier (patient 6) qui a une AV inférieure à celle mesurée en début de traitement. Nous pouvons nous demander si les conditions d'examens de la prise d'AV ont été respectées et si ces dernières ont été effectuées dans des modalités égales. Lorsque nous observons de plus près le dossier du patient, nous constatons que la coopération était difficile et que le sujet était agité;
- le deuxième (patient 7) ne récupère pas en AV. Lors de l'analyse du dossier, nous observons que le patient a été confronté à une rupture d'une suture cornéenne suite à une plaie entre les dates T0 et T1, pouvant être un obstacle à une récupération visuelle. En effet nous pouvons en déduire que des variations anatomiques du globe oculaire au cours du traitement sont un obstacle à une progression de l'AV.

Nous constatons que les AV de nos sujets les plus jeunes ont tendance à baisser fortement à la date T3. Néanmoins ce sont celles qui augmentent le plus rapidement également pendant le traitement. La question de la mise en place de quelques sessions d'entretien après le traitement serait peut être envisageable afin de

conserver l'AV gagnée pendant le traitement, dans le cas où la coopération du patient ne justifie pas cette baisse.

3) L'AV du bon œil

Lors de cette étude, l'AV des deux yeux a été mesurée au temps T0, T1, T2 et T3 dans la mesure du possible.

Nous pouvons observer d'une part que l'AV du bon œil n'est pas altérée et qu'elle demeure fixe durant le traitement lorsqu'elle est à l'origine à 10/10e. D'autre part nous observons une augmentation paradoxale de l'AV du bon œil chez certains patients qui était inférieure à 10/10e au temps T0.

Nous pouvons noter en plus que celle-ci est conservée plusieurs mois après l'arrêt du traitement.

Nous remarquons également chez le patient 7, une amélioration consécutive de l'AV de l'œil sain (1,6/10e à la date T2) malgré le fait que l'œil amblyope n'ait pas récupéré. Rappelons néanmoins que durant le traitement l'œil amblyope du patient a subi une rupture de suture cornéenne empêchant une récupération convenable de l'AV.

Le passage à la stimulation binoculaire de fin de traitement a donc favorisé l'augmentation de l'AV du bon œil au détriment de l'œil endommagé pendant le traitement. Suite à un tel résultat, nous confirmons le fait que le logiciel permet bien une hausse de l'AV en créant de nouvelles connexions, mais que celle-ci ont certaines limites dont la nécessité de certaines conditions anatomiques constantes du globe oculaire durant le traitement.

Par conséquent, notons que l'AV du bon œil n'est pas atteinte suite au traitement Revitalvision®. De plus cette dernière a tendance à augmenter lorsqu'elle est inférieure à 10/10e au début du traitement (T0).

4) La vision des contrastes

La qualité de la vision des contrastes de l'œil amblyope n'augmente pas de manière significative. Le faible échantillon (n=4) pour cette étude est le principal frein pour obtenir des résultats fiables et interprétables.

Suite aux mesures que nous avons recueillies à propos de la qualité de la vision des contrastes, nous ne pouvons conclure compte tenu du faible échantillon que nous avons (n=4). Par conséquent nous ne pouvons en retenir ni une augmentation, ni une diminution significative de la vision des contrastes après le traitement par Revitalvision® sans avoir d'avantages d'examen.

Notons cependant une étude scientifique démontre que, suite à un traitement de l'apprentissage perceptif chez des patients amblyopes, la vision des contrastes est significativement améliorée après le traitement⁽²⁵⁾.

5) Cas particulier durant l'étude

Durant notre étude nous avons été confronté à un sujet particulier (patient 4).

Ce patient voulait bénéficier d'une chirurgie réfractive pour pallier à son problème d'amblyopie dû à une anisométrie.

Son œil droit est emmétrope mais son œil gauche est astigmatique de plus de 6 dioptries. La chirurgie réfractive lui étant peu bénéfique pour une telle amétropie, il lui a donc été conseillé d'entreprendre des séances de rééducation Revitalvision® afin de compenser une partie de son astigmatisme.

Au terme du traitement, le patient pouvait compenser la moitié de son astigmatisme.

Suite à de tels résultats, une chirurgie réfractive a pu être envisagée et effectuée.

Aujourd'hui le patient possède une AV de 10/10e à chaque œil sans correction.

CONCLUSION

Par conséquent nous pouvons conclure que l'apprentissage perceptuel permet une amélioration de l'AV significative entre le début et la fin du traitement Revitalvision®. Cependant, même si nos résultats démontrent principalement une récupération de l'AV qui perdure plusieurs mois après la fin du traitement, le faible échantillon que nous disposons ne démontre pas une amélioration significative plusieurs mois après la fin du traitement. Il aurait fallu un échantillon plus élevé.

En vu de la méthode de rééducation encore récente et peu connue, nous avons eu beaucoup de peine à réunir le nombre de dossiers souhaités ainsi que toutes les données nécessaires pour chaque patient. Le temps fut la principale limite de cette recherche, puisque certains patients ont commencé le traitement pendant cette année d'étude et la réunion de toutes les données à la date T3 a été compromise.

Le rassemblement des résultats concernant la vision des contrastes a été notamment très difficile à effectuer ce qui explique un nombre relativement faible des résultats obtenus.

De plus nous devons relever plusieurs limites à cette étude.

Pour les cas limites, nous pouvons nous interroger sur plusieurs points :

- si les prises d'AV sont effectuées dans les mêmes conditions d'une mesure à l'autre ;
- si le patient est assez motivé pour entreprendre les sessions de rééducations correctement ;
- si le patient est coopérant lors de la mesure de l'AV ;
- si des modifications anatomiques de globe oculaire au cours du traitement ne présente pas un frein à la récupération visuelle .

Nous pouvons rajouter également qu'il nous est impossible de tirer une conclusion concernant l'amélioration de la vision des contrastes suite à cette étude. En effet

nous avons eu beaucoup de difficulté à réunir un nombre nécessaire de résultats (n=4) conduisant à des résultats peu interprétables.

Cependant des études antérieures ⁽²⁵⁾ nous ont affirmées qu'un apprentissage perceptif permettait, à un sujet amblyope, une amélioration de la vision des contrastes.

En dehors d'une amélioration visuelle de l'AV certaine, les patients ont constaté une baisse de leurs signes fonctionnels.

Les sujets se plaignent moins, de maux de têtes, de fatigue visuelle, de photophobie ou de diplopie lorsqu'ils ont été présents.

Ils remarquent également un meilleur confort visuel à la lecture ou à la conduite, avec une amélioration de la perception des distances et de la vision des contrastes.

Durant notre étude nous avons noté que 7 patients sur 8 ont été satisfait des retombés du traitement, car ils ont remarqué une diminution et parfois la disparition de leurs signes fonctionnel.

Nous notons également que de nombreux patients continuaient à effectuer certaines sessions d'entraînements après la fin du traitement, elles semblent leur apporter un confort.

Bien que nous ayons de bons résultats avec ce traitement, d'autres études de cette technique et un suivi plus long sur plusieurs années sont nécessaires afin d'évaluer l'efficacité de cette nouvelle prise en charge.

Notons tout de même qu'il a été prouvé que l'apprentissage perceptuel permettait une amélioration durable de la fonction visuelle dont l'AV⁽²⁵⁾.

En somme, nous pouvons affirmer que cette récupération est propre à chacun, que les patients récupèrent différemment. En présence de ces cas limites, la motivation du patient est une condition nécessaire afin de maximiser les chances d'une amélioration de l'AV satisfaisante, car cette dernière peut mettre du temps à être obtenue ⁽⁴⁾.

L'apprentissage perceptif n'est pas uniquement utilisé pour les cas d'amblyopie et peut être utilisé en complément (exemple du patient 4).

En effet le logiciel Revitalvision® possède un éventail d'utilisation assez large et peut également être servi afin d'améliorer la vision de certains sujets amétropes (astigmatisme, myopie), sujets souffrant de basse vision, après une chirurgie réfractive, après une chirurgie de cataracte, pour la supravision, ou pour une presbytie débutante.

Suite à de tels résultats, nous pouvons envisager l'élaboration d'autres logiciels de stimulation visant différentes zones du cerveau humain. En effet, les taches de Gabor sont les stimuli employés de façon générale en neuroscience dans d'autres champs de recherche que visuelle, il serait donc intéressant d'étudier l'efficacité de stimuli visant à une amélioration de la perception sensorielle autre que visuelle tel que la mémoire ou l'audition. Ces méthodes nous permettraient donc d'exploiter un maximum notre potentiel de plasticité cérébrale.

ANNEXES

Annexe 1: Tableau de correspondance des différentes notations de l'acuité visuelle en vision de loin ⁽²⁶⁾

(VBLM : voit bouger la main ; CLD : compte les doigts ; m : mètre)

A= angle visuel (minute d'arc)	Valeur LogMar	Notation Monoyer	Fraction décimale	Notation de Snellen				Score ETDRS	Notation en cycle par degré (réseaux sinusoïdaux de luminance)
Notation indépendante de la distance				Notation dépendante de la distance de mesure				Notation indépendante de la distance	
				4m	5m	6m	20 pieds		
200	+ 2,3	1/200 (VBLM)	0,005				20/4000		
120	+ 2,1	1/120	0,008	4/480		6/720	20/2400		0,25
100	+ 2	1/100 (CLD à 30 cm)	0,010	4/400	5/500	6/600	20/2000		0,3
80	+ 1,9	1/80	0,0125	4/320	5/400	6/480	20/1600		0,375
60	+ 1,8	1/60	0,016	4/240	5/320	6/360	20/1200		0,5
50	+ 1,7	1/50 (CLD à 1m)	0,020	4/200	5/240	6/300	20/1000		0,6
40	+ 1,6	1/40	0,025	4/160	5/200	6/240	20/800	5	0,75
30	+ 1,5	1/30	0,033	4/120	5/150	6/180	20/600	10	1
25	+ 1,4	1/25	0,04	4/100	5/125	6/150	20/500	15	1,2
20	+ 1,3	1/20	0,05	4/80	5/100	6/120	20/400	20	1,5
16	+ 1,2	1/16	0,063	4/63	5/80	6/95	20/320	25	1,88
12,50	+ 1,1	1/12	0,08	4/50	5/63	6/75	20/250	30	2,4
10	+ 1	1/10	0,10	4/40	5/50	6/60	20/200	35	3
8	+ 0,9	1,25/10	0,125	4/32	5/40	6/48	20/160	40	3,75
6,30	+ 0,8	1,6/10	0,16	4/25	5/32	6/38	20/125	45	4,8
5	+ 0,7	2/10	0,20	4/20	5/25	6/30	20/100	50	6
4	+ 0,6	2,5/10	0,25	4/16	5/20	6/24	20/80	55	7,5
3,20	+ 0,5	3,2/10	0,32	4/12,5	5/16	6/19	20/63	60	9,4
2,50	+ 0,4	4/10	0,40	4/10	5/12,5	6/15	20/50	65	12
2	+ 0,3	5/10	0,50	4/8	5/10	6/12	20/40	70	15
1,60	+ 0,2	6,3/10	0,63	4/6,3	5/8	6/9,5	20/32	75	18,75
1,25	+ 0,1	8/10 (7/10)	0,80	4/5	5/6,3	6/7,5	20/25	80	24
1	0	10/10 (9/10)	1	4/4	5/5	6/6	20/20	85	30
0,80	- 0,1	12,5/10	1,25	4/3,2	5/4	6/4,8	20/16	90	37,5
0,63	- 0,2	16/10	1,6	4/2,5	5/3,2	6/3,8	20/12,5	95	48
0,50	- 0,3	20/10	2	4/2	5/2,5	6/3	20/10	100	60

BIBLIOGRAPHIE

1. Tsirlin I, Colpa L, Goltz H, Wong A. Plasticity in adult amblyopia: a meta-review and analysis. *J Vis.* 1 sept 2015;15(12):656.
2. Suttle CM. Active treatments for amblyopia: a review of the methods and evidence base. *Clin Exp Optom.* sept 2010;93(5):287-99.
3. News PCO, 2012 O. Amblyopia therapy options expand beyond patching for children and adults | Primary Care Optometry News [Internet]. [cité 6 févr 2016]. Disponible sur: <http://www.healio.com/optometry/primary-care-optometry/news/print/primary-care-optometry-news/%7B179c76f6-5bb9-47ba-babd-d4af46af5b60%7D/amblyopia-therapy-options-expand-beyond-patching-for-children-and-adults>
4. RevitalVision aide le cerveau à mieux voir | Acuité [Internet]. [cité 9 oct 2015]. Disponible sur: <http://www.acuite.fr/acuite-tv/sante/31609/revitalvision-aide-le-cerveau-mieux-voir>
5. Yalcin E, Balci O. Efficacy of perceptual vision therapy in enhancing visual acuity and contrast sensitivity function in adult hypermetropic anisometropic amblyopia. *Clin Ophthalmol Auckl NZ.* 2014;8:49-53.
6. Almodin J, Almodin F, Almodin E, Amigo MHL, Furoni MB, Cvintal T. Training system for visual improvement: RevitalVision. *Rev Bras Oftalmol.* déc 2013;72(6):406-10.
7. Les photorécepteurs [Internet]. [cité 29 déc 2015]. Disponible sur: <http://tpe1stdvbce.e-monsite.com/pages/retine-naturelle-humaine/1-qu-est-ce-que-des-photorecepteurs.html#>
8. spectre_photorecepteurs2.jpg (Image JPEG, 1000 × 600 pixels) [Internet]. [cité 8 févr 2016]. Disponible sur: http://raymond.rodriquez1.free.fr/Documents/Organisme-A/Vision/spectre_photorecepteurs2.jpg
9. La rétine [Internet]. [cité 2 févr 2016]. Disponible sur: <http://p.jean2.pagesperso-orange.fr/anat/oeil32.htm>
10. LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX! [Internet]. [cité 4 févr 2016]. Disponible

sur: http://lecerveau.mcgill.ca/flash/d/d_02/d_02_cl/d_02_cl_vis/d_02_cl_vis.html

11. Li RW, Ngo C, Nguyen J, Levi DM. Video-game play induces plasticity in the visual system of adults with amblyopia. *PLoS Biol.* août 2011;9(8):e1001135.
12. Tsirlin I, Colpa L, Goltz H, Wong A. Plasticity in adult amblyopia: a meta-review and analysis. *J Vis.* 1 sept 2015;15(12):656-656.
13. Amblyopie et son traitement [Internet]. [cité 11 févr 2016]. Disponible sur: <http://www.afsop.fr/ressources/fiches-pratiques/2093-amblyopie-et-son-traitement>
14. Clenet M-F, Hervault C, Pouliquen Y. Guide de l'orthoptie. Issy-les-Moulineaux: Elsevier-Masson; 2013.
15. Jeanrot N, Jeanrot F, Spielmann A. Manuel de strabologie aspects cliniques et thérapeutiques. Paris: Elsevier-Masson; 2011.
16. Acuité visuelle I SNOF.
17. ISO 8596:2009 - Optique ophtalmique -- Essai d'acuité visuelle -- Optotype normalisé et sa présentation [Internet]. [cité 8 févr 2016]. Disponible sur: http://www.iso.org/iso/fr/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52487
18. échelle d'etdrs [Internet]. [cité 1 févr 2016]. Disponible sur: <http://www.ophtalmo.net/bv/Doc/2002-6150-XZ-ETDRS.pdf>
19. Foundation Volume 2, Chapter 17. Evaluation of Visual Function [Internet]. [cité 6 févr 2016]. Disponible sur: <http://www.oculist.net/downat0502/prof/ebook/duanes/pages/v8/v8c017.html>
20. mémoire de stage revival vision [Internet]. [cité 29 oct 2015]. Disponible sur: <http://www.revitalvision.fr/wp-content/uploads/2015/01/04.2014-Am%C3%A9lioration-du-traitement-c%C3%A9r%C3%A9bral-du-signal-visuel-%C3%A0-laide-de-RevitalVision-Quentin-DEBOVE.pdf>
21. Li RW, Ngo C, Nguyen J, Levi DM. Video-game play induces plasticity in the visual system of adults with amblyopia. *PLoS Biol.* août 2011;9(8):e1001135.
22. Xi J, Jia W-L, Feng L-X, Lu Z-L, Huang C-B. Perceptual Learning Improves Stereoacuity in Amblyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* avr 2014;55(4):2384-91.
23. Almodin J, Almodin F, Almodin E, Amigo MHL, Furoni MB, Cvintal T. Training system for visual improvement: RevitalVision. *Rev Bras Oftalmol.* déc 2013;72(6):406-10.

24. RevitalVision User Guide - RevitalVision_UserGuide-FR.pdf [Internet]. [cité 6 févr 2016]. Disponible sur: http://www.revitalvision.fr/wp-content/uploads/2013/04/RevitalVision_UserGuide-FR.pdf
25. Yalcin E, Balci O. Efficacy of perceptual vision therapy in enhancing visual acuity and contrast sensitivity function in adult hypermetropic anisometropic amblyopia. Clin Ophthalmol Auckl NZ. 2014;8:49-53.
26. tableau correspondance ETDRS et AV [Internet]. [cité 2 févr 2016]. Disponible sur: http://www.metrovision.fr/pdf/2003_zanlonghi.pdf