

THÈSE

En vue de l'obtention du diplôme de
Doctorat LMD

Spécialité : Optométrie

Présentée par : **Boulezazen Assia**

Effet de verre prismatique sur l'hétérophorie avec disparité de fixation.

Soutenue publiquement le X X X X X devant le jury composé de :

Pr. MAHMOUDI Khadija	Univ.Oran1-A.B	Présidente
Pr. BENCHOUK Kheireddine	Univ.Oran1-A.B	Examineur
Pr. FERRIA Kouider	Université Sétif	Examineur
Pr. SEKKAL Nadir	Ecole Nationale Polytechniques d'Oran	Examineur
Pr. CHIALI Selma	Univ. Oran1-A.B	Directrice de thèse
Pr. KAIL Fatiha	Univ.Oran1-A.B	Co-directrice de thèse
Pr. Kahouadji EL Amine	Clinique yousr El Bassar, Oran	Membre invité

Table des matières

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Première partie

Synthèse de l'état de l'art

Chapitre I : Coordination des Mouvements Oculaires : une dominance Oculaire à considérer

Introduction	4
I. Les bases d'Ibn al-Haytham sur la vision binoculaire	4
I.1 La notion de point correspondant	4
I.2 La détermination de l'horoptère	5
I.3 L'aire fusionnelle de Panum.....	6
II. Les mouvements oculaires	7
II. 1 Description fonctionnelle des différents mouvements des yeux	7
II. 2 Les différentes classes de mouvements oculaires	7
II.2.1 Les mouvements impliqués dans cette thèse.....	7
II.2.1.1 La fixation visuelle	7
II.2.1.2 Les vergences	7
II.2.2 Les autres mouvements	9
II.2.2.1 Les réflexes vestibulo-oculaires	9
II.2.2.2 Le réflexe optocinétique	9
II.2.2.3 La saccade	9
II.2.2.3 La poursuite	10
II. 3 Caractéristiques des vergences	10
II. 4 Les vergences fusionnelles et méthodes de mesure	11
II.4.1 Mesure des vergences fusionnelles horizontales	12
II.4.2 Mesure des vergences fusionnelles verticales	13
II.4.3 Le critère de Sheard.....	14
III. Moyen d'exploration	15
III. 1 Enregistrements des mouvements oculomoteurs	15
III. 2 Différents types d'enregistrement.	15
III.2.1 L'électro-oculographie	15
III.2.2 L'enregistrement galvanométriques par coils scléaux	16
III.2.3 L'enregistrement par analyse du reflet cornéen et la photo-oculographie.....	16
III.2.4 La vidéo-oculographie	17

III.3 Technique vidéo oculographie eyetracker	18
IV. La dominance oculaire	19
IV.1 Différents types de dominance oculaire	19
IV. 2 Asymétrie de la structure maculaire associée à la dominance oculaire	20
Conclusion.....	21

Chapitre II: Vergence et disparité de fixation en 3D

Introduction	23
I. Généralités	23
I.1. Orthophorie	23
I.2. La phorie dissociée	23
I.3. La phorie associée.....	23
II. Hétérophorie	23
II.1. Signes fonctionnels des hétérophoriques.....	24
II.1.1. Hétérophories bien compensées	24
II.1.2. Hétérophories mal compensées ou décompensées	24
II.2. Catégories et étiologie de l'hétérophorie.....	25
II.2.1. Hétérophories horizontales	25
II.2.1.1. L'ésophorie.....	25
1 Esophorie d'insuffisance de divergence.....	26
2 Esophorie d'excès de convergence	26
3 Esophorie basique	27
1 Exophorie d'insuffisance de convergence.....	27
2 Exophorie d'excès de divergence.....	28
II.2.2. Hétérophories verticales et cyclophorie	28
II.2.2.1. L'hyperphorie	28
II.2.2.2. La cyclophorie	29
II.3. Prise en charge des phories	29
II.3.1. Entrainement visuel	30
II.3.1.1. Entrainement des réserves par les systèmes à prismes variables	31
II.3.2. Prise en charge de l'ésophorie	31
II.3.3. Prise en charge de l'exophorie.....	33
II.3.3.1. Exophorie d'insuffisance de convergence	33
II.3.3.3. Exophorie basique	34

II.3.4. Hyperphorie	34
II.4. Hétérophorie et AC/A.....	35
III. La disparité de fixation.....	37
III.1. La relation entre phorie et disparité de fixation	38
III.2. Formes cliniques de disparités de fixation	39
III.2.1. La disparité de fixation subjective	39
III.2.2. La disparité de fixation objective	39
III.3. Analyse des disparités de fixation : approches sensorielles et motrices	40
III.4. Moyen d'évaluation de la disparité de fixation.	40
III.4.1. La disparité de fixation subjective.	40
III.4.2. La disparité de fixation objective	41
III.5. Evaluation de la disparité de fixation avec vidéo eye tracker : Monoculaire versus binoculaire calibration.....	42
III.6. Mesure de vergence et disparité de fixation en 3D : calculs mathématiques	44
III.6.1. Équations de disparité de fixation	48
III.6.1.1. Équation de la disparité de fixation résultante	49
Conclusion	50

Chapitre III: Effet de prisme sur l'hétérophorie avec disparité de fixation

Introduction	51
I. Les prismes en pratique optométrique.	51
I.1. Les verres conventionnels.....	51
I.2. Les prismes de Fresnel ou «Wafer Prisms»	52
I.3. Les prismes souples de Jampolsky ou «Press-on».....	52
I.4. Le décentrement de verre optique.....	52
II. Effet sensori-moteurs du prisme.....	53
III. Prisme indication et puissance	54
III.1. Indication.....	54
III.2. Puissance	55
IV. Test de disparité de fixation de Mallett (prisme d'alignement).....	55
Procédure de l'examen.....	56
V. La disparité de fixation après prismation	57
VI. Les courbures de disparités induites par un prisme.	58
Conclusion.....	60

DEUXIEME PARTIE

ETUDES EXPERIMENTALES

Introduction	62
I. Matériels et méthodes	62
I.1. Sujet	62
I.2. Ethique	62
I.3. Critères d'inclusions et d'exclusions	62
I.3.1. Les critères d'inclusions	62
I.3.2. Les critères d'exclusions.....	63
I.4. Examen visuel Clinique	63
I.4.1. Examen des fonctions visuelles en général.....	63
I.4.2. Examen de la motilité oculaire	64
I.4.3. Evaluation de la phorie verticale la croix de Maddox	66
I.4.4. Test de la vision binoculaire TNO	67
III. Protocole de mesure par Gazelab	69
III.1. Préparation des lunettes	69
III.2. Positionnement du patient et mise en place des lunettes.....	69
III.3. Le processus d'étalonnage et de mesure	70
IV. Procédure expérimentale.....	75
V. Le type de calibration du test choisis	76
VI. La représentation du rapport d'examen.	77
VII. Protocole d'étude de la fixation.....	77
VIII. Résultats et discussion.....	78
VIII.1. Résultats de t-test en supraversion	80
VIII. 2. Résultats de t-test en position primaire	80
VIII.3. Résultat de t-test en infraversion	81
Conclusion.....	84
Bibliographie.....	86

Liste des abréviations

PRC	Points réiniens correspondants.
SNC	Système nerveux central
EOG	Electro-oculographie
POG	Enregistrement par analyse du reflet cornéen et la photo-oculographie
VOG	Vidéo-oculographie
POG	point de regard
EOG	Electro-oculographie
POG	Photo-oculographie
VOG	Vidéo-oculographie.
DFO	Disparité de fixation objective
DFS	Disparité de fixation subjective
DFOP	Disparité de fixation objective après prismation
DFSP	Disparité de fixation subjective après prismation
EIP	Ecart interpupillaire
DFH	Disparité de fixation horizontale
DFV	Disparité de fixation verticale
DFRes	Disparité de fixation résultante
ZVBSN	Zone de vision binoculaire simple et nette
AC/A	Convergence accommodative/ accommodation
VN	Vision binoculaire naturelle sans prisme
POD	Prisme devant l'œil dominant
POND	Prisme devant l'œil non-dominant
OD	Œil droit
OG	Œil gauche
OV	Orthoporie verticale
PPC	Punctum proximum de convergence
V	Vergence
Δ	Dioptrie prismatique
VL, VP	Vision de loin, Vision de près

Table des figures

Figure 01. Expérience d'Ibn al-Haytham.....	5
Figure 02. L'horoptère (Jeanrot et al, 2011).....	6
Figure 03. Expérience d'Ibn al-Haytham.....	6
Figure 4. Mesure des réserves fusionnelles (a) de convergence, (b) de divergence.....	11
Figure 5. Illustration du principe de l'électro-oculographie, par Richter A. et Ternaux M., 2005-2006.....	15
Figure 6. L'enregistrement galvanométriques par coils scléaux (Kangas et al, 2014).....	16
Figure 07. Représentations schématiques de l'œil, d'une caméra et d'une source lumineuse (Guestrin ED, Eizenman, 2005).....	17
Figure 08. Déroulement de l'examen de l'hétérophorie avec disparité de fixation.....	36
Figure 09. Illustration de la disparité de fixation (DF), où deux axes visuels se coupent sur le plan de la cible de fixation (zéro disparité), avant la cible de fixation (ésodisparité) et derrière la cible (exodisparité).....	38
Figure 10. La relation entre hétérophorie et disparité de fixation chez des sujets normaux, On notera la relative fréquence des exophories présentant une ésodisparité. D'après Ogle (Ogle, 1950).....	38
Figure 11. Les conditions de mesure de la disparité de fixation.....	41
Figure 12. Illustration d'une calibration monoculaire (Svede et al, 2015).....	42
Figure 13. Illustration d'une calibration binoculaire (Svede et al, 2015).....	43
Figure 14. Problèmes de vergence et de disparité de fixation (FD) dans l'espace 3D (Duchesne J, Coubard, 2020).....	47
Figure 15. Illustration des données dans un fichier Excel montrant les mesures directes et leurs dérivées, le calcul de FD_H , FD_V et FD_{RES} . (Duchesne J, Coubard, 2020).....	48
Figure 16. Ortho-disparité dans l'espace 3D et angles de vergence idéaux. (Duchesne J, Coubard, 2020).....	51
Figure 17. Press-on (Antony, 2017).....	52
Figure 18. Effet du prisme monoculaire (Antony, 2017).....	53
Figure 19. Effet du prisme binoculaire.....	53
Figure 20. Le schéma d'Allen.....	55

Figure 21. Test de disparité de fixation de distance de Mallett. L'image à gauche (a) est la conception originale, qui peut être tournée de 90 pour tester les écarts verticaux (comme illustré) ou les écarts horizontaux. L'image à droite (b) est le test double de disparité de fixation (Karania, 2006).....	56
Figure 22. Unité de Mallet de près. Le test de disparité de fixation horizontale est à gauche et de disparité de fixation verticale à droite (Karania, 2006).....	57
Figure 23. La disparité de fixation après prismation (V. Schroth, 2015).....	57
Figure 24. Types de courbes de disparité de fixation (FD) induites par un prisme et leurs paramètres.....	59
Figure 25. Etude des mouvements oculaires dans les positions diagnostiques du regard.....	65
Figure 26. Verre strié de Maddox.....	66
Figure 27. La croix de Maddox horizontale et verticale.....	67
Figure 28. La raie lumineuse horizontale pour la mesure de phorie verticale.....	67
Figure 29. GAZELAB (Ochaita, 2014).....	68
Figure 30. Soulèvement par deux caméras.....	69
Figure 31. Réglage des branches. (Gazelab, 2017).....	69
Figure 32. Installation correcte du patient (Gazelab, 2017).....	69
Figure 33. Capture d'écran de l'interface du logiciel présentant les types d'exploration (Gazelab, 2017).....	70
Figure 34. Centrage de l'image de l'œil.....	70
Figure 35. Détection de la pupille par l'ovale blanc (Gazelab, 2017).....	71
Figure 36. Dispositif d'occlusion.....	71
Figure 37. Position des cibles projetées. (Gazelab, 2017).....	71
Figure 38. Fixation du point vert (Gazelab, 2017).....	72
Figure 39. Résultat de la mesure (Gazelab, 2017).....	73
Figure 40. Rapport graphique (Gazelab, 2017).....	74
Figure 41. Le test de 5 positions du regard.....	75
Figure 42. Les notations affichées.....	78
Figure 43 : Exemple de mouvements oculaires par rapport au pattern pendant l'occlusion de l'œil droit puis l'œil gauche dans les conditions : (A) sans prisme (B) Prisme sur l'œil droit. Le résultat obtenu en enregistrement binoculaire était analysé dans les trois positions de regard en supraversion, position primaire et infraversion.....	79

Figure 44 : Les réponses verticales enregistrées pour tous les sujets dans chaque condition : vision binoculaire naturelle (VN), en vision binoculaire avec le prisme devant l'œil dominant (POD) et avec le prisme devant l'œil non-dominant (POND). Chaque condition est analysée dans les trois positions du regard : supraversion, position primaire et infraversion.....82

Figure 45 : Les réponses de vergence enregistrées en position primaire et dans les trois conditions de mesures : sans prisme VN, prisme sur l'œil dominant POD, prisme sur l'œil non dominant POND.....83

Liste des tableaux

Tableau 1. Valeurs attendues pour les vergences fusionnelles au loin et au près (selon Morgan, cité par Borish).....	14
Tableau02. Comparaison des caractéristiques techniques des différentes méthodes d'enregistrement des mouvements oculomoteurs. (Eggert T, 2007).....	18
Tableau 03. Classification de Duane étendue des anomalies de vergence.....	35
Tableau 04. Résultats des tests effectués.....	64
Tableau 05. Tableau récapitulatif des actions synergistes et antagonistes, dans les directions principales du regard. Pour l'œil droit, lire de gauche à droite et de haut en bas. Pour l'œil gauche, lire de bas en haut et de droite à gauche (Jeanrot et al, 2011).....	80
Tableau 06. Résultats de t-test des réponses de vergence en supraversion et dans les trois conditions de mesure : sans prisme, prisme OD et prisme OND.	
Tableau 07. Résultat de t-test des réponses de vergence en position primaire et dans les trois conditions de mesure : sans prisme, prisme OD, prisme OND.....	80
Tableau 08. Résultat de t-test des réponses de vergence en infraversion et dans les trois conditions de mesure : sans prisme, prisme OD, prisme OND.....	81
Tableau 09. Tableau récapitulatif des moyennes de déviation, des résultats de t value et de P value.....	81

Introduction générale

La vision binoculaire est établie à partir d'une bonne coordination entre les deux yeux, elle permet de percevoir simultanément les images provenant de chaque œil, le système de fusion maintient les images des deux yeux aussi proches que possible sur les points correspondants pour une vision simple et stable afin d'établir une vision stéréoscopique pour la perception du relief et l'appréciation de distance. Cependant la fusion n'est pas toujours exacte, une différence peut apparaître entre la cible et le point d'intersection des deux axes visuels lors de la fusion binoculaire. Des anomalies de la vision binoculaire peuvent exister et perturber cette coordination telle que l'hétérophorie avec disparité de fixation. Concernant cette étude on a choisi d'aborder la disparité de fixation verticale pour deux raisons :

La première car on possède moins de réserves fusionnelles dans le mouvement vertical et la décompensation phorique sera plus facile, d'où l'efficacité d'une faible prismation dans la restauration d'une vision binoculaire (Evans, 2007).

La deuxième, la phorie verticale est nettement moins connue et étudiée que les phories horizontales.

Une disparité de fixation peut indiquer que le patient asthénopie compense difficilement sa phorie par rapport à ses réserves fusionnelles. Selon ce concept, une correction prismatique qui élimine la disparité de fixation permettrait aux patients asthénopiques un soulagement dans leur angle phorique (Ogle et al, 1949).

Ce micro-déficit fusionnel peut être évalué en utilisant des tests de mesure de la disparité de fixation subjective et objective (Rousseau et Weiss, 2002). Cette dernière notion fait l'objet de nombreuses critiques car elle dépend des méthodes de mesures (Kommerell, 1999). La disparité de fixation peut être modifiée techniquement par des verres prismatiques en optométrie (Carter DB, 1980).

Subjectivement, nous ne sommes pas conscients de cette disparité de fixation. De même, nous ne percevons pas directement les mouvements oculaires stabilisateurs que nous effectuons. Par conséquent, avant que la dynamique réelle des mouvements oculaires puisse être découverte, un examen attentif était nécessaire. En particulier, le développement des techniques d'enregistrement des mouvements oculaires a joué un rôle très important dans la recherche.

L'absence de recul clinique sur l'utilisation de système vidéo-oculographie dans les travaux scientifiques malgré son rôle dans la compréhension des mécanismes profonds des mouvements binoculaire, cela nous a permis de bénéficier de la dernière génération de la vidéo-oculographie GAZELAB pour l'étude clinique de l'oculomotricité et bénéficier des données de ce système.

L'existence des asymétries fonctionnelles n'est aujourd'hui plus discutée mais son origine, sa fonction ainsi que les mécanismes neuronaux qui la sous-tendent n'ont pas reçu d'explication simple. Le concept de latéralité dans le domaine de la recherche oculaire reste aujourd'hui le moins étudié et moins naturellement observable.

D'après l'étude de Paris V (Paris, 1999) l'adaptation d'un verre prismatique commence par un prisme de 2Δ placé sur l'œil droit puis sur l'œil gauche pour une raison qu'il ignore que la prescription n'est pas liée à l'œil dominant. La puissance prismatique totale est prescrite en fonction de la déviation et de l'amélioration subjective exprimée par le patient (Paris, 1999).

D'après l'étude d'Eric Matheron (Matheron et al, 2008), les réponses oculomotrices sont modulées en fonction de la dominance oculaire. Le résultat essentiel était que l'amplitude de la vergence verticale en réponse au prisme de faible puissance était plus importante, lorsqu'il était placé sur l'œil non-dominant (Matheron et al, 2008).

A partir de ces deux résultats je me suis intéressée à l'étude des réponses des mouvements verticaux donnés par une faible prismation en fonction de la dominance oculaire, quand le couple oculaire est en mouvement et en position physiologique, à travers l'analyse d'enregistrements vidéo-oculographiques du GAZELAB sur des sujets sains.

La première partie de ce manuscrit est consacrée à la définition du cadre théorique dans le quel nos travaux de thèse se situent. Dans un premier temps, nous nous intéresserons aux connaissances concernant la coordination des mouvements oculaires ainsi la dominance oculaire. Nous aborderons la notion de mouvement ensuite la classification et le moyen d'exploration des mouvements oculaires, puis nous définirons le concept de la latéralité oculaire, qui nous le verrons, est susceptible de jouer un rôle primordial sur les transformations visuo-motrices en raison de l'asymétrie que celle-ci induit sur les projections des voies visuelles (i.e. asymétrie entre l'hémi rétine temporale de l'œil dominant et de l'œil non dominant (chapitre 1). Nous définirons, en détail, la vergence et la disparité de fixation, ses différents types, la différence entre une calibration monoculaire et binoculaire, puis nous terminerons avec le calcul mathématique de la vergence et la disparité de fixation (chapitre 2). Ensuite nous traiterons le

sujet à propos l'utilisation de prismes, nous commencerons par des généralités sur le prisme, l'effet moteur et sensoriel de prisme sur la vergence et nous terminerons par la définition des courbes de disparités induites par le prisme (chapitre 3).

Dans la seconde partie de ce manuscrit, nous présenterons nos contributions expérimentales. Dans un premier temps nous nous sommes attachés à présenter le matériel et sa méthode d'utilisation pendant les prises de mesures cliniques du mouvement oculomoteur, ensuite nous passerons à la description détaillée de la vidéo-oculographe GAZELAB et son protocole d'utilisation. Les résultats et les discussions autour de thème abordés par ce travail de thèse ainsi que les perspectives émanant de nos résultats seront présentées à la fin de ce manuscrit.

Première partie :
Synthèse de l'état de l'art

Chapitre I :
Coordination des Mouvements Oculaires :
une dominance Oculaire à considérer

Introduction

L'objet de ce chapitre est de définir les bases de la vision binoculaire et les mouvements oculaires qui gèrent la bonne coordination entre les deux yeux, ainsi le concept de la dominance oculaire afin de bien comprendre les éléments de base qui rentrent dans un bon fonctionnement d'un système binoculaire qui servira de point de départ à l'analyse de nombreux problèmes de vision binoculaire tel que la disparité de fixation que nous aborderons éventuellement dans cette thèse.

I. Les bases d'Ibn al-Haytham sur la vision binoculaire

L'optique physiologique moderne introduit les notions relatives aux conditions de fusion des images binoculaires par le concept de correspondance, prêté à Christian Huygens (1704), et par une expérience attribuée à Christoph Scheiner (1619). La conceptualisation de l'expérience remonte en fait à Ptolémée (90-168) et à Ibn al-Haytham (1040). L'étude expérimentale d'Ibn al-Haytham met en place la notion de points correspondants, les cas de diplopie homonyme et croisée et prépare même la découverte de l'aire fusionnelle de Panum (Raynaud D, 2003).

I.1. La notion de point correspondant

Les spécialistes actuels de l'optique physiologique font débiter la notion de « point correspondant » au 17^{ème} siècle, avec les recherches de Christiaan Huygens « La première notion de points rétinien correspondants remonte à Huygens: "chaque point du fond de l'œil a son point correspondant dans le fond de l'autre, en sorte que lorsqu'un point de l'objet est peint dans quelques deux de ces points correspondants, alors il ne paraît que simple comme il est"» (Pigassou-Albouy, 1991).

Pour expliquer l'unification des deux sensations visuelles, Huygens et Müller ont appelé *points correspondants* des deux rétines (PRC), les photorécepteurs dont l'excitation simultanée donne la sensation d'une source unique (Idem, 1992).

On doit créditer Ibn al-Haytham de la notion de correspondance, qui servira de point de départ à l'analyse de nombreux problèmes de vision binoculaire. Il est d'ailleurs possible que Huygens l'ait tirée de la lecture du traité d'Ibn al-Haytham, bien connu dans l'Europe classique par l'édition Risner de 1572 (Raynaud D, 2003).

En effet, pour qu'un petit objet soit vu avec une bonne résolution et de façon unie, il doit être projeté sur les deux fovéas, points rétinien correspondants majeurs. D'autres points du monde

visuel sont également perçus de manière unie, car ils stimulent d'autres points rétiens correspondants.

I.2. La détermination de l'horoptère :

Le concept d'*horoptère* a été introduit en 1613 par le jésuite Franciscus Aguilonius qui le définit par le plan frontal auquel appartient le point de fixation. Par la suite, principalement au 19^{ème} siècle, l'horoptère fera l'objet de nombreuses études, notamment celles de Vieth, Müller, Hering et Helmholtz (Vieth Gerhard, 1818). Aujourd'hui, l'horoptère est défini par la courbe des points-objets reçus par des points correspondants. Quoique Ibn al-Haytham n'ait connu ni le nom ni la forme donnée ultérieurement à ce lieu géométrique tiré de la notion de point correspondant, ses travaux préparent directement sa découverte. On trouve ici une première détermination de l'horoptère, assimilé par Ibn al-Haytham à la droite frontale TK (comme le fera après lui Aguilonius au XVII^e siècle). Abdelhamid I. Sabra a bien vu que les expériences de Ptolémée et d'Ibn al-Haytham préparent la découverte de l'horoptère moderne, dont les points-objets sont vus simples par les deux yeux (Sabra, Optics).

Expérience (*Opticae thesaurus*). Les trois colonnes de cire colorées étant situées en T, Q, K et les yeux A B fixant Q, les colonnes sont vues simples (Figure 01).

Expérience (*Opticae thesaurus*). La même chose advient si l'on prend T ou K comme point de fixation, les colonnes de cire n'étant pas déplacées (Figure 01).

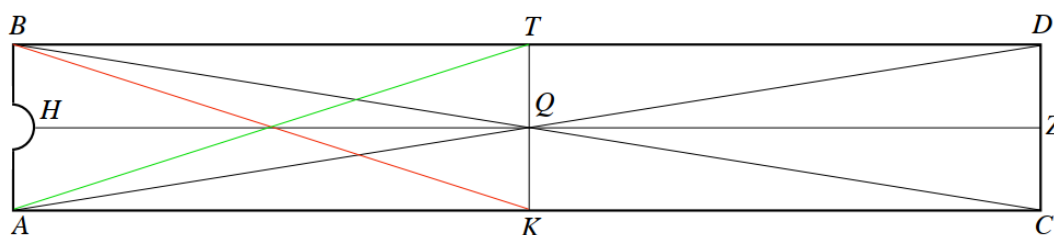


Figure 01. Expérience d'Ibn al-Haytham

Pour une fixation donnée, l'ensemble des points de l'espace dont l'image se forme sur des points correspondants de la rétine est désigné sous le nom d'horoptère.

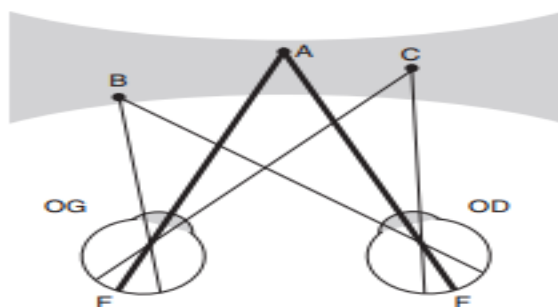


Figure 02. L'horoptère (Jeanrot et al, 2011)

I.3. L'aire fusionnelle de Panum

En 1858, Panum propose une nouvelle conception de la correspondance rétinienne. Son but n'est pas de préciser sa forme expérimentale, mais d'étudier le degré de disparité qui peut être toléré en fusion. L'aire fusionnelle de Panum signifie que des points rétiniens non exactement correspondants, mais faiblement disparates, parviennent malgré tout à être fusionnés en une seule image. L'idée de mesurer le degré de disparité toléré en fusion ne leur est pas attribuable. On en trouve en effet une première expression dans le *Kitâb al-Manâzir*.

Expérience (*Opticae thesaurus*). Les colonnes étant à nouveau situées en T Q K et les yeux fixant Q, on prend la colonne en K et on la déplace sur le côté KC. Proche de K, en S, la colonne est vue simple. Plus loin de K, en F, elle est vue double (Figure 03).

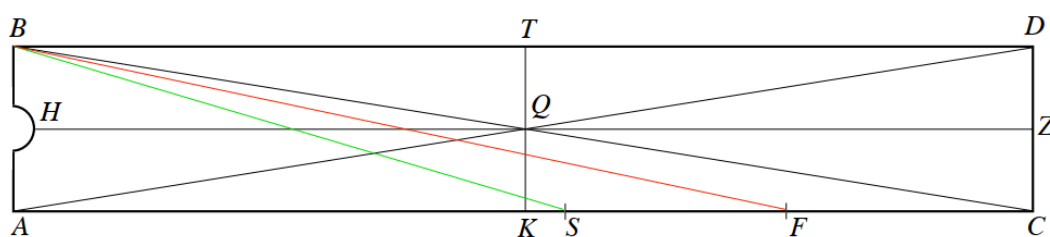


Figure 03. Expérience d'Ibn al-Haytham

Ibn al-Haytham s'assure que la fusion des images produites par les deux yeux ne s'opère que dans deux cas : 1) les objets sont vus simples s'ils appartiennent au plan frontal passant par le point de fixation (l'horoptère des modernes) ; 2) les objets sont vus simples si leur position ne s'écarte pas trop du plan frontal (l'aire de Panum des modernes). En dehors de ces conditions, il y a vision diplopique (Ibn al-Haytham, *Optics*).

II. Les mouvements oculaires :

Le mouvement est une information essentielle de notre environnement qui a pour objectif de stabiliser l'angle de regard et la capacité de changer l'orientation de notre regard. Les différents types de mouvements des yeux peuvent être classés d'après leur mode d'initiation (mouvements volontaires ou mouvements réflexes), d'après leurs caractéristiques physiques (mouvements lents ou mouvements rapides), d'après la direction du déplacement d'un œil par rapport à l'autre (mouvements de version changeant la direction du regard et mouvements de vergence changeant la profondeur du regard). Nous allons brièvement décrire les différents mouvements possibles selon leurs caractéristiques fonctionnelles.

II. 1. Description fonctionnelle des différents mouvements des yeux

Les différents mouvements oculaires permettent d'apporter l'objet d'intérêt au centre de la rétine (saccades, vergences), de garder un objet mobile sur la fovéa (poursuite), de réagir par réflexe à un mouvement du monde visuel par déplacement du monde et/ou déplacement de l'observateur (réflexe optocinétique et réflexe vestibulo-oculaire) ou encore de prévenir l'évanouissement de l'image pendant la fixation (micro-mouvements de fixations).

II. 2. Les différentes classes de mouvements oculaires

II.2.1. Les mouvements impliqués dans cette thèse.

II.2.1.1. La fixation visuelle :

Joue un rôle important dans la stabilisation des images d'une cible d'intérêt sur les fovéas de la rétine, les axes visuels de chaque œil se croisant sur ce point correspondant à la fixation binoculaire. Les afférences sensorielles provenant des rétines permettent de générer des signaux efférents appropriés destinés aux muscles extraoculaires pour maintenir la position des yeux.

II.2.1.2. Les vergences :

Les vergences sont des mouvements oculaires disjoints par opposition aux versions dans lesquels les axes visuels restent parallèles. Les vergences rompent le parallélisme des axes visuels et permettent ainsi l'exploration de l'espace fini. Ce sont surtout les convergences qui nous intéressent, permettant de passer du parallélisme des axes visuels en vision à l'infini, à un rapprochement de ceux-ci pour la vision de près. Maddox (1893) distinguait la vergence tonique, la vergence fusionnelle (stimulée par la disparité), la vergence

accommodative (stimulée par le flou rétinien), la vergence proximale (stimulée par le sens de la proximité, perception égocentrique de la distance, taille et mouvement de la cible)

- **La convergence volontaire** : qui peut être développée par des exercices, permet de converger ou de sur converger à la demande.

- **La convergence proximale** : par le biais du psychisme, est déclenchée par le rapprochement d'un objet. Elle intervient dans la convergence d'appareil (synoptophore, jumelles).

- **La convergence tonique ou « tonus oculogyre »** : est le tonus de base de convergence, chargé de parfaire et de maintenir le parallélisme des globes oculaires. Très importante au départ, elle diminue avec l'âge. Elle est soumise à de nombreuses afférences d'origine neurologique, vestibulaire, proprioceptive et sensorielle, elle est aussi sensible au stress.

- **La convergence accommodative** : est couplée à l'accommodation, déclenchée par une incitation accommodative.

- **La convergence fusionnelle** : est élicitée par la diplopie extra-horoptérique. Elle intervient pour qu'un objet proximal dont l'image va se projeter sur les deux rétines temporales et vu double soit vu simple du fait de la convergence induite qui l'oriente à nouveau sur les deux maculas. En réalité il existe de part et d'autre de l'horoptère une zone de transition appelée aire disparité rétinienne où tout objet induit de très forts stimuli de convergence et de divergence. Sous l'effet de cette composante fusionnelle et dès la fixation binoculaire, une hétérophorie peut être compensée (Allary, 2003).

Elle s'implique le cortex occipital pour le contrôle réflexe de la vergence, le cortex frontal dans le contrôle intentionnel, le tronc cérébral où se situe un système pré moteur – générateur des mouvements de vergence (et autres) codant différents paramètres (direction, amplitude, vitesse) – distinct pour chaque type de mouvement dont certains neurones commanderont la convergence et d'autres la divergence, et le cervelet (Leigh et Zee, 2006). Si les vergences sous-entendent essentiellement « horizontales » lors de l'éloignement ou le rapprochement d'une cible observée par exemple, il existe également les vergences « verticales » dont la représentation centrale est mal connue, mais ne font pas de doute quant à l'implication du SNC pour assurer de façon adaptée l'activation des muscles extraoculaires (von Noorden et al, 2002). Les vergences verticales n'existent qu'en tant que mouvement d'ajustement compensatoire du tonus musculaire afin de corriger la position relative des yeux en présence d'hétérophorie

verticale par exemple (von Noorden et Campos, 2002), pouvant varier aussi avec l'inclinaison latérale de la tête (Maxwell et Schor, 1996) ou encore avec la distance (Ygge et Zee, 1995). En effet, il s'agit de mouvements de faible amplitude en comparaison des vergences horizontales, mais d'amplitude plus importante en vision de près que de loin, peut-être du fait de disparité verticale naturelle alors présente, notamment lors du regard excentré (Ygge et Zee, 1995). Ils sont également plus lents, d'amplitude différente entre les deux yeux et ne respecteraient donc pas la loi d'innervation égale de Hering (voir Kertesz, 1983). Il existerait un mécanisme cérébral pré-programmant automatiquement le mouvement vertical de chaque œil pour avoir l'amplitude correcte en fonction de la position de la cible d'intérêt par rapport à la tête et ses orbites (Ygge, 2000). Les mouvements de vergences verticales dépendent aussi des caractéristiques physiques de la cible exemple plus amples si la cible est complexe ou plus grande, pouvant aller jusqu'à 5° d'amplitude (Kertesz, 1983 ; von Noorden et Campos, 2002). Un des moyens utilisés pour les étudier est l'utilisation d'un prisme vertical. Enright (1992) a montré que les mouvements de vergences verticales s'accompagnaient ainsi d'une intorsion si dirigée vers le bas, et d'une extorsion vers le haut, impliquant ainsi les muscles obliques.

II.2.2. Les autres mouvements

II.2.2.1. Les réflexes vestibulo-oculaires

Le réflexe vestibulo-oculaire permet de maintenir l'axe visuel constant pendant les mouvements de la tête. Le mouvement de la tête entraîne un mouvement compensatoire de l'œil dans l'orbite, d'amplitude égale et de direction opposée à celle du mouvement de la tête.

II.2.2.2. Le réflexe optocinétique

Le mouvement vestibulaire est déclenché par le glissement des images sur la rétine. Ce glissement existe quand le corps se déplace dans le monde mais aussi quand le monde se déplace par rapport au corps, par exemple quand nous regardons le paysage depuis un train en marche. Les systèmes vestibulo-oculaire et optocinétique sont complémentaires. (Waespe et al, 1977).

II.2.2.3. La saccade :

Nos yeux sont toujours en mouvement, ils naviguent d'un objet à l'autre jusqu'à trois fois par seconde par une série de mouvements balistiques extrêmement rapides (jusqu'à 500° par secondes) qu'on appelle saccades. La coordination binoculaire requise lors des mouvements de saccade serait innée s'appuyant sur les fondements de Hering (1868) avec une commande

commune pour les deux yeux. Pour d'autres (Zhou et al, 1998), la coordination requise serait apprise, s'appuyant elle sur les fondements de Helmholtz (1910) avec une commande propre à chaque œil.

Nous ne sommes pas conscients de ces saccades qui provoquent le déplacement de l'image rétinienne. Néanmoins, la perception est stable et ne semble pas faire de sauts. Différentes explications furent proposées mais la plupart des chercheurs s'accordent maintenant sur la théorie d'annulation qui explique que les mouvements des yeux sont compensés par un signal extrarétinien, simultané, égal et opposé au mouvement de l'image (Sperry, 1950). Les signaux rétiniens et extra rétiniens s'annulent mutuellement et il en résulte une perception de l'espace visuel constante et indépendante des mouvements des yeux.

II.2.2.3. La poursuite :

Mouvement lent (< 50 degrés/seconde), maintient sur les fovéas l'image d'une cible de petite taille en mouvement. Lorsque la poursuite est réalisée également par des mouvements de la tête, le système de poursuite peut participer à l'annulation de du réflexe vestibulo-oculaire. (Robinson, 1981).

II. 3. Caractéristiques des vergences :

La fonction de la vergence est d'aligner les axes optiques des deux yeux à la profondeur à laquelle se trouve l'objet d'intérêt. En effet, pour qu'un petit objet soit vu avec une bonne résolution et de façon uni, il doit être projeté sur les deux fovéas, points rétiniens correspondants majeurs. D'autres points du monde visuel sont également perçus de manière unie, car ils stimulent d'autres points rétiniens correspondants. Pour une fixation donnée, l'ensemble des points du monde visuel stimulant des points rétiniens correspondants est situé sur le cercle de Vieth-Müller. Un objet situé au-delà de l'aire de fusion de Panum est donc à une profondeur différente de la profondeur à laquelle le regard est fixé : les points rétiniens pour cet objet ne sont pas correspondants et la disparité qui en résulte provoque une vision double. Faites cette expérience de placer un stylo devant vous. Si vous fixez votre stylo, un objet loin derrière apparaîtra double. Si vous fixez au contraire l'objet loin derrière, c'est votre stylo qui apparaîtra double. Cette diplopie naturelle n'est généralement pas gênante dans la vie quotidienne. Au contraire, les disparités stimulées par des projections sur des points rétiniens non correspondants constituent des indices très importants (parmi d'autres indices monoculaires) permettant une vision 3D et la perception de la profondeur.

Un autre indice de profondeur serait donné par l'angle de vergence (angle formé par les deux axes visuels), indicatif de la profondeur à laquelle le regard est fixé. Il y a en effet une vergence tonique, qui permet de garder le regard à une profondeur donnée (Owen et Leibowitz 1983). Deux sortes de mouvements permettent d'ajuster l'angle des axes optiques selon la profondeur : la divergence, quand le point de fixation s'éloigne et que l'angle de vergence diminue, la convergence, quand le point de fixation se rapproche et que l'angle de vergence augmente.

II. 4. Les vergences fusionnelles et méthodes de mesure :

Les vergences relatives représentent la quantité de vergence fusionnelle pouvant être mise en jeu, par rapport à la demande habituelle en convergence, et pour un niveau d'accommodation donné. On parle aussi des «vergences fusionnelles relatives», des «réserves de vergence fusionnelle», des «vergences prismatiques» ou encore des «ductions». Noter que le terme «duction» n'est pas exacte, car il fait par définition référence à un mouvement monoculaire. Au sens strict, la «réserve fusionnelle» représente, la quantité de vergence fusionnelle restant disponible, une fois la phorie compensée et depuis la demande habituelle.

La vergence fusionnelle positive aussi appelée «convergence relative positive» est mesurée avec des prismes à base externe, depuis le point de demande habituelle en convergence jusqu'à la limite de la vision binoculaire simple et nette (point de flou, ou point de bris en l'absence de point de flou).

La vergence fusionnelle négative aussi appelée «convergence relative négative» est mesurée avec des prismes à base interne, depuis le point de la demande habituelle en convergence jusqu'à la limite de la vision binoculaire simple et nette (point de flou, ou point de bris en l'absence de point de flou).

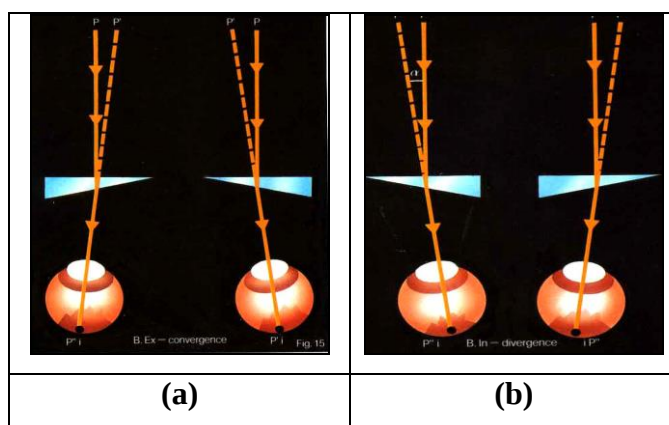


Figure 4. Mesure des réserves fusionnelles (a) de convergence, (b) de divergence

Les vergences relatives sont généralement mesurées avec des prismes variables (diasporamètre- aussi appelés prismes de Risley ou prismes tournants), ou avec des barres de prismes. D'autres systèmes existent, mais ils sont moins utilisés (Allary, 2003).

II.4.1. Mesure des vergences fusionnelles horizontales

Conditions du test : Présenter une ligne de lettres verticale à la distance considérée (5m ou 40 cm). Les lettres doivent être assez petites pour contrôler précisément l'accommodation et la fixation- une acuité entre 1.0 et 0.5 est recommandée. L'éclairage de la pièce est normal. Placer les diasporamètres, réglés à zéro et bases horizontales, devant chaque œil.

Procédure

- Demander au sujet de regarder attentivement la ligne de lettre verticale et d'indiquer dès que celle-ci s'embrouille ou se dédouble, ou celle-ci semble se déplacer d'un côté.
- Mesurer les vergences en base interne en premier (voir remarque plus bas) : Augmenter lentement la puissance des deux diasporamètres pour créer du prisme base interne jusqu'à ce que le sujet rapporte que les lettres sont floues ou la ligne se dédouble.
- En principe, il n'existe pas de point de flou en vision de loin, cela indiquerait un relâchement de l'accommodation. Le point de flou n'est pas toujours perçu en vision de près.
- Prendre note mentalement de la valeur du point de flou et du point de bris. Dans chaque cas, les valeurs des deux diasporamètres doivent être additionnées, il est donc préférable d'augmenter les deux prismes simultanément de la même quantité.
- Une fois le point de bris dépassé, réduire lentement les deux prismes en demandant au sujet d'indiquer quand la ligne redevient simple. Noter mentalement la valeur du point de recouvrement.
- Replacer les diasporamètres à zéro et noter les résultats en base interne.
- Mesurer les vergences en base externe : Augmenter lentement la puissance des deux diasporamètres pour créer du prisme base externe jusqu'à ce que le sujet rapporte que les lettres sont floues ou la ligne se dédouble
- Le point de flou n'est pas toujours perçu.
- Prendre note mentalement de la valeur du point de flou et du point de bris.
- Une fois le point de bris dépassé, réduire lentement les deux prismes en demandant au sujet d'indiquer quand la ligne redevient simple. Noter mentalement la valeur du point de recouvrement.

- Replacer les diasporamètres à zéro et noter les résultats en base externe. La correction avec laquelle ces mesures ont été faites devrait aussi être mentionnée dans le dossier.

II.4.2. Mesure des vergences fusionnelles verticales

Condition du test : Présenter une ligne de lettres horizontale à la distance considérée (5m ou 40cm). L'éclairage de la pièce est normal, la correction pour la distance considérée est en place dans le réfracteur. Placer un diasporamètre devant l'œil droit (ou gauche), réglé à zéro et base verticale.

Procédure

- Demander au sujet de regarder attentivement la ligne de lettres horizontale et d'indiquer dès que celle-ci se dédouble.
- Mesurer les vergences prisme base en bas : Augmenter lentement la puissance du diasporamètre pour créer du prisme base en bas, jusqu'à ce que le sujet rapporte que la ligne se dédouble. Prendre note mentalement de la valeur du point de bris.
- Une fois le point de bris dépassé, réduire lentement le prisme en demandant au sujet redevient d'indiquer quand la ligne redevient simple. Noter mentalement la valeur du point de recouvrement.
- Replacer le diasporamètre à zéro et noter les résultats
- Mesurer les vergences prisme base en haut : Augmenter lentement la puissance du diasporamètre pour créer du prisme base en haut, jusqu'à ce que le sujet rapporte que la ligne se dédouble. Prendre note mentalement de la valeur du point de bris.
- Une fois le point de bris dépassé, réduire lentement le prisme en demandant au sujet d'indiquer quand la ligne redevient simple. Noter mentalement la valeur du point de recouvrement (Allary, 2003).

	Moyenne(Δ) $\pm$ écart type	Valeurs normales (Δ)
Base interne au loin (5m)		
Flou	Pas de flou	-
Bris	7 ± 2	5 à 9
Recouvrement	4 ± 1	3 à 5
Base externe au loin (5m)		
Flou	9 ± 2	7 à 11
Bris	19 ± 4	15 à 23
Recouvrement	10 ± 2	8 à 12
Base interne de près (40cm)		
Flou	13 ± 2 , ou pas de flou	11 à 15
Bris	21 ± 2	19 à 23
Recouvrement	13 ± 3	10 à 16
Base externe de près (40 cm)		
Flou	17 ± 3 , ou pas de flou	14 à 20
Bris	21 ± 3	18 à 24
Recouvrement	11 ± 4	7 à 15
Vertical, au loin ou de près		
Base en haut, Bris	3 à 4	Egal à valeur base en bas
Recouvrement	$\frac{1}{2}$ valeur du bris	
Base en bas, Bris	3 à 4	Egal à valeur base en haut
Recouvrement	$\frac{1}{2}$ valeur du bris	

Tableau 1. Valeurs attendues pour les vergences fusionnelles au loin et de près (selon Morgan, cité par Borish)

II.4.3. Le critère de Sheard

D'après Sheard, un sujet doit posséder au minimum la valeur de la phorie en réserve opposée, afin de voir simple, mais surtout le double de cette valeur pour voir simple et confortablement (Beaubert et al, 2012).

Exemple : Si le sujet présente une exophorie de 7Δ , il devra posséder au minimum une réserve de convergence de 7Δ pour voir simple et de 14Δ afin de voir simple confortablement.

Si ce critère n'est pas respecté, on obtient la valeur du prisme minimum à prescrire afin de le satisfaire. On peut calculer le prisme par la relation ci-dessous. La base du prisme est donnée par la nature de la phorie

$$\text{Puissance du Prisme} = \frac{2 \times \text{phorie} - \text{réserve opp}}{3}$$

III. Moyen d'exploration

III. 1. Enregistrements des mouvements oculomoteurs

Le dispositif de mesure le plus souvent utilisé pour l'évaluation des mouvements oculaires est appelé eye tracker. En générale, il existe deux types de techniques de suivi des mouvements oculaires : celles qui mesurent la position de l'œil par rapport à la tête et celles qui mesurent l'orientation de l'œil dans l'espace, ou le point de regard (POG) (Young et al, 1975). Le dispositif largement appliqué pour la mesure POG est video oculographe eye tracker.

III. 2. Différents types d'enregistrement.

Il existe quatre grandes catégories de méthodologies de mesure des mouvements oculaires : 1/l'électro-oculographie (EOG), 2/ l'enregistrement galvanométriques par coils scléaux (Scléral coils). 3/l'enregistrement par analyse du reflet cornéen et la photo-oculographie (POG). 4/ La vidéo-oculographie (VOG).

III.2.1. L'électro-oculographie

L'électro-oculographie, la méthode d'enregistrement des mouvements oculaires la plus largement appliquée il y a une quarantaine d'années. Son principe de base de fonctionnement repose sur la mesure de différence de potentiel électrique existant entre la face antérieure de la cornée, chargée positivement, et la couche de l'épithélium pigmentaire rétinien. Des électrodes cutanées péri-orbitaires servent à mesurer les variations de ce potentiel électrique oculaire naturel en lien avec la position du globe (Young et al, 1975).

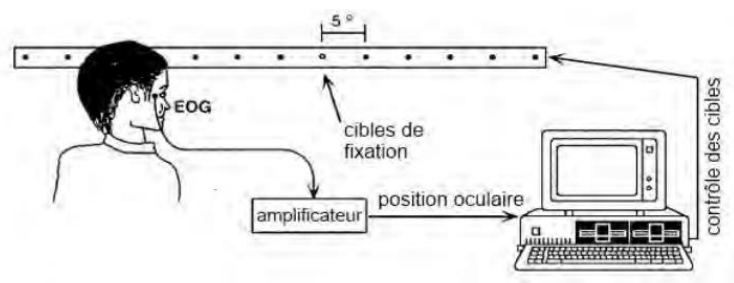


Figure 5. Illustration du principe de l'électro-oculographie, par Richter A. et Ternaux M., 2005-2006

III.2.2. L'enregistrement galvanométriques par coils scléaux

La première description de la technique d'enregistrement des mouvements oculaires par coils scléaux en 1963(Robinson, 1963). L'idée était d'analyser les variations de signal électrique traversant des anneaux de silicone sertis de coils métalliques, déposés sur les cornées de sujets placés à l'intérieur d'un champ magnétique. Le positionnement des bobines générant ce champ magnétique dans les 3 axes de l'espace permet l'étude des mouvements dans toutes les directions du regard.

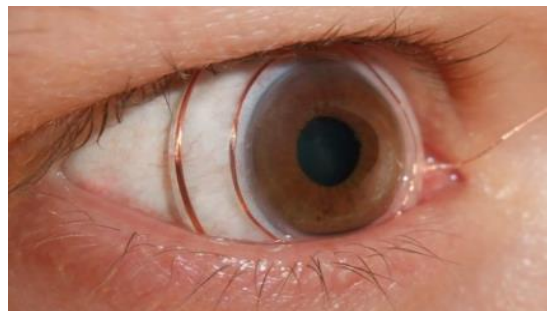


Figure 6. L'enregistrement galvanométriques par coils scléaux (Kangas et al, 2014)

III.2.3. L'enregistrement par analyse du reflet cornéen et la photo oculographie

Cette technique d'enregistrement des mouvements de l'œil repose sur l'analyse par caméra vidéo de la réflexion d'une ou plusieurs sources lumineuses infrarouges à la surface des dioptries oculaires. Elle se base ainsi sur l'interprétation logicielle des images de Purkinje renvoyées par la face antérieure de la cornée, qui varient en dimensions et en intensités selon la position du regard. La quatrième image de Purkinje (renvoyée par la face postérieure du cristallin), peut également servir à la précision de la mesure (Crane et al, 1985), de même que les structures limbiques (Russo JE, 1975) voire rétinienne.

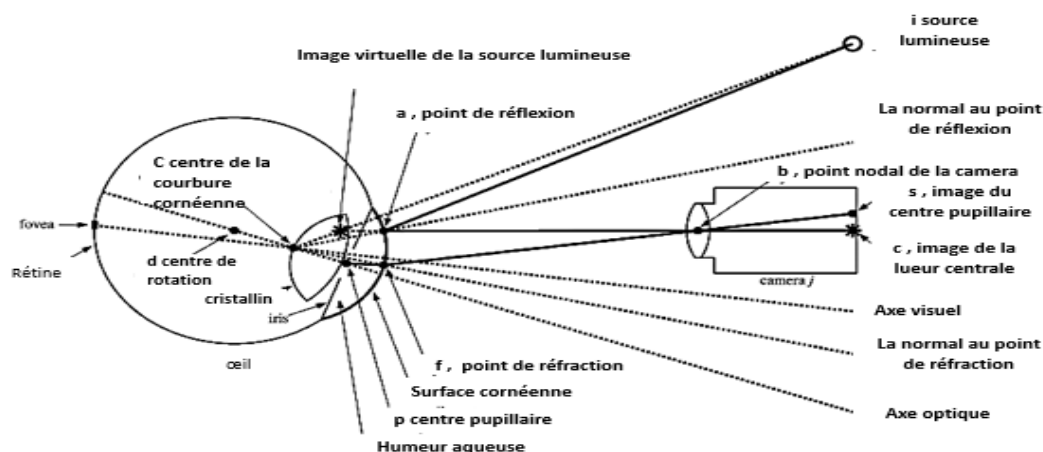


Figure 07. Représentations schématiques de l'œil, d'une caméra et d'une source lumineuse (Guestrin ED, Eizenman, 2005).

III.2.4. La vidéo-oculographie

Les progrès des capacités de calcul de l'outil informatique amènent au début des années 1990 à la possibilité d'étude vidéo-oculographique (Clark al, 1991). La détection de l'image pupillaire est effectuée en temps réel par analyse de sa brillance amplifiée sous lumière infrarouge, via des algorithmes de seuillage complexes. Pour chaque mouvement oculaire, l'ordinateur déduit alors la position précise du regard en comparant la position calculée du centre de la pupille et l'image vidéo enregistrée. Par l'intermédiaire de méthodes de calculs géométriques telles que celle décrite par Moore (Moore et al, 1996), l'image des détails iriens fournit une mesure de la torsion des globes quelle que soit leur position.

La précision des appareils de vidéo-oculographie récents est en rapport avec la qualité des capteurs CCD utilisés : discrimination spatiale inférieure à $1/10^{\circ}$ de degrés, temporelle au-delà de 50hz. Ces caractéristiques, couplées à la miniaturisation des dispositifs d'acquisition à port céphalique, permettent d'envisager leur utilisation dans l'étude clinique de l'oculomotricité (Kingma H, 1995).

Les acquisitions sont cependant limitées par l'impossibilité de capture du signal sur paupières fermées, et donc parasitées par les clignements palpébraux. La coopération du sujet reste également primordiale pour des enregistrements de qualité, passant par une nécessaire étape de calibration de l'appareil. Enfin, le prix d'une station de travail complète ne le rend pas forcément accessible à tous les centres (Lefetz, 2011).

	EOG	POG	Scleral coils	VOG
Résolution spatiale (degrés)	0,5	0,02	0,01	0,05
Résolution temporelle (Hz)	40	100	500	50-400
Capture des mouvements verticaux	Possible, mais confondus avec les mouvements palpébraux	Possible, mais confondus avec les mouvements palpébraux	oui	oui
Capture des mouvements de torsion	Non	Non	Oui, même dans les positions obliques du regard	Oui, quelques aléas dans les positions obliques du regard
Temps de préparation	Lent (application des électrodes cutanées)	modéré	Lent	Très rapide
Fixation fiable nécessaire au calibrage	Oui	Oui	Non	Oui
Difficulté du calibrage	Bonne linéarité (en configuration bitemporale)	Calibrage polymodale pour les hautes excentricités	Compensation possible de la non-linéarité selon les paramètres	Bonne linéarité
Caractère invasif	Electrode de surface non contact. Pas d'effet sur la vision	Dispositif à port céphalique. Non contact. Limitation modérée du champ de vision	Lentille de contact, pouvant affecter la vision. Inconfort important	Dispositif à port céphalique. Non contact, limitation du champ de vision

Tableau02. Comparaison des caractéristiques techniques des différentes méthodes d'enregistrement des mouvements oculomoteurs. (Eggert T,2007)

EOG= Electro-oculographie, POG= Photo-oculographie, VOG= Vidéo-oculographie.

III.3. Technique vidéo oculographie eyetracker :

Techniquement, eye tracking est la procédure qui consiste à déterminer le point de regard (POG point of GAZE), lorsque la fixation se fait sur un écran ou quand l'axe visuel est dans l'espace 3D. Pour cela, les dispositifs de vidéo oculographie sont équipés au moins d'une ou plusieurs caméras qui envoient les enregistrements à un ordinateur pour le traitement d'image.

Récemment, plusieurs approches de l'estimation du regard ont été rapportées dans la littérature. Elles peuvent être classées en deux catégories : les méthodes basées sur l'apparence et les méthodes basées sur les caractéristiques. La qualité de la caméra et du matériel, la précision requise, les conditions environnementales, le coût souhaité et la liberté de mouvement de la tête sont quelques facteurs qui déterminent l'approche à suivre (Larrazabal, 2019).

IV. La dominance oculaire :

La dominance oculaire est la préférence d'un œil par rapport à l'autre dans une tâche visuelle (Porac et Coren 1976), cette préférence présente de nombreux effets sur la perception visuelle : la précision est meilleure lorsqu'on utilise l'œil dominant (Coren, 1999; Freeman, Chapman, 1935), les images apparaissent plus nettes (Porac et Coren, 1984) et plus grandes (Porac et al, 1976; McManus et al, 2004).

Les études d'imagerie révèlent lors de stimulation des récepteurs de l'œil dominant, une activation de plus grande surface du cortex visuel de façon bilatérale par rapport à la stimulation de l'œil non-dominant (Menon et al, 1997 ; Rombouts et al, 1996). Mapp et al. (2003) ont suggéré que l'œil dominante est l'œil utilisé pour les tâches monoculaires et qui n'a pas de rôle fonctionnel unique dans la vision binoculaire normale. Walls (1951, cité par Shneur et al, 2006) Proposa que les ajustements oculomoteurs se font en priorité par l'œil dominant lors de la fixation et l'œil non dominant est responsable de mouvement réflexe pour établir une vision binoculaire. Mais récemment, Oishi et al. (2005) ont trouvé que lors de saccades, l'œil dominant s'activait en premier, cette étude était faite à une distance de 40 cm.

IV.1. Différents types de dominance oculaire

Selon la revue de littérature il existe plusieurs critères permettant de définir l'œil dominant (par exemple, Coren et al, 1973; Howard, 2002; Warren et al, 1938) Les trois critères décrits par Howard (2002) sont :

(1) L'œil qui présente la meilleure acuité visuelle (VA), sensibilité au contraste ou autre mesure de fonction visuelle. (2) L'œil dans lequel un stimulus rival est le plus souvent perçu. Et, (3) l'œil utilisé pour l'observation (Par exemple, quand on regarde un objet lointain à travers un anneau tenu avec les deux mains, les deux yeux ouverts)

La multitude de tests employés pour déterminer la dominance oculaire (Walls, 1995) ont conduit à rendre les résultats expérimentaux très variables et difficilement interprétables durant de nombreuses années. Devant ce constat, (Coren et al, 1973) ont mis en place une expérimentation permettant de mesurer le degré de corrélation entre les résultats obtenus dans 13 tests différents et permet de conclure l'existence de trois principaux types : (1) la dominance oculaire sensorielle, (2) la dominance oculaire d'acuité, la dominance oculaire d'alignement. La dominance oculaire d'alignement n'est corrélée ni à la dominance sensorielle (Lopes-Ferreira et al, 2013) ni à la dominance d'acuité (Pointer, 2012).

Les tests moteurs obligent le sujet à choisir un œil comme par exemple viser avec le doigt ou regarder à travers un orifice. Les tests sensoriels mettent en jeu la rivalité binoculaire sensorielle en présentant par exemple différentes cibles ou objets, les sujets portant des lunettes polarisées (e.g. le stéréo test à distance). On demande aux sujets de fixer une cible avec les deux yeux dans l'aire de Panum (aire dans laquelle la fusion des images rétiniennes demeure possible). L'œil le mieux aligné sur la cible est déclaré œil dominant « sensoriel » (Kommerell et al, 2003)

De nombreux tests ont été utilisés afin d'étudier la dominance oculaire d'alignement. Tous reposent sur le même principe de « choix forcé » où le participant est placé dans une situation ne pouvant être résolue que par le choix inconscient d'un seul œil et donnant donc lieu à un résultat binaire (droit ou gauche). Parmi les plus répandues, nous retrouvons le test du « *near-far-alignment* » (exemple test de Porta) et celui du « *hole-in-card* » (Durand et Gould, 1910; Miles, 1930). Dans certaines situations (exemple « *near-far-alignment* »), la main utilisée pour tenir l'appareillage permettant la visée, par le biais de l'objet placé dans l'espace péripersonnel (le télescope, la feuille, la carte, le bâton), peut avoir des répercussions sur le choix de l'œil (Carey, 2001). En ce sens, le test du « *hole-in-card* », dans lequel une prise bi-manuelle est demandée, permet de surpasser ce biais. Ce constat, couplé à la bonne corrélation test-retest mise en évidence au moyen du « *hole-in-card* », a conduit à penser que celui-ci constituerait le test de dominance oculaire le plus fiable et reproductible (Handa et al, 2004; Seijas et al, 2007).

IV. 2. Asymétrie de la structure maculaire associée à la dominance oculaire

Le système visuel du cerveau était auparavant considéré comme ayant une distribution symétrique, mais des études récentes ont montrées une asymétrie dans la structure et la fonction. Une étude a identifié une asymétrie fonctionnelle impliquant une orientation spatiale montrant une préférence hémisphérique droite. Ces résultats ont permis de mettre l'hypothèse que la dominance oculaire associée à l'asymétrie cérébrale a un effet sur la structure maculaire. L'étude de Krown (2018) a permis de mesurer la couche des cellules ganglionnaires et plexiformes internes ainsi que l'épaisseur maculaire à l'aide de la tomographie par cohérence optique (OCT). L'évaluation de la structure maculaire en fonction de la dominance oculaire a donné les résultats suivants (Kwon et al, 2018).

L'étude de Krown (2018) a montré que le rapport de la moyenne d'épaisseur des cellules ganglionnaires et plexiformes internes dans le secteur temporal par rapport nasal était plus faible

dans l'œil dominant. Cela signifie que les secteurs nasaux ont relativement plus de cellule dans l'œil dominant que l'œil non dominant, et les secteurs temporals dans l'œil non dominant ont relativement plus de cellule que l'œil dominant. Les cellules ganglionnaires situées au niveau nasal de la macula de l'œil dominant et temporal de la macula de l'œil non dominant ont des caractéristiques communes qui transmettent leurs signaux vers le même hémisphère visuel.

Les yeux normaux ont également une asymétrie verticale des cellules ganglionnaires et de la structure maculaire. L'asymétrie maculaire verticale était liée à la dominance oculaire. La structure maculaire et la dominance oculaire associée à la latéralisation du cortex visuel ont des liens fonctionnels et structurels (Kwon et al, 2018).

Conclusion

Les différents mouvements oculaires permettent d'apporter l'objet d'intérêt sur des points rétinien correspondants afin d'avoir une vision simple et nette de l'environnement.

Ces mouvements oculaires peuvent être évalués par quatre techniques dont la plus récente, la plus fiable et précise est celle de la vidéo oculographie qu'on l'utilise dans cette thèse.

Le système visuel était auparavant considéré comme ayant une distribution symétrique, mais des études récentes ont rapporté une asymétrie dans la structure et la fonction.

Le système visuel essaie de garder les deux images aussi proches que possible aux points correspondants de la rétine, mais en raison du déséquilibre musculaire existant, la fusion n'est pas exacte. Ce déséquilibre doit être le stress qui résulte non seulement des facteurs neuromusculaires mécaniques et toniques, mais aussi des innervations fonctionnelles d'un ordre différent découlant de stimuli fusionnels. Nous traitons ces différents points dans le deuxième chapitre.

Chapitre II

Vergence et disparité de fixation en 3D

Introduction :

Ce chapitre a pour but de cibler le dysfonctionnement de l'instabilité binoculaire du a l'hétérophorie et la disparité de fixation et étudier les différents paramètres d'identification et de prise en charge afin de comprendre la relation entre les deux, et bien gérer leur prise en charge optométrique. Ainsi ce chapitre contient une démonstration de calcul et de calibration de la disparité de fixation utilisé pendant la technique eyetracking qui permet de bien assimiler la technique de video-oculographie dans la méthode de calibration et aussi les calculs effectués par les logiciels d'analyse des mouvements oculaires.

I. Généralités :

I.1. Orthophorie

Un sujet est dit orthophorique, lorsque à la dissociation par une manœuvre quelconque, test de l'écran ou pagette de Maddox, il n'y a aucun mouvement ou aucun déplacement des images ; les deux yeux restants dirigés sur le point fixé. L'orthophorique de loin et de près n'est pas toujours la règle. Il existe souvent une légère exophorie en vision de près dite «exophorie physiologique», de l'ordre de 4Δ à 6Δ et de 2Δ en vision de loin. (Allary, 2003)

I.2. La phorie dissociée

La phorie dissociée est déterminée en l'absence de contours fusionnelles, c'est-à-dire les images des deux yeux sont complètement différents, exemple le test de Maddox : un œil voit un écran tangent, l'autre une barre verticale ou horizontale (Ogle KN, 1967).

I.3. La phorie associée

La phorie associée représente l'angle de vergence obtenu après correction de la disparité de fixation (Ogle et al, 1949).

II. Hétérophorie

L'hétérophorie est définie par son sens. On dit qu'il y a une hétérophorie lorsqu'une déviation des axes visuels est maintenue latente par la puissance de fusion.

La définition de Lanthony est plus complète faisant entrer en jeu l'aspect moteur et sensoriel « l'hétérophorie est une déviation strabique latente, révélée par une dissociation suffisante dont l'interruption est suivie de restitution sensorielle et motrice ».

Du point de vue sensoriel, le sujet est en correspondance rétino-corticale normale, la déviation binoculaire est normale. On peut cependant relever, dans certains cas, une neutralisation lorsque l'hétérophorie est décompensée.

Du point de vue moteur, la motilité est normale dans les hétérophories simples. On peut noter l'apparition de verticalités en décompensation. Mais lorsque la fusion est rendue possible, le réalignement des axes visuels traduit par le mouvement de restitution caractéristique des hétérophories, supprime le trouble sensoriel et moteur. En principe, l'élément sensoriel est normal dans une hétérophorie. De ce fait, la correspondance rétinienne y est toujours normale. Mais la puissance de fusion est plus ou moins grande. Et d'autre part, il existe en général dans le cas où l'hétérophorie provoque des signes fonctionnels, une neutralisation fovéolaire. Donc, dans une hétérophorie qui provoque des signes fonctionnels. Et l'on retrouve pratiquement toujours :

- Une neutralisation fovéolaire.

- Une amplitude de fusion diminuée.

L'hétérophorie est une anomalie extrêmement fréquente (75% de la population). Peu de sujets présentent des gênes car, dans la grande majorité des cas, l'effort fusionnel à accomplir se fait sans difficulté. Le sujet compense son hétérophorie (Allary, 2003).

II.1. Signes fonctionnels des hétérophories

II.1.1. Hétérophories bien compensées

C'est le cas le plus fréquent. La déviation, détectée en position dissociée, est maintenue latente sans fatigue en position active. Le sujet ne sait pas qu'il a une hétérophorie, il n'éprouve aucune gêne.

II.1.2. Hétérophories mal compensées ou décompensées

Le sujet peut ressentir des gênes parce que cet effort de convergence fusionnelle est trop important pour être soutenu sur une longue durée dans les cas les plus graves, par moments, il ne peut plus maintenir l'effort fusionnel «il décompense ». Le problème moteur est manifeste. Ils ne sont pas tout à fait les mêmes pour chaque type d'hétérophorie. Dans l'ensemble, ce sont des troubles qui traduisent l'effort oculaire : avant tout, céphalées plus ou moins sourdes et variables, douleurs ressenties «au fond des yeux », sensation « des yeux qui tirent », gêne à la lecture qui devient rapidement impossible ou qui provoque le sommeil, parfois même, mais cela est assez rare, impression de diplopie intermittente, avec vertiges et nausées parfois. Il est beaucoup plus fréquent que cette diplopie ne soit pas perçue comme telle, car elle est trop

légère ; mais le sujet déclare que, à la lecture, les lignes deviennent brouillées et paraissent se mélanger (d'une façon d'ailleurs qui varie avec le type d'hétérophorie).

Tous ces signes fonctionnels sont du type panoramique, c'est-à-dire le sujet se plaint en particulier lorsque les objets regardés sont en mouvement, au cinéma, à un match de football, dans la foule. Les hétérophoriques évitent souvent de se trouver dans telles circonstances. Ils se sentent souvent mieux en fermant un œil ; et un bon élément de diagnostic est que, à l'examen ophtalmologique, l'acuité visuelle binoculaire est moindre que l'acuité visuelle de chaque œil. Ce n'est cependant pas la règle.

Il peut exister de la photophobie, calmée non pas par des verres fumés mais en fermant un œil. A ces signes subjectifs, peuvent s'ajouter des signes objectifs : larmolement, yeux plus en moins injectés, blépharite chronique, conjonctivite chronique. Sans aller jusqu'à de véritables signes fonctionnels, l'hétérophorique peut se plaindre de troubles qui font suspecter une vision binoculaire troublée :

- Soit de loin : difficulté, par exemple, en conduisant une voiture, d'apprécier la vitesse respective des véhicules rencontrés ou dépassés, gênes en jouant au tennis, etc.
- Soit de près : difficulté pour effectuer des travaux de précision, vision stéréoscopique mauvaise dans certaines conditions particulières dans des jumelles, au microscope binoculaire, etc.). Enfin, les hétérophoriques sont souvent gênés quand il leur faut passer d'une fixation de loin à une autre rapprochée ou inversement.

II.2. Catégories et étiologie de l'hétérophorie

Les hétérophories sont classées à partir de la déviation du couple oculaire constatée dans la position dissociée.

II.2.1. Hétérophories horizontales

Elles sont les plus fréquentes. Nous distinguons l'**ésophorie** et l'**exophorie**.

II.2.1.1. L'ésophorie

Un sujet est ésophorique lorsque, à la décompensation, la déviation se fait en convergence. Les lignes de regard se coupent en avant du point de fixation. Certains auteurs dont Hugonnier relèvent deux types d'ésophories, le type insuffisance de divergence (l'ésophorie est plus grande de loin que de près) et le type excès de convergence (l'ésophorie est plus grande de près que de loin). (Hugonnier, 1981)

1 Esophorie d'insuffisance de divergence.

Etiologie

- Hypermétropie non corrigée : C'est la cause la plus fréquente.
- Tonus musculaire : Tonus trop important des droits internes, typiquement chez les enfants et adolescents.
- Anatomique : peu fréquent. Forme anormale de l'orbite, insertion musculaire. Si l'ésophorie devient décompensée pendant l'âge adulte, c'est en principe que d'autres facteurs sont intervenus (mauvaise santé, conditions de travail, etc.)
- Tempéraments nerveux, « névrosé », ou émotifs : dans ces cas, l'ésophorie peut varier suivant état émotif ou le niveau d'anxiété. L'ésophorie peut être compensée un jour et décompensée le lendemain. Les stimulants aggravent la situation
- Manque d'oxygénation : Le manque d'oxygénation, chez les personnes qui travaillent dans une atmosphère confinée pour de longues périodes, peut rendre une ésophorie de loin décompensée.
- Pathologies : Certaines pathologies qui affectent le SNC (système nerveux central) peuvent provoquer une déviation éso plus marquée au loin (généralement tropie mais parfois phorie). (Pickwell D, 1986)

Symptômes

- Symptôme le plus fréquent :
Diplopie intermittente au loin. C'est typiquement un symptôme de longue date dont la fréquence peut augmenter progressivement avec la baisse progressive de l'accommodation. La diplopie disparaît après une période de repos.
- Autres symptômes possibles :
Maux de tête frontaux.
Flou intermittent au près (si hypermétropie non corrigée).
Difficultés de passage de la vision de loin à la vision de près.
Fatigue oculaire, nausée, vertige, mal des transports, sensibilité à la lumière. (Allary, 2003)

2 Esophorie d'excès de convergence

Cause les plus fréquentes

- Effort accommodatif important, dû à :
 - Hypermétropie non corrigée, hypermétropie latente
 - Pseudo myopie
 - Presbytie débutante

- Travail trop près de façon prolongée
- Spasme accommodatif
- Rapport AC/A anormalement élevé
- Stress psychologique et réaction de conversion. (Allary, 2003)

Symptômes

Les symptômes seront typiquement associés à l'utilisation prolongée des yeux de près.

3 Esophorie basique

L'amplitude de l'ésophorie varie peu entre la vision de loin et la vision de près et celle-ci peut être décompensée au près et /ou loin. Appliquer les mêmes principes qu'avec l'excès de convergence et l'insuffisance de divergence. (Allary, 2003)

II. 2.1.2. L'exophorie

Un sujet est dit exophorique, lorsqu'à la décompensation, la déviation se fait en divergence. Les lignes de regard se coupent au-delà du point de fixation. De même que pour l'ésophorie, Hugonnier relève deux types d'exophorie, le type insuffisance de convergence avec une déviation de près plus grande que celle de loin, le type excès de divergence, avec une déviation de loin plus grande que celle de près.

1 Exophorie d'insuffisance de convergence

Etiologie

- Facteurs anatomiques (cause fréquente)
 - Un écart pupillaire important
 - Une position de repos anatomique divergente
- Accommodation insuffisante de près, donc moins bonne stimulation de la convergence
- Age : l'exophorie de près augmente progressivement avec l'âge, de 3Δ d'exophorie 20 ans à 6Δ vers 60 ans
- Œil peu utilisé : Suppression due à une anisométrie non-corrigée, ou équipement monovision.

Symptômes

Les symptômes sont généralement moins prononcés qu'avec l'ésophorie. Syndromes courants : maux de tête frontaux, fatigue oculaire, parfois diplopie intermittente en vision de près.

2 Exophorie d'excès de divergence

Etiologie

Incertaine, probablement anatomique et /ou tonus musculaire. Rencontrée principalement chez les jeunes et plus souvent chez les jeunes adolescentes.

Symptômes

Parfois une diplopie intermittente, mais les symptômes sont souvent absents à cause d'une suppression fréquente.

La déviation apparaît avec l'inattention, un manque de concentration, et peut augmenter avec problème émotionnel.

3 Exophorie basique

L'évaluation et la prise en charge sont similaires à celles pour l'exophorie d'insuffisance de convergence. (Allary, 2003)

II.2.2. Hétérophories verticales et cyclophorie

Si l'on représente le couple oculaire regardant un point de fixation à 5 m, les deux lignes de regard sont pratiquement parallèles, on parle alors d'hyperphorie notée D/G si en position dissociée, la ligne de regard de l'œil droit se trouve au-dessus de la ligne de regard de l'œil gauche ; G/D dans le cas contraire.

II.2.2.1. L'hyperphorie

Il y a hyperphorie lorsque, à la décompensation, la déviation se fait en verticalité. Après rupture de la fusion (position dissociée), les deux lignes de regard n'appartiennent plus au même plan horizontal. Il peut y avoir une élévation, hyperphorie, ou abaissement, hypophorie. Le terme d'hypophorie est moins employé, on parle souvent d'hyperphorie de l'autre œil. La phorie verticale peut être isolée ou associée à une phorie horizontale.

Etiologie

Elle peut être parétique sans séquelle d'une paralysie oculomotrice connue, ou provenir d'une légère parésie musculaire passée inaperçue.

Symptômes, parfois très marqués dans l'hyperphorie, même là où le degré d'hétérophorie est faible. Ils surviennent plus fréquemment à l'âge moyen. Les maux de tête frontaux, l'inconfort ou la douleur oculaire et la blépharite sont les symptômes les plus courants. Parfois, il y a une

anomalie de la position de la tête, et d'autres patients peuvent signaler que la vision est plus confortable si un œil est fermé ou occlus (Evans, 2007).

Test de motilité pour l'incomitance, qui doit toujours être effectué avec observation objective des yeux et notant également la réponse subjective du patient rapportant une diplopie incomitante. Le patient peut être capable de reconnaître la variation du degré de doublement dans différentes directions du regard, Il y a généralement un élément vertical dans la diplopie. Si les résultats cliniques suggèrent une incomitance d'apparition récente, le patient doit être référé (Evans, 2007).

II.2.2.2. La cyclophorie

C'est une déviation latente, qui à la décompensation, se fait autour de l'axe antéro-postérieur. C'est la tendance pour l'un ou les deux yeux à effectuer une giration autour de la ligne de regard dans la position passive. En prenant comme point de référence l'extrémité supérieure du méridien vertical de la cornée, une inclinaison en dehors est une excyclophorie, en dedans une incyclophorie.

Etiologie

La cyclophorie est très souvent liée à certains tableaux cliniques, les strabismes dits congénitaux, les syndromes alphas, les paralysies du grand oblique ou encore des déséquilibres oculomoteurs post-traumatiques. On la retrouve beaucoup plus rarement isolée. Elle peut avoir alors une étiologie réfractive par astigmatisme oblique, ou une cause anatomique notamment orbitaire. (Allary, 2003)

II.3. Prise en charge des phories :

Une fois les mesures faites et l'évaluation terminée, si le diagnostic d'hétérophorie décompensée est établi, il faut décider d'un plan d'action pour soulager le sujet de ses symptômes. D'une manière générale, il y a six options de prise en charge du cas, qui sont habituellement considérées dans l'ordre suivant :

- 1- Eliminer la cause de décompensation
- 2- Corriger l'amétropie
- 3- Addition
- 4 -Rééducation
- 5- Prismes compensateurs
- 6- Référer à un autre spécialiste

Une ou plusieurs de ces actions sont proposées pour soulager les symptômes du sujet.

II.3.1. Entraînement visuel

Quand une correction optique significative est prescrite, il est le plus souvent souhaitable d'évaluer l'effet du port de celle-ci avant de passer à des exercices d'entraînement visuel.

L'effet de la correction de l'amétropie n'est pas toujours immédiat ; une nouvelle relation s'établit progressivement entre l'accommodation et la convergence. Essayer la correction 1 à 2 mois environ pour voir si cela améliore les symptômes.

L'entraînement visuel donne généralement de bons résultats pour le traitement des troubles de vergence. Cependant, les chances de succès varient en fonction du problème traité, mais aussi en fonction de l'âge et de la motivation du sujet.

En fonction du problème : il est plus facile d'entraîner la convergence plutôt que la divergence. Il est donc d'une manière générale plus facile d'entraîner les exophories et les insuffisances de convergence et plus difficile de rééduquer les ésophores.

L'amplitude des réserves fusionnelles est aussi à prendre en compte. D'une manière générale, quand une hétérophorie est décompensée principalement à cause de réserves étroites, l'entraînement visuel est préféré aux prismes et donne de bons résultats. Mais quand l'hétérophorie est importante et décompensée malgré de « bonnes » réserves, une correction prismatique peut être envisagée.

En fonction de l'âge : D'une manière générale, plus le sujet est jeune, meilleures sont les chances de succès. On obtient généralement de bons résultats entre 12 et 35 ans.

Entraînement des réserves fusionnelles

Généralement, les exercices dits « orthoptiques » ne diminuent pas significativement l'amplitude de la phorie. On peut cependant par entraînement augmenter les réserves fusionnelles, de sorte que le sujet puisse plus facilement compenser la phorie. D'une manière générale, l'objectif des exercices est donc d'élargir la ZVBSN (zone de vision binoculaire simple et nette), ce qui revient à « assouplir » la relation entre l'accommodation et la convergence. L'approche générale de l'entraînement visuel pour les hétérophories est la suivante

- **Esophorie :** Développer la réserve fusionnelle négative et/ou l'accommodation relative positive
- **Exophorie :** Développer la réserve fusionnelle positive et/ou l'accommodation relative négative

II.3.1.1. Entraînement des réserves par les systèmes à prismes variables

Ce sont des systèmes comprenant un prisme ou des prismes dont on peut faire varier la puissance, exemple barre de prismes, diaporamètres, stéréoscope à prisme variable. Ces systèmes constituent le moyen le plus simple et le plus direct d'entraîner les réserves fusionnelles opposées à la phorie. Le sujet observe des petites lettres ou toute cible adéquate pour stimuler précisément l'accommodation et la fixation binoculaire. La puissance du prisme est augmentée progressivement et on demande au sujet de garder une vision nette et simple le plus longtemps possible. Quand le sujet voit flou ou double, le prisme est réduit et on demande au sujet d'essayer de revoir net et simple le plus rapidement possible. On répète la procédure pendant environ 5 minutes. Ces exercices peuvent être faits en vision de loin ou de près, ou les deux, suivant les cas à traiter

II.3.2. Prise en charge de l'ésophorie

II.3.2.1. Esophorie d'insuffisance de divergence

a. Eliminer la cause de décompensation

- Penser aux facteurs généraux de décompensation.
- Penser aux conditions de travail, et en particulier à la possibilité d'une mauvaise aération qui risque de provoquer la décompensation de l'insuffisance de divergence, et de contribuer à ce type d'ésophorie.

b. Correction de l'amétropie

- L'hypermétropie non corrigée est la cause la plus courante de décompensation avec ce type d'ésophorie. Avec les enfants, une cycloplégie peut être indiquée pour révéler toute hypermétropie latente.
- On donne la correction la plus convexe acceptée, en port constant. La correction convexe n'est pas toujours efficace car le rapport AC/A est typiquement faible. Si myope avec ésophorie décompensée de loin, donner la correction la moins concave possible.
- Revoir le sujet après un à trois mois pour voir si l'ésophorie a diminué et est mieux compensée.
- Le plus souvent, cette étape suffit. Toutefois, si l'ésophorie est toujours décompensée après plusieurs mois de port de la correction ou bien s'il n'y a pas d'hypermétropie à corriger, on peut considérer la rééducation ou les prismes.

c. Entrainement visuel

A envisager si la décompensation persiste après avoir éliminé les causes générales de décompensation et après le port de la correction optique.

-Exercices pour développer la réserve fusionnelle négative et/ou l'accommodation relative positive

d. Prisme

Il est utile si l'ésophorie est non accommodative et si l'entraînement n'est pas envisagé

e. Référer

Référer si une cause pathologique est suspectée. (Allary, 2003)

II.3.2.2. Esophorie d'excès de convergence

a. Eliminer la cause de décompensation

-Assez souvent, on peut remarquer que la distance de travail de près est très courte. C'est typiquement une mauvaise habitude prise pendant l'enfance. Le problème peut aussi être exacerbé par une augmentation importante ou soudaine du travail de près.

-Il est donc important de faire prendre de bonnes habitudes de travail, ce qui n'est pas toujours facile. La distance minimum de travail conseillée est 35 à 40 cm, ou la distance de Harmon.

b. Correction optique

Maximum convexe dans tous les cas

-Revoir le patient un à deux mois après pour évaluer l'effet du port de la correction, celui-ci n'étant pas toujours immédiat.

-On peut considérer une addition convexe en vision de près si une ésophorie décompensée est toujours présente avec le maximum convexe déterminée en VL.

-Pour l'excès de convergence qui se déclare avec l'arrivée de la presbytie, il suffit normalement de prescrire le convexe nécessaire pour la vision de près.

c. Entrainement visuel

-Entraînement des réserves fusionnelles de divergence de près.

d. Prisme

Les prismes ne sont pas appropriés avec l'excès de convergence. Puisque le rapport AC/A est élevé, il est préférable de jouer sur la sphère.

e. Référent

Normalement pas nécessaire, l'excès de convergence étant typiquement un problème fonctionnel. (Allary, 2003)

II.3.2.3. Esophorie basique

L'amplitude de l'ésophorie varie peu entre la vision de loin et la vision de près et celle-ci peut être décompensée de près et/ou au loin. Appliquer les mêmes principes qu'avec l'excès de convergence et l'insuffisance de divergence. (Allary, 2003)

II.3.3. Prise en charge de l'exophorie

II.3.3.1. Exophorie d'insuffisance de convergence

a. Eliminer la cause de décompensation

- Penser à l'état de santé générale, et en particulier à la fatigue.
Penser aussi aux conditions d'éclairage, aux taches monoculaires.

b. Correction optique

- En cas de myopie, on prescrit typiquement la correction optimale.
- En cas d'hypermétropie, attention à ne pas aggraver les symptômes avec la correction convexe
- En cas de presbytie, il est généralement préférable de donner l'addition minimum.

c. Entrainement visuel

L'entraînement des réserves fusionnelles de convergence et l'accommodation relative négative

d. Prismes

Souvent le traitement le plus approprié chez les adultes, en particulier chez les presbytes. Le sujet note souvent amélioration subjective immédiate avec les prismes. (Allary, 2003)

II.3.3.2. Exophorie d'excès de divergence

a. Annuler la cause de décompensation

Ceci n'est pas possible car la cause n'est pas connue.

b. Correction optique

- En cas de myopie, donner une correction complète de la myopie. Puisque le rapport AC/A est élevé, une sur correction concave peut être très efficace, à considérer si le sujet est suffisamment jeune. Vérifier que la correction est bien tolérée et n'introduit pas une gêne au près.
- En cas d'hypermétropie, il vaut mieux si possible ne pas corriger ou sous corriger l'hypermétropie.

c. Entrainement

Développer les réserves fusionnelles de convergences et/ou l'accommodation relative négative. (Allary, 2003)

d. Prisme

Les prismes sont rarement envisagés avec l'excès de divergence car la déviation au loin étant souvent importante, une correction prismatique importante serait typiquement nécessaire et celle-ci risque de gêner la vision de près.

e. Référer

Si la déviation est importante et n'est pas contrôlée par l'entraînement ou les moyens optiques, on peut suggérer au sujet de consulter un ophtalmologiste.

II.3.3.3. Exophorie basique :

La prise en charge est similaire à celle pour l'exophorie d'insuffisance de convergence

II.3.4. Hyperphorie

a. Annuler la cause de décompensation

Il faut prendre soin d'explorer les conditions de travail visuelles et tout stress ou mauvaise santé pouvant être à l'origine de la décompensation. Ceux-ci devraient recevoir de l'attention avant d'autres aspects de la gestion. (Evans, 2007)

b. Correction optique

L'équilibre de la correction réfractive est très important dans l'hyperphorie. En cas d'anisométrie marquée où aucune correction antérieure n'a été portée, une correction partielle de l'œil plus hypermétrope peut éviter une perturbation par des effets prismatiques verticaux lorsque le patient ne regarde pas à travers les centres optiques. La correction est réduite dans l'œil le plus hypermétrope jusqu'à ce que l'hétérophorie verticale soit compensée en regardant à travers les verres un peu au-dessus ou en dessous des centres optiques, il est plus courant de réaliser une version de ce test avec le patient hochant lentement la tête tout en regardant le test de disparité de fixation de Mallet vertical. (Evans, 2007)

c. Entrainement

Les exercices orthoptiques pour améliorer les réserves fusionnelles sont très rarement réussis et ne peuvent pas compenser l'hyperphorie.

d. Prisme

La plupart des hyperphories primaires peuvent être facilement soulagées par de faibles prismes verticaux. Le plus petit prisme qui neutralisera la disparité de fixation avec l'unité de Mallet peut être prescrit (Evans, 2007).

e. Référer

Une hyperphorie concomitante avec une diplopie intermittente d'apparition récente indique la nécessité d'une enquête médicale. Lorsqu'il existe un degré élevé d'hyperphorie et d'incomitance congénitale donnant lieu à des symptômes intolérables, un soulagement chirurgical est parfois envisagé. Un avis médical doit être demandé.

II.4. Hétérophorie et AC/A

Plusieurs systèmes ont été proposés pour classer les déviations oculaires en différents types. Bien que ces classifications soient généralement seulement descriptives, elles cherchent à identifier une étiologie commune dans chaque catégorie et ont pour objectif d'aider au diagnostic et aux décisions de traitement.

Catégorie (syndrome)	Dévation	AC/A
Insuffisance de convergence	exo plus important au près	faible < 6
Excès de divergence	exo plus important au loin	élevé > 6
Dévation exo basique	exo similaire au loin et au près	≈ 6
Insuffisance de divergence	éso plus importante au loin	faible < 6
Excès de convergence	éso plus importante au près	élevé > 6
Dévation éso basique	éso similaire au près et au loin	≈ 6

Tableau 03. Classification de Duane étendue des anomalies de vergence

Remarque

Il existe des cas rares où l'hétérophorie de près est inverse à celle de loin (phorie de sens inverse)

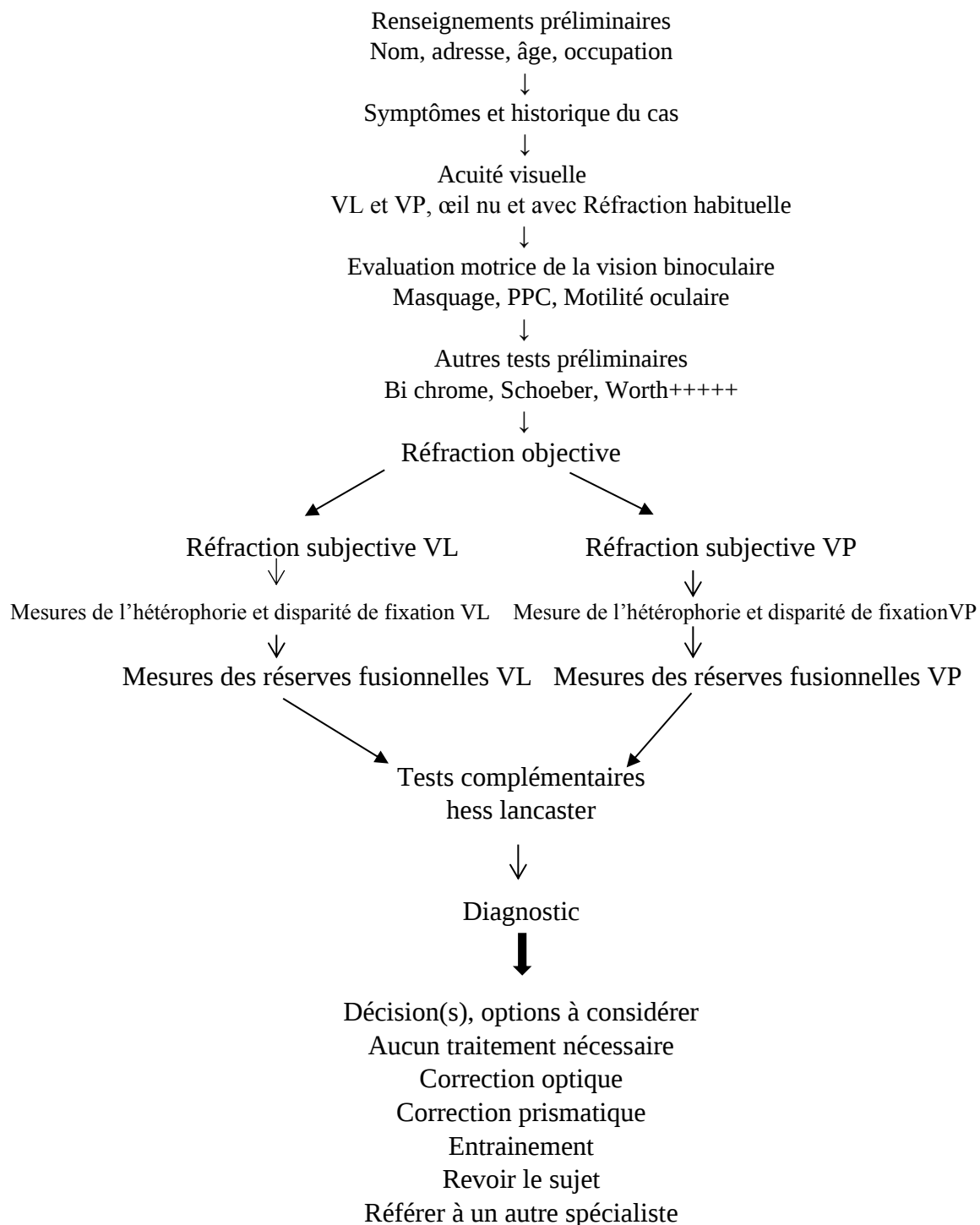


Figure 08. Déroulement de l'examen de l'hétérophorie avec disparité de fixation

III. La disparité de fixation

La disparité de fixation a été définie par Ogle, Martens et Dyer (Ogle, Marten et Dyer, 1967) à la fin des années 1940. D'après Palmer et al (Palmer EA, von Noorden GK, 1978) était Hofmann et Bielschowsky, suivi par Ames et Gliddon, qui ont été les premiers à expérimenter et démontrer ce phénomène. Auparavant appelé «posture», «slip» ou «shift», Ogle et al défini la fixation disparité comme « le déplacement apparent des détails observés monoculairement des cibles dont les autres détails sont fusionnés binoculairement ». Cela se produit lorsque les yeux ne sont pas exactement alignés pour voir un objet dans l'espace visuel. Les images rétinienne ne produisent pas de stimulation bifovéale, cependant, elles tombent toujours dans les zones fusionnelles de Panum et par conséquent, une vision binoculaire unique est toujours perçue (Ogle et al, 1967).

La fusion est l'un des fonctions du système visuel pour l'obtention d'une vision unique et stable, le système de fusion maintient les images des deux yeux aussi proches que possible sur les points correspondants. Cependant, la fusion n'est pas toujours exacte : une différence peut apparaître entre la position physique de la cible et le point fixé par les yeux, c'est-à-dire le point d'intersection des deux axes visuels lors de la fusion binoculaire, cette différence s'appelle la disparité de fixation. Les deux axes visuels peuvent se croiser dans le plan de la cible de fixation, devant ou derrière celle-ci ; ces conditions sont connues sous le nom de disparité de fixation zéro, éso ou exo, respectivement (voir la figure 09). Même s'il y a une disparité de fixation entre les deux yeux, les deux images se trouvent toujours dans la zone de Panum et, par conséquent, les observateurs ne ressentent ni diplopie ni modification de la qualité de l'image (Ogle et al, 1967) (Sheedy, 1980).

La disparité de fixation est une petite erreur de vergence (Howard et Rogers, 2002) généralement inférieure à 25 minutes arc lorsqu'elle est mesurée subjectivement avec des lignes nonius (Ogl et al, 1980), et jusqu'à 60 minutes arc ou plus lorsqu'elle est mesurée objectivement avec des eye-trackers (Jainta et Jaschinski, 2010 ; Jaschinski et al, 2010).

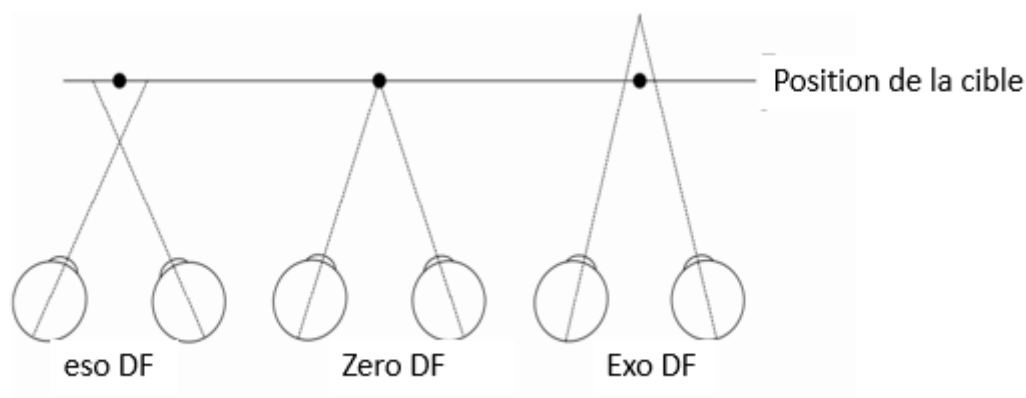


Figure 09. Illustration de la disparité de fixation (FD), où deux axes visuels se coupent sur le plan de la cible de fixation (zéro disparité), avant la cible de fixation (ésodisparité) et derrière la cible (exodisparité).

III.1. La relation entre phorie et disparité de fixation

En règle, la disparité de fixation est de même sens que l'hétérophorie, c'est à dire que les sujets exophoriques présentent une exodisparité, et les ésophoriques une ésodisparité. Cependant, il peut y avoir une discordance, avec une ésodisparité associée à une exophorie. Ces cas ne sont pas exceptionnels. Par contre, l'exodisparité avec ésophorie est beaucoup plus rare. Il n'y a pas de proportionnalité entre la valeur de la phorie et celle de la disparité (Ogle, 1950)

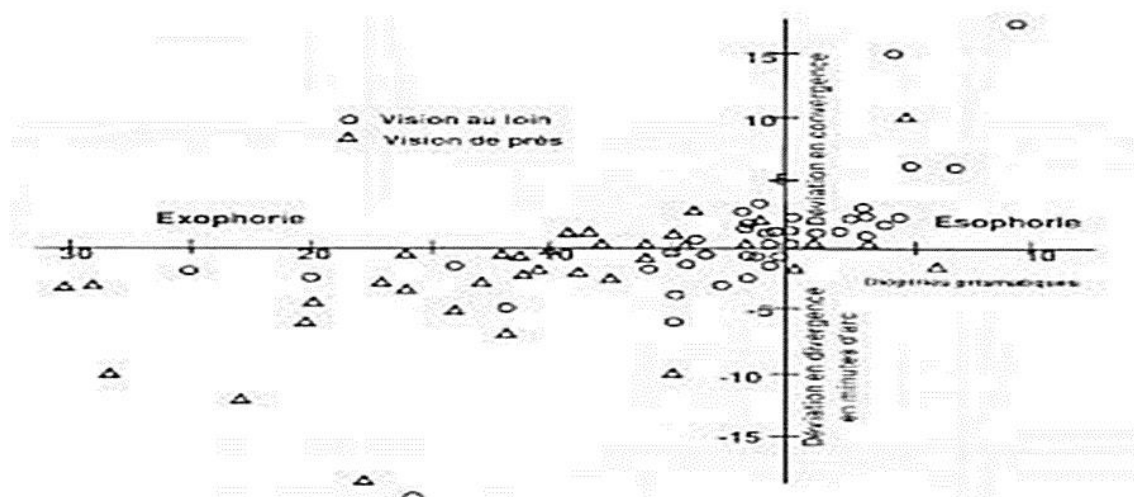


Figure 10. La relation entre hétérophorie et disparité de fixation chez des sujets normaux, On notera la relative fréquence des exophories présentant une ésodisparité. D'après Ogle (Ogle, 1950).

L'une des propriétés physiologiques importantes de la disparité de fixation (un état de vergence avec un stimulus de fusion) est sa corrélation avec l'hétérophorie (un état de vergence au repos sans stimulus de fusion). En optométrie, l'hétérophorie est souvent rapportée comme étant liée à la disparité de fixation subjective (Palmer & von Noorden, 1978). Les résultats de l'étude de Svede (Svede et al, 2011) montrent une corrélation significative entre l'hétérophorie et la disparité de fixation subjective ($p = 0.0004$). Cependant, les études diffèrent dans leurs rapports sur le degré de cette corrélation, qui peut dépendre de la distance d'observation (Palmer et von Noorden, 1978) ; Cependant, les auteurs conviennent qu'un degré élevé de disparité de fixation subjective est corrélé à une hétérophorie horizontale sévère. Jaschinski et al (2010), Svede et al (2015) ont observé une corrélation significative entre la disparité de fixation objective et l'hétérophorie, mesurée lors de l'étalonnage monoculaire mais n'est statistiquement significative que pour la disparité de fixation calibrée monoculaire ($p = 0.007$), et non pas pour la disparité de fixation étalonnée binoculairement ($p > 0.05$).

III.2. Formes cliniques de disparités de fixation

Il existe deux types de disparité de fixation qui diffèrent par le paradigme de mesure, la signification physiologique et le domaine d'application.

III.2.1. La disparité de fixation subjective

La mesure clinique classique est la disparité de fixation subjective, indiquée par un décalage perçu des lignes de nonius dichoptiques physiquement alignées, des ajustements précis du nonius peuvent être effectués dans la plage de quelques minutes d'arc, également avec des dispositifs de test simples appliqués en optométrie clinique (Sheedy et al, 1983).

III.2.2. La disparité de fixation objective

La disparité de fixation objective est une erreur de vergence qui est mesurée physiquement avec des procédures de suivi oculaire, puisque la disparité de fixation objective est généralement inférieure à 1 degré, elle ne peut être mesurée qu'avec des méthodes de recherche sophistiquées qui ont été principalement appliquées à des tâches de fixation simples (Fogt, 1997). Plus récemment, les conditions d'observation naturelles incluaient des changements de regard dans l'espace (Cornell ED, 2003) et des tâches de lecture ou de numérisation (Kirkby JA et al, 2013).

III.3. Analyse des disparités de fixation : approches sensorielles et motrices

Depuis qu'elle a été popularisée par Ogle en 1949, la disparité de fixation a été d'un intérêt particulier pour les cliniciens. Plusieurs stratégies d'évaluation et de gestion des disparités de fixation ont été proposées dans la littérature. Aux États-Unis, la stratégie dominante qui a émergé au cours des trois dernières décennies a été l'évaluation motrice. C'est-à-dire que le système binoculaire est mis à des quantités connues de demande de vergence sous forme de prisme. Le changement de disparité de fixation qui en résulte est tracé sous forme de courbe connue sous le nom de courbe de disparité de fixation à vergence forcée (voir chapitre 03). Les composantes de la courbe résultante sont ensuite analysées, conduisant à des recommandations thérapeutiques.

Parallèlement, en Europe, une approche très différente de la compréhension et de l'utilisation des disparités de fixation a été développée. Ce point de vue met l'accent sur l'adaptation du système binoculaire à la présence d'une disparité de fixation. Cette approche ne cherchait pas à insister sur le système de vergence en exigeant une vergence fusionnelle, mais plutôt à étudier l'état du système sensoriel visuel sans demandes fusionnelles supplémentaires.

Bien que les deux approches conviennent que la disparité de fixation a le potentiel de révéler une vision plus exacte sur le fonctionnement du système binoculaire dans des conditions de vision physiologique que d'autres systèmes d'analyse, les approches divergent de manière très importantes, en particulier dans la compréhension du développement de la disparité de fixation et sa gestion. Alors que la philosophie sous-jacente aux tests et à la gestion de l'approche motrice sera familière à la plupart des cliniciens aux États-Unis, l'approche sensorielle offre une perspective très différente. Il considère le développement de la disparité de fixation comme un déplacement de la correspondance au sein de la région de Panum. En effet, cela peut être considéré comme l'oxymore «une correspondance normale et anormale», c'est-à-dire un changement de correspondance se produisant chez les patients non strabiques (London, 2006).

III. 4. Moyen d'évaluation de la disparité de fixation.

III.4.1. La disparité de fixation subjective.

Les tests les plus couramment utilisés cliniquement pour mesurer la disparité de fixation subjective sont le disparomètre de Sheedy, la carte Wesson, la carte Woolf sur laquelle est basée la carte Wesson et le test d'équilibre à proximité de Saladin (Despotidis N, 1991). Certains des

tests subjectifs traditionnels, tels que Mallet (Karania R, 2006) sont incapables de mesurer la disparité de fixation. Ils peuvent indiquer la direction de la disparité de fixation mais ne mesurent réellement que la phorie associée.

III.4.2. La disparité de fixation objective

La disparité de fixation objective est mesurable avec les procédures de suivi des yeux (eye tracker) puisqu'elle est typiquement inférieure à 1 degré ce qui nécessite des méthodes de recherche sophistiquées avec des tâches de fixation simples (Schroth V, 2015).

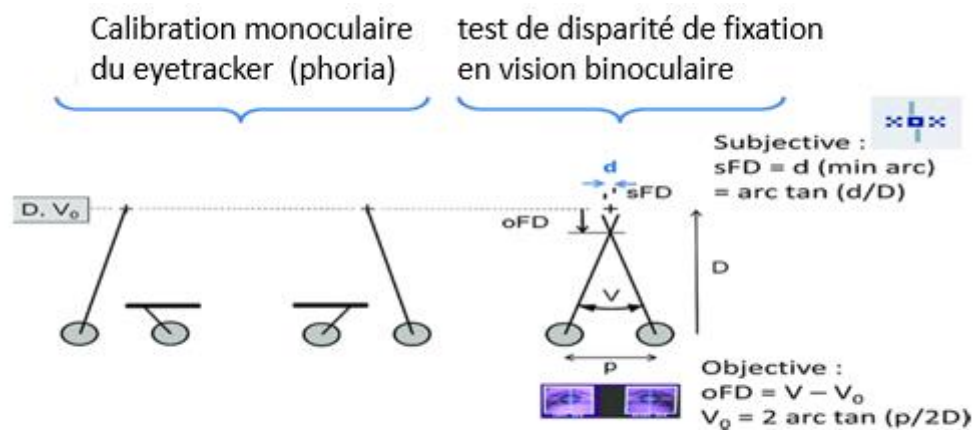


Figure 11. Les conditions de mesure de la disparité de fixation.

La figure 11 montre les conditions de mesure de la disparité de fixation : Sans prismes, la disparité de fixation objective est la différence entre l'angle de vergence V observé pendant l'enregistrement binoculaire et l'angle de vergence du stimulus $V_0 = 2 \arctan(p / 2D)$. Dans cet exemple de DFO sur-convergent (ésodisparité), V est plus grand que V_0 . Les composantes monoculaires de V_0 sont mesurées pendant l'étalonnage de eye tracker qui est effectué séparément pour l'œil gauche et l'œil droit, la position de l'œil pendant la fixation monoculaire représente la position zéro pour la période d'enregistrement binoculaire. L'œil couvert prend l'état de repos de l'hétérophorie (V. Schroth, 2015).

III. 5. Evaluation de la disparité de fixation avec vidéo eye tracker : Monoculaire versus binoculaire calibration.

Enregistrement par le video eye tracker est devenu la technique la plus utilisée pour l'exécution de diverses expériences de mouvements oculaires car il donne des résultats comparables à ceux de la technique par coils scléaux (vander Geest, 2002). En conséquence, des systèmes de vidéo oculographie sont également utilisés pour évaluer les réponses de vergence et les disparités de fixation (mesure avec précision un état de vergence avec un stimulus de fusion). Cette technique nécessite une mesure de précision de la position du regard, ce qui fait la qualité de l'étalonnage pose un problème (Hoormann et al, 2008). Les eye-trackers basés sur la vidéo nécessitent un étalonnage, afin d'établir une cartographie entre le centre de la pupille sombre dans l'image de l'œil et l'orientation physique de l'œil (la position du regard) dans l'espace des stimuli (Hammoud, 2008). Lors des étalonnages, on demande au participant de se fixer sur certaines cibles dans l'espace stimulus (par exemple, sur le moniteur), l'eye-tracker détecte la position du centre de la pupille dans l'image de l'œil et associe cette position à la position de la cible (Nyström et al, 2013).

Un étalonnage monoculaire nécessite l'occlusion d'un œil ce qui permet d'interrompre la binocularité et la fusion, par conséquent, le système visuel guidera l'œil ouvert vers le centre de la fovéa où la résolution spatiale est maximale, tandis que l'œil occlus prend la position de vergence au repos « hétérophorie » (voir un exemple d'exophorie figure 12). Ainsi, dans l'étalonnage monoculaire, la condition de disparité de fixation nulle (la projection fovéale centrale de la cible dans les deux yeux) est définie par les deux fixations monoculaires, premièrement, l'œil gauche et, par la suite, l'œil droit. Les deux fixations sont enregistrées séparément. Cette fixation monoculaire détermine la condition physiologique de référence pour l'enregistrement binoculaire pendant la phase de test (Svede et al, 2015)

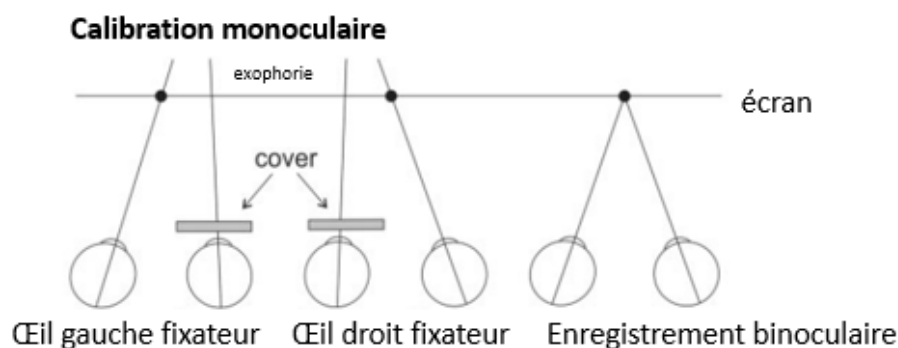


Figure 12. Illustration d'une calibration monoculaire (Svede et al, 2015).

Une calibration binoculaire (figure 13) : la position de vergence réelle peut être une disparité de fixation (par exemple, une ésodisparité de fixation).

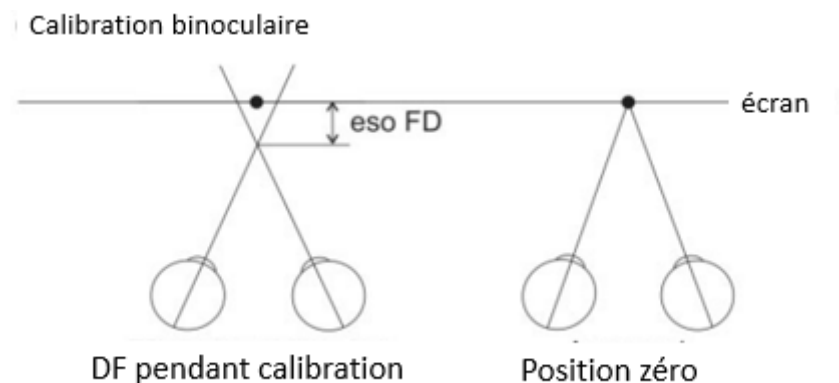


Figure 13. Illustration d'une calibration binoculaire (Svede et al, 2015).

Dans l'étude de la disparité de fixation, chaque groupe de recherche préfère sa propre procédure d'étalonnage (soit auto-développée ou recommandée par le fabricant). Les considérations suivantes peuvent être pertinentes: (a) les cibles d'étalonnage devraient couvrir la zone où les stimuli expérimentaux sont présentés, (b) les cibles d'étalonnage devraient être suffisamment petites pour générer des fixations stables et devraient être faciles à voir, (c) un meilleur étalonnage peut être obtenu avec des cibles rétrécissantes (diminuant progressivement en taille pendant la période de fixation, (Holmqvist et al, 2011)), et (d) les étalonnages peuvent être rendus plus précis en augmentant le nombre de cibles d'étalonnage (Svede et al, 2015). Nystro et al. (2013) fournissent des suggestions supplémentaires pour améliorer les procédures d'étalonnage. Pourtant, la littérature actuelle fournit peu d'informations sur les implications des calibrations monoculaires versus binoculaires pour mesurer la vergence et, en particulier, la disparité de fixation. Le résultat de Svede (2015) révèle que la disparité de fixation calibrée de manière monoculaire est plus grande que la disparité de fixation calibrée binoculaire. Les calibrations binoculaires sont plus faciles à réaliser, car ils nécessitent moins de temps. Cependant, seules les calibrations monoculaires sont physiologiquement valide dans le sens où la disparité de fixation résultante est déterminée par rapport au centre supposé de la direction visuelle. Une calibration monoculaire semble être plus appropriée pour étudier toute l'étendue de la disparité de fixation en termes optométriques (Svede et al, 2015).

III.6. Mesure de vergence et disparité de fixation en 3D : calculs mathématiques

Le couple oculaire se déplace continuellement dans l'espace 3D, ils convergent rarement sur le plan de fixation. Plutôt, les enregistrements des mouvements des yeux montrent un certain désalignement, ce que l'on appelle disparité de fixation. La disparité de fixation peut se produire dans le plan horizontal et vertical. Pour ces raisons, la recherche sur la vision se réfère vers les calculs mathématiques pour savoir où exactement les lignes de regard croisent le plan de stimulation. Des recherches fondamentales sur les mouvements oculaires montrent que le calcul de vergence se fait par une simple différence entre les deux angles de rotation. Récemment le besoin de nouveaux calculs est apparu avec l'utilisation croissante des eye trackers. Nous introduisons dans cette partie le calcul complet de la disparité de fixation dans l'espace 3D qui permet d'étudier la précision du regard (Duchesne J, Coubard, 2020).

Comme la disparité de fixation est définie comme le désalignement des lignes de regard sur l'objet d'intérêt (Ogle, 1958). La ligne de regard peut être conçue comme la ligne théorique joignant le centre de la foveola où se trouve l'acuité visuelle la plus élevée de l'œil, à l'objet d'intérêt dans l'espace 3D. Pour des raisons mathématiques, le centre de la rotation de l'œil est préféré à toute autre structure anatomique de l'œil. Les axes visuels ont également été utilisés mais leur pertinence est discutée (De Luca et al, 2009).

Puisque les yeux humains sont séparés horizontalement par une moyenne de six centimètres et considérant arbitrairement que les yeux sont alignés verticalement, l'angle de vergence est défini comme l'angle formé par les deux lignes de regard sur l'emplacement de l'objet fixé (Helmholtz, 1910). Différents calculs ont été proposés jusqu'à présent pour calculer l'angle de vergence et la disparité de fixation associée, la formule définie comme la différence entre l'angle de vergence réel et l'idéal ou théorique (c'est-à-dire ortho-disparité), est donnée par l'équation :

$$DF = \alpha_A - \alpha_I \text{ (De Luca et al, 2009).}$$

Bien que ces calculs puissent être satisfaisants dans certaines conditions de laboratoire, ils sont insuffisants pour décrire correctement la vergence et FD dans l'espace 3D. L'étude de Duchesne (Duchesne J, Coubard, 2020) vise à combler cette lacune en fournissant un nouveau calcul d'angle de vergence et de FD, qui peut être utilisé dans n'importe quelle visualisation 3D.

Problème et solution 1

Dans la situation la plus simple, les cibles visuelles se trouvent sur un cercle d'isovergence passant par les centres de rotation de l'œil gauche / droit (voir problème A sur la figure 14). Dans ce cas, les angles de vergence α et DF sont donnés par l'équation (A) de sorte qu'une valeur positive indique éso-disparité ou convergence, et une exo-disparité ou divergence de valeur négative.

$$DF = \alpha_A - \alpha_I$$

$$DF = (\beta_{AL} + \beta_{AR}) - \left(\text{Arctan} \frac{EIP}{d} \right) \quad (A)$$

α_A est la vergence réelle, α_I la vergence idéale, β_{AL} / β_{AR} les angles de rotation réels de l'œil gauche / droit, EIP la distance interpupillaire et d la distance par rapport au plan de stimulation.

L'angle de vergence est par définition constant sur le cercle d'isovergence. L'IPD remplace la distance entre les deux centres de rotation oculaire, qui ne peut être mesurée directement (De Luca et al, 2009). L'EIP peut être mesuré comme la distance entre les centres des pupilles soit manuellement (par exemple, avec un pupillomètre) ou avec vidéo eye tracker. La distance au plan (d) est la distance orthogonale séparant le plan de stimulation et la ligne de base de l'œil. Puisque ce dernier ne peut pas soit mesurée directement, la distance par rapport au plan est la somme de la distance de vision (VD) et du rayon du globe oculaire estimé. La VD est directement mesurée comme la distance entre le plan de stimulation et le sommet cornéen. Le rayon du globe oculaire prend la valeur estimée de 13mm (De Luca et al, 2009)

Avec le développement des études sur les mouvements oculaires à travers le monde, les laboratoires ont évolué vers des techniques moins invasives et plus conviviales comme les eye trackers et la vidéo-oculographie. À l'aide d'un écran d'ordinateur pour l'étalonnage et la stimulation.

Problème et solution 2

Lorsque la stimulation visuelle est située sur un plan fronto-parallèle tel qu'un écran d'ordinateur, l'équation (A) n'est plus suffisante pour calculer l'angle de vergence avec précision (voir le problème B dans la figure 14). De Luca et al. (2009) ont proposé l'équation (B) pour déterminer DF avec précision à toutes les excentricités dans le plan horizontal. La formule fonctionne avec

n'importe quel eye-tracker qui fournit les coordonnées des yeux gauche / droit sur l'axe x du plan de l'écran, respectivement notées S_L/S_R .

$$DF = \alpha_A - \alpha_I$$

$$DF = \left(\text{Arctan}\left(\frac{EIP/2 - k}{d - x}\right) + \text{Arctan}\left(\frac{EIP/2 + k}{d - x}\right) \right) - \left(\text{Arctan}\left(\frac{EIP/2 + j}{d}\right) + \text{Arctan}\left(\frac{EIP/2 - j}{d}\right) \right) \quad (B)$$

$$\text{Avec } k = \frac{EIP}{2} - \left(\frac{(S_L - (S_0 - EIP/2)) \times (d - x)}{d} \right)$$

$$x = \frac{dy}{EIP + y}$$

$$Y = S_L - S_R$$

$$J = S_0 - S_m = S_0 - \frac{(S_L + S_R)}{2}$$

d la distance au plan, S_0 la projection orthogonale du point médian de la ligne de base de l'œil sur le plan de stimulation, S_L / S_R les coordonnées des yeux gauche / droit sur l'axe x de l'écran, et S_m le milieu du segment (De Luca et al, 2009).

Problème et solution 3. Lorsque la stimulation visuelle se situe n'importe où dans l'espace 3D, par exemple vers le haut ou vers le bas du plan horizontal de l'écran de l'ordinateur, l'équation (B) n'est plus à son tour suffisant pour fournir un calcul précis de l'angle de vergence (voir le problème C sur la figure 14). D'autre part, il peut exister un décalage vertical entre les deux yeux de sorte qu'un œil regarde plus haut que l'autre. Dans ce cas, de nouveaux calculs d'angle de vergence sont nécessaires pour n'importe quel emplacement dans l'espace 3D. La seule condition préalable à un tel calcul est un eye-tracker qui affiche les coordonnées des deux yeux sur les axes x et y.

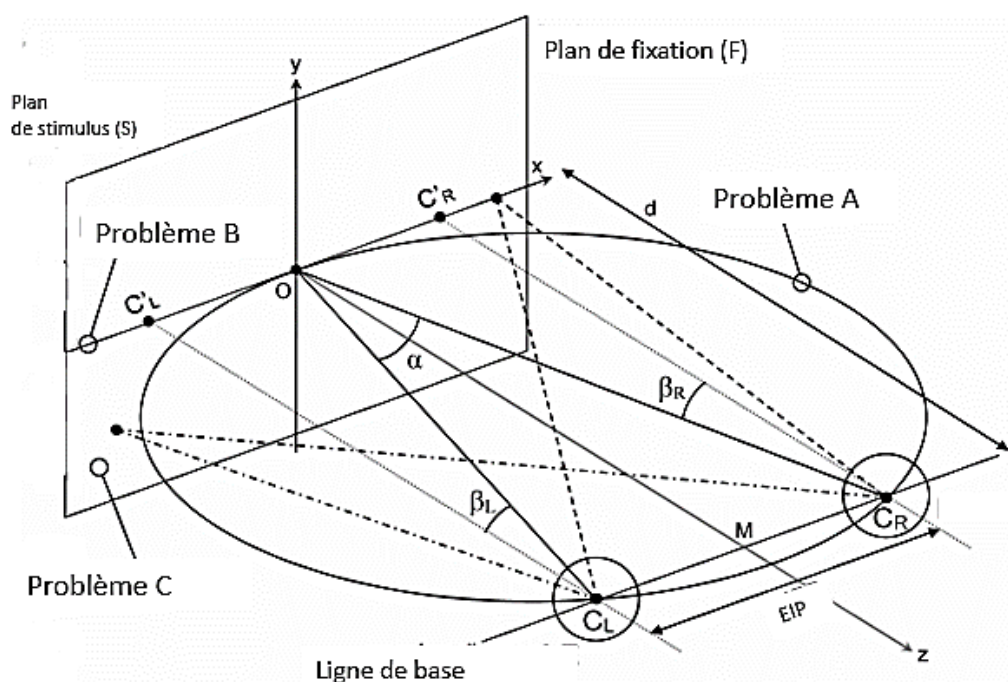


Figure 14. Problèmes de vergence et de disparité de fixation (FD) dans l'espace 3D
(Duchesne J, Coubard, 2020)

L'EIP représente la distance entre les deux centres de rotation oculaire, qui ne peut être mesurée directement (De Luca et al, 2009). Il peut être mesuré comme la distance entre les centres des pupilles soit manuellement (par exemple, avec un pupillomètre) ou avec vidéo eye tracker. La distance au plan (d) est définie comme la distance orthogonale séparant le plan de stimulation et la ligne de base de l'œil. Puisque ce dernier ne peut pas soit mesurée directement, la distance par rapport au plan est la somme de la distance de vision (VD) et du rayon du globe oculaire estimé. La VD est directement mesurée comme la distance entre le plan de stimulation et le sommet cornéen. Le rayon du globe oculaire est estimé à 13 mm (Obstfeld, 1982; De Luca et al, 2009)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1			Eye-tracker output				Eye-tracker derived variables		Fixation disparity		
2	Direct measures		x_L	x_R	y_L	y_R	$x_S=(x_L+x_R)/2$	$y_S=\text{MIN}(y_L,y_R)$	FD_H	FD_V	FD_{RES}
3	IPD (m)	0.06	0.060	0.057	0.150	0.150	0.059	0.150	0.2737	0.0000	0.2737
4	VD (m)	0.6	0.209	0.214	0.165	0.165	0.212	0.165	-0.4616	0.0000	0.4616
5	L screen (m)	0.3	0.213	0.213	0.165	0.170	0.213	0.165	0.0000	0.4670	0.4670
6	H screen (m)	0.3	0.282	0.261	0.168	0.154	0.272	0.154	1.8835	-1.3081	2.2930
7			0.250	0.267	0.145	0.157	0.259	0.145	-1.5383	1.1216	1.9037
8	Derived variables										
9	IPD/2 (m)	0.03									
10	$d(m) = VD+0.013$	0.613									
11	$x_{CL} = (L_{screen}/2)-(IPD/2)$ (m)	0.12									
12	$x_{CR} = (L_{screen}/2)+(IPD/2)$ (m)	0.18									
13	$y_0 = H_{screen}/2$ (m)	0.15									
14											
15	Calculation of FD_H										
16	$=\text{ATAN}((C3-B\$11)/((B\$10^2+(H3-B\$13)^2)^{0.5})+\text{ATAN}((B\$12-D3)/((B\$10^2+(H3-B\$13)^2)^{0.5})$										
17	$-\text{ATAN}((B\$12-G3)/((B\$10^2+(H3-B\$13)^2)^{0.5})-\text{ATAN}((G3-B\$11)/((B\$10^2+(H3-B\$13)^2)^{0.5}))*180/PI()$										
18											
19	Calculation of FD_V										
20	$=\text{IF}(E3=F3,0,((\text{ATAN}((F3-B\$13)/B\$10))-(\text{ATAN}((E3-B\$13)/B\$10)))*180/PI())$										
21											
22	Calculation of FD_{RES}										
23	$=\text{ACOS}(\text{COS}(I3/180*PI()))*\text{COS}(J3*PI()/180))*180/PI()$										

Figure 15. Illustration des données dans un fichier Excel montrant les mesures directes et leurs dérivées, le calcul de FD_H , FD_V et FD_{RES} . (Duchesne J, Coubard, 2020)

III.6.1. Équations de disparité de fixation :

Cas 1 : La disparité de fixation horizontale :

Le résultat des études de Duchesne et al permet d'élaborer une formule de détermination de la disparité de fixation horizontale qui prend la forme générale suivante (Duchesne J, Coubard, 2020).

$$DFH = \text{Arctan} \left(\frac{x_{Li} - x_{c'L}}{\sqrt{d^2 + (y_{so} - y_0)^2}} \right) + \text{Arctan} \left(\frac{x_{c'R} - x_{Ri}}{\sqrt{d^2 + (y_{so} - y_0)^2}} \right) - \text{Arctan} \frac{x_{Si} - x_{c'L}}{\sqrt{d^2 + (y_{so} - y_0)^2}} - \text{Arctan} \left(\frac{x_{c'R} - x_{Si}}{\sqrt{d^2 + (y_{so} - y_0)^2}} \right)$$

β_L / β_R : angles de rotation de l'œil gauche / droit; C_L / C_R : centre des yeux gauche / droit; C'_L / C'_R : projection orthogonale de C_L / C_R sur le plan S; d: distance entre le plan S et la ligne de base de l'œil.

x_{Si} la coordonnée x du point Si. y_0 la coordonnée y du centre O. le point S1 est situé à l'intérieur du segment $C'_L C'_R$.

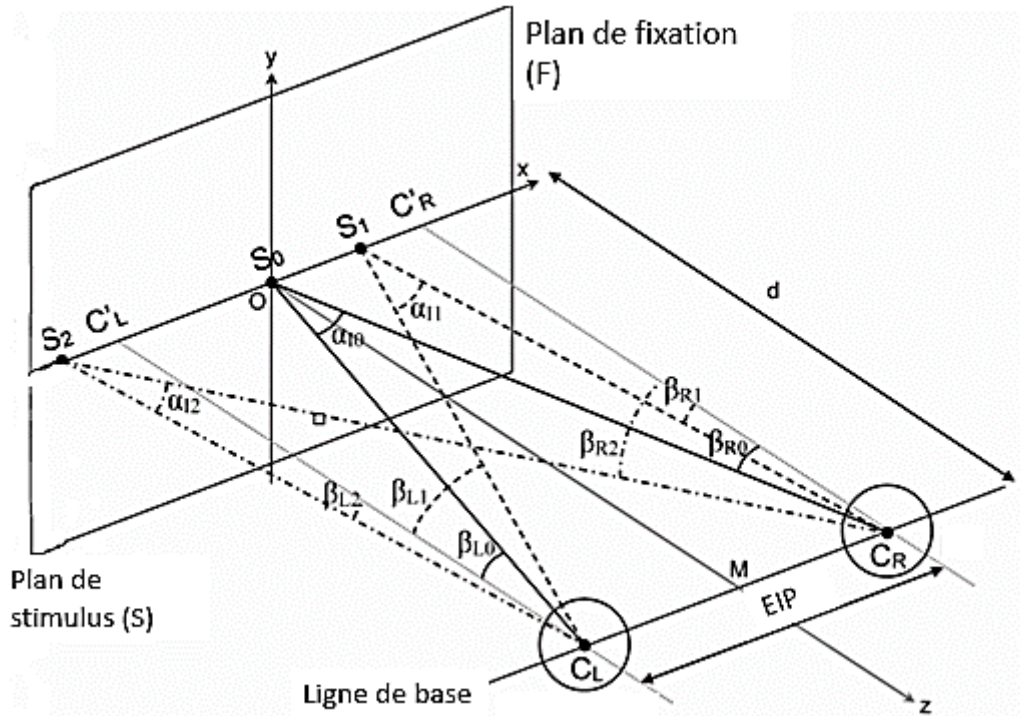


Figure 15 : Ortho-disparité dans l'espace 3D et angles de vergence idéaux. (Duchesne J, Coubard, 2020)

Cas 2 : La disparité de fixation verticale :

$$DFv = \text{Arctan}\left(\frac{y_R - y_O}{d}\right) - \text{Arctan}\left(\frac{y_L - y_O}{d}\right)$$

DFv est positif lorsque y_R est supérieur à y_L , sinon il est négatif. y_L / y_R les coordonnées y des points S_L / S_R

II.6.1.1. Équation de la disparité de fixation résultante :

$$DF_{RES} = \text{Arccos}[\text{COSDF}_H \cdot \text{cosDF}_V]$$

Si il n'y a pas de hyper-disparité ($DF_H=1$), donc

$$DF_{RES} = \text{Arccos}[\text{COSDF}_H] , DF_{RES}=DF_H$$

Conclusion :

L'instabilité binoculaire par une hétérophorie avec disparité de fixation provoque des symptômes de la décompensation : asthénopie et perturbation de la perception visuelle.

La thérapie visuelle de ce dysfonctionnement repose sur un ensemble de moyen de prise en charge : correction optique, rééducation orthoptique, adaptation prismatique et la chirurgie.

En cas de disparité de fixation verticale (cas induit dans notre étude pratique), l'optométriste peut agir d'une manière efficace avec une adaptation prismatique par rapport à une rééducation orthoptique à cause de la limitation des réserves fusionnelles verticales.

Dans le chapitre suivant nous aborderons le concept de prismation et son effet sur le comportement binoculaire en générale et la disparité de fixation en particulier.

Chapitre III

Effet de prisme sur l'hétérophorie avec disparité de fixation.

Introduction

L'utilisation de prismes en cas de dysfonctionnement binoculaire est une modalité de traitement importante pour traiter ces patients (Evans, 2002). La décision de prescrire un prisme, et la valeur du prisme à donner, est sujette à des opinions et pratiques cliniques variables (O' Leary, 2003). L'opinion conservatrice dans la pratique clinique est que les prismes ne doivent pas être prescrits en l'absence de symptômes de dysfonctionnement binoculaire (Evans, 2002). Dans ce chapitre on aborde la méthode de détermination de prisme d'alignement avec le test de Mallet ainsi l'effet prismatique sur la disparité de fixation.

I. Les prismes en pratique optométrique.

Les prismes servant aux différents tests cliniques sont présentés soit en boîte comprenant des prismes séparés de valeur croissante de 1 à 50, soit sous forme de «barre de prisme» ou règle de Berens. Elles sont de deux types, dans les unes, les prismes sont orientés base verticale pour la mesure des déviations horizontales, dans les autres bases horizontales pour les déviations verticales. La puissance va de 1 à 40 Δ pour les premières et de 1 à 30 Δ pour les secondes.

Les prismes sont de deux sortes :

- Les prismes en verres que l'on peut intégrer dans la correction optique.
- Les prismes d'essai ou prismes provisoires.

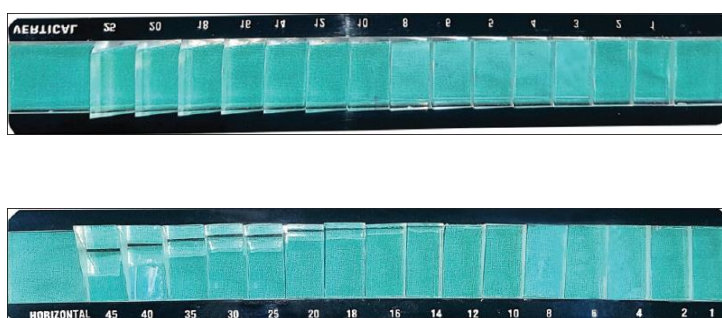


Figure 16. Les barres de prisme de Berens (Antony, 2017)

I.1. Les verres conventionnels

Minéraux et organiques, pendant longtemps ce sont les seuls dont on a pu disposer. Dès qu'on dépasse une puissance de 8 à 10 dioptries, ils sont très lourds, l'épaisseur marginale devient considérable, et ils provoquent des aberrations sphériques importantes souvent mal tolérées. On ne doit donc les prescrire que pour compenser de faibles déviations résiduelles, et tout

particulièrement dans les séquelles modérées de paralysie oculomotrice. Fait intéressant, on peut les incorporer dans des corrections sphériques ou toriques, bifocales ou progressives

I.2. Les prismes de Fresnel ou «Wafer Prisms»

Ils sont basés sur le principe de Fresnel : la puissance prismatique totale est remplacée par une succession de microprismes d'angle constant. Ce sont des verres organiques très légers et très minces. Leur épaisseur est presque la même de 1 à 35 dioptries. Ils permettent par conséquent de compenser de très fortes déviations. Néanmoins ils sont rigides et plats ; aussi, sans une monture particulière type Bérard, il est pratiquement impossible de les associer à une correction optique. Cependant, durant le temps des essais ou du traitement d'épreuve, on peut les fixer sur les lunettes par des adhésifs.

I.3. Les prismes souples de Jampolsky ou «Press-on»

Ils sont de conception analogue, en matière plastique souple et encore plus mince que les Wafer Prisms. On les applique sous courant d'eau tiède sur la face postérieure des verres auxquels ils adhèrent par capillarité

Ils conviennent tout particulièrement pour les prismations de courte durée. En effet, avec le temps, ils jaunissent et perdent de leur transparence.

Leur gamme est très large (0,5;1;1,5;2;3;4;5;6;8;10;12;15;20;25;30dioptries); aussi peut-on compenser les degrés les plus variés de déviation (Quéré, 1990).

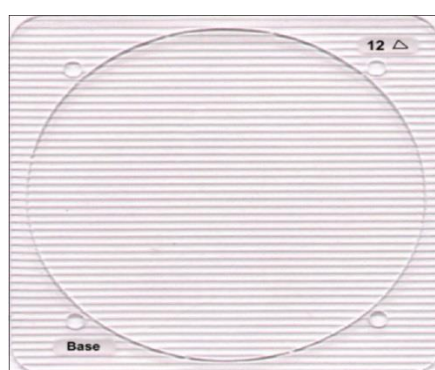


Figure 17. Press-on (Antony, 2017)

I.4. Le décentrement de verre optique

Un verre convexe est l'équivalent de deux prismes accolés par leur base, un verre concave, de deux prismes accolés par leur arête. Quand il y a une amétropie corrigée, on peut obtenir par le

décentrement du verre la compensation prismatique d'une déviation. Un calculateur (Lissac) permet de savoir par simple lecture l'orientation et le degré de décentrement qu'il convient de lui donner. Il est évident que les possibilités de ce procédé sont limitées pour les faibles amétropies, elles sont en revanche beaucoup plus grandes quand l'amétropie est élevée.

II. Effet sensori-moteurs du prisme

Comme la déviation du rayon lumineux se fait vers la base du prisme, l'image se déplace vers l'arête et le mouvement compensatoire de l'œil qui correspond à la puissance du prisme se fait également vers l'arête (Antony, 2017). Sous occlusion l'autre œil fait le même mouvement de compensation vers l'arête du prisme (Véronneau-Troutman, 1997).

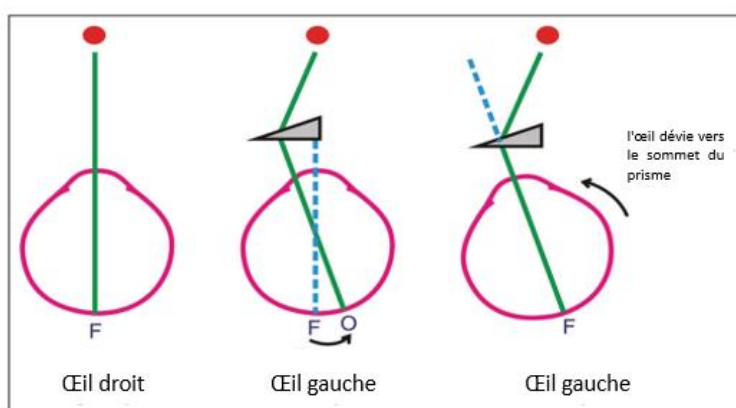


Figure 18. Effet du prisme monoculaire (Antony, 2017)

Si les deux yeux sont ouverts, circonstance la plus fréquente, les prismes produisent un effet appelé SILO, abréviation de Short-In/Large-out: le prisme base externe stimule la convergence. Les axes visuels se rapprochent comme s'ils visaient un point moins éloigné. Le sujet voit l'objet plus petit (short) et plus proche (in). Le prisme base interne inhibe la convergence, le sujet voit alors plus gros et plus loin (out).

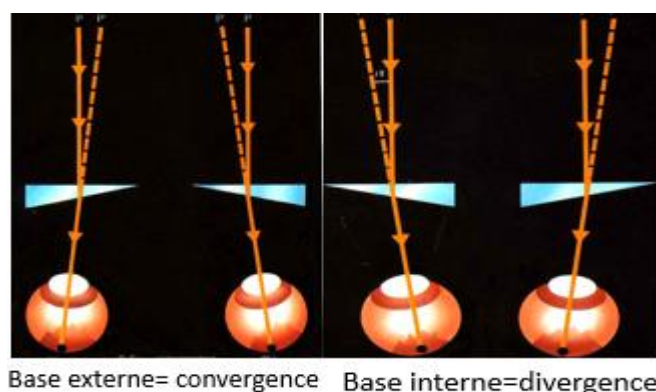


Figure 19. Effet du prisme binoculaire

Les prismes à base inférieure ou supérieure vont eux aussi entraîner des réactions posturales caractéristiques que le docteur J-B. BARON, si on place un prisme base supérieure devant l'œil droit par exemple le regard de cet œil est dévié vers le haut. Si le prisme ne dépasse pas 3Δ , il peut être compensé par un effort du muscle droit inférieur qui abaisse l'œil afin d'éviter la diplopie ; pour soulager cet inconfortable mouvement oculaire, le sujet incline la tête du côté droit. Cette réaction est identique au réflexe anti-diplopie (appelé aussi torticolis optique) d'une personne atteinte d'une hyperphorie de l'œil droit. Mais pour des raisons d'équilibre postural, quand on incline la tête, on monte l'épaule, et on abaisse la hanche du même côté, ce qui crée au niveau des pieds un décalage d'appui sur le sol. Il est habituel de dire que les prismes sont «actifs» ou «passifs» selon le but recherché par le prescripteur. Si l'on propose, par exemple, à un ésophore de porter temporairement un prisme base interne pour rééducation ayant pour but de renforcer le tonus du muscle droit externe, l'effet du prisme est actif.

Si, au contraire, les réserves fusionnelles ne permettent pas cette solution, on soulagera la vision binoculaire par un prisme permanent, base externe, aidant l'ésophorie à compenser son anomalie : l'effet est passif (Darras, 1995).

Les prismes changent le stress sur le système d'alignement binoculaire et, par conséquent, modifie l'importance de la disparité de fixation. Prisme base-in (base-out) oblige les yeux à diverger (converger) pour maintenir la fusion. Avec l'augmentation de la puissance du prisme, la fusion est maintenue jusqu'à la limite des réserves de fusion où la fusion devient instable et une diplopie se produise (Ogle, 1950).

III. Prisme indication et puissance

III.1 Indication

Le prisme peut être envisagé lorsque les exercices oculaires sont inappropriés en raison de l'âge ou d'une mauvaise santé, ou en raison d'un manque de temps ou d'incitation de la part du patient (Evans, 2007). Certains cas d'hétérophorie sont peu susceptibles de répondre à la rééducation, et les prismes de soulagement sont plus appropriés. L'hyperphorie est de ce type. Par conséquent, dans l'hyperphorie décompensée, le soulagement du prisme est plus courant (voir chapitre 2). Les prismes sont plus appropriés quand le rapport AC/A est faible. Si AC/A est élevé, le maximum convexe au loin ou une addition convexe au près sont généralement suffisants, et préférables (Allary, 2003).

III.2. Puissance

On prescrit le prisme minimum qui va rendre la phorie compensée. La valeur de ce prisme est toujours moindre que l'hétérophorie mesurée en condition dissociée et elle permet de neutraliser la disparité de fixation. Le prisme d'alignement obtenu par l'unité de Mallet est conçue pour donner un état fusionnel adéquat, de sorte que le prisme le plus faible qui neutralise la disparité de fixation soit le prisme approprié à incorporer dans la prescription (Evans, 2007). Bien qu'un essai suggère que les prismes basés sur le critère de Sheard ne sont probablement pas efficaces (Scheiman et al, 2005).

Les choses se compliquent si l'on doit corriger à la fois une déviation horizontale et une déviation verticale, il faut alors associer sur chaque œil un prisme horizontal et un prisme vertical en utilisant le schéma d'Allen (figure 20).

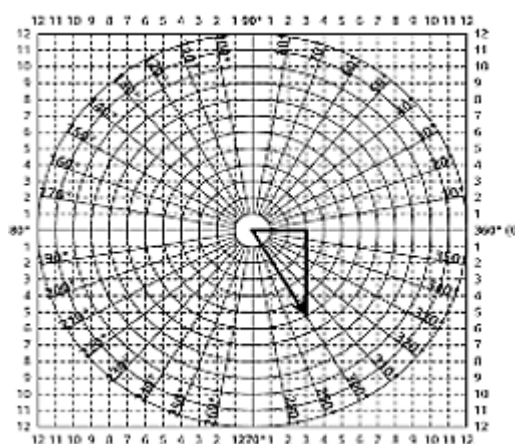


Figure 20. Le schéma d'Allen

IV. Test de disparité de fixation de Mallet (prisme d'alignement)

Le test de disparité de fixation de Mallet est un test extrêmement important en clinique, pour mettre en évidence la disparité de fixation et l'évaluation du prisme d'alignement. La mesure du prisme d'alignement est un test clinique utile dans l'investigation du stress binoculaire mais ne doit pas être considérée isolément des autres résultats de test et doit être liée à la présence ou à l'absence de symptômes (Yekta et al, 1987). Mallet (1974) a affirmé que les patients atteints d'hétérophorie décompensée ont tous une disparité de fixation avec ce test; et inversement, l'absence de disparité de fixation démontre des réserves fusionnelles adéquates pour faire face à toute hétérophorie.

La cible de fixation centrale OXO est vue avec les deux yeux et les deux marqueurs monoculaires (bandes de nonius) alignés avec le X sont vus avec chaque œil à l'aide de filtres polarisés. L'instrument détecte la disparité de fixation, mais au lieu de mesurer la disparité de fixation angulaire, l'instrument détermine la puissance prismatique qui élimine la disparité de fixation. Cette variable a été appelée la phorie associée ou, plus récemment (comme suggéré par l'Organisation internationale de normalisation) le prisme d'alignement ou la sphère d'alignement (Evans, 2002).

Procédure de l'examen

1. Montrer au patient le test horizontal (bandes placées verticalement au-dessus et au-dessous de l'OXO) et vérifier que le patient perçoit les deux bandes dans un alignement parfait.
2. Introduire la lunette polarisée et demandez au patient si les deux bandes sont exactement alignées, tout en gardant la tête immobile.
3. Si le patient dit qu'ils sont exactement alignés, demandez-lui si l'une ou les deux bandes bougent un peu.
4. S'il existe un désalignement, il faut introduire des prismes jusqu'à ce que les bandes soient alignées et restent alignées.
5. retirez le prisme puis répétez les mêmes étapes pour le test vertical. (Evans, 2005)

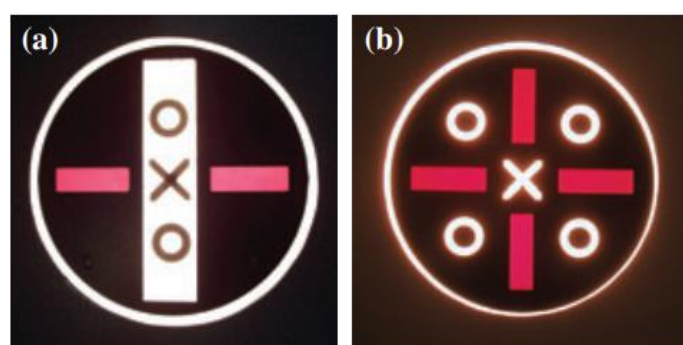


Figure 21. Test de disparité de fixation de distance de Mallet. L'image à gauche (a) est la conception originale, qui peut être tournée de 90 pour tester les écarts verticaux (comme illustré) ou les écarts horizontaux. L'image à droite (b) est le test double de disparité de fixation (Karania, 2006).

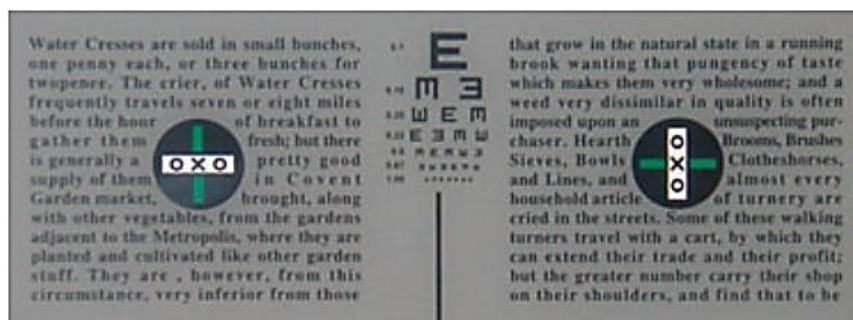


Figure 22. Unité de Mallet de près. Le test de disparité de fixation horizontale est à gauche et de disparité de fixation verticale à droite (Karania, 2006).

V. La disparité de fixation après prismsation :

Pour corriger une ésodisparité de fixation (comme dans cet exemple), des prismes de base externe sont appliqués. Ces prismes font tourner les axes visuels vers l'extérieur (lignes tracées), ce qui oblige les muscles oculaires à converger davantage pour maintenir la fusion (voir Fig 23) $V_{0P} = \text{Prismpower} + V_0$ est l'angle de vergence du stimulus et V_p est l'angle de vergence.

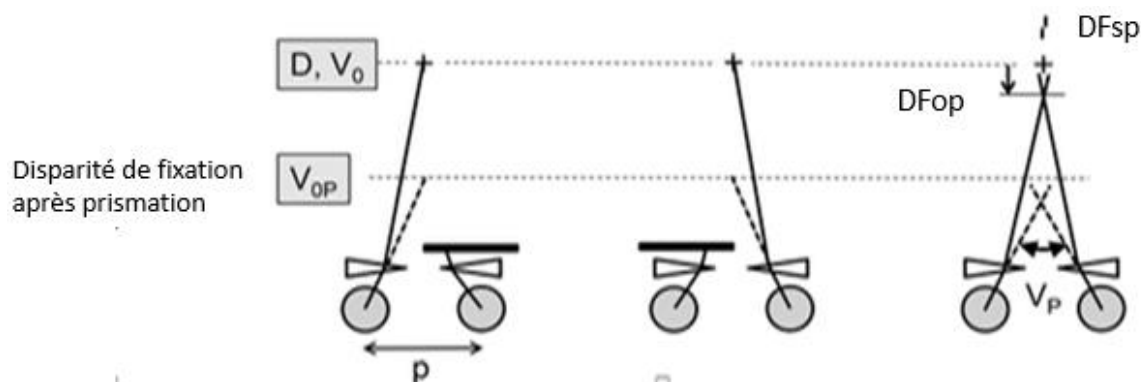


Figure 23. La disparité de fixation après prismsation (V. Schroth, 2015)

La disparité de fixation avec les prismes est mesurée par rapport à la condition de référence de la fixation monoculaire lorsque les prismes sont portés. La disparité de fixation subjective ($DF_{sp} = \arctan(d_{Non} / D)$) est illustrée par la quantité de nonius d_{Non} (l'écart entre les deux lignes du test), qui est typiquement plus petite que la disparité de fixation objective DF_{op} . Les deux types de disparité de fixation sont plus petits avec les prismes qu'avec les prismes, comme le suggèrent les résultats de l'étude. Les graphes montrent le cas des axes visuels qui se croisent devant le point de fixation, cet état sur-convergent est appelé ésodisparité de fixation avec un

signe positif. Dans l'état de sous-convergence les axes visuels se croisent derrière le point de fixation (exodisparité de fixation avec un signe négatif), dans ce dernier cas, des prismes de base interne sont appliqués.

VI. Les courbures de disparités induites par un prisme.

Ogle (Ogle, 1950) a observé que les changements de disparité de fixation produits par les prismes diffèrent d'un individu à l'autre et résultent de la perturbation dans le réflexe de mécanisme de la convergence accommodative. Il a décrit quatre principaux types de fixation induite par le prisme.

Dans le type I (observé plus souvent, 60%) (Sheedy, 1980), la disparité de fixation augmente plus rapidement et à peu près également pour les prismes base interne et base externe. Ainsi, cela représente probablement un fonctionnement normal du système de vergence.

Le type II est principalement associé à l'ésophorie et montre une bonne adaptation aux prismes base externe en maintenant la disparité de fixation constante jusqu'à l'apparition de la diplopie. Dans la direction opposée (avec des prismes base interne), la vergence fonctionne assez faiblement.

Le type III est principalement avec des exophories et montrent une bonne adaptation aux prismes base interne et faibles aux prismes base externe.

Le type IV est généralement observé chez les personnes souffrant de problèmes de coordination binoculaire peu développés en particulier pour la vision de près. La disparité de fixation n'évolue que dans un intervalle très étroit en dehors de cet intervalle, il rompt à des valeurs presque constantes. Généralement, l'accommodation change en réponse au chargement de prisme et aux changements de vergence associés. Ainsi le flou et même la suppression se produisent à des valeurs de prisme très faibles (Jaschinski, 2008).

À la suite des études menées par Ogle, Sheedy (Sheedy, 1980) a suggéré certaines indications d'un traitement basé sur des résultats mesurant les courbes de disparité de fixation induites par le prisme.

Les courbes de disparité de fixation induite par le prisme ont été analysées dans des cas cliniques décrivant le type (de I à IV), la pente (raide ou plate), X-intercept (nommée aussi phoria associée), et Y-intercept (fixation de disparité dans des conditions naturelles sans prisme ajouté) de la courbe (voir Figure 24). On pense que la pente supérieure à 1,0 est principalement associée à l'asthénopie. Tandis que le type de la courbe peut indiquer s'il suffira juste des entraînements ou si des prismes doivent être prescrits pour éliminer l'asthénopie.

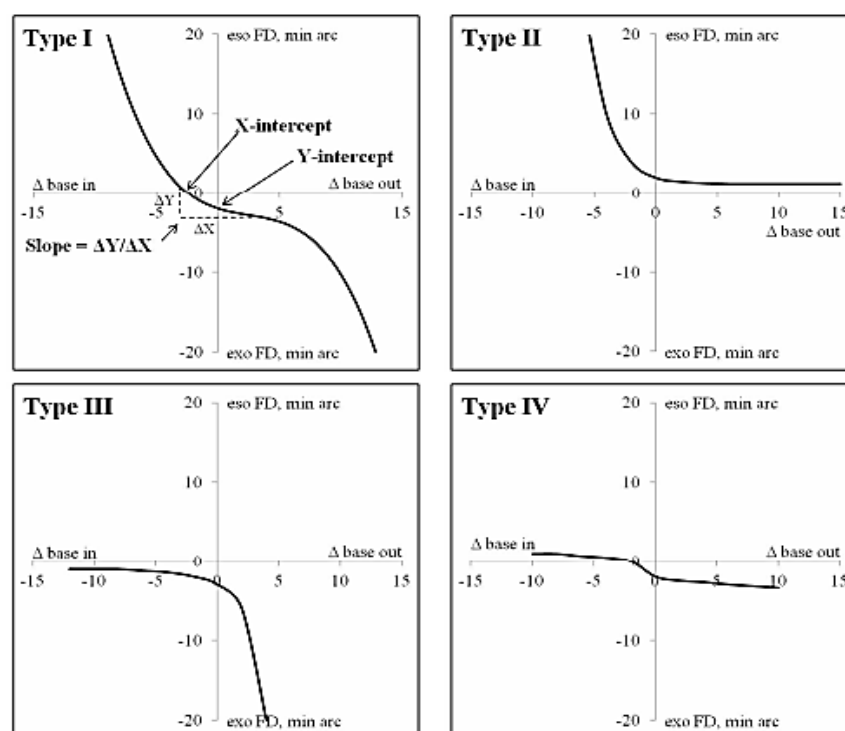


Figure 24. Types de courbes de disparité de fixation (DF) induites par un prisme et leurs paramètres.

Ngan et al (Ngan et al 2005), Ogle (Ogle, 1967), Frantz (Frantz1990; Frantz, 2011) ont étudié l'effet des méthodes subjectives utilisées pour la mesure de la disparité de fixation : Carte de disparité de fixation de Wesson, disparité de fixation de Saladin, Disparometer.

L'explication principale de différents résultats de disparité de fixation avec différentes méthodes de mesure était due à la méthode elle-même - principalement en raison de la taille et de la position de stimulus de fusion. Par exemple, Ogle (1967) a observé que l'inclinaison de la courbe et l'interception en Y est modifiée en augmentant le stimulus fusionnel et en le déplaçant vers la périphérie. Cette influence est variable entre les différents types de courbes de disparité de fixation induites par un prisme. Si seulement le stimulus fusionnel périphérique est présenté, les yeux ont tendance à s'écarter davantage de la position ortho. Cela pourrait s'expliquer par l'aire de Panum, qui est plus large à la périphérie qu'au centre.

Subjectivement mesurée (comme avec les lignes dichoptique nonius), la disparité de fixation varie entre les sujets ayant une vision binoculaire normale et s'élèvera généralement à quelques minutes d'arc, la plupart souvent moins de 10 min d'arc et presque toujours moins de 25 min arc (Sheedy, 1980; Ogle et al, 1967). Ogle (Jaschinski et al, 2008) a observé que la disparité de

fixation peut devenir plus grande avec une acuité visuelle réduite et dans différentes conditions comme la vergence forcée produite par des prismes lorsque la fusion des images devient plus instable.

Ogle (Jaschinski et al, 2008) a supposé que «le degré de la disparité dépend de la force de l'innervations des muscles extrinsèques oculaires pendant la fusion, le degré d'hétérophorie, la force des processus de fusion eux-mêmes ainsi que la quantité et la complexité des détails dans le champ de vision binoculaire ». Le système visuel essaie de garder les deux images aussi proches que possible aux points correspondants de la rétine, mais en raison du déséquilibre musculaire existant, la fusion n'est pas exacte. Il a fait valoir que la DF est une mesure du déséquilibre musculaire entre deux yeux tout en maintenant la fusion. Ce déséquilibre doit être le stress qui résulte non seulement des facteurs neuromusculaires mécaniques et toniques, mais aussi des innervations fonctionnelles d'un ordre différent découlant de stimuli fusionnels (Jaschinski et al, 2008)

Kommerell (2000) suggère que les deux phorie dissociée (angle de vergence obtenu par les prismes pour compenser l'hétérophorie) et phorie associée (l'angle de vergence obtenu par les prismes pour compenser la disparité de fixation) sont des "réactions à une interférence artificielle avec la vision binoculaire ". Il a observé que la disparité de fixation a progressivement développé dans des conditions artificielles lors de la mesure de la disparité de fixation subjective avec le test de l'aiguille de Haase, mais n'a pas été observé dans des conditions de mesure naturelle (comme enregistré avec la méthode de suivi de l'œil). Il a conclu que ces méthodes subjectives utilisées pour mesurer la disparité de fixation n'indiquent pas correctement la position de vergence des yeux dans des conditions d'observation naturelles.

Conclusion

Dans tous les cas de dysfonctionnement binoculaire, le choix de prescrire des prismes appartient au clinicien, qui doit juger de ce qui est le plus approprié pour chaque patient. Une probabilité qu'une adaptation de vergence se produise et rende tout prisme prescrit inefficace (Rosenfield,1997). La question qui se pose à ce niveau, est ce que cette adaptation de vergence est influencée par la dominance oculaire ?

DEUXIEME PARTIE

ETUDES EXPERIMENTALES

**Les réponses de vergence à la disparité verticale induite à l'aide d'un
nouveau dispositif de vidéo-oculographe (Gazelab)**

Introduction

La littérature scientifique montre l'existence d'une asymétrie de la structure maculaire entre l'œil dominant et non dominant (Krown et Al, 2018), la différence d'acuité stéréoscopique face à un prisme de 2Δ entre l'œil dominant et non dominant (Momeni-Moghaddam, 2013) ainsi la différence dans le traitement de la disparité de fixation induite entre l'œil dominant et non dominant (Matheron et Al, 2008). En accord avec la littérature, nous émettons une hypothèse selon laquelle les réponses de vergences suite à une disparité de fixation induite sont modulées par la dominance oculaire et par conséquent la position de prisme peut influencer sur les résultats d'une adaptation prismatique.

A cet effet, nous avons enregistré les mouvements oculaires avec la dernière génération de video oculographe GAZELAB. Les résultats ont été comparés aux résultats obtenus dans la littérature, nous avons cherché à valider notre hypothèse ainsi, nous espérons apporter plus d'éléments scientifiques pour aider à une meilleure prise en charge en cas d'adaptation prismatique.

I. Matériels et méthodes

I.1. Sujet

Nous avons réalisé une étude expérimentale en induisant (une disparité de fixation sur 7 patients (6 femmes et 1 homme) soit un âge moyen (24 ± 2 ans). Tous sont des étudiants de master Optométrie Université Oran 1. L'évaluation des mouvements oculaires était effectuée en collaboration avec docteur El AMINE KAHOUADJI.

I.2. Ethique

Avant toute manipulation expérimentale, la procédure était clairement expliquée aux Participants qui ont donné leur consentement orale et pouvaient demander à arrêter l'expérience quand ils le souhaitaient. Tous les essais rentrent dans le cadre de la recherche sans bénéfice individuel.

I.3. Critères d'inclusions et d'exclusions

I.3.1. Les critères d'inclusions

Absence de pathologie oculaire,

Emmétropie,

Orthophorie verticale à 5m et 40 cm avec la croix de Maddox,

PPC dans les normes,
Acuité stéréoscopique normale avec le TNO.

I.3.2. Les critères d'exclusions

Les sujets porteurs de lunettes n'étaient pas inclus. En effet, une correction mal adaptée ou/et mal centrée peut induire une déviation verticale entre les deux yeux liée à un éventuel effet prismatique (Prevost, 1988; Scattergood, 1983).

I.4. Examen visuel Clinique

I.4.1. Examen des fonctions visuelles en général

Tous les sujets ont fait l'objet d'un examen ophtalmologique et optométrique complet pour évaluer leur fonction visuelle. L'examen optométrique comprenait un examen objectif et subjectif de la réfraction, examen préliminaire de la motilité oculaire, mesure de PPC, évaluation de la phorie verticale et évaluation de la vision binoculaire afin de s'assurer de la possibilité de fixer une cible à 150 cm

L'œil dominant était déterminé en demandant aux sujets de fixer avec les deux yeux une cible placée à 150 cm à hauteur des yeux à travers un trou formé dans une carte maintenue avec les deux mains et bras tendus. Ils fermaient alors alternativement l'œil droit, et l'œil gauche, l'œil voyant toujours la cible par le trou était considéré comme dominant.

L'acuité visuelle a été mesurée pour chaque œil séparément en vision de loin (5m) avec l'échelle de Monoyer (échelle contenant 10 lignes de lettres, chaque ligne correspond à 1/10ème d'acuité visuelle), et en vision de près (33cm) avec l'échelle de Parinaud 2.

Les résultats des tests préliminaires effectués sont regroupés dans le tableau 04. Il montre que les mesures obtenues des sept cas que nous avons choisi sont dans les normes et répondent aux critères recommandés.

Sujet [age]	Œil dominant	Acuité visuelle (5m)	Acuité visuelle (40cm)	Stéréoacuité TNO (sec.d'arc)	PPC bris (cm)	Phorie verticale 5m	Phorie verticale 40cm
Cas n 1	OD	10/10	P2	30	8	OD : OV	OD : OV
						OG : OV	OG : OV
Cas n 2	OD	12/10	P2	30	9	OD : OV	OD : OV
						OG : OV	OG : OV
Cas n 3	OG	10/10	P2	60	10	OD : OV	OD : OV
						OG : OV	OG : OV
Cas n 4	OD	10/10	P2	30	8,5	OD : OV	OD : OV
						OG : OV	OG : OV
Cas n 5	OD	12/10	P2	60	8	OD : OV	OD : OV
						OG : OV	OG : OV
Cas n 6	OD	10/10	P2	30	9	OD : OV	OD : OV
						OG : OV	OG : OV
Cas n 7	OD	10/10	P2	30	8	OD : OV	OD : OV
						OG : OV	OG : OV

Tableau 04. Résultats des tests effectués

I.4.2. Examen de la motilité oculaire :

C'est un examen préliminaire qui permet de tester l'action de chaque muscle dans son champ d'action afin d'écarter tous les cas qui présente des hyper-actions, hypo-actions ou limitation dans les actions musculaires.

Il comprend l'examen (voir figure 25) :

- de la position primaire (sujet qui fixe droit devant).
- des positions cardinales correspondant aux mouvements réduits à une seule composante ou champ d'action principal des différents muscles oculomoteurs.
- De la direction en haut et en bas

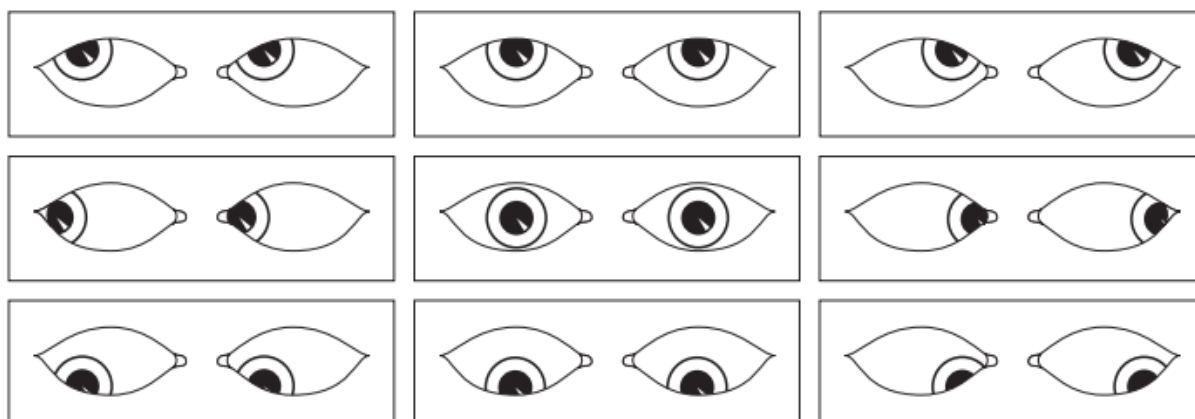


Figure 25. Mouvements oculaires dans les positions diagnostiques du regard (Jeanrot et al, 2011).

Le tableau 05 reporte les muscles qui entrent en action dans chaque direction du regard ainsi les synergistes et les antagonistes.

ŒIL DROIT					
DIRECTION DU REGARD	MUSCLES ŒIL DROIT	ANTAGONISTE HOMO-LATERAL	SYNERGISTE CONTRO-LATERAL	ANTAGONISTE CONTRO-LATERAL	
A DROITE	DROIT LATERAL	DROIT MEDIAL	DROIT MEDIAL	DROIT LATERAL	A GAUCHE
EN HAUT ET A DROITE	DROIT SUPERIEUR	DROIT INFÉRIEUR	OBLIQUE INFÉRIEUR	OBLIQUE SUPERIEUR	EN BAS ET A DROITE
EN HAUT ET A GAUCHE	OBLIQUE INFÉRIEUR	OBLIQUE SUPERIEUR	DROIT SUPERIEUR	DROIT INFÉRIEUR	EN BAS ET A GAUCHE
A GAUCHE	DROIT MEDIAL	DROIT LATERAL	DROIT LATERAL	DROIT MEDIAL	A DROITE
EN BAS ET A GAUCHE	OBLIQUE SUPERIEUR	OBLIQUE INFÉRIEUR	DROIT INFÉRIEUR	DROIT SUPERIEUR	EN HAUT ET A GAUCHE
EN BAS ET A DROITE	DROIT INFÉRIEUR	DROIT SUPERIEUR	OBLIQUE SUPERIEUR	OBLIQUE INFÉRIEUR	EN HAUT ET A DROITE
	ANTAGONISTE CONTRO-LATERAL	SYNERGISTE CONTRO-LATERAL	ANTAGONISTE HOMO-LATERAL	MUSCLES ŒIL GAUCHE	DIRECTION DU REGARD
ŒIL GAUCHE					

Tableau 05. Récapitulatif des actions synergistes et antagonistes, dans les directions principales du regard. Pour l'œil droit, lire de gauche à droite et de haut en bas. Pour l'œil gauche, lire de bas en haut et de droite à gauche (Jeanrot et al, 2011).

I.4.3. Evaluation de la phorie verticale avec la croix de Maddox

A l'origine en 1890, Maddox utilisait une petite baguette cylindrique en verre d'environ 5 mm de diamètre, telle que celle utilisée comme agitateur par les pharmaciens, d'où le terme «baguette de Maddox» qui a persisté depuis. Le verre test de Maddox est maintenant constitué de plusieurs petits cylindres très convergents et accolés. Le principe optique est le même qu'avec un cylindre :

À partir de la lumière émise par un point lumineux, le cylindre crée deux images focales : l'une est parallèle au cylindre et réelle, mais elle est si proche du cylindre (pratiquement confondue avec son foyer à quelques mm) qu'elle est trop floue pour le sujet, donc elle n'est pas vue. L'autre focale est perpendiculaire à l'axe du cylindre, virtuel et confondue avec la source (vergence nulle dans l'axe du cylindre) ; c'est cette focale perpendiculaire au cylindre qui est vue par l'œil placé derrière (Allary, 2003).

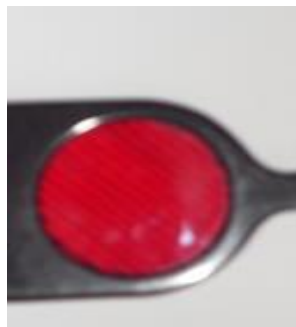


Figure 26. Verre strié de Maddox

Procédure d'examen

- Présenter un point lumineux à la distance à tester. S'assurer qu'il n'y a pas d'autre source lumineuse à proximité, de manière à ne pas créer d'images parasites. Certains cliniciens préconisent de faire ce test dans l'obscurité, mais il est probablement plus naturel de faire le test en éclairage quasi normal, quand cela est possible.
- Placer le cylindre de Maddox devant un œil, horizontal pour tester les déviations horizontales, vertical pour tester les déviations verticales.
- Demander au sujet s'il voit la raie lumineuse et où celle-ci se situe par rapport au point blanc : Si la raie lumineuse passe par le point, le sujet est orthopore, à cette distance et à ce test.

- Si la raie lumineuse ne passe pas par le point, l'œil derrière le Maddox est dévié. Se rappeler qu'en cas de diplopie, l'image perçue par l'œil non fixateur est extériorisée dans la direction opposée à la déviation de cet œil.
- Si l'œil droit perçoit la raie lumineuse en dessous du point, il est dévié vers le haut (hyper D/G).
- L'amplitude de la déviation peut être mesurée directement si l'on dispose d'une échelle graduée à cet effet (croix de Maddox) (figure 27)

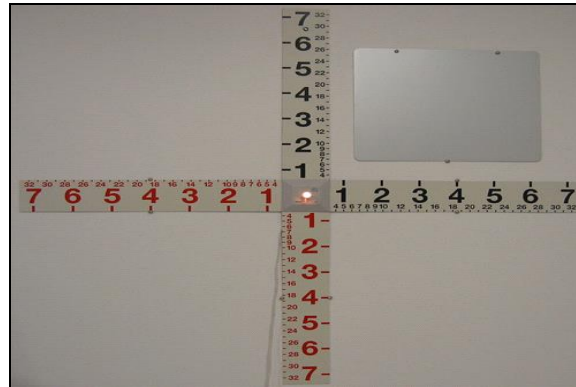


Figure 27. La croix de Maddox horizontale et verticale

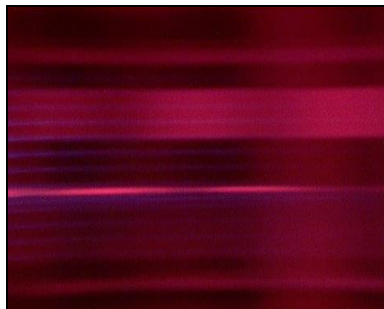


Figure 28. La raie lumineuse horizontale pour la mesure de phorie verticale

Remarque

La déviation peut aussi être mesurée en ramenant la raie lumineuse sur le point lumineux avec des prismes. Ce test se fait également en vision de près (40 cm), on procède alors de la même façon que pour la mesure des phories au loin.

I.4.4. Test de la vision binoculaire TNO

L'étude de la vision binoculaire se fait par la mesure de l'acuité stéréoscopique. Cette mesure s'exprime en secondes d'arc TNO, constitué de 2 stéréogrammes superposés l'un rouge, l'autre vert, le relief apparaissant avec des lunettes rouge-vert. Ce test mesure une acuité stéréoscopique très fine jusqu'à 15 secondes d'arc. La vision stéréoscopique a été évaluée grâce au test du TNO, fondé sur le principe des nappes de points aléatoires. Ce test se présente à 40 cm du sujet à examiner.

II. Système d'enregistrement des mouvements oculaires Gazelab :

L'idée d'eye tracking existe depuis longtemps, récemment les avancées technologiques permettent une quantification plus précise et une évaluation automatisée rendant cette technologie largement disponible dans le domaine scientifique et celui du marketing. Pour l'analyse de la motricité oculaire d'une manière objective et non invasive a été développée – Gazelab eye tracker. Cette méthode inclut les procédures d'examen uniques, les tests préalables pour évaluer le dysfonctionnement moteur en cas de strabisme, phorie, paralysie, nystagmus ...etc.

Le Gazelab est un instrument objectif qui permet l'étude des mouvements oculaires. Il permet la mesure précise et l'enregistrement des déviations oculaires, des oscillations des yeux, la motilité oculaire. Il contient plusieurs fonctions (Gazelab, 2017) :

La vidéo-oculographie.

La vidéo-pupillographie.

La vidéo-nystagmographie.

Le test de Bielschowsky.

Le test d'Hirschberg.

Le test de prothèses oculaires.

Il peut être utilisé pour les enfants de 3ans et plus, les adolescents et les adultes.



Figure 29. GAZELAB (Ochaita, 2014)

III. Protocole de mesure par Gazelab :

Pour effectuer une mesure par Gazelab il faut passer par les étapes suivantes :

III.1. Préparation des lunettes :

Le Gazelab est très fragile, sa manipulation doit être effectuée avec soin. Pour cela il est recommandé pour le soulever par les deux caméras avec deux mains. Avant que le patient porte l'appareil, il faut ajuster les branches latérales de l'appareil en arrière par une vis située dans ces derniers. Si elles sont pliées, il faut les dépliées.

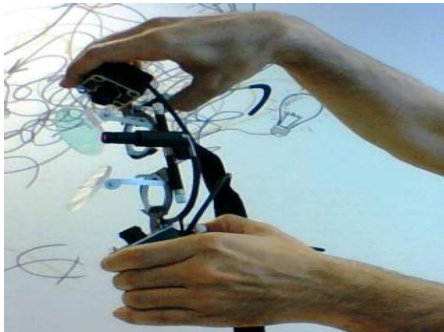


Figure 30. Soulèvement par deux caméras .**Figure 31.** Réglage des branches. (Gazelab, 2017)

III.2. Positionnement du patient et mise en place des lunettes

Après l'installation du patient, le port des lunettes sera la première étape à faire. Pour cela, deux éléments seront ajustés : le bonnet et les lunettes. On l'a juste de telle façon que l'avant du bonnet sera mis sur le front et ne glisse pas en arrière, et l'arrière du bonnet sera mis en bas de l'os occipital pour éviter le glissement vers le haut. Le crochet qui se trouve dans l'arrière du bonnet doit être positionné au milieu du cou.



Figure 32 : Installation correcte du patient (Gazelab, 2017)

Les principales étapes pour effectuer une exploration sont les suivantes :

- 1 Saisir les données du patient dans le système (dossier médical du patient).
- 2 Choisir le type d'exploration à effectuer. Dans cette étude on a utilisé le test de 5 positions de regard.

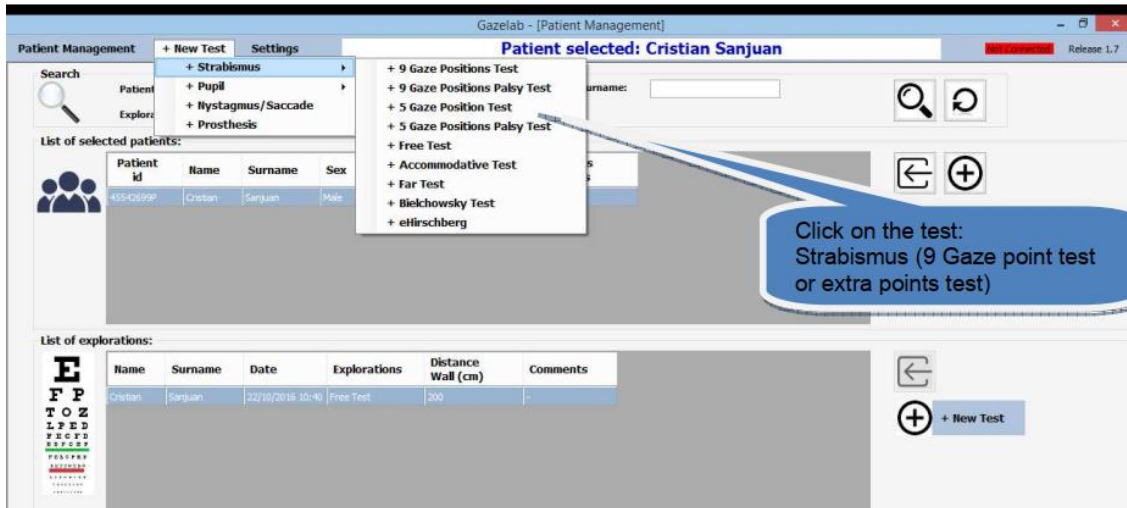


Figure 33. Capture d'écran de l'interface du logiciel présentant les types d'exploration (Gazelab, 2017).

III.3. Le processus d'étalonnage et de mesure

Centrage de l'image de l'œil : Cette étape est effectuée en observant l'image de l'œil dans l'écran. Il faut que le centre de la croix rouge du logiciel soit proche du centre de la pupille, et le cercle blanc soit confondu avec le contour de la pupille.

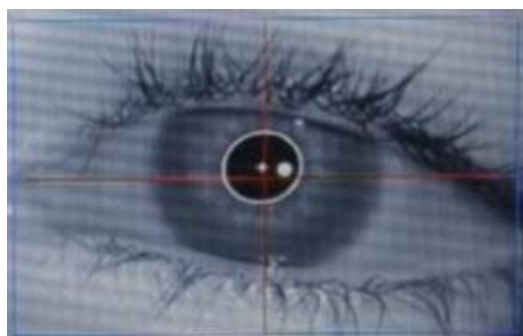


Figure 34. Centrage de l'image de l'œil.

En cas d'un flou dans l'image qui perturbe la détection de pupille, nous cliquons à l'intérieur de l'image en ajustant l'ovale blanc pour une amélioration de la détection de la pupille.

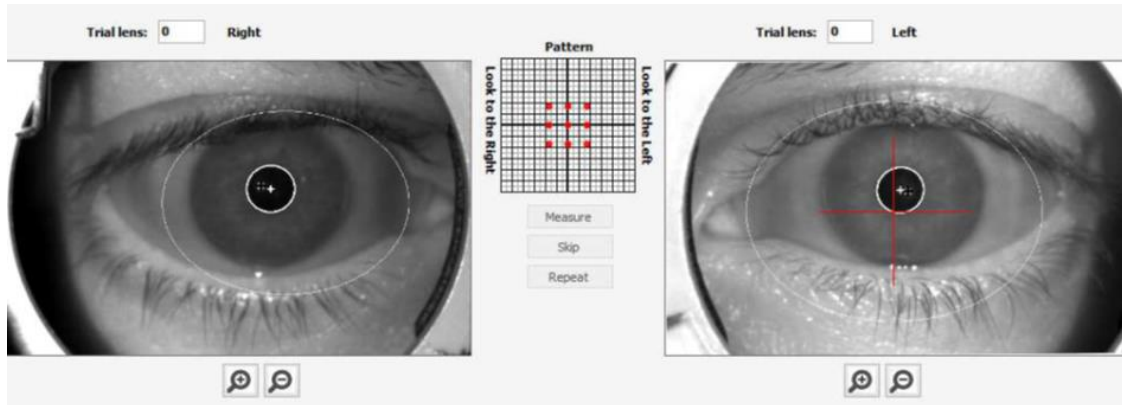


Figure 35. Détection de la pupille par l'ovale blanc (Gazelab, 2017).

Pour que la mesure s'effectue correctement, il faut que le diamètre pupillaire ne soit pas trop petit ($<2\text{mm}$), ni trop grand ($>6\text{mm}$). Il faut aussi que le patient ouvre bien ses yeux pour que la pupille ne soit pas cachée sous la paupière, et est nécessaire que les patientes ne se maquillent pas car le maquillage des yeux et des cils évite la détection de la pupille.

Après la sélection du modèle et le calibrage, il faut Suivre les instructions du programme jusqu'à la fin.

Les cibles sont projetées sur un mur blanc et le patient regarde droit devant le mur.



Figure 36. Dispositif d'occlusion. **Figure 37.** Position des cibles projetées. (Gazelab, 2017)

La prise de mesure se fait en monoculaire après en binoculaire (calibration monoculaire). Le patient doit fixer le point central de la cible, en couvrant l'œil droit par le dispositif d'occlusion, qui est placé à l'extérieur des lunettes, devant le miroir et sous le laser. Il doit être légèrement incliné et le côté mat face au patient pour éviter le reflet lumineux. Donc le patient fixe avec son œil gauche, l'examineur doit vérifier l'image de l'œil fixateur et si le patient regarde le point indiqué par le logiciel en vert, en observant la direction de la pupille. Si elle est stable et

il fixe le point indiqué par le logiciel, la prise de mesure par la télécommande sans fil par appui sur le bouton droit sera effectuée, et si elle est correcte le logiciel passera à l'étape suivante.

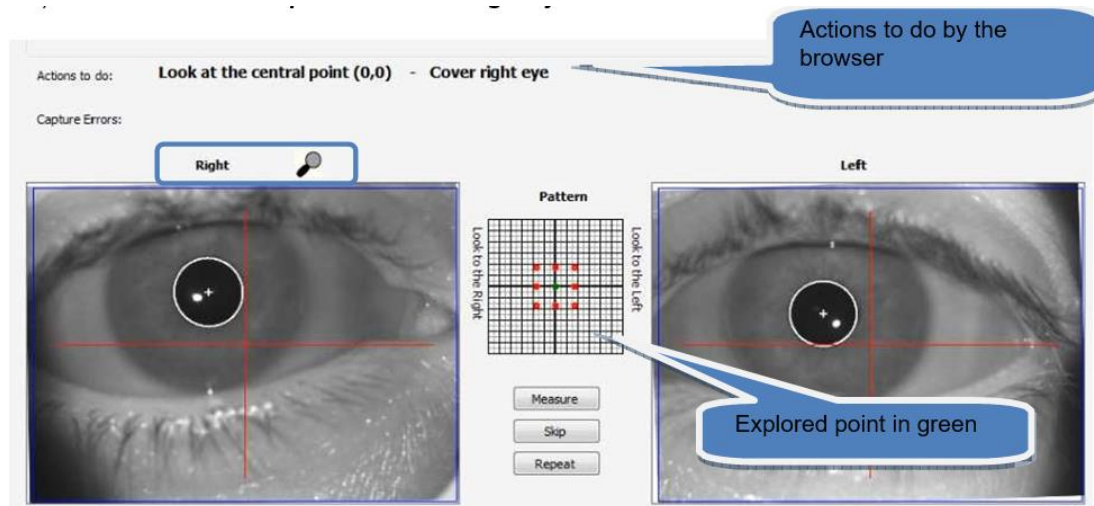


Figure 38. Fixation du point vert (Gazelab, 2017).

Ensuite, nous passons à l'occlusion de l'œil gauche, donc l'œil droit est fixateur, en suivant les mêmes instructions que pour l'occlusion de l'œil droit. Le logiciel indiquera s'il y a une paralysie oculaire ou non, si l'œil est dans le carre vert indiquer par le logiciel et s'il est stable donc l'examineur effectue la mesure par la télécommande, quand la mesure est correcte le logiciel passe à l'étape suivante. Le logiciel donne une instruction pour découvrir les deux yeux pour la fixation binoculaire. Pendant 2-3 secondes, le système GAZELAB atteint la position fixe du regard des deux yeux pour faire la meilleure mesure.

Quand le test est terminé et réussi, l'exploration est documentée dans un rapport utilisant des tableaux et des graphiques, ainsi les images les plus significatives du test. Le document est intégré au dossier médical informatisé du patient. .

9 Gaze Positions Test Report

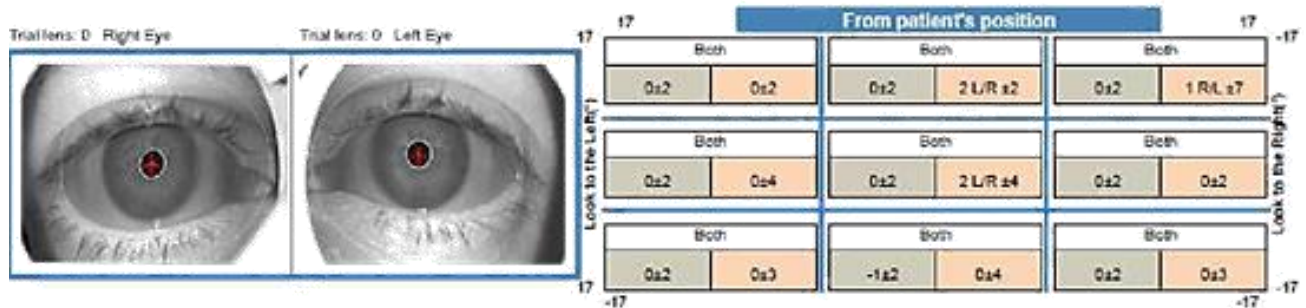
Patient ID: 46po4309u34
 Name: Quality Proves 1.5
 Exploration Date and Time: 26/05/2016 10:33:46
 Comments:

* Exploration with palsy control

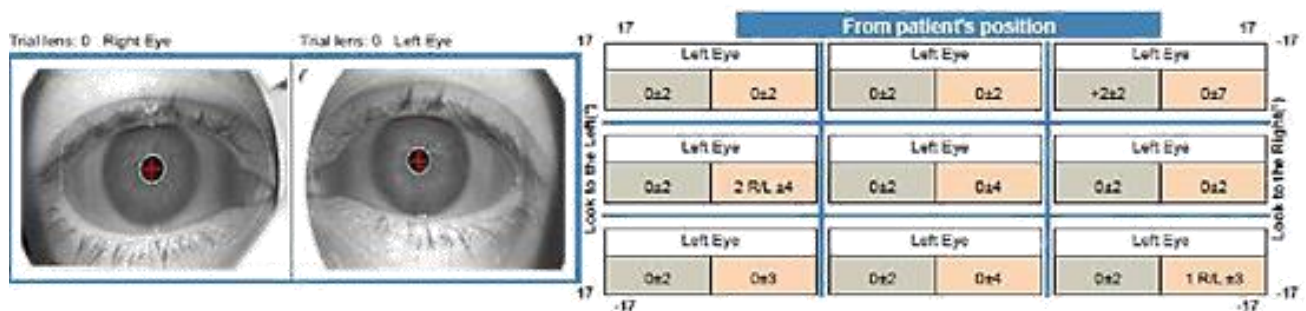
Accuracy: Medium



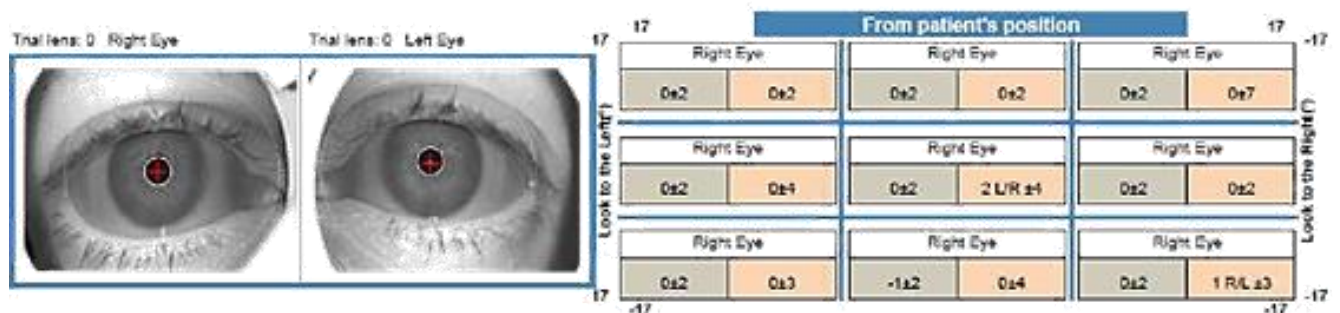
Deviation uncovering both eyes



Right eye covered



Left eye covered



Proposed fixed eye		Horizontal deviation sign (+ Convergence, - Divergence)
Horizontal(Δ)	Vertical(Δ)	Vertical deviation notation (Top eye / Bottom eye)

Designed by Dr. Carlos Lina & Bonimova

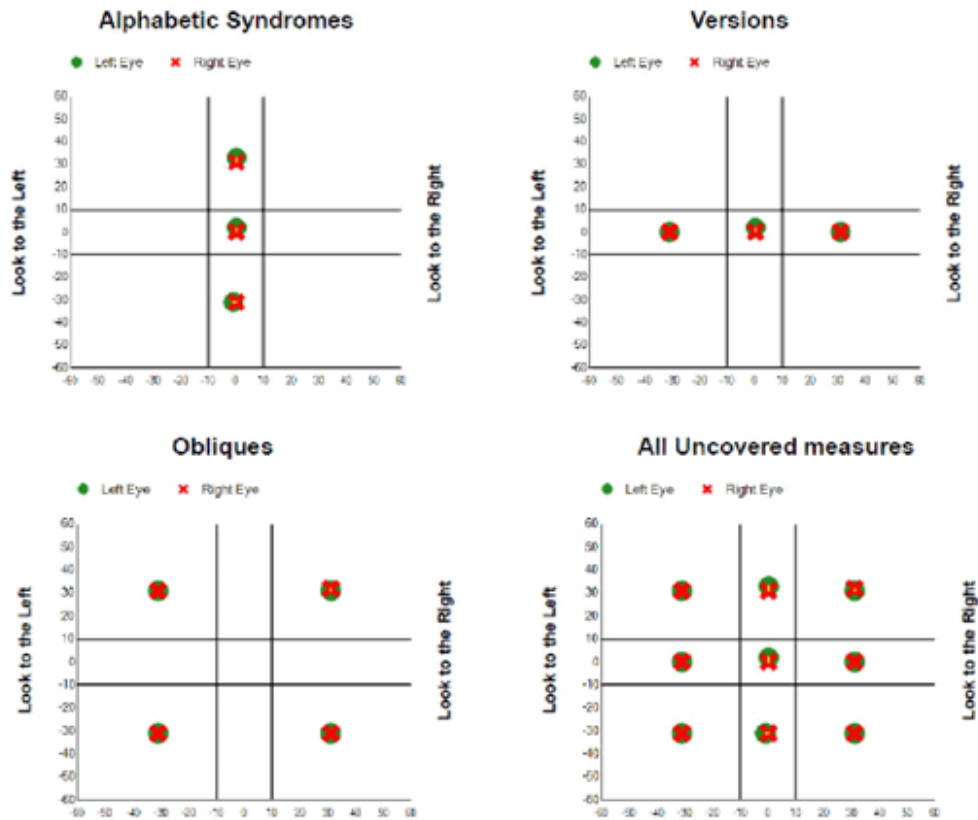
Figure 39. Résultats de la mesure (Gazelab, 2017).

Sur la deuxième page du rapport, tous les graphes seront affichés.

Patient id: 46po4309u34 * Exploration with palsy control
 Name: Quality Proves 1.5
 Exploration Date and Time: 26/05/2016 10:33:48

Gaze position uncovering eyes - Diopters

bcn innova Gazelab



Deviation covering eyes - Diopters

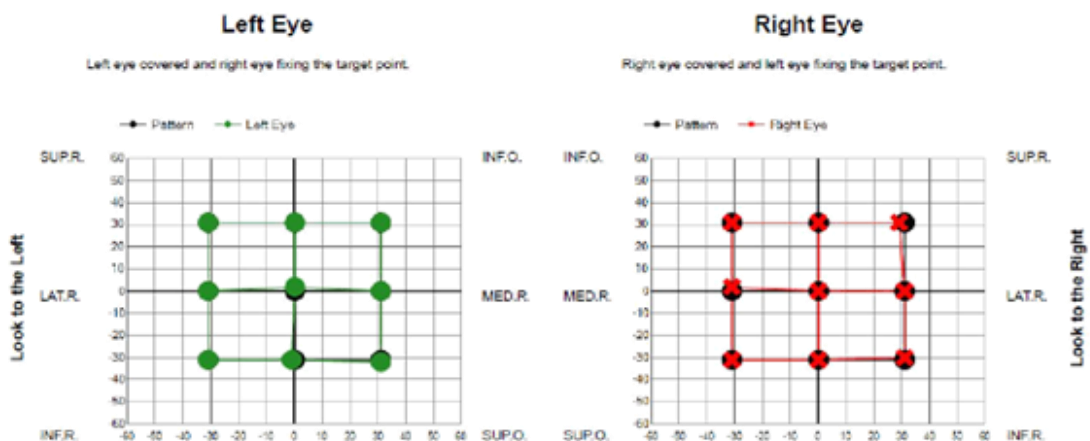


Figure 40. Rapport graphique (Gazelab, 2017).

IV. Procédure expérimentale

Pendant toute les prises de mesure les sujets étaient en position assise avec le casque de Gazelab à une distance de 150 cm de la cible de fixation. On demande le sujet de bien garder la tête stable et suivre la cible affichée avec ses yeux, cela est important pour les mouvements de vergence verticale qui sont de faible amplitude ce que nécessite la stabilisation de la tête lors des enregistrements (Maxwell et Schor, 1996).

L'enregistrement du mouvement de vergence à l'insertion du prisme de 2 Δ base en bas, se fait en fixation monoculaire et binoculaire sans prisme, avec prisme devant l'œil dominant (POD), et avec prisme devant l'œil non dominant (POND).

La durée du mouvement de vergence en réponse au prisme jusqu'à ce que les yeux se stabilisent est de quelques secondes, (Cheeseman et Guyton, 1999; Kertesz, 1983; Ygee et Zee, 1995), et pour cela l'enregistrement était effectué de quelque secondes après l'insertion de prisme.

Nous avons utilisé dans cette étude le matériel et le logiciel de dernière génération du système d'oculographie GAZELAB qui assure une analyse dans une position physiologique des réponses oculaires horizontales et verticales de manière non invasive et objective. Nous avons choisi le test de 5 positions de regard à 150 cm

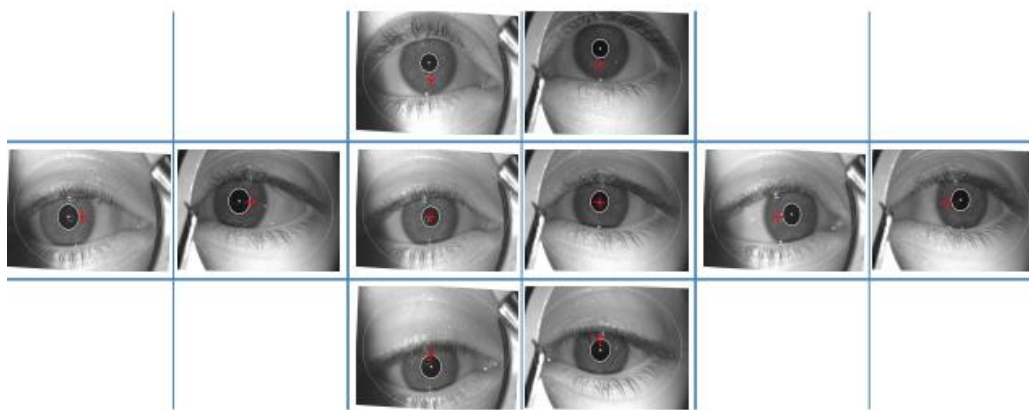


Figure 41. Test de cinq positions du regard « Gazelab » en temps réel.

V. Le type de calibration du test choisis :

Dans cette étude on a utilisé le test de cinq positions du regard avec calibration monoculaire qui donne des résultats plus précis de la vergence et la disparité de fixation selon des études antérieures (Svede et al, 2015). L'idée d'une calibration monoculaire repose sur le raisonnement suivant : La résolution spatiale la plus élevée résulte de la projection d'une petite cible sur le centre de la fovéa, où se trouve la plus forte densité de cônes. On suppose qu'en absence d'erreurs de vergence, la fixation monoculaire a lieu dans cette zone centrale, qui est utilisée pour les tâches de meilleure acuité. Par conséquent, le plus haut degré d'acuité visuelle est atteint lors de la visualisation binoculaire lorsque les deux yeux utilisent la fixation fovéale centrale. Dans ce cas, la position des yeux est la même, que l'on soit engagé dans une vision monoculaire ou binoculaire. Ce raisonnement s'applique également aux tests cliniques lors de l'utilisation du test de masquage : si l'œil ne se déplace pas entre la fixation monoculaire et binoculaire, l'orthoporie est confirmée. La mesure de la disparité de fixation objective, obtenus au moyen de la méthode d'occlusion monoculaire, reflètent également cette considération (Fogt et Jones, 1997). Pourtant, la disparité de fixation se produit dans des conditions binoculaires lorsque le point de fixation n'est pas projeté sur le centre de la fovéa de chaque œil.

Une disparité de fixation induite expérimentalement peut réduire l'acuité visuelle binoculaire (Jenkins et al, 1992). De plus, l'acuité visuelle binoculaire peut être améliorée par la correction prismatique d'une disparité de fixation naturelle (Jenkins et al, 1994). Ces études confirment l'existence de disparités de fixation dans des conditions de vision binoculaire, ainsi que des performances visuelles binoculaires ne sont pas optimales lorsque le point de fixation n'est pas projeté sur le centre de la fovéa de chaque œil. La disparité de fixation se produit dans des conditions binoculaires lorsque le point de fixation n'est pas projeté sur le centre de la fovéa de chaque œil.

VI. La représentation du rapport d'examen.

Le rapport obtenu à la fin de l'examen de chaque patient contient :

Sur la première page, les résultats de l'enregistrement sont affichés sous forme de tableaux qui indiquent les valeurs des réponses de vergences en dioptrie prismatique dans chaque position de regard, en monoculaire et binoculaire, horizontale et verticale.

Le premier tableau (voir figure 39) donne l'enregistrement binoculaire après avoir effectué les calibrations monoculaires.

Le deuxième et le troisième tableau correspondent aux valeurs au moment de l'occlusion, quand l'œil droit est occlus, le GAZELAB affiche l'enregistrement de l'œil fixateur (œil gauche). Quand l'œil gauche est occlus, les valeurs de l'œil droit seront affichées.

Sur la deuxième page on trouve un ensemble de graphes (voir figure 40) qui permet de représenter la position du regard, 4 graphes en enregistrement binoculaire (sans occlusion) et 2 graphes en enregistrement monoculaire (avec occlusion).

Les quatre premiers graphes donne la position du regard de l'œil droit par rapport à l'œil gauche en isolant, le mouvement vertical pour la mise en évidence surtout les syndromes alphabétiques en cas de tropie, le mouvement horizontal pour l'étude de version, le mouvement oblique, et le quatrième graphe regroupe tous les mouvements.

Les deux derniers graphes est une représentation graphique de position du regard de chaque œil par rapport au pattern, ils donnent l'action de chaque muscle dans son champ d'action.

VII. Protocole d'étude de la fixation

L'objectif de ce protocole était, en plus d'appréhender la précision des mesures, d'évaluer la possibilité d'analyser la position différentielle des 2 yeux selon la position du regard, à des fins d'étude des réponses de vergence binoculaire.

Le test de 5 positions du regard a été choisi pour apprécier la qualité de la fixation binoculaire à 17° d'excentricité. Le paradigme programmé débutant par la fixation de la cible en position centrale. Ensuite on passe à la fixation dextroversion (regard à droite), levoversion (regard à gauche), élévation (regard en haut), abaissement (regard en bas).

Le protocole d'étude de la fixation à 17° d'excentricité dans les 5 positions se voulait une analyse de la précision des mouvements de vergence à l'état brut et après l'intégration d'un prisme de 2Δ . En ce sens, on s'intéresse beaucoup plus aux résultats en dioptrie prismatique afin de faire une analyse complète. Après exploitations des données, les valeurs sont représentées sur des tableaux afin de faciliter l'interprétation dans les différentes positions.



Figure 42. Les notations affichées au niveau des tableaux du test de cinq positions du regard.

Les signes de la déviation horizontale (+ Convergence, - Divergence).

Notation de la déviation verticale (œil en haut/œil en bas).

Les deux yeux se fixent (sans tropie) quand l'écart est inférieur à la précision (Gazelab, 2017).

VIII. Résultats et discussion

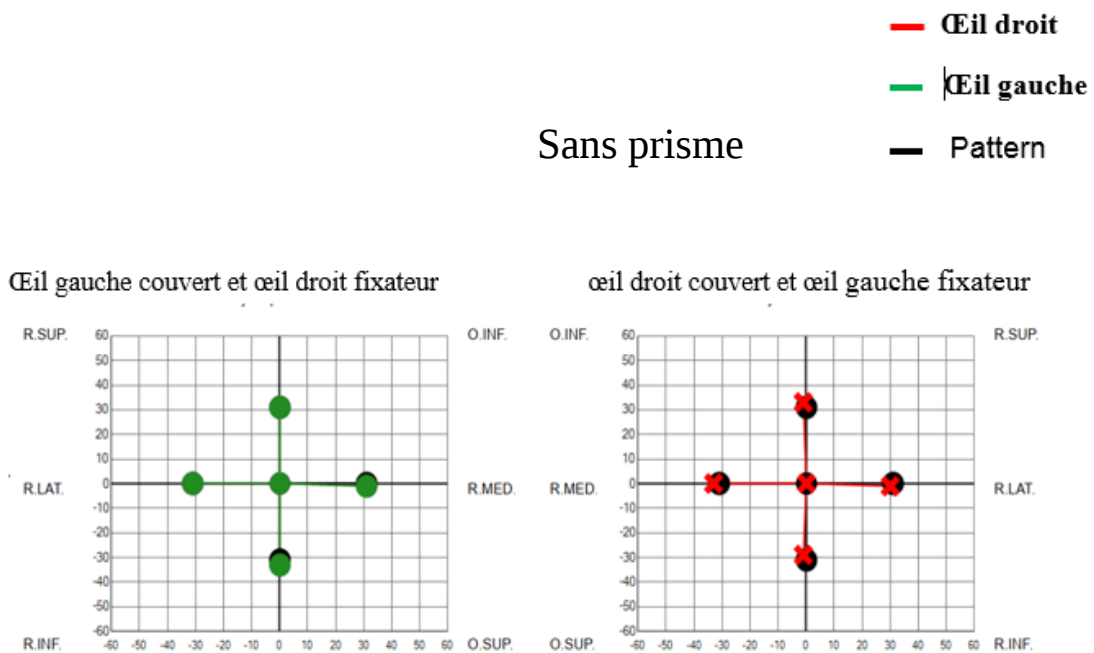
Tous les sujets ont été capables de réaliser la fusion nécessaire pour éviter toute diplopie lors de la disparité verticale induite.

Dans cette étude on s'intéresse juste aux réponses des déviations oculaires verticales données par un prisme de 2Δ base inférieur sur l'œil dominant et l'œil non dominant à une distance de 150 cm.

En vision naturelle sans prisme, les enregistrements des réactions musculaires dans les cinq positions du regard sont quasiment en coïncidence avec le pattern relatif au GAZELAB (figure 43 A).

Le résultat des enregistrements monoculaires du mouvement vertical en réponse au prisme, base en bas, placé devant un œil ont montré un mouvement systématique de l'œil concerné vers le haut (voir figure 43 A), mais aussi un mouvement dans la direction opposée de l'autre œil dans tous les cas mais avec des amplitudes variable d'un sujet à un autre (exemple figure 43).

(A)



(B)

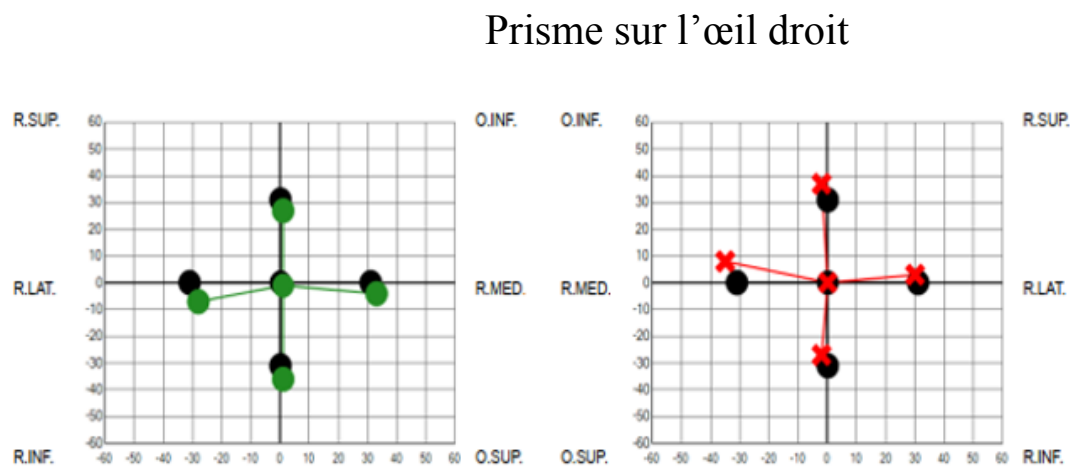


Figure 43. Exemple de mouvements oculaires par rapport au pattern pendant l'occlusion de l'œil droit puis l'œil gauche dans les conditions : (A) sans prisme (B) Prisme sur l'œil droit.

Le résultat obtenu en enregistrement binoculaire était analysé dans les trois positions de regard en supraversion, position primaire et infraversion.

Les résultats de mouvement des yeux ont été soumis à une analyse statistique avec le t-test qui a été appliqué aux valeurs de VN, POD, POND pour chaque position du regard.

VIII .1. Résultats de t-test en supraversion

Les résultats obtenus montrent :

- une légère différence entre les résultats enregistrés sans prisme et quand le prisme est sur l'œil dominant
- une déviation plus importante au niveau de l'œil non dominant que les autres conditions.

Ces deux constatations permettent de déduire un meilleur traitement de la disparité de fixation par le système de vergence quand le prisme est placé sur l'œil dominant, ce qui explique ces réponses par rapport à la valeur de prisme intégré (2Δ).

Le résultat est très significatif ($P < 0,05$) quand le prisme est sur l'œil non dominant ($P_{OND} = 0,0046$, $t = 4,3817$)

supraversion	Moyenne de déviation	Standard erreur	t-valeur	p
Sans prisme VN	0,428571	0,297381	1,441153	0,199622
Prisme OD	0,714286	0,359516	1,986799	0,094133
Prisme OND	2,285714	0,521641	4,381780	0,004659

Tableau 06. Résultats de t-test des réponses de vergence en supraversion et dans les trois conditions de mesure : sans prisme, prisme OD et prisme OND.

VIII. 2. Résultats de t-test en position primaire

Dans la position primaire, on note également une valeur plus importante de la déviation quand le prisme est sur l'œil non dominant avec un résultat significatif ($P = 0,0452$, $t = 2,5205$).

La moyenne de déviation enregistrée quand le prisme est sur l'œil dominant en position primaire est presque similaire à la condition sans prisme.

position primaire	Moyenne de déviation	Standard erreur	t-valeur	p
Sans prisme VN	0,142857	0,142857	1,000000	0,355918
Prisme OD	0,285714	0,184428	1,549193	0,172308
Prisme OND	1,714286	0,680136	2,520504	0,045256

Tableau 07. Résultats de t-test des réponses de vergence en position primaire et dans les trois conditions de mesure : sans prisme, prisme OD et prisme OND.

VIII.3. Résultat de t-test en infraversion

En infraversion, le résultat est toujours significatif quand le prisme est sur l'œil non dominant ($P=0,0382$, $t=2,5205$). La moyenne de déviation enregistrée quand le prisme est sur l'œil dominant est plus élevée par rapport aux autres positions du regard ($MD_{sup} = 0,7142$ D, $MD_{prim} = 0,2857$ D, $MD_{inf} = 1,142$ D), (voir tableau 8).

infraversion	Moyenne de déviation	Standard erreur	t-valeur	p
Sans prisme VN	0,714286	0,285714	2,500000	0,046528
Prisme OD	1,142857	0,553283	2,065591	0,084401
Prisme OND	2,000000	0,755929	2,645751	0,038245

Tableau 08. Résultats de t-test des réponses de vergence en infraversion et dans les trois conditions de mesure : sans prisme, prisme OD et prisme OND.

Pour conclure un tableau récapitulatif permettait de regrouper les résultats des mouvements oculaires analysés de manière statistique avec le t-test de STATISTICA 7 (Statsoft Inc., Tulsa, Texas, USA) appliqué aux valeurs de VN, POD et POND dans chaque position du regard.

Tableau 09. Tableau récapitulatif des moyennes de déviation, des résultats de t value et de P value.

Supraversion			Position primaire			Infraversion		
VN	POD	POND	VN	POD	POND	VN	POD	POND
Moyenne(Δ)								
0,42	0,71	2,28	0,14	0,28	1,71	0,71	1,14	2,00
t value								
1,44	1,98	4,38	1,00	1,54	2,52	2,50	2,06	2,64
P value								
0,199	0,094	0,004*	0,355	0,172	0,045*	0,046	0,084	0,038*

*Résultat significatif quand $P < 0,05$

Les réponses verticales enregistrées en fonction de l'œil dominant ou non dominant étaient différentes ce résultat est en concordance avec les résultats des études précédentes (Kapoula et al1996, Ygee et Zee, 1995).

La moyenne des déviations enregistrées était inférieure lorsque le prisme était sur l'œil dominant ($MD_{sup} = 0,71$ D, $MD_{prim} = 0,28$ D et $MD_{infr} = 1,14$ D) que lorsqu'il était placé sur l'œil non dominant ($MD_{sup} = 2,28$ D, $MD_{prim} = 1,71$ D, $MD_{inf} = 2,00$ D). Le résultat statistique du t-test a montré une différence significative de POND par rapport à VN et POD (avec $P = 0,004$, $t = 4,38$ en supraversion, $P = 0,045$, $t = 2,52$ en position primaire et $P = 0,038$, $t = 2,64$ en infraversion).

Les résultats du tableau 09 nous permettaient de faire une représentation graphique (figure 44) des réponses verticales enregistrées dans les différentes conditions.

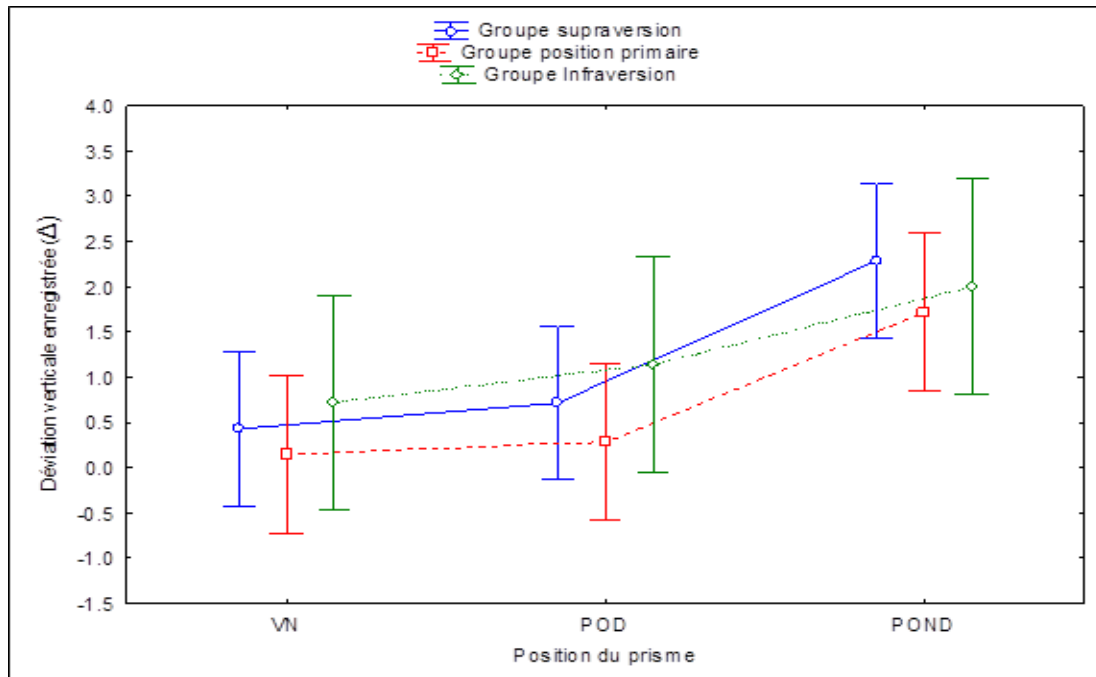


Figure 44. Les réponses verticales enregistrées pour tous les sujets dans chaque condition : vision binoculaire naturelle (VN), en vision binoculaire avec le prisme devant l'œil dominant (POD) et avec le prisme devant l'œil non-dominant (POND). Chaque condition est analysée dans les trois positions du regard : supraversion, position primaire et infraversion.

La Figure 44 montre les réponses verticales enregistrées. MDsup = Moyenne de déviation en supraversion, MDprim = Moyenne de déviation en position primaire, MDinfr = Moyenne de déviation en infraversion. Les résultats révèlent que l'effet de la dominance oculaire sur le mouvement de vergence verticale induit par un prisme de 2 Δ base en bas lors de la position assise à une distance de 150 cm est plus significatif sur l'œil non dominant que l'œil dominant.

Le traitement de la disparité est plus efficace lorsque le prisme est sur l'œil dominant, ce qui explique le résultat d'un mouvement plus faible comparé à la disparité induite, alors que celui de l'œil dominant est plus important et donc moins efficace. Ce résultat est conforme à plusieurs études suggérant un meilleur traitement sensoriel pour l'œil dominant qui est principalement impliqué dans la perception visuelle et sa stimulation peut inhiber certains signaux de l'œil non dominant (Shneur et Hochstein, 2005 ; Shneur et Hochstein, 2006). Une incohérence avec le résultat de Mapp et al. (Mapp et Al, 2003) qui suggèrent que la dominance oculaire n'a aucune influence sur les tâches visuelles binoculaires et que l'œil dominant est l'œil utilisé pour les tâches monoculaires.

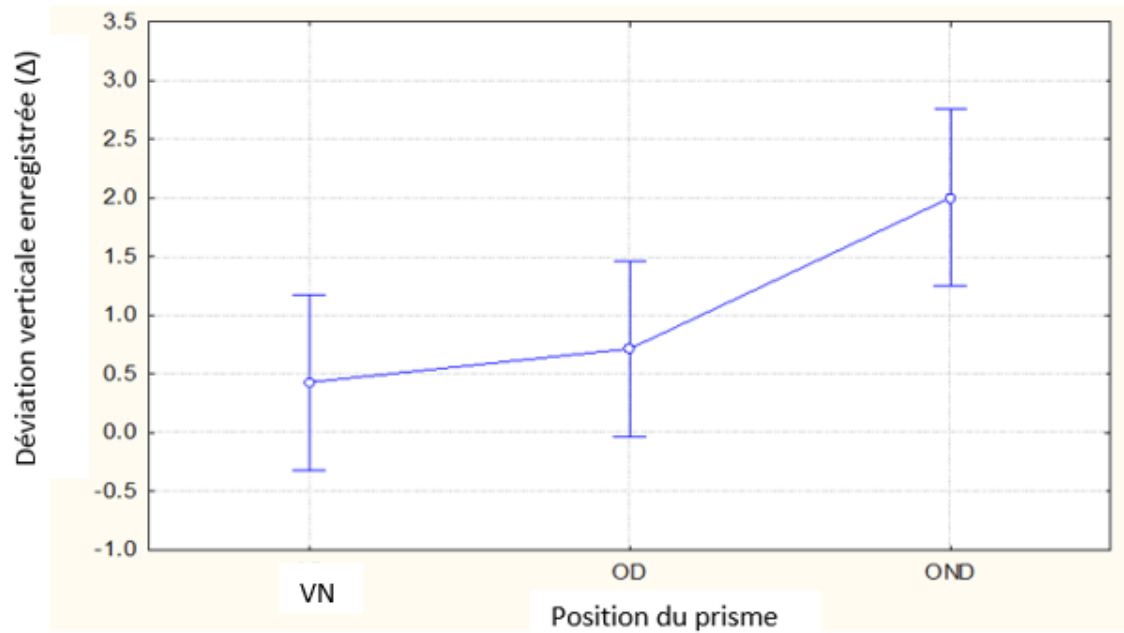


Figure 45. Les réponses de vergence enregistrées en position primaire et dans les trois conditions de mesures : sans prisme VN, prisme sur l'œil dominant POD et prisme sur l'œil non dominant POND

On note un meilleur traitement de la disparité induite sur l'œil dominant en position primaire (figure 45) par rapport aux autres positions $MD_{sup} = 0,71$ D, $MD_{prim} = 0,28$ D et $MD_{infr} = 1,14$ D. Ainsi, un traitement médiocre sur l'œil non dominant avec une légère amélioration en position primaire lorsque le prisme est sur l'œil non dominant $MD_{sup} = 2,28$ D, $MD_{prim} = 1,71$ D, $MD_{inf} = 2,00$ D. On conclut que le traitement de disparité est plus efficace dans la position primaire et lorsque le prisme est sur l'œil dominant, conduisant à une meilleure réponse oculomotrice. Les résultats suggèrent que les réponses motrices verticales dans les trois positions du regard après une disparité de fixation induite sont modulées par la dominance oculaire, le traitement de la disparité induite étant plus efficace sur l'œil dominant. Ce résultat est en accord avec l'étude de Matheron (2008) en utilisant d'autres méthodes.

Cependant, les résultats menés dans le cadre de cette thèse ne nous permettent pas d'aller raisonnablement plus loin. Des études ultérieures seront nécessaires afin d'avoir des résultats sur des cas présentant une disparité de fixation décompensée

Conclusion

L'utilisation de prismes en cas d'hétérophorie avec disparité de fixation est une modalité de traitement établie. La littérature clinique manque de consensus sur l'utilisation appropriée des prismes et ne fournit pas les bases nécessaires pour une bonne adaptation. Bien que la littérature expérimentale puisse guider le praticien, le manque d'études sur ce sujet nous a permis de faire une étude sur l'effet prismatique sur la vergence en fonction de la dominance oculaire.

En optométrie la prescription d'une valeur prismatique en cas d'hétérophorie avec disparité de fixation se fait sur un des deux yeux sans donner une importance à la dominance oculaire. D'après les résultats obtenus dans cette étude expérimentale, la réponse du couple oculaire dépend de l'œil qui porte le prisme. L'enregistrement par la vidéooculographie montre une différence des réponses de vergence en fonction de la dominance oculaire.

Nos résultats enregistrés révèlent que le mouvement induit par un prisme de 2 Δ base en bas pendant une position assise à une distance de 150 cm est plus significatif sur l'œil non dominant que sur l'œil dominant. En supraversion $P_{\text{POD}} = 0,094$ et $P_{\text{POND}} = 0,004$. En position primaire $P_{\text{POD}} = 0,172$ et $P_{\text{POND}} = 0,045$. En infraversion $P_{\text{POD}} = 0,084$ et $P_{\text{POND}} = 0,038$. La réponse de vergence à un prisme de 2 Δ est plus importante sur l'œil non dominant que sur l'œil dominant ce qui permet de conclure que le traitement de la disparité est plus efficace lorsque le prisme est sur l'œil dominant et en position primaire. Ces résultats ont des implications cliniques et scientifiques fondamentales, car il faut tenir compte de la dominance oculaire lors d'une prise de mesure ou une prescription prismatique.

Cette étude contribue à une meilleure caractérisation des réponses des mouvements oculaires aux disparités verticales dans les trois positions du regard. Les réponses oculomotrices de la vergence verticale sont modulées par la dominance oculaire.

La dernière génération de video-oculographe « Gazelab » permet d'assurer une évaluation complète des mouvements oculaires car il nous fournit une meilleure précision d'enregistrement des mouvements oculaires et élimine la composante subjective, nous offrant un enregistrement totalement objectif et reproductible. Il permet également l'analyse des mouvements d'un point de vue dynamique.

Conclusion

La présente étude devrait stimuler la recherche en vision et coordination binoculaire nécessitant des mesures précises des yeux à l'aide d'eye trackers. Cet outil devait servir le diagnostic clinique et aider à la décision thérapeutique. Elle peut également stimuler des études sur des conditions pathologiques telles que les disparités de fixation décompensées pour avoir plus de résultats sur les réponses oculomotrices face à une prismsation en situation réelle et afin d'établir un protocole qui tient en considération la dominance oculaire et qui permet de rétablir une bonne coordination binoculaire.

Bibliographie:

Antony J (2017). Prisms in Clinical Practice. Kerala Journal of Ophthalmology 29: 79.

Allary JC. (2003). COURS D'OPTOMÉTRIE. Opto-com.

Butler KM, Zacks RT, Henderson JM (1999). Suppression of reflexive saccades in younger and older adults: age comparisons on an antisaccade task. Mem Cognit 27:584–591

Beaubert E, Pariguet F, Taboulot S (2012). Manuel de l'opticien : Anatomie, physiologie, pathologie. 2e édition. Paris, Maloine.

Crawford TJ, Hill S, Higham S (2005). The inhibitory effect of a recent distracter. Vision Res 45:3365–3378.

Carey (2001). Vision research: losing sight of eye dominance. Curr Biol 11:828–830.

Coren, S, Kaplan, C. P. (1973). Patterns of ocular dominance. American Journal of Optometry & Physiological Optics 50:283-292.

Carter DB (1980). Parameters of fixation disparity. Am J Optom Physiol Opt 57: 610–617.
Cheeseman Jr EW, Guyton DL (1999). Vertical fusional vergence: the key to dissociated vertical deviation. Arch Ophthalmol 117 : 1188-1191.

Coren, S. (1999). Sensorimotor performance as a function of eye dominance and handedness. Perception and Motor Skills 88: 424–426.

Crane HD, Steele CM (1985). Generation-V dual-Purkinje-image eyetracker. Applied optics 24:527-537.

Cornell ED, Macdougall HG, Predebon J, Curthoys IS (2003). Errors of binocular fixation are common in normal subjects during natural conditions. Optom Vis Sci 80:764-771.

Clarck AH, Teiwes W, Scherer H (1991). Videooculography-an method for measurement of three dimensional eye movements. In: Schmidt R, Zambbarbieri D, eds. Oculomotor control and cognitive processes; Amsterdam: Elsevier:431-43.

Duchesne J, Coubard OA (2020). Measuring vergence and fixation disparity in 3D space n.d.:41.

De Luca M, Spinelli D, Zoccolotti P, Zeri F (2009). Measuring fixation disparity with infrared eye-trackers. J. Biomed. Opt 14:014-013.

Durand A, Gould G (1910). A method of determining ocular dominance. J AMA, 55:369–370.

Bibliographie

- Darras, Claude, Renée Pigassou-Albouy (1995). *Éléments et réflexions d'optique physiologique*. Nantes, France: Éd. ERA.
- Enright JT (1992). Unexpected role of the oblique muscles in the human vertical fusional reflex. *J Physiol* 451 : 279-293.
- Evans, Bruce J. W, David Pickwell (2007). *Pickwell's Binocular Vision Anomalies*. 5th ed. Edinburgh ; New York: Elsevier Butterworth Heinemann.
- Evans BJW (2002). *Pickwell's Binocular Vision Anomalies*. 4th edn. Butterworth-Heinemann, Oxford
- Evans, Bruce (2005). *Binocular Vision. Eye Essentials*. Edinburgh: Elsevier, Butterworth-Heinemann.
- El-Mallakh RS, Wyatt RJ, Looney SW (1993). Does motor cerebral dominance develop secondary to sensory dominance? *Percept Mot Skills* 76: 647-652.
- Eggert T (2007). *Eyes movements recording : methods. Neuro-ophthalmology : neuronal control of eye movements*. Ed. Karger AG.
- Frantz KA, Elston P, Michalik E, Templeman CD, Zoltoski RK (2011). Comparison of fixation disparity measured by salad card and disparometer. *Optometry and Vision Science*. 88: E733-41.
- Freeman GL, Chapman JS. (1935). Minor studies from the psychological laboratory of Northwestern University. *American Journal of Psychology*. 47, 146–151
- Frantz KA., Scharre JE (1990). Comparison of disparometer fixation disparity curves as measured with and without the phoropter. *Optometry and Vision Science*. 67: 117-122.
- Fogt N, Jones, R (1997). Comparison of the monocular occlusion and a direct method for objective measurement of fixation disparity. *Optometry and Vision Science*, 74, 43–50.
- Guestrin ED, Eizenman M (2006). General Theory of Remote Gaze Estimation Using the Pupil Center and Corneal Reflections. *IEEE Trans Biomed Eng*. 53:1124-1133.
- Gazelab Manual v4.7 (2017). GazeLab Ocular motility measurement system.
- Hammoud, RI (2008). *Passive eye monitoring: Algorithms, applications and experiments*. New York, NY: Springer.
- Hering E (1868). *The theory of binocular vision*. New York: Plenum Press.

Helmholtz JA (1910). *Treatise on Physiological Optics*. Dover, New York.

Helmholtz H (1925). *The perceptions of vision*. The Optical Society of America, Rochester

Hugonnier R (1981). *Strabisme, hétérophories, paralysies oculomotrices*. 3^{ème} édition, Masson, Paris.

Hebbard FW (1962). Comparison of subjective and objective measurements of fixation disparity. *Journal of the Optical Society of America*. 52: 706-712.

Hoormann, J, Jainta S, Jaschinski W (2008). The effect of calibration errors on the accuracy of themovement recordings. *Journal of Eye Movement Research*, 1, 3.1–7.

Howard IP (2002). *Seeing in depth: Vol. 1. Basic mechanisms*. Toronto: I. Porteous.

Handa T, Mukuno K, Uozato H, Niida T, Shoji N, Shimizu K (2004) Effects of dominant and non-dominant eyes in binocular rivalry. *Optom Vis Sci* 81: 377-383.

Howard IP, Rogers B J (2002). *Seeing in depth. Vol. 2 Depth perception*. Thornhill, Canada: IPorteous.

Holmqvist K, Nystrom M, Andersson R, Dewhurst R, Jarodzka H, van der Weijer J (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford, Engalnd: Oxford University Press.

Idem (1992). Les convergences oculaires . Yves Le Grand, *Optique physiologique* 3,7, 208.
Ibn al-Haytham, *Optics*, vol. 1, 241-242.

Jaschinski W, Jainta S, Kloke WB (2010). Objective vs subjective measures of fixation disparity for short and long fixation periods. *Ophthalmic & Physiological Optics*. 30: 379-390.

Jainta S, Jaschinski W (2010). “Trait” and “state” aspects of fixation disapritry during reading. *Journal of Eye Movement Research* 3, 1.1–13.

Jenkins TC, Abd-Manan F, Pardhan S, Murgatroyd RN (1994). Effect of fixation disparity on distance binocular visual acuity. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 14, 129–131.

Jeanrot N, Jeanrot F, Spielmann A (2011). *Manuel de strabologie aspects cliniques et thérapeutiques*. Paris: Elsevier-Masson.

Jaschinski W, Švede A., Jainta, S (2008). Relation between fixation disparity and the asymmetry between convergent and divergent disparity step responses. *Vision Research*. 48: 253-263.

Bibliographie

- Jenkins TC, Pickwell LD, Abd-Manan F (1992). Effect of induced fixation disparity on binocular visual acuity. *Ophthalmic and Physiological Optics* 12, 299–301.
- Kertesz AE (1983) Vertical and cyclofusional disparity vergence. *Vergence Eye Movements*. Butterworth-Heinemann. Boston MA 317-348.
- Kommerell G, Gerling J, Bach M, Ball M (1999). Dissociated and Associated Phoria: Do They Indicate Asthenopia? *Transactions of the IX International Orthoptic Congress*. Stockholm. Sweden 264-268.
- Kwon JW, Bae JM, Kim JS, Jee D, Choi JA (2018). Asymmetry of the macular structure is associated with ocular dominance. *Canadian Journal of Ophthalmology* 54:237–41.
- Kangas, Jari, Jussi Rantala, Päivi Majaranta, Poika Isokoski, Roope Raisamo (2014). Haptic Feedback to Gaze Events. In *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications* 11-18.
- Kommerell G, Gerling J, Ball M, de Paz H, Bach M (2000). Heterophoria and fixation disparity. *Strabismus* 8: 127-134.
- Kirkby JA, Blythe HI, Drieghe D, Benson V, Liversedge SP (2013). Investigating eye movement acquisition and analysis technologies as a causal factor in differential prevalence of crossed and uncrossed fixation disparity during reading and dot scanning. *Behav Res Meth.*;45: 664–678.
- Karania R, Evans B (2006). The Mallet fixation disparity test: influence of test instructions and relationship with symptoms. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 26 507-522.
- Kommerell G, Schmitt C, Kromeier M, Bach M (2003) Ocular prevalence versus ocular dominance. *VisRes*43:1397-1403.
- Kingma H, Gullikers H, de Jong, Jongen R, Dolmans M, Stegeman P (1995). Real time binocular detection of horizontal vertical and torsional eye movements by an infra red video-eye tracker. *Acta Otolaryngol Suppl* 520:9-15.
- Leigh RJ, Zee DS (2006). *The neurology of eye movement*. 4th edition. Oxford University Press. New York. 762 .
- London, Richard, Roger S, Crelier (2006). Fixation Disparity Analysis: Sensory and Motor Approaches. *Optometry - Journal of the American Optometric Association* 77: 590-608.
- Lopes-Ferreira D, Neves H, Queiros A, Faria-Ribeiro M, Peixoto-de Matos SC, González-Méijome JM. (2013). Ocular dominance and visual function testing. *Biomed Res Int* 88.

- Lefetz Jonathan (2011). Enregistrements des mouvements oculomoteurs du sujet sain par video-oculographie. Université de Nantes.
- Larrazabal AJ, García Cena CE, Martínez CE (2019). Video-Oculography Eye Tracking towards Clinical Applications: A Review . Computers in Biology and Medicine 108: 57-66.
- Mapp AP, Ono H, Barbeito R (2003). What does the dominant eye dominate? A brief and somewhat contentious review. Perception & Psychophysics, 65, 310–317.
- Matheron E, Yang Q, Thanh-Thuan Lê, Kapoula Z (2008). Effects of ocular dominance on the vertical vergence induced by a 2-diopter vertical prism during standing. Neuroscience letters, 444:176–180.
- Maxwell JS, Schor CM (1996) Adaptation of vertical eye alignment in relation to head Tilt. Vision Res 36: 1195-1205.
- Momeni-Moghaddam H, Eperjesi F, KundartJ, Sabbaghi, H (2013). Induced vertical disparity effects on local and global stereopsis. Current Eye Research.
- Maddox EE (1893).The clinical use of prisms and the decentering of lenses. Bristol: John Wright & Sons Ltd.
- Menon RS, Ogawa S, Strupp JP, Ugurbil K (1997). Ocular dominance in human V1 demonstrated by functional magnetic resonance imaging. Journal of Neurophysiology 77 : 2780-2787.
- McManus IC, Tomlinson J (2004). Objects look different sizes in the right and left eyes. Laterality, 9, 245–265.
- Moore ST, Halwanter T, Curthoys IS, Smith ST (1996). A geometric basis for measurement of three- dimensional eye position using image processing. Vision Res 36:445-459.
- Miles, W. (1930). Ocular dominance in human adults. J Gen Psychol, 3:412–430.
- Ngan J, Goss DA, Despirito J (2005) . Comparison of fixation disparity curve parameters obtained with the Wesson and Saladin fixation disparity cards. Optometry and Vision Science. 82: 69-74.
- Nakagama H, Tanaka S (2004). Self-organization model of cytochrome oxidase blobs and ocular dominance columns in the primary visual cortex. Cereb Cortex 14: 376-386.
- Nystrom M, Andersson R, Holmqvist K, van der Weijer J (2013). The influence of calibration method and eye physiology on eyetracking data quality. Behavior Research Methods 45, 272–288.
- Ogle K.N (1950) . Researches in Binocular Vision. Hafner, New York.

Bibliographie

- Ogle KN, Mussey F, De Prangen A (1949) . Fixation disparity and the fusional processes in binocular single vision.
- Ooi TL, He ZJ (2001).Sensory eye dominance. *Optometry* 72 : 168-178.
- Oishi A, Tobimatsu S, Arakawa K, Taniwaki T, Kira J (2005). Ocular dominance in conjugate eye movements atreading distance. *Neuroscience Research* 52: 263–268.
- Ogle KN, Martens TG, and Dyer JA (1967) .Oculomotor Imbalance in Binocular Vision. Philadelphia, PA: Lea & Febiger.
- Ogle KN (1958). Fixation disparity and oculomotor imbalance. *Am. Orthopt* 8, 21-36.
- Obstfeld H (1982). Optics in vision: Foundations of visual optics and associated computations. Butterworths, Sevenhoak
- Opticae thesaurus, III, II, 12, p. 82, Optics, vol. 1, p. 239
- Opticae thesaurus, p. 82, Optics, vol. 1, p. 240.
- O' Leary CI, Evans BJW (2003). Criteria for prescribing optometric interventions: literature review and practitioner survey. *Ophthal Physiol Opt* 23:429–439
- Ochaita, C. Laria. 2014a. « El estrabismo y el siglo XXI ». *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología* 89 (12): 469–70.
- Prevost G (1988). Verres de lunettes et effets prismatiques. *Agressologie* 29 : 697-698
- Porac C, Coren S (1976). The dominant eye. *Psychological Bulletin* 83, 880–897.
- Porac C, Coren S (1984). Monocular asymmetries in vision: aphenomenal basis for eye signature. *Canadian Journal of Psychology*38, 610–624
- Pointer JS (2012). Sighting versus sensory ocular dominance. *Journal of Optometry*5:52–55.
- Palmer EA, von Noorden GK (1978) . The relationship between fixation disparity and heterophoria. *American Journal of Ophthalmology* 86 172-175.
- Pigassou-Albouy Renée (1991). Les strabismes. Les divergences oculaires1, 27.
- Pickwell D (1986). Lectures notes on binocular vision anomalies. University of Bradford,UK.
- Paris V (1999) . Traitement prismatique de la décompensation phorique a l'âge de la presbytie *Bull. Soc. belge Ophtalmol* 273 :23–29.

Bibliographie

- Quéré, Maurice-Alain (1990). Cahiers de sensorio-motricité XVE colloque. Le traitement médical des strabisme 128.
- Robinson DA (1981). Control of eye movements. In: Handbook of Physiology American Physiological Society 1275–1320. Bethesda.
- ROUSSEAU B., WEISS B (2002) . Asthénopie et Disparité de fixation; Journal Français d'Orthoptique 33.
- Russo JE (1975). The limbus reflection method for measuring eye position. Behavior Research Methods and instrumentation 7:205-208.
- Raynaud D (2003), « Ibn al-Haytham sur la vision binoculaire: un précurseur de l'optique physiologique », Slightly revised for Arabic Science and Philosophy 13: 79-99.
- Rombouts SA, Barkhof F, Sprenger M, Valk J, Scheltens P (1996) The functional basis of ocular dominance: Functional MRI (fMRI) finding. Neuroscience Letters 221 : 1-4.
- Robinson DA (1963). A method of measuring eye movement using a scleral search coil in magnetic field. IEEE Trans Biomed Eng 10:137-145.
- Rosenfield M (1997). Vergence tonique et adaptation de la vergence. Optom Vis Sci 74: 303 – 328.
- Sperry R (1950) . Neural basis of the spontaneous optokinetic response produced by visual inversion. Journal of Comparative and Physiological Psychology 43:482–489.
- Shneor E, Hochstein S (2005). Effects of eye dominance in visual perception. International Congress Series 1282, 719–723.
- Shneor E, Hochstein S (2006). Eye dominance effects in feature search, Vision Res 46: 4258–4269.
- Sheedy JE (1991) . Actual measurement of fixation disparity and its use in diagnosis . Fixation disparity: clinical implications and utilization. Journal of the American Optometric Association 62:923-933.
- Svede A, Treija E, Jaschinski W, Krumin G (2015). Monocular Versus Binocular Calibrations in Evaluation. Perception 44: 1110–1128.
- Sethi B (1986) . Heterophoria : a vergence adaptive position. Ophthalmic Physiol Opt 6: 151–156.
- Sheedy JE (1980). Actual measurement of fixation disparity and its use in diagnosis and treatment. Journal of the American Optometric Association 51, 1079–1084.

Sheedy JE, Saladin JJ (1983). Validity of diagnostic criteria and case analysis in binocular vision disorders. In: Schor CM, Ciuffreda KJ, editors. *Vergence Eye Movements: Basic and Clinical Aspects*. Boston: Butterworths 517–540.

Sabra, Optics, vol. 2, pp. 123-124.

Seijas O, Gómez de Liaño P, Gómez de Liaño R, Roberts CJ., Piedrahita E, Diaz E (2007). Ocular dominance diagnosis and its influence in monovision. *Am. J. Ophthalmol* 144:209–216.

Svede A, Hoormann J, Jainta S, Jaschinski W (2011). Subjective fixation disparity affected by dynamic asymmetry, resting vergence, and nonius bias. *Investigative Ophthalmology and Visual Science* 52, 4356–4361.

Scheiman M, Mitchell GL, Cotter S et al (2005). A randomized clinical trial of treatments for convergence insufficiency in children. *Archives of Ophthalmology* 123: 14–24

Schoen ZJ, Scofield CF (1935). A study of the relative neuromuscular efficiency of the dominant and non-dominant eye in binocular vision. *Journal of General Psychology* 11, 156–181.

Schroth, Volkhard, Roland Joos, Wolfgang Jaschinski (2015). Effects of Prism Eyeglasses on Objective and Subjective Fixation Disparity. *PLOS ONE* 10: e0138871.

Taha S, Stryker MP (2002). Rapid ocular dominance plasticity requires cortical but not geniculate protein synthesis. *Neuron* 34: 425-436.

Von Noorden GK, Campos EC (2002). *Binocular vision and ocular motility: theory and management of strabismus*. St Louis: Mosby6, 653.

Van der Geest JN, Frens MA (2002). Recording eye movements with video-oculography and scleral search coils: A direct comparison of two methods. *Journal of Neuroscience Methods* 114–195.

Vieth Gerhard Ulrich Anton (1818) .Ueber die Richtung der Augen. *Gilbert's Annalen der Physik* 58:233-253.

Véronneau-Troutman, Suzanne (1997). *Les prismes dans le traitement médical et chirurgica du strabisme*. Masson.

Waespe W, Henn V (1977). Neuronal activity in the vestibular nuclei of the alert monkey during vestibular and optokinetic stimulation. *Experimental Brain Research* 27:523-538.

Bibliographie

Walls G L (1951). A theory of ocular dominance. Archives of Ophthalmology 45, 387-412.

Warren N, Clark B (1938). A consideration of the use of the term ocular dominance. Psychological Bulletin 35, 298-304.

Walls, G. (1995). A theory of ocular dominance. AMA Arch Ophthalmol 45(4):387–412.

Ygge J, Zee DS (1995). Control of vertical eye alignment in three-dimensional space. Vision Res 35: 3169-3181

Ygge J 2000. Vertical Vergence — Normal Function and Plasticity . Accommodation and Vergence Mechanisms in the Visual System 257-72.

Ygge J (2000) Vertical vergence – Normal function and plasticity. In : Franzén

Yekta A, Jenkins, Pickwell TD (1987). The clinical assessment of binocular vision before and after a working day. Ophthalmic Physiol. Opt 7, 349–352.

Ygge J, Zee DS (1995). Control of vertical eye alignment in three-dimensional space. Vision Res 35: 3169-3181

Zhou WU, King WM (1998). Premotor commands encode monocular eye movements. Nature 393: 692-695.

Résumé

Environ 80% des informations sont obtenues avec le système visuel. Comme nous avons deux yeux, l'une des fonctions du système visuel consiste à fusionner les images des deux yeux. Pour une vision unique et stable, le système de fusion maintient les images des deux yeux aussi proches que possible sur les points correspondants. Cependant, la fusion n'est pas toujours exacte : une différence peut apparaître entre la position physique de la cible et le point fixé par les yeux, c'est-à-dire le point d'intersection des deux axes visuels lors de la fusion binoculaire ; cette différence s'appelle la disparité de fixation. Le but de cette étude est d'examiner les réponses des mouvements verticaux obtenues par une faible prismation (disparité de fixation induite) en fonction de la dominance oculaire à l'aide d'un nouveau vidéoculographe Gazelab. Ce type de technologie de pointe offre une grande précision en strabologie en général et l'évaluation de l'équilibre des axes visuels dans différentes positions du regard pour le traitement de la disparité de fixation. Cette étude contribue à une meilleure caractérisation des réponses des mouvements oculaires aux disparités verticales dans les trois positions du regard. Les réponses oculomotrices de la vergence verticale sont modulées par la dominance oculaire.

Mots clés : Prisme, Gazelab, vergence, disparité de fixation, dominance oculaire

Abstract

About 80% of information is obtained with visual system. As we have two eyes, one of the functions of visual system is to fuse the images of both eyes. For stable single vision, the fusion system keeps the images of the two eyes on corresponding points as close as possible. However, fusion is not always exact: a difference may occur between the physical position of the target and the point actually fixated by the eyes, i.e., the intersection point of the two visual axes during binocular fusion; this difference is called fixation disparity. The aim of this study is to examine the responses of vertical movements given by low prismatic (induced fixation disparity) according to the ocular dominance using new videooculograph Gazelab. This kind of high technology provides a great precision level in strabismology in general and in the assessment of visual axes balance in different gaze positions treatment of fixation disparity. This study contributes to a better characterization of eye movement responses to vertical disparities at three gaze positions. The oculomotor responses of vertical vergence are modulated by ocular dominance.

Keywords: Prism, Gazelab, vergence, fixation disparity, ocular dominance.

ملخص

يتم الحصول على حوالي 80% من المعلومات من خلال النظام المرئي. نظرًا لأن لدينا عينان ، فإن إحدى وظائف النظام البصري هي دمج صور العينين. للحصول على رؤية واحدة ومستقرة ، يحافظ نظام الاندماج على صور كلتا العينين في أقرب وقت ممكن في النقاط المقابلة. ومع ذلك ، فإن الاندماج ليس دقيقًا دائمًا: يمكن أن يظهر اختلاف بين الموضع المادي للهدف والنقطة التي تحددها العينان ، أي نقطة تقاطع المحورين المرئيين أثناء الاندماج. منظار مقرب؛ يسمى هذا الاختلاف تباين التثبيت. الهدف من هذه الدراسة هو فحص استجابات الحركة العمودية التي تم الحصول عليها بواسطة المنشور المنخفض (تباين التثبيت المستحث) كدالة للهيمنة العينية باستخدام جهاز تصوير فيديو غازيلا ب الجديد. يقدم هذا النوع من التكنولوجيا المتقدمة دقة كبيرة في علم الحول العام وتقييم توازن المحاور المرئية في مواضع النظر المختلفة لمعالجة تباين التثبيت. تساهم هذه الدراسة في توصيف أفضل لاستجابات حركات العين للتباينات الرأسية في مواضع النظرات الثلاثة. يتم تعديل الاستجابات الحركية للعين للرجوع الرأسي عن طريق الهيمنة العينية

الكلمات المفتاحية: المنشور ، غازيلا ب ، الانحراف ، تباين التثبيت ، هيمنة

العين