



ROYAUME DU MAROC  
UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH  
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE  
FES



Année 2017

Thèse N° 037/17

**RÉFRACTION CHEZ L'ENFANT : COMPARAISON ENTRE LA RÉFRACTION  
« NAÏVE » À L'AUTO-RÉFRAC TOMÈTRE PORTABLE PLUSOPTIX ET LA RÉFRACTION  
À L'AUTO-RÉFRAC TOMÈTRE FIXE SOUS CYCLOPLÉGIE  
(à propos de 52 cas )**

THESE

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 17/02/2017

PAR

Mme. EL ALAMI FATINE

Née le 26 Avril 1989 à Fès

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MEDECINE

MOTS-CLES :

Réfraction - Plusoptix - Cycloplégie - Enfant

JURY

M. LAKTAOUI ABDELKADER..... Professeur agrégé d'Ophtalmologie	PRESIDENT ET RAPPORTEUR
M. BENATIYA ANDALOSSI IDRIS..... Professeur agrégé d'Ophtalmologie	} JUGES
Mme. ABDELLAOUI MERIEM..... Professeur agrégé d'Ophtalmologie	
M. IFERKHASS SAID..... Professeur assistant d'Ophtalmologie	} MEMBRES ASSOCIES
M. EL OUAFI AZIZ..... Professeur assistant d'Ophtalmologie	

## Abréviations

A/C	: Axe de l'astigmatisme obtenu sous cycloplégie
A/P	: Axe de l'astigmatisme obtenu au Plusoptix
AV	: acuité visuelle
C/C	: valeur cylindrique obtenue sous cycloplégie
C/P	: valeur cylindrique obtenue au Plusoptix
D, $\delta$	: dioptries
DC	: dioptre cylindrique
DS	: dioptre sphérique
ES	: équivalent sphérique
ES/C	: équivalent sphérique obtenu sous cycloplégie
ES/P	: équivalent sphérique obtenu au Plusoptix
ET	: écart type
HMMI	: hôpital militaire Moulay Ismail
Moy	: Moyenne
OD	: Œil droit
OG	: Œil gauche
OMS	: Organisation mondiale de la santé
P	: degré de signification
R	: coefficient de corrélation de Pearson
S/C	: valeur sphérique obtenue sous cycloplégie
S/P	: valeur sphérique obtenue au Plusoptix
VPN	: valeur prédictive négative
VPP	: Valeur prédictive positive

# SOMMAIRE

PARTIE THEORIQUE .....	9
I. INTRODUCTION.....	10
II. RAPPEL EMBRYOLOGIQUE .....	11
III. RAPPEL ANATOMIQUE.....	14
A. Globe oculaire.....	14
1. Segment antérieur .....	16
a. La cornée .....	16
b. L'iris.....	17
c. L'angle irido-cornéen .....	17
d. Le cristallin.....	19
e. Le corps ciliaire .....	19
f. L'humeur aqueuse .....	19
2. Segment postérieur .....	20
a. La sclérotique.....	21
b. La choroïde .....	21
c. La rétine.....	21
d. Le corps vitré.....	21
IV. DEVELOPPEMENT DU SYSTEME VISUEL.....	23
A. Réflexes visuels .....	25
B. Acuité visuelle .....	26
C. Champ visuel .....	27
D. Vision des contrastes .....	29
E. Vision des couleurs .....	30
F. Sensibilité aux mouvements .....	32
G. Vision binoculaire et stéréoscopique .....	33
V. LA REFRACTION .....	35
A. Définition.....	35

B. Evolution de la réfraction .....	37
C. Les amétropies .....	40
1. L'hypermétropie.....	40
2. La myopie .....	41
3. L'astigmatisme.....	43
4. L'anisométrie .....	45
D. Méthodes d'étude de la réfraction .....	46
1. Skiascopie.....	46
2. Réfractomètre automatique .....	52
3. Réfractomètre automatique portable.....	57
4. Réfracteur automatique .....	60
VI. ACCOMMODATION-CYCLOPLÉGIE : .....	62
A. Accommodation.....	62
1. Développement de l'accommodation .....	64
2. Mécanismes et Neurophysiologie .....	65
a. Mécanismes de l'accommodation.....	65
b. Neurophysiologie de l'accommodation.....	68
B. Cycloplégie .....	69
1. Définition.....	69
2. Pharmacologie des collyres cycloplégiques .....	69
a. Atropine.....	70
b. Cyclopentolate (Skiacol°) .....	70
c. Homatropine .....	72
d. Tropicamide (Mydriaticum°).....	72
e. Associations cycloplégiques.....	73
3. Utilisation des collyres cycloplégiques en pratique.....	73
VII. Auto-réfractomètre Pédiatrique Plusoptix A 12 :.....	76

A. Principe de mesure .....	76
1. Principales caractéristiques.....	76
2. Réalisation d'une mesure .....	77
a. Mesure de la réfraction .....	79
B. Avantages .....	83
C. Résultats .....	84
1. Anisométrie.....	84
2. Myopie et astigmatisme.....	84
3. Strabisme de petit angle .....	84
4. Hypermétropie .....	85
5. Opacifications .....	85
6. Nystagmus.....	86
7. Anisocorie.....	86
MATERIEL ET METHODES .....	88
I. POPULATION ETUDIEE .....	89
A. Critères d'inclusion .....	89
B. Critères d'exclusion .....	89
II. MATERIEL UTILISE.....	90
III. METHODES D'ETUDE .....	91
IV. FICHE D'EXPLOITATION .....	94
V. SAISIE ET ANALYSE DES DONNEES .....	94
RESULTATS.....	95
I. CARACTERISTIQUES EPIDEMIOLOGIQUES .....	96
A. Répartition selon l'âge.....	96
B. Répartition selon le sexe .....	97
II. DESCRIPTION CLINIQUE .....	98
A. Port antérieur de correction optique .....	98

B. Strabisme.....	98
C. Nystagmus.....	99
III. CONDITIONS DE LA MESURE AU PLUSOPTIX.....	99
A. COOPERATION.....	99
B. MODE DE MESURE BINOCULAIRE/MONOCULAIRE .....	100
C. NOMBRE DE TENTATIVES .....	102
D. TEMPS NECESSAIRE .....	102
E. DIFFICULTES RENCONTREES .....	103
F. ERREURS.....	106
1. Le patient ne fixe pas la caméra.....	106
2. Mesure incomplète .....	107
3. Image de la caméra hors focus.....	107
4. Pupilles non détectées .....	108
5. Réflexes cornéens trop foncés .....	109
6. Pupilles trop petites .....	110
7. Mesure hors limites (MYO) .....	111
8. Mesure hors limites (HYP) .....	112
IV. ETUDE DES AMETROPIES TOUS TYPES CONFONDUS : .....	113
A. Répartition selon le type : .....	113
1. Mesure sous cycloplégie : .....	113
2. Mesure au Plusoptix : .....	113
B. Répartition selon le degré de sévérité : .....	114
1. Mesure sous cycloplégie : .....	114
2. Mesure au Plusoptix : .....	114
V. L'HYPERMETROPIE .....	115
A. La prévalence globale .....	115
1. Sous cycloplégie : .....	115

2. Mesure au Plusoptix : .....	115
B. Répartition selon les tranches d'âge .....	115
1. Mesure sous cycloplégie : .....	115
2. Mesure au Plusoptix .....	115
C. Prévalence selon le sexe : .....	117
a. Mesure sous cycloplégie .....	117
b. Mesure au Plusoptix .....	117
D. Prévalence selon la sévérité : .....	118
1. Sous cycloplégie : .....	118
2. Mesure au Plusoptix : .....	118
VI. LA MYOPIE .....	119
A. La prévalence globale : .....	119
1. Sous cycloplégie : .....	119
2. Au plusoptix : .....	119
B. Répartition selon les tranches d'âge : .....	120
1. Sous cycloplégie : .....	120
2. Au plusoptix : .....	120
C. Prévalence selon le sexe : .....	121
1. Sous cycloplégie : .....	121
2. Au Plusoptix : .....	121
D. Répartition selon la sévérité : .....	122
1. Sous cycloplégie : .....	122
2. Au Plusoptix : .....	122
VII. L'ASTIGMATISME .....	123
A. Prévalence globale .....	123
1. Sous cycloplégie : .....	123
2. Au Plusoptix : .....	123



B. Répartition selon les tranches d'âge : .....	124
1. Sous cycloplégie :.....	124
2. Au Plusoptix : .....	124
C. Prévalence selon le sexe : .....	125
1. Cycloplégie :.....	125
2. Plusoptix :.....	125
D. Répartition selon la sévérité : .....	126
1. Sous cycloplégie :.....	126
2. Au Plusoptix .....	126
VIII. L'anisométrie : .....	127
A. Sous cycloplégie :.....	127
B. Au Plusoptix :.....	127
IX. Comparaison des 2 méthodes :.....	129
A. Equivalent sphérique : .....	129
B. Comparaison des valeurs sphériques : .....	131
1. Hypermétrie .....	132
2. Myopie .....	134
C. Réfraction cylindrique .....	136
D. Axe : .....	138
DISCUSSION :.....	140
CONCLUSION.....	156
RESUMES .....	158
ANNEXES .....	165
BIBLIOGRAPHIE .....	168

**PARTIE**

**THEORIQUE**

## I. INTRODUCTION

L'examen de la réfraction mesure les paramètres optiques oculaires nécessaires, à la recherche de troubles réfractifs qui sont identifiés et évalués, de manière à établir une correction optique. En pratique, tout examen ophtalmologique débute par l'étude de la réfraction.

Les vices de réfraction ou amétropies sont représentés par toutes les situations où le système optique de l'œil ne permet pas de focaliser l'image d'un objet sur la rétine(1)

Tout comme l'adulte, le nourrisson et l'enfant peuvent être atteints de vices réfractifs. Cependant, leur réfraction se distingue de celle de l'adulte par plusieurs points : le manque de coopération, l'absence de plainte, ainsi que le risque d'amblyopie et de strabisme ; contraignant le praticien à l'intransigeance en termes de réfraction, de correction optique et de délai de prise en charge.

L'OMS estime à 153 millions le nombre de personnes dans le monde vivant avec une déficience visuelle due à un défaut de réfraction non corrigé(2).

Plusieurs techniques permettent de mesurer la réfraction : skiascopie, réfractomètres automatiques fixes, auto-réfractomètres portables. Ces derniers sont très sollicités en ophtalmologie pédiatrique pour leur avantage de mesure de la réfraction à distance, cette mesure peut être effectuée facilement, rapidement, et sans cycloplégie. En revanche, ces avantages n'auront une valeur ajoutée que si les mesures qu'il fournit sont fiables.

Depuis un an, notre service s'est muni d'un auto-réfractomètre portable : le Plusoptix A12, ce qui nous a permis d'avoir une idée sur ses atouts et ses limites.

Ce présent travail a pour but de comparer les valeurs obtenues par auto réfractomètre portable (Plusoptix A12) sans cycloplégie à celles fournies par réfractomètre automatique sous cycloplégie (CANON), chez chaque enfant examiné

pour suspicion de trouble réfractif, à partir d'une étude prospective menée au service d'ophtalmologie de l'hôpital militaire Moulay Ismail de Meknès, à propos de 52 cas, entre juin et novembre 2016.

## II. Rappel embryologique :(3)

Le développement de la fonction visuelle débute pendant la vie fœtale et s'achève à 15 ans. Durant la période embryonnaire l'appareil visuel et le système nerveux ont un développement parallèle.

Par la suite, pendant la période fœtale, les paramètres du système visuel se développent de façon simultanée mais inégale. Tous ont une progression rapide entre 2 et 6 mois après la naissance, coïncidant avec le développement morphologique et histologique de la fovéa, de même que la myélinisation du nerf optique (4)

Les vésicules optiques sont des invaginations du tube neural à la surface duquel elles font saillie ; elles induisent la formation de la placode cristallinienne. La vésicule optique se transforme en cupule par indentation de sa partie antérieure ; cette cupule donnera par la suite la rétine.

La placode ectodermique située presque à son contact s'invagine pour donner naissance au cristallin. Dès sa formation, il pénètre dans la cupule optique dans laquelle il va continuer son développement.

L'épithélium de surface se referme devant la vésicule et deviendra l'épithélium cornéen (Figure n°1).

La partie postérieure de la vésicule optique devient un pédoncule arrondi communiquant avec la cavité cérébrale d'une part et la cupule optique de l'autre : c'est l'ébauche du nerf optique.

La fissure embryonnaire laisse pénétrer l'artère hyaloïdienne dans la cupule. Le vitré primitif remplit alors la cupule optique entre sa paroi interne et la face

postérieure du cristallin. Dès la sixième semaine, le vitré primitif est progressivement remplacé par le vitré secondaire non vascularisé. La fermeture de la fente embryonnaire est complète avant la fin de la septième semaine.

L'ébauche primitive de la face est constituée de cinq bourgeons qui entourent le stomodéum.

L'ébauche du canal lacrymo-nasal apparaît chez l'embryon de 6 semaines dans la dépression qui sépare les bourgeons maxillaires et naso-frontal externe.

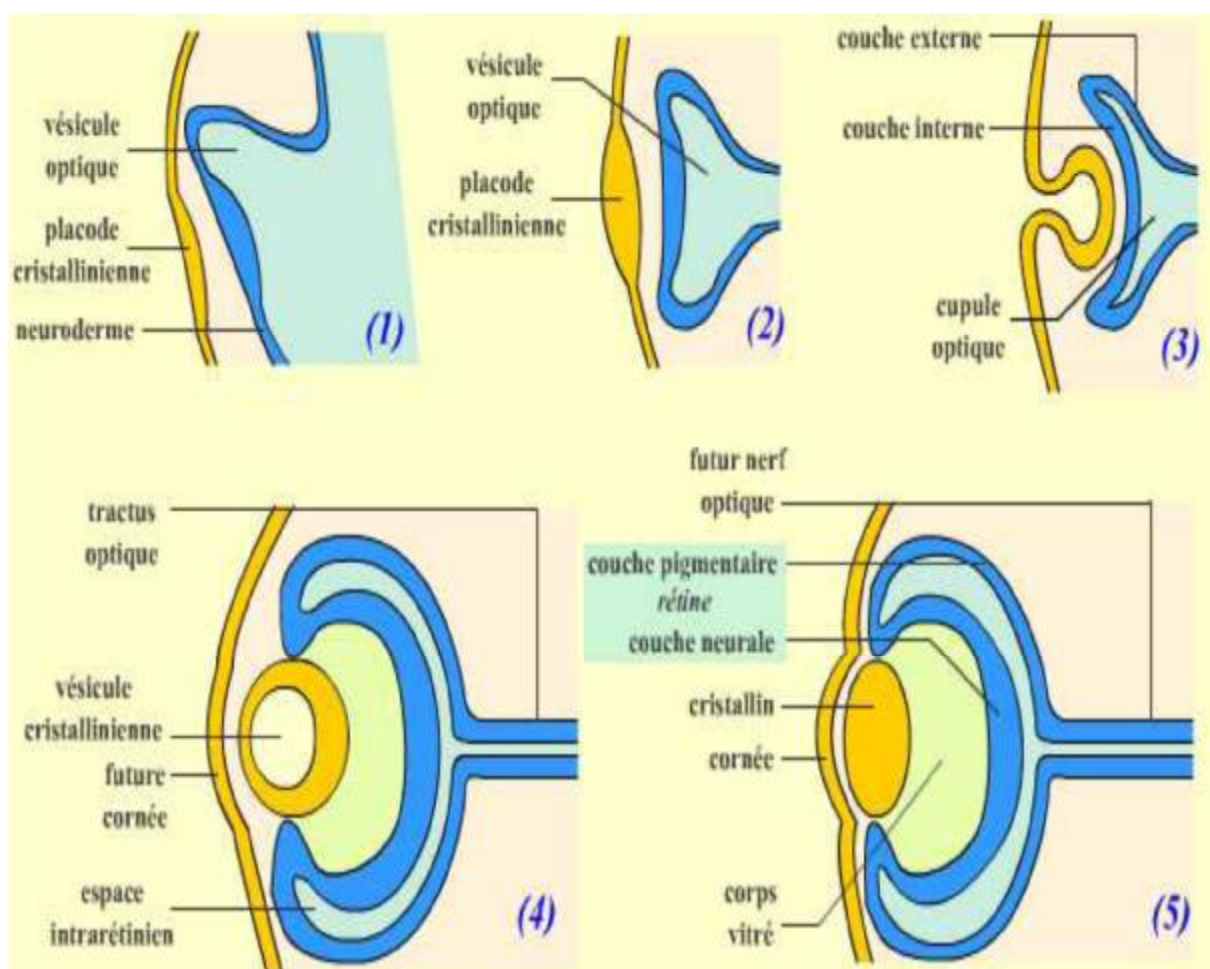


Figure n°1 : Organogenèse de l'œil.

L'ectoderme et le tissu mésenchymateux sous-jacent forment au cours du deuxième mois du développement les paupières, qui recouvrent l'ébauche oculaire. Les deux paupières supérieure et inférieure se soudent par leur bord libre à la huitième semaine du développement. Vers le septième mois, elles se séparent à nouveau déterminant la formation de la fente palpébrale. (Figure 2)

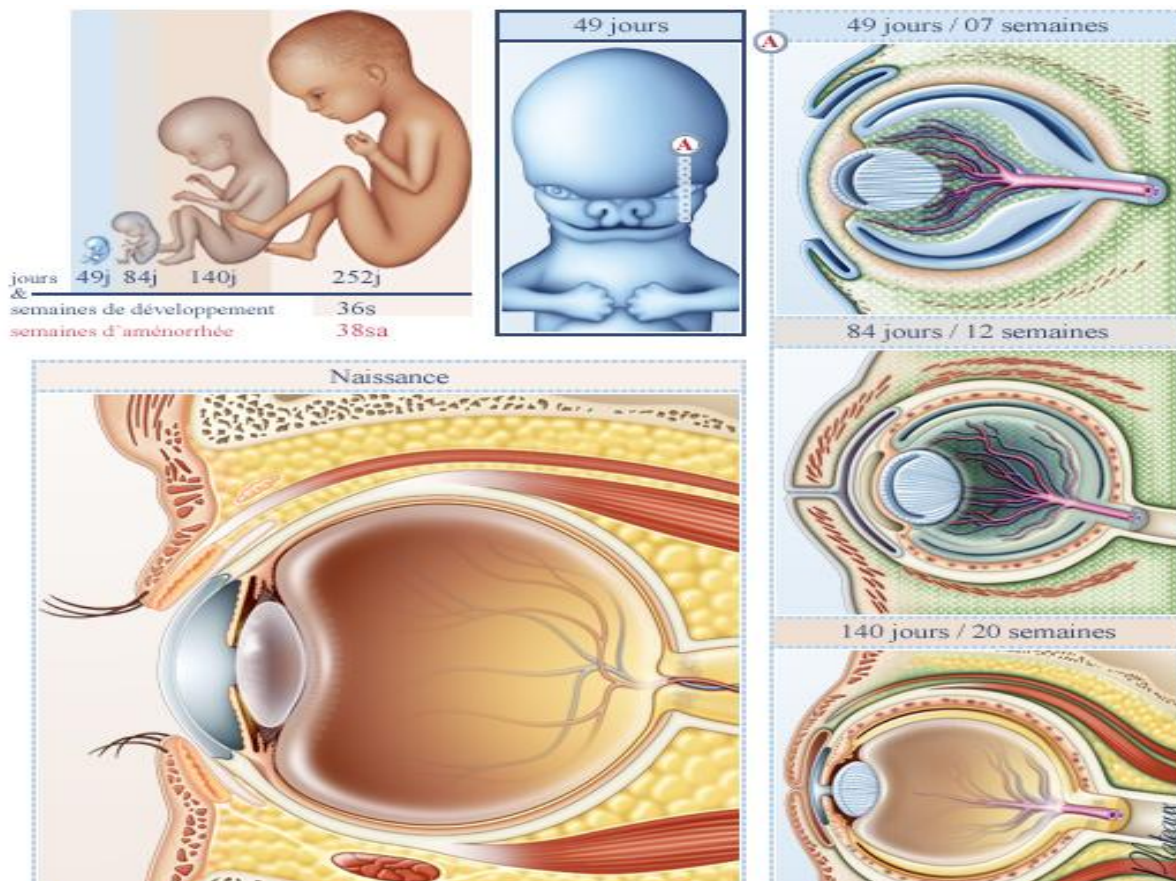


Figure 2 : Développement des paupières

Le système visuel comme le système nerveux central du nouveau-né ne sont pas encore ceux de l'adulte. Ils vont subir des changements anatomiques et physiologiques que l'on appellera processus de maturation. Cette maturation se fait assez rapidement mais à des vitesses différentes.

### III. Rappel anatomique :

L'œil ou globe oculaire est la partie principale de l'appareil de la vision. Il est contenu dans l'orbite, qui est une cavité quadrangulaire creusée dans le massif facial. Ses mouvements sont assurés par les muscles oculomoteurs. Le globe est appendu au nerf optique qui le relie au cerveau.

Il est grossièrement sphérique de diamètre sagittal ou antéropostérieur d'environ 25mm chez l'adulte emmétrope et un diamètre vertical d'environ 23mm et transversal d'environ 23,5mm. Ces dimensions sont plus importantes chez les myopes et plus faibles chez les hypermétropes. D'un poids d'environ 7grammes, et un volume de 6.5 cm<sup>3</sup>. Sa consistance est très ferme du fait du tonus oculaire maintenu par les liquides intérieurs (5)(6)

#### A. Le globe oculaire :

De façon très simple et schématique l'œil est formé d'un contenant et d'un contenu :

§ Le contenant est représenté par les trois enveloppes de l'œil, qui sont de dehors en dedans : la sclérotique, l'uvée et la rétine

§ Le contenu de l'œil est représenté par les milieux transparents, qui sont d'avant en arrière : l'humeur aqueuse, Le cristallin, Le corps vitré.

L'ensemble de ces structures est habituellement individualisé, tant sur le plan anatomique que clinique, en deux segments (figure 3) :

-Antérieur : comportant d'avant en arrière : la cornée, l'humeur aqueuse, l'iris, l'angle irido-cornéen, le corps ciliaire et le cristallin. Il est divisé lui-même en 2 zones:

- La chambre antérieure : entre la cornée et l'iris. Elle est remplie par l'humeur aqueuse.

- La chambre postérieure : entre l'iris et le cristallin.
  - Postérieur : comportant de dehors en dedans la sclérotique, la choroïde, la rétine et le corps vitré.

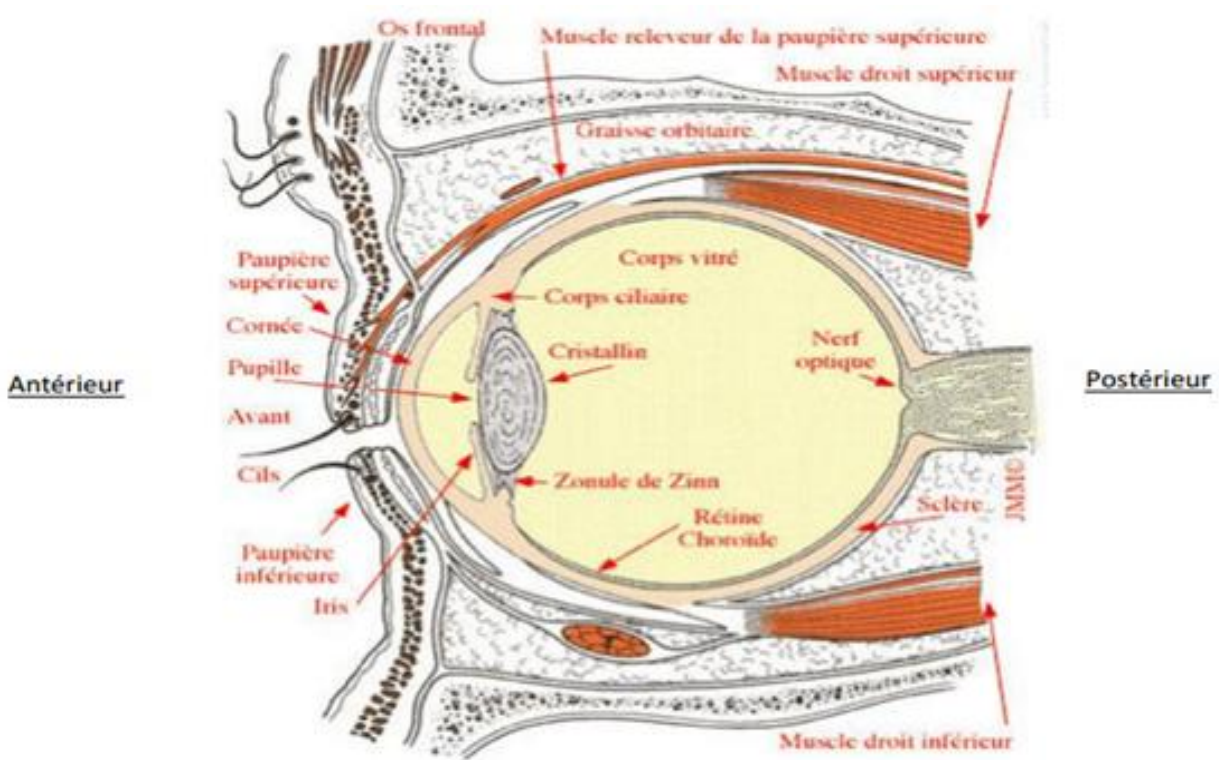


Figure 3 : Coupe sagittale schématique de l'œil et de ses annexes (7)



## 1. LE SEGMENT ANTERIEUR :

Comportant d'avant en arrière la cornée, l'humeur aqueuse, l'iris, l'angle irido-cornéen, le corps ciliaire et le cristallin. (Figure 4) (8)

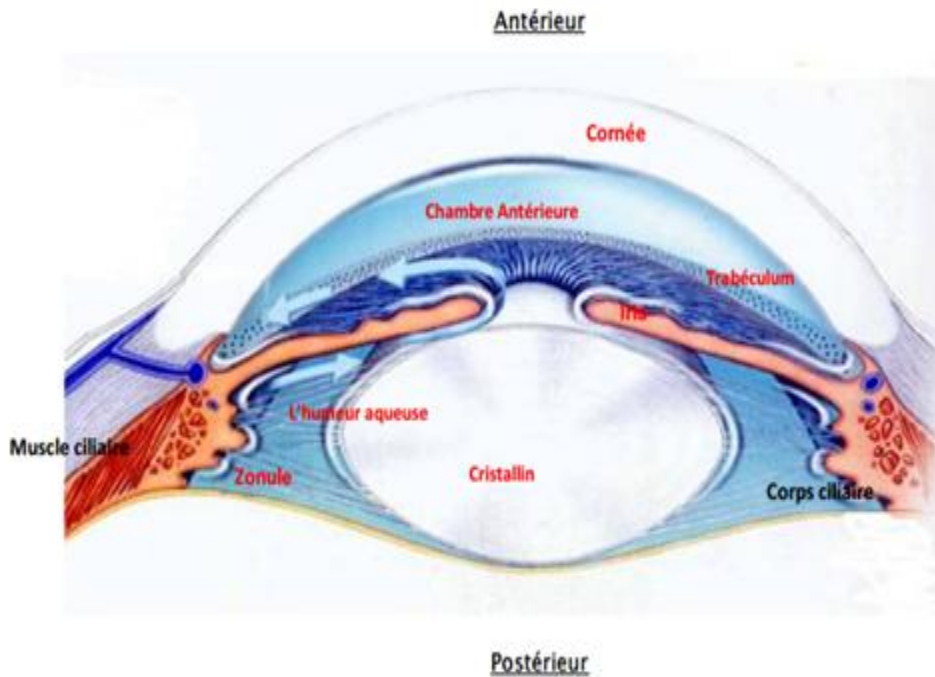


Figure 4 : Coupe sagittale du segment antérieur de l'œil (8)

### a. La cornée :

Membrane transparente avasculaire, en forme de hublot, enchâssée dans l'ouverture antérieure de la sclérotique et faisant saillie en avant. Sa zone d'union avec la sclérotique réalise le limbe autour duquel est creusé le canal annulaire de Schlem, une structure circulaire intra sclérale qui recueille l'humeur aqueuse.

On décrit à la cornée 5 couches de dehors en dedans : L'épithélium cornéen, La membrane de Bowman, le stroma cornéen, la membrane de descemet et l'endothélium cornéen.

**b. L'iris :**

C'est un diaphragme vertical, en forme de disque percé au centre d'un orifice central nommé la pupille. Il contrôle le degré d'illumination de la rétine, en se réglant automatiquement selon la luminosité.

Il est constitué de nombreuses fibres musculaires réparties en deux muscles innervés par le système végétatif :

- Le sphincter de l'iris : entoure l'orifice pupillaire,
- Le dilatateur de l'iris : plat, situé devant le feuillet postérieur pigmenté.

L'ensemble de ces fibres repose sur un épithélium postérieur fortement pigmenté.

**c. L'angle irido-cornéen :**

C'est l'angle formé dans la chambre antérieure, par la face postérieure de la cornée à sa périphérie et la face antérieure de l'iris.

Il est constitué de plusieurs couches visibles à la gonioscopie : anneau de schwalbe, trabéculum scléral, éperon scléral, bande ciliaire.

Au niveau du trabéculum, qui a un rôle de filtre microscopique, se draine l'humeur aqueuse.

La pression intra oculaire normale est de 10 à 20 mm Hg. Elle est maintenue stable grâce à un mouvement équilibré de sécrétion et d'excrétion de l'humeur aqueuse. (Figure 5)

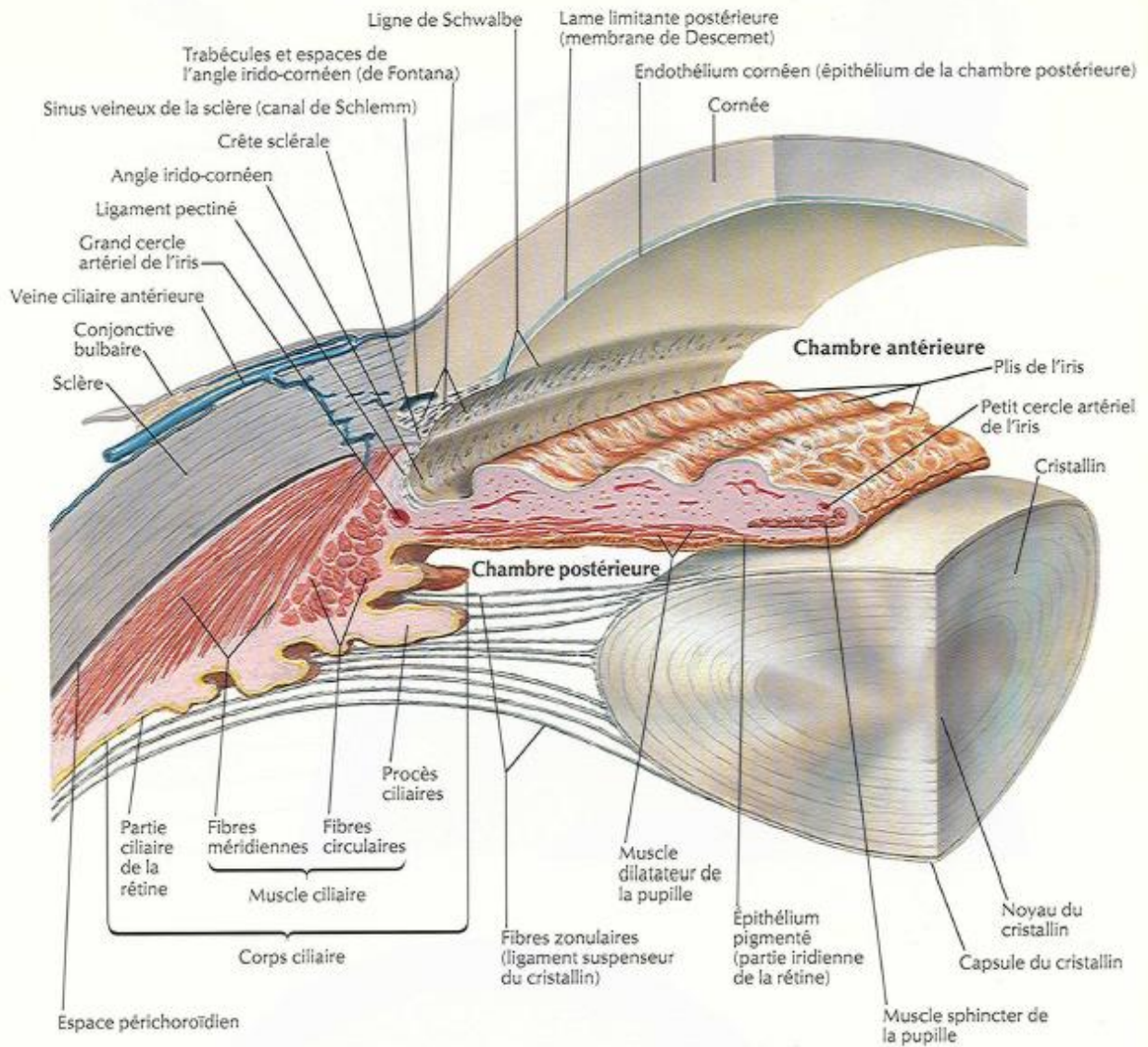


Figure 5 : Vue schématique de l'angle irido-cornéen(9)

d. Le cristallin :

Lentille transparente biconvexe, maintenue en place par un ligament suspenseur nommé la zonule de zinn : un ensemble de fibres transparentes qui s'insèrent sur tout le pourtour de l'équateur cristallinien et le relie au corps ciliaire dans un plan frontal entre l'iris en avant et le corps vitré en arrière.

Le cristallin est constitué de fibres transparentes, disposées en lamelles concentriques en bulbe d'oignon autour d'un noyau central. Il est entouré d'une capsule fine et transparente (13um en avant et 4mm en arrière) étanche à l'humeur aqueuse, qui assure son métabolisme.

e. Le corps ciliaire :

Anneau saillant et triangulaire, situé dans un plan frontal entre la choroïde en arrière et l'iris en avant. Il mesure environ 2mm de largeur et 8mm de hauteur. Il est saillant à l'intérieur de la cavité oculaire.

f. L'humeur aqueuse :

Liquide incolore, limpide, transparent constamment renouvelé au niveau du segment antérieur de l'œil. Il provient de la filtration des vaisseaux de l'iris et des procès ciliaires et passe de la chambre postérieure vers la chambre antérieure à travers la pupille. Son rôle est surtout nourricier, réparateur, et régulateur de la pression intraoculaire.

## 2. LE SEGMENT POSTERIEUR :

Il comporte de dehors en dedans la sclérotique, la choroïde, la rétine et le corps vitré. (Figure 21,22)

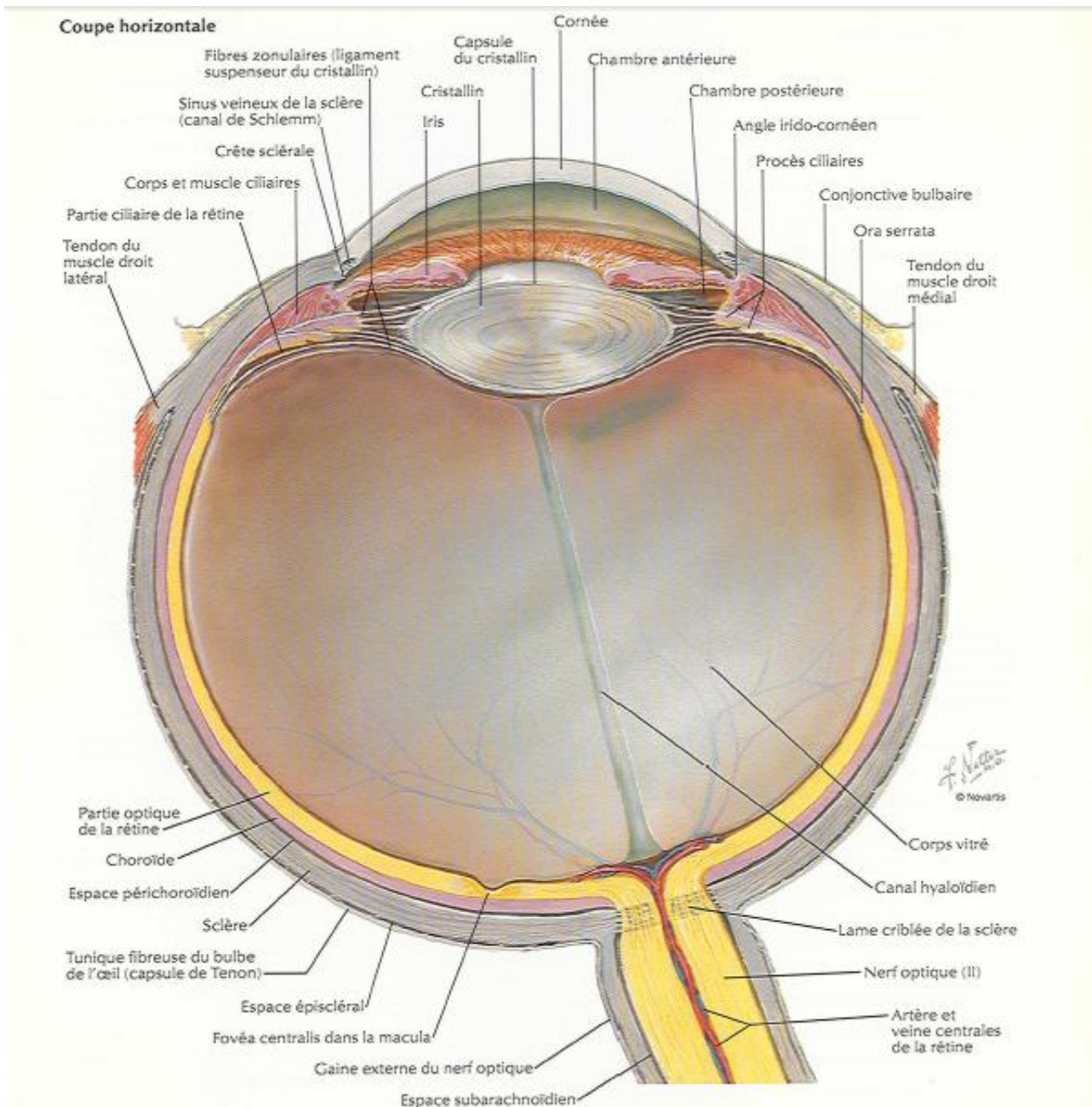


Figure 6 : Coupe sagittale schématisée de l'ensemble du globe oculaire (9)

a. La sclérotique :

Elle est faite de tissu conjonctif et forme le blanc de l'œil. C'est la tunique périphérique de l'œil.

Elle est opaque, épaisse, inextensible, et résistante, représentant ainsi une véritable membrane de protection oculaire.

Peu innervée et peu vascularisée. Sa face externe porte les insertions des muscles oculomoteurs.

En avant La sclérotique est largement perforée pour loger la cornée.

b. La choroïde :

Tunique intermédiaire entre la sclère et la rétine, faite d'un tissu conjonctif, pigmenté, et qui porte en son sein un riche système vasculaire et nerveux.

Peu élastique et fragile, elle est limitée en avant par le corps ciliaire et en arrière par la papille optique.

c. La rétine :

C'est la tunique la plus profonde et la plus importante de l'œil car elle reçoit les signaux lumineux et les transmet au cerveau via le nerf optique.

Transparente et incolore, elle revêt régulièrement la face profonde de la choroïde, et prend sa couleur sans lui adhérer.

Elle peut être divisée en deux portions :

- Une postérieure (rétine optique) : la seule utilisée dans la vision.
- une antérieure (rétine cilio-irienne) : dépourvue de cellules visuelles, tapissant la face profonde du corps ciliaire, et la face postérieure de l'iris.

d. Le corps vitré :

Constitué de 99% d'eau associée à l'acide hyaluronique et du collagène. Il remplit les 2/3 du volume du globe oculaire et maintient sa forme.



Il est entouré par la membrane hyaloïdienne, une condensation du vitré à la périphérie.

La hyaloïde antérieure est étendue à la face postérieure du cristallin et de la zonule, alors que la hyaloïde postérieure entre en contact avec la limitante interne de la rétine.

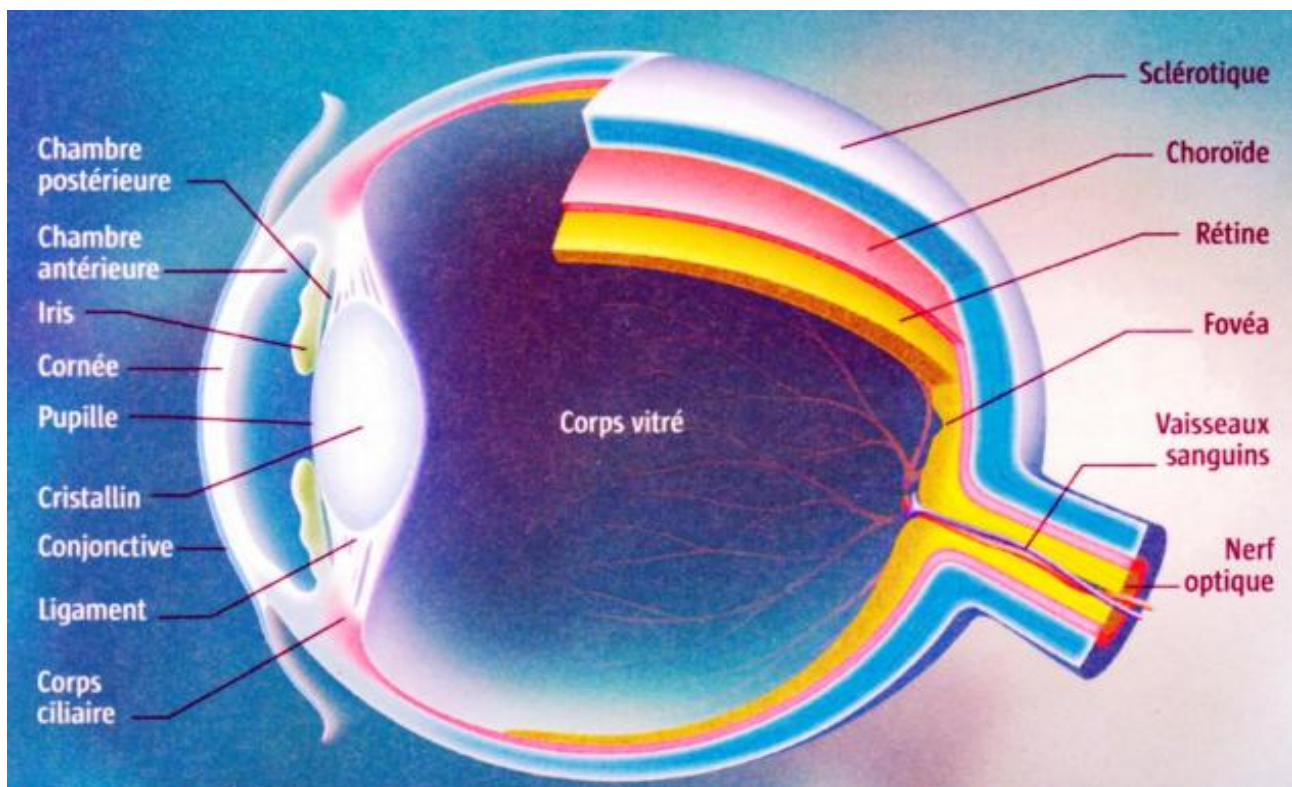


Figure 7 : Les différentes membranes de l'œil

#### IV. DEVELOPPEMENT DU SYSTEME VISUEL :

La vision comporte de nombreux paramètres : l'acuité visuelle, la sensibilité au contraste, la sensibilité aux diverses longueurs d'onde du spectre visible (vision des couleurs), la sensibilité à la sommation binoculaire, la sensibilité au mouvement, l'étendue du champ visuel...

Ces paramètres ne se développent pas à la même vitesse. Leur durée de maturation n'est donc pas identique et celle-ci définit pour chacun d'eux une « période sensible ».

Ce développement ne se fera que si la vision est en mesure d'être utilisée, c'est-à-dire s'il n'y a pas d'obstacle à la parvenue des influx visuels synchrones et semblables aux deux rétines.(10)

L'œil de l'enfant naissant est « une œuvre inachevée » qui se modifiera tout au long de sa vie.

Son développement, dans les premières années de vie, n'aura pour but que de procurer la meilleure image optique qui soit, en fonction de trois éléments : la longueur axiale de l'œil, le pouvoir réfractif de la cornée et celui du cristallin. Chacune de ces composantes interagira avec les autres, modulant son propre développement, afin d'affiner et d'optimiser l'image transmise à la rétine.

L'état de la réfraction est donc la résultante de l'action de ces trois composantes qui agissent et traitent les rayons de lumière entrant dans l'œil. Si leur action est équilibrée, les images seront perçues clairement, sans aucune autre aide. C'est ce qui est visé par le système puisque la vision est responsable de 90% de l'apprentissage de l'individu au cours de sa vie.

La vision dite « normale » est l'emmétropie, et le processus qui s'enclenche durant la première année de la vie afin de l'atteindre est connu sous le nom d'emmétropisation, il s'agit d'une évolution naturelle qu'à le nourrisson de migrer



d'un état de vision floue, pour chacun des yeux, à une vision claire, comparable à celle d'un œil adulte avant la fin de sa première année de vie. Les deux années suivantes dans le développement du bébé apporteront la touche finale et les trois composantes continueront à s'adapter entre elles, à un degré moindre cependant que durant les 12 premiers mois de l'existence.

Un déséquilibre entre les trois structures entrainera un trouble de la réfraction ou défaut optique. L'image traitée par l'œil n'arrivera donc pas à se focaliser clairement sur la rétine et l'individu sera affecté d'une acuité visuelle réduite.

De nombreux auteurs ont essayé d'établir les paramètres correspondant au développement visuel « normal » de l'enfant. La première année de vie est d'autant plus difficile à étudier que l'examen d'un nourrisson n'est pas standardisé du fait de sa complexité et de sa faible reproductibilité. Ajoutons à cela, l'expérience des examinateurs, les habitudes des différents services notamment en ce qui concerne la cycloplégie (autant de protocoles que d'études), la collaboration avec les services de néonatalogie où les équipes souvent très occupées ne peuvent pas respecter à la minute près des protocoles de cycloplégie .... Et l'on comprendra l'extrême difficulté de ces études surtout au cours des premiers mois et donc, la variabilité des résultats d'un auteur à l'autre.

## A. Réflexes visuels :

L'examen clinique d'un nouveau-né par le pédiatre ou l'ophtalmologiste recherche un certain nombre de réflexes témoignant du bon développement du système sensoriel visuel dans son ensemble c'est-à-dire de l'œil et des voies visuelles jusqu'au cortex occipital.

Ces réflexes visuels sont les suivants :

- A la naissance :

§ Ouverture spontanée des paupières en ambiance lumineuse douce ;

§ Recherche du stimulus visuel plus important en latéral ;

§ Clignement et occlusion à la lumière forte avec mouvement d'évitement (déviation de la tête) ;

§ Réflexe photomoteur à l'éclairement de la pupille.

- A 1 mois :

§ Réflexe de fixation spontanée (à 80 cm environ) ;

§ Mouvements de latéralité.

- A 3 mois :

§ Clignement à la menace ;

§ Début d'un réflexe d'accommodation-convergence ;

§ Mouvement de poursuite oculaire ;

§ Réflexes conjugués de la tête et des yeux.

- Entre 4 et 5 mois :

§ Test de préhension des objets ;

- Entre 3 et 9 mois :

§ Réflexe optocinétique de type II (stimulation dans le sens nasotemporal)

## B. Acuité visuelle[(11)\_(12)(13);(14);(15);(16);(17)\_(18)\_(19)\_(20)\_(21);(22)]

L'évolution de l'acuité visuelle normale est difficile à évaluer chez l'enfant. Sa mesure est estimée le plus souvent par des tests cliniques (Bébé vision à l'aide de cartons de Teller avant l'âge de 18 mois), ou par lecture d'optotypes (échelle de Pigassou à partir de 3 à 4 ans [Figure 8]).

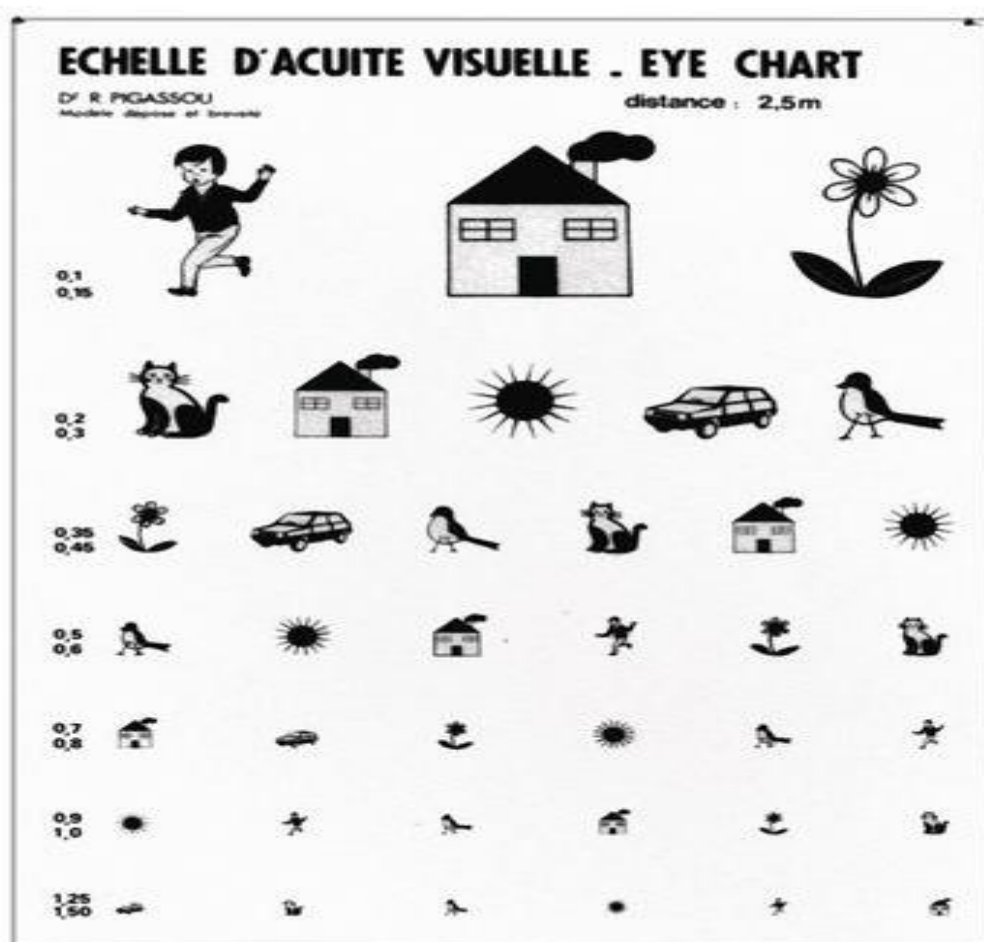


Figure 8 : Echelle de Pigassou

L'acuité visuelle est estimée, par bébé vision puis par lecture d'optotypes, à 1/20ème à 1 mois, 1/10ème à 3 mois, 2/10ème à 6 mois, 4/10ème vers 1 an, 5,5/10ème à 2 ans, 7/10ème à 3 ans, 9/10 à 5ans et 10/10ème vers 6ans. Il faut attendre 10 ans pour que les 12/10ème soient obtenus.

Le développement de l'acuité visuelle sera accompagné de la maturation de l'accommodation et de la réfraction. Ainsi, l'acuité visuelle augmente progressivement de la naissance à l'âge de 5-6 ans et de façon parallèle avec la maturation anatomique.

### C. Le champ visuel(12) (13)(14)(15) (16) (17) (18) (21)

Il s'agit de l'étendue de l'espace dans lequel un stimulus est détecté par la rétine périphérique alors que la fixation centrale est maintenue sur un point précis de l'espace. L'examen du champ visuel, qu'il soit statique ou dynamique, est bien entendu impossible chez le petit enfant, en pratique réalisable à partir de 6 ou 7 ans.

[Figure 9]

En pratique clinique, il s'agit plutôt d'étudier le "champ visuel attentionnel", qui donne de précieuses indications sur certains aspects fonctionnels de la vision. Le développement de la rétine périphérique est directement lié au développement du champ visuel.

Il est mesuré par confrontation, en observant les saccades oculaires déclenchées par des cibles (une boule ou des diodes par exemple) présentées à partir de la périphérie en nasal ou en temporal. L'observateur évalue l'angle à partir duquel la cible déclenche la capture visuelle. Le stimulus peut être statique ou dynamique.

La forme du champ visuel binoculaire, à la naissance, est approximativement la même que celle de l'adulte avec une taille réduite. Cependant, le champ visuel temporal est mature avant le champ visuel nasal.

En binoculaire et en monoculaire, on observe une lente maturation du champ visuel périphérique jusqu'à 7 semaines suivie d'une rapide progression jusqu'à 8 mois. Ainsi il a été estimé à 30° en nasal comme en temporal et 20° en verticalité à 1 mois pour n'atteindre une taille presque adulte qu'à la fin de la première année. Le champ dynamique est un peu plus étendu que le champ statique.

A partir d'un an, sur le méridien horizontal, l'enfant fixant droit devant lui doit percevoir un stimulus présent dans son champ de vision périphérique sur un angle de 90° de part et d'autre de l'axe central sur le méridien horizontal.

Sur le plan vertical, la norme est d'environ 40-50° vers le haut, et de 60°-70° vers le bas. Ces valeurs ne sont que des approximations étant donné les conditions d'examen chez les nourrissons. Ce type de champ visuel dit « attentionnel » est très utile pour repérer des atteintes importantes comme une hémianopsie ou une négligence visuelle périphérique. Par contre cette technique ne permet pas de retrouver un scotome en vision centrale.

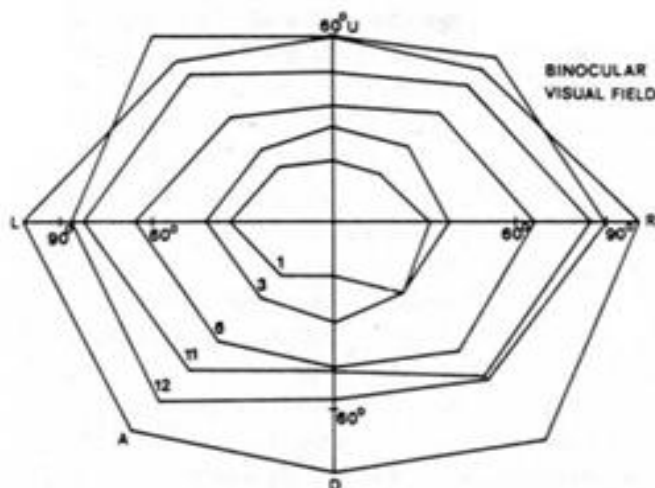


Figure 9 : Développement du champ binoculaire. Chaque isoptère représente la moyenne de 2 à 3 enfants par groupe d'âge. Les chiffres sont les mois, A correspond à un champ visuel binoculaire d'un adulte normal (27)

Selon l'âge, la participation et l'entraînement, on peut pratiquer un champ visuel périphérique cinétique dès l'âge de 5 ans au Goldmann manuel.

L'utilisation du champ visuel, c'est-à-dire passer son attention d'un objet à l'autre dans ce champ visuel, relève d'un problème attentionnel. Ce sont les notions

d'engagement et de désengagement attentionnels qui dépendent de la saillance du stimulus. Il faut attendre 7 mois pour que l'enfant devienne capable de désengagement volontaire.

Avoir un champ visuel complet ne signifie pas que l'enfant sait en utiliser les différentes parties. Il apprend ainsi à détecter volontairement les éléments de son environnement tout au long de son enfance. Il construit des zones d'attention adaptées aux situations auxquelles il est confronté, comme par exemple pour l'apprentissage de la lecture qui exige le contrôle simultané de la zone de fixation, du mot dans son entier et de sa situation dans la phrase.

#### D. La vision des contrastes [ (12) (13); (15) (16) (19)(22)]

La perception visuelle nécessite la mise en œuvre d'une discrimination des variances de luminance, c'est-à-dire des contrastes dont la distribution spatiale constitue l'image rétinienne. La sensibilité aux contrastes permet la reconnaissance des formes statiques et dynamiques.

Cette sensibilité subit, au cours du premier mois de vie, des changements importants au niveau qualitatif, mais également quantitatif. En effet, elle dépend de la maturation anatomique, et plus précisément de l'espacement des cônes fovéolaires, de la qualité des optiques oculaires, des facteurs rétiniens et corticaux.

La vision des contrastes est la fonction visuelle la plus lente à se développer. L'enfant âgé de 5 semaines ne perçoit pas les contrastes inférieurs à 20 %, on retrouve à 3 mois un décalage vers les basses fréquences, lié à l'acuité visuelle basse à cet âge. Cette sensibilité s'améliore rapidement au cours des premières années, mais n'atteindra les valeurs adultes, de l'ordre de 0,4 %, qu'au début de l'adolescence vers 11-13 ans.

La vision des contrastes est étudiée de façon indirecte par la méthode des potentiels évoqués visuels et confirmée de façon directe par la technique du regard préférentiel.

La faible sensibilité au contraste ne constitue pas une limite fonctionnelle significative chez l'enfant car il n'est pas amené à discriminer des objets très pales. En effet, la plupart des objets qui nous entourent, dont les visages, présentent des contrastes beaucoup plus élevés que 20 %.

### E. La vision des couleurs [(12)(13):(15)(16):(21):(23):(24)]

La sensibilité chromatique est une fonction psychosensorielle, permettant de percevoir de façon qualitative le spectre lumineux. L'œil est capable de percevoir les trois couleurs fondamentales, rouge, bleu, vert grâce à trois types de cônes. Ainsi, le développement de la sensibilité aux couleurs dépend de la maturation des trois types de cônes L, M et S sensible à différentes longueurs d'onde.

L'article externe des cônes possède un photopigment, il existe 3 types de photopigments dont les compositions diffèrent selon l'ordonnement et l'ordre des acides aminés qui les composent.

Au niveau de la fovéa chez l'humain, 60% des cônes ont un photopigment L, 30% un photopigment M et 10% un photopigment S. Les photopigments captent des photons de la lumière selon leur longueur d'onde, le S pour les courtes longueurs d'onde vers 420nm (dans le bleu), le M dans les moyennes longueurs d'onde vers 530nm (dans le vert) et le L dans la grande longueur d'onde vers 560nm (dans le rouge).

La recombinaison des stimulations cellulaires déclenchées au travers des voies optiques jusqu'aux aires corticales aboutit à 2 axes fonctionnels, l'un rouge/vert et l'autre jaune/bleu. A la naissance, il y a une immaturité des cônes et des voies

optiques, ce qui implique que la sensibilité chromatique est aussi immature chez le nouveau-né.

La sensibilité chromatique peut être étudiée grâce aux PEV (potentiels évoqués visuels) ou par des méthodes comportementales telles que la technique du regard préférentiel.

La réponse électrique des PEV est toujours plus précoce, puisqu'elle ne traduit que les premiers maillons de la chaîne de traitement de l'information visuelle, sans l'étape de programmation motrice de la réponse (contrairement à la technique du regard préférentiel).

Ainsi, grâce aux PEV, il est démontré que l'enfant commence à discriminer les couleurs au cours du 2ème mois avec la mise en place du système vert-rouge, avec identification du rouge, et il devient rapidement sensible à toutes les longueurs d'onde chromatiques dans les mois qui suivent.

Le vert sera identifié à 3 mois et le bleu à 4 mois. On utilise aussi la technique du regard préférentiel modifiée pour tester la sensibilité chromatique. Cette technique confirme que, vers l'âge de 4 mois, l'enfant discrimine toutes les teintes mais il n'atteindra la finesse de la sensibilité adulte que vers l'adolescence.

Cependant, il existe une dépendance entre la taille du stimulus nécessaire - plus grand chez les plus jeunes - et la qualité de la discrimination. Ainsi le stimulus doit être assez large et assez brillant jusqu'à l'âge de 6 mois. Ainsi, il peut être intéressant de favoriser les couleurs vives chez le nouveau-né.

Le nourrisson de 2 mois est trichromate mais il serait moins sensible que l'adulte à des différences de saturation. Pour le nouveau-né comme pour l'adulte, les couleurs catégorisées d'une façon équivalente sont les couleurs focales ou primaires (appelé aussi tonalité unique ou strictement monochromatique) : bleue, verte, jaune et rouge.



L'enfant, comme l'adulte, préfère les couleurs focales en particulier les couleurs des extrémités du spectre (le bleu et le rouge). Il apparaît probable que ces couleurs ont des propriétés psychologiques particulières. Par contre les couleurs mélangées les attirent moins. Cette caractéristique psycho fonctionnelle a été utilisée pour justifier des réponses d'attraction visuelle entre les objets noir/blancs ou colorés. La mémoire colorée du nouveau-né est plutôt faible. Un enfant de 4 mois peut discriminer les tonalités fondamentales.

Il faudra attendre quelques années pour que l'enfant puisse les classer et y mêler de nouvelles tonalités. Le concept coloré chez l'enfant plus âgé, environ 5 ans, est important, il contribue à sa formation et à son évolution plus que d'autres fonctions visuelles.

Le dépistage clinique de déficits colorés chez l'enfant peut être pratiqué de façon fiable dès l'âge de 4 à 5 ans, à l'âge verbal, avec le test d'Ishihara, 15 Hue ...

## F. Sensibilité aux mouvements [(12)(15)(14)(16);(25)]

L'acquisition de la perception du mouvement est plus rapide que les autres fonctions visuelles. Les études chez l'enfant montrent que vers 14-15 semaines, la sensibilité se rapproche de celle de l'adulte.

Il existe une acuité visuelle dynamique, c'est-à-dire la possibilité de percevoir une forme dans un objet en mouvement à partir de la corrélation de différentes parties de l'objet. Elle est attribuée à la voie magnocellulaire et aux aires visuelles du système cortical pariétal.

G. La vision binoculaire et stéréoscopie [ (12) (13); (14) (15) (16); (19) (21); (26)]

La vision binoculaire constitue un raffinement fondamental de la fonction visuelle permettant au système nerveux central d'utiliser et d'intégrer les images provenant de chaque œil ainsi que de localiser des objets dans l'espace.

Classiquement, Worth a décrit trois degrés de binocularité :

- 1<sup>er</sup> degré : la vision simultanée.
- 2<sup>ème</sup> degré : la fusion.
- 3<sup>ème</sup> degré : la vision stéréoscopique.

L'âge moyen d'apparition de la fonction binoculaire se situerait entre la 11<sup>e</sup> et la 18<sup>e</sup> semaine. Elle implique que chaque œil ait une vision « satisfaisante », donc, une structure oculaire normale ainsi que des voies visuelles et des structures visuelles corticales normales.

L'hémidécussation des voies optiques au niveau du chiasma est un facteur anatomique indispensable au développement d'une vision binoculaire. Le facteur moteur permettant un bon alignement des yeux dans toutes les positions du regard est aussi déterminant dans la mise en place et le bon fonctionnement de la binocularité.

Une bonne vision binoculaire peut se développer à partir de l'âge de quatre mois quand les colonnes de dominance et la maturation des cellules corticales sensibles à la disparité rétinienne apparaissent.

La période critique de mise en place de la binocularité est de 6 mois en cas de strabisme. Une fois cette période critique passée, l'enfant ne pourra pas développer une vision binoculaire normale.

La vision stéréoscopique correspond à la perception de l'espace en 3 dimensions, du relief. Elle est basée sur la disparité de fixation. Un objet observé par

les deux yeux n'est pas vu de la même façon par l'un ou l'autre du fait de l'angle qu'induit l'œil avec l'objet.

L'intégration et l'analyse de ces deux images différentes par le cerveau créent une sensation de relief.

Des mesures réalisées avec des random-dot stereoacuity cards, c'est-à-dire des cartes avec un stéréogramme à points aléatoires (utilisant la technique du regard préférentiel) montrent que le nombre d'enfants capables de percevoir l'image en relief augmente significativement autour du 4<sup>e</sup> mois pour atteindre 100 % vers le 7<sup>e</sup> mois. Avec à 4 mois une valeur de 80 min d'arc, la vision stéréoscopique s'améliore rapidement au cours des 2 premières années de vie. Entre 24 et 30 mois, la stéréo atteint 1 min d'arc.

Elle n'atteint cependant des valeurs stables et de profil « adulte » qu'après 6 ans : la stéréoscopie atteint à 5 ans 140 secondes, à 6 ans 80 secondes, à 9 ans 40 secondes d'arc.

Cette vision stéréoscopique peut aussi être évaluée grâce au PEV. La réponse électro-physiologique est obtenue en présentant à chaque œil un stéréogramme à points aléatoires, qui alterne entre une présentation corrélée et une présentation non corrélée. La modification périodique de la réponse, qui survient quand les deux stimulations se trouvent corrélées, indique l'existence d'une intégration binoculaire. Grâce à cette méthode, on estime que la vision stéréoscopique apparaîtrait autour de la 10<sup>ème</sup> semaine.

La fusion est conditionnée par une motricité harmonieuse des deux yeux et une correspondance parfaite entre les fovéas droite et gauche. Son développement nécessite des informations corrélées à partir de chaque œil. Ainsi, la fusion sera également un bon révélateur de la présence de la vision binoculaire.

## V. La réfraction :

### A. Définition :

La réfraction de l'œil désigne le pouvoir réfractif global de tous milieux oculaires traversés par la lumière. Il correspond à la somme des pouvoirs réfractifs de tous les dioptries, séparés par des milieux d'indices de réfraction différents, se succédant dans l'œil.

En milieu clinique, on utilise le terme de « réfraction » pour désigner l'examen de la mesure et de l'évaluation du rapport entre le pouvoir réfringent de l'œil (puissance de la cornée + cristallin) et sa longueur axiale.

La longueur axiale de l'œil correspond à la distance qui sépare le sommet de la face antérieure de la cornée et la fovéola du pôle postérieur.

La mesure du trouble réfractif permet d'obtenir la compensation nécessaire afin de procurer au patient la meilleure acuité visuelle possible sans avoir à fournir un effort accommodatif pour la vision de loin.

Cela nous permet également de distinguer les différents cas possibles :

– L'œil emmétrope [Figure 10] dont la longueur axiale et la puissance réfractive oculaire sont en adéquation, ce qui implique la focalisation d'une source lumineuse située au-delà de 5 mètres de manière ponctuelle sur la rétine, n'entraînant aucun défaut réfractif.

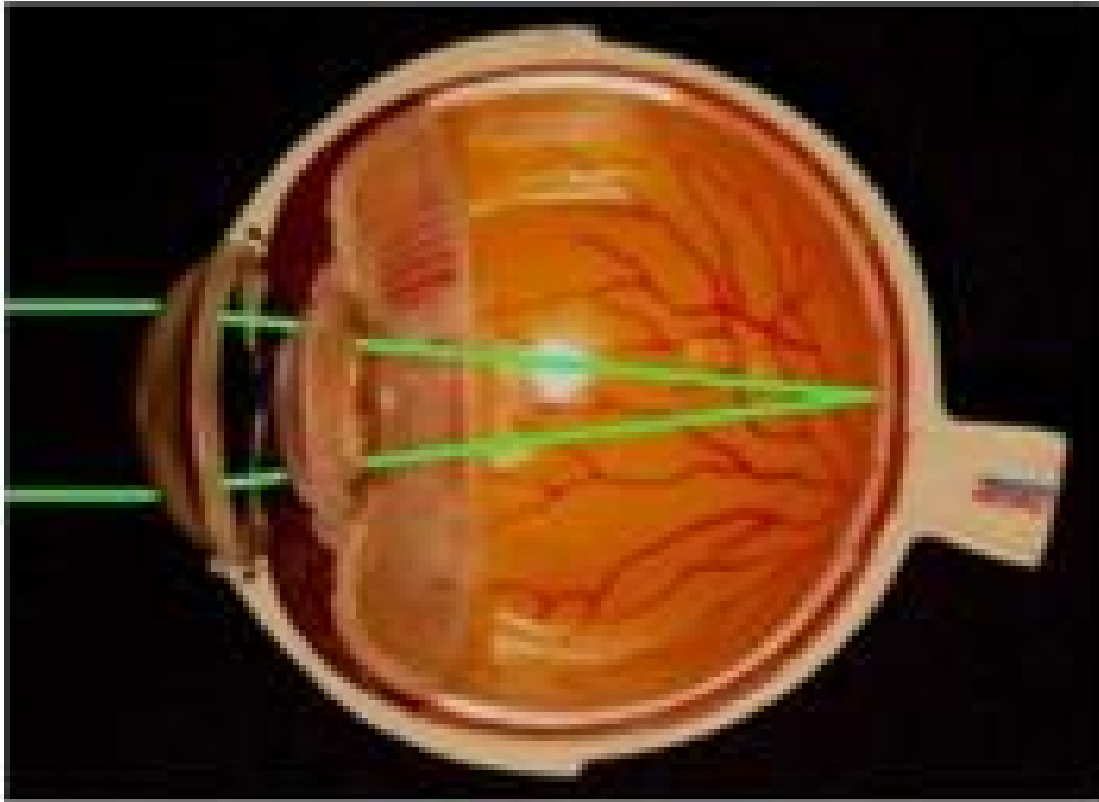


Figure 10 : Représentation schématique d'un œil emmétrope (28)

- L'œil amétrope (a-metron = qui n'a pas la bonne mesure) dont la longueur axiale et la puissance réfractive oculaire ne sont pas en corrélation, entraînant un trouble de la réfraction dû à la défocalisation sur la rétine d'une source lumineuse situé au-delà de 5 mètres.

Ces troubles qui sont : la myopie, l'hypermétropie et l'astigmatisme, créent des aberrations sphérique et/ou torique donnant une image floue au sujet.

L'étude de la réfraction est extrêmement importante chez les enfants, afin de corriger et/ou de prévenir d'éventuels troubles amblyogènes. Les amétropies sont d'ailleurs la principale cause de consultation en ophtalmologie.

## B. Evolution de la réfraction : [(15)(16)(21); (29),(30) ,(31)]

La réfraction chez l'enfant évolue en fonction de plusieurs modifications anatomiques :

- Diminution du pouvoir réfringent de la cornée (passe de 47d chez le nouveau-né en moyenne à environ 42d chez l'adulte) : La cornée devient moins sphérique ce qui diminue sa puissance ;

- Diminution du pouvoir réfringent du cristallin (passe de 38 à 42 D chez le nouveau-né à une valeur de 18,5 à 22 D chez l'adulte) : Le cristallin étant très bombé à la naissance, cette différence est dû à l'aplanissement du cristallin par augmentation du rayon de courbure ;

- Augmentation de la longueur axiale du globe de 16,5 à 18 mm chez le nouveau-né, de 18,5 mm chez le nourrisson de 6 mois, de 22,5 à 23 mm chez l'enfant de 3 ans. Ces dernières mesures sont proches de celle de l'adulte qui atteint 24 mm vers l'âge de 13 ans.

La réfraction physiologique correspond à l'état anatomique fonctionnel qui permet une acuité normale en l'absence de tout trouble fonctionnel.

Les différentes modifications anatomiques évoluent harmonieusement vers une réfraction parfaite : l'emmétropie. Elles vont évoluer de façon très rapide jusqu'à l'âge de 3 ans et bien plus progressivement à partir de cet âge.

Lors de ces modifications réfractives, il se produit parfois quelques erreurs à l'origine de l'hypermétropie, de la myopie ou de l'astigmatisme témoignant d'un défaut du processus d'emmétropisation.

A la naissance, le globe oculaire d'un enfant né à terme n'est pas emmétrope. Même si les résultats des différentes études sont très différents et présentent de nombreux biais, la tendance est de considérer que la réfraction physiologique d'un œil à la naissance tend vers l'hypermétropie modérée. [Figure 11].

Auteurs	Cycloplégie	Nombre enfants	% H	% E	% M	Moyenne	Ecart Type
Wibaut 1925	Atropine 1%	2398	99	0	1	+2,66	
Santonastaso 1930	Atropine 1%	30				+0,70	2,9
Franceschetti 1935	Atropine 1%	100				+2,00	
Cook 1951	Atropine 1%	500	73		23	+1,80	3,1
Mehra 1965	Atropine 1%	100	80	1	9		
Goldschmidt 1969	Atropine 0,5%	356	55,9	19,9	24,2	+0,60	2,2
Patel 1970	Atropine 1%	250				+2,30	1,2
Hosaka 1971	Atropine 1%	280				+2,20	1,8
Zonis 1974	Tropicamide	300	73,8	11,7	14,5	+1,10	1,6
Hopkisson 1992	Cyclopentolate	100	99		1		

(H : Hypermétropie, E : Emmétropie, M : Myopie)

Figure 11 : Etudes portant sur la réfraction d'un enfant né à terme d'après Banks

[(32)(33)(34)(35)(36)(37)(38)(39)(40)(41)(42)]

Vers 4 mois, l'enfant a une hypermétropie physiologique de 2 à 3 dioptries et l'on considère comme encore normale une valeur de 3.5 d, sous réserve qu'elle soit identique sur les 2yeux. Pour des raisons anatomiques, ceci semble a priori logique puisqu'à cette date l'œil est encore petit.

Cette hypermétropie décroît rapidement au cours de la première année (1 à 2dioptries à 1 an), pour se situer entre + 0,5 D et l'emmétropie vers 14-15 ans. [Figure 12]

On dénombre 4 à 6 % de myopes et environ 3 % de forts hypermétropes. Le nombre d'astigmates dans les premiers mois de la vie est très élevé atteignant 13,5%. A la fin de la croissance, on retrouve une majorité d'emmétropes mais un nombre de myopes supérieur à celui des hypermétropes. [Figure 13]

Âge	0 m	3 m	6 m	9 m	12 m	18 m	24 m	36 m	48 m	60 m
Réfraction	+3,75	+2,99	+1,93	+1,47	+1,3	+1,3	+1,3	+1,25	+1,18	+1,18

Évolution de la réfraction moyenne (selon Guy Clergeau et Mireille Morvan, *La vision de l'enfant*, FNRO Editions, Nantes, 2010)

Figure 12 : Evolution de la réfraction moyenne (21)

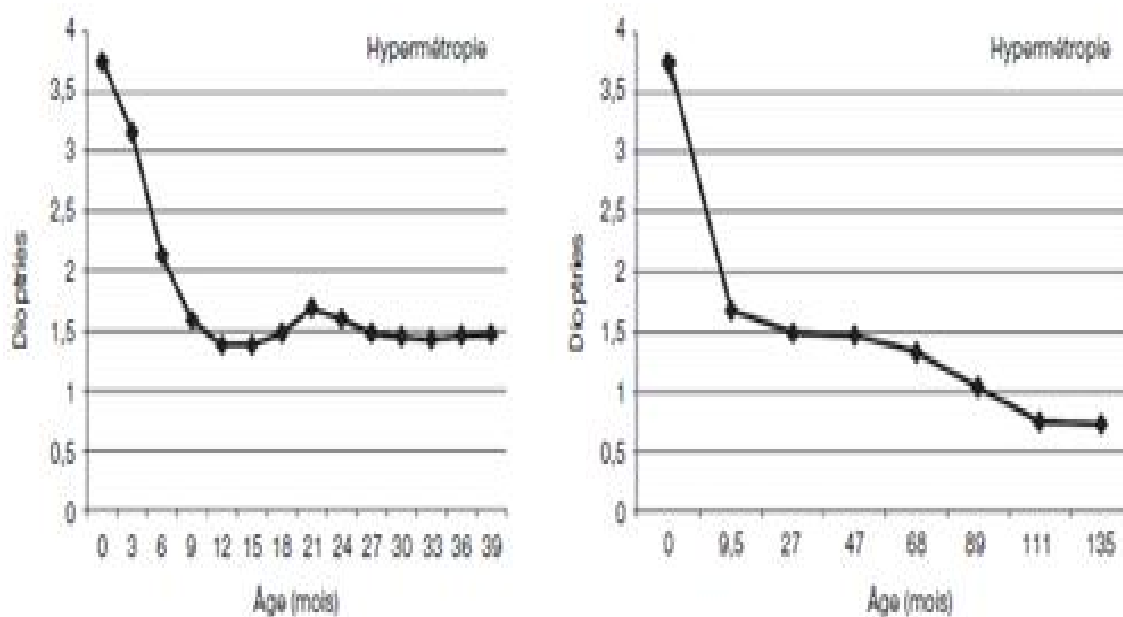


Figure 13 : Evolution de l'hypermétropie dans une population non strabique

- a. De la naissance à 3 ans (39 mois).
- b. b. De la naissance a 11 ans (135 mois)(43)



## C. Les amétropies :

On parle d'amétropie lorsque l'image ne se forme pas sur la rétine, la vision est alors floue. La valeur d'une amétropie est définie comme celle du verre correcteur permettant de restituer l'état d'emmétropie.

Les différentes amétropies sont :

### 1. L'hypermétropie

C'est une anomalie dans laquelle l'œil n'est pas assez réfringent. Les rayons lumineux provenant de l'infini convergent en un point situé en arrière du plan de la rétine (Figure 14).

Chez l'enfant et l'adulte jeune, ce défaut est compensé de façon permanente par une accommodation même en vision de l'infini. Le punctum remotum est donc virtuel, situé derrière l'œil, et le punctum proximum plus éloigné de l'œil que la normale.

Dans la plupart des cas, l'hypermétropie est la conséquence d'un œil trop court: Axe antéro-postérieur inférieur à 23 mm (44)(45)

Il existe deux types d'hypermétropie (46)

- L'hypermétropie axiale : de loin les plus fréquentes, l'œil a une longueur axiale inférieure à la normale ; de sorte que l'image se forme derrière la rétine.

- L'hypermétropie de puissance : qui peut être due soit à un aplatissement du rayon de courbure de la cornée ou d'une diminution de la puissance réfractive du cristallin.

L'hypermétropie est considérée faible si elle est inférieure à +1.75 d, moyenne entre +2 et +3.25 d et forte au-delà de +3.5 d. Au-dessus de +3 d d'hypermétropie, les incidences du strabisme et de l'amblyopie sont nettement plus importantes. (47)

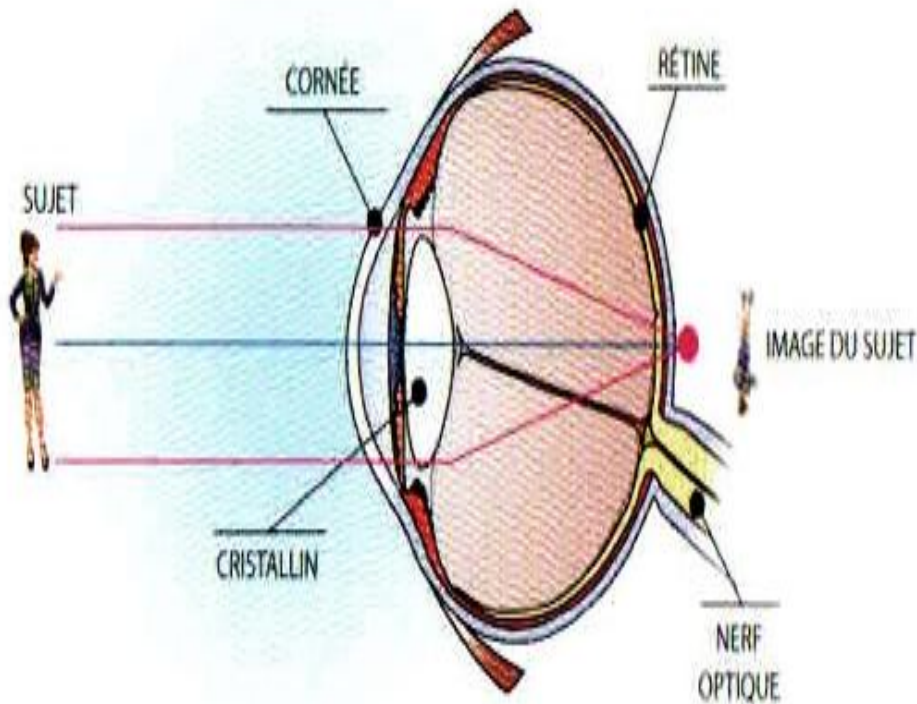


Figure 14 : Schéma expliquant l'hypermétropie

## 2. La Myopie

L'œil myope peut être considéré comme trop réfractif ou trop long : le foyer image d'un objet situé à l'infini se situe, sans accommodation, en avant de la rétine, d'autant plus en avant que la myopie est forte.

L'image projetée sur la rétine est une pseudo-image, floue, formée de cercles de diffusion, dont le diamètre est d'autant plus large, que le foyer image se situe en avant de la rétine. (Figure n°15)

Le punctum remotum se situe à une distance finie, ce qui se traduit par une mauvaise acuité visuelle de loin. Le punctum proximum est plus proche que celui de l'œil emmétrope, le myope est donc avantagé dans la vision de près, et utilise moins l'accommodation que l'émétrope.

Les myopies axiales sont les plus fréquentes ; elles sont réparties en deux formes cliniques.

Ø La myopie bénigne ou myopie simple (longueur axiale comprise entre 24 et 26mm) Elle est d'autant plus importante que le début a été précoce. Souvent dépistée au moment de la scolarité, elle augmente progressivement et se stabilise à la fin de la deuxième décennie. Par la suite, elle peut s'accroître par paliers lors de la grossesse ou d'épisodes pathologiques.

Ø La myopie maladie ou myopie forte, ou myopie maligne : Elle associe un degré élevé de myopie, supérieure à -6 dioptries, une forte longueur axiale supérieure à 26 mm, des altérations oculaires liées à la distension du globe, et une forte évolutivité. L'accroissement de la taille du globe, surtout aux dépens du diamètre antéropostérieur, crée un état organique anormal qui touche en particulier la chorio-rétine. (47)

Contrairement au cas de l'hypermétropie, le cristallin ne peut pas modifier sa forme pour diminuer sa puissance. Ceci implique que les myopies ne peuvent pas être compensées autrement qu'en se rapprochant de l'objet à examiner.

Autres types réfractifs de myopie : ce sont les myopies de courbure et les myopies d'indice.

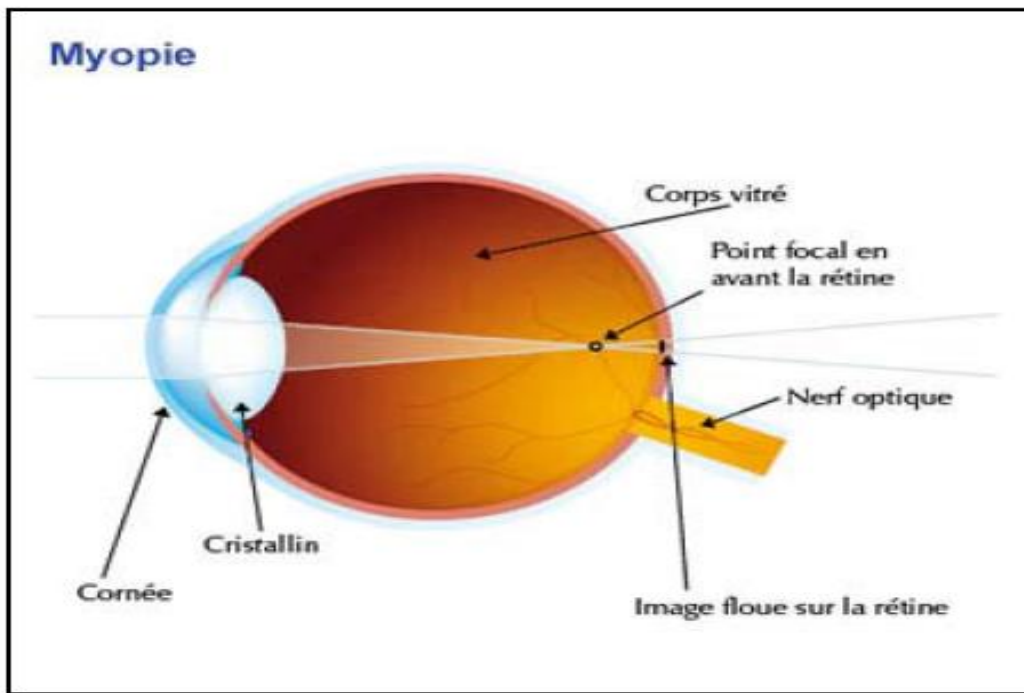


Figure n°15 : Schéma expliquant la myopie

### 3. L'astigmatisme : (48)

L'astigmatisme est un défaut de sphéricité de la cornée et/ou du cristallin. Un œil astigmatique ne donne pas d'un point une image ponctuelle comme dans le cas d'une amétropie sphérique, mais 2 images linéaires appelées focales. (Figure 16)

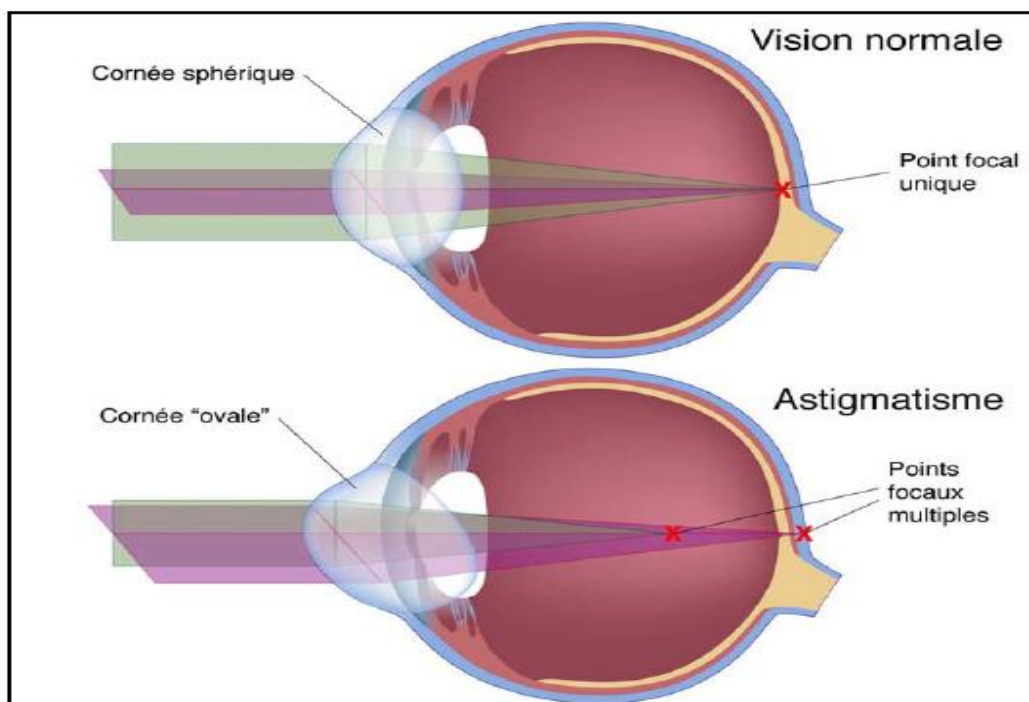


Figure 16 : Schéma illustrant l'astigmatisme

Il existe différents types d'astigmatisme selon la position et l'orientation des focales (Figure n°17) :

- astigmatisme régulier (les 2 méridiens principaux sont perpendiculaires), ou astigmatisme irrégulier.
- Direct ou conforme à la règle : méridien vertical : le plus courbe, le plus puissant, méridien horizontal : le moins courbe, le moins puissant, la cornée est aplatie verticalement, c'est le cas le plus fréquent ; inverse : plus rare, la cornée est aplatie horizontalement, oblique : les méridiens principaux sont obliques
- Myopique ou hypermétropique
- Simple : une focale sur la rétine ; composé : deux focales d'un même côté de la rétine ; mixte : une focale de part et d'autre de la rétine.

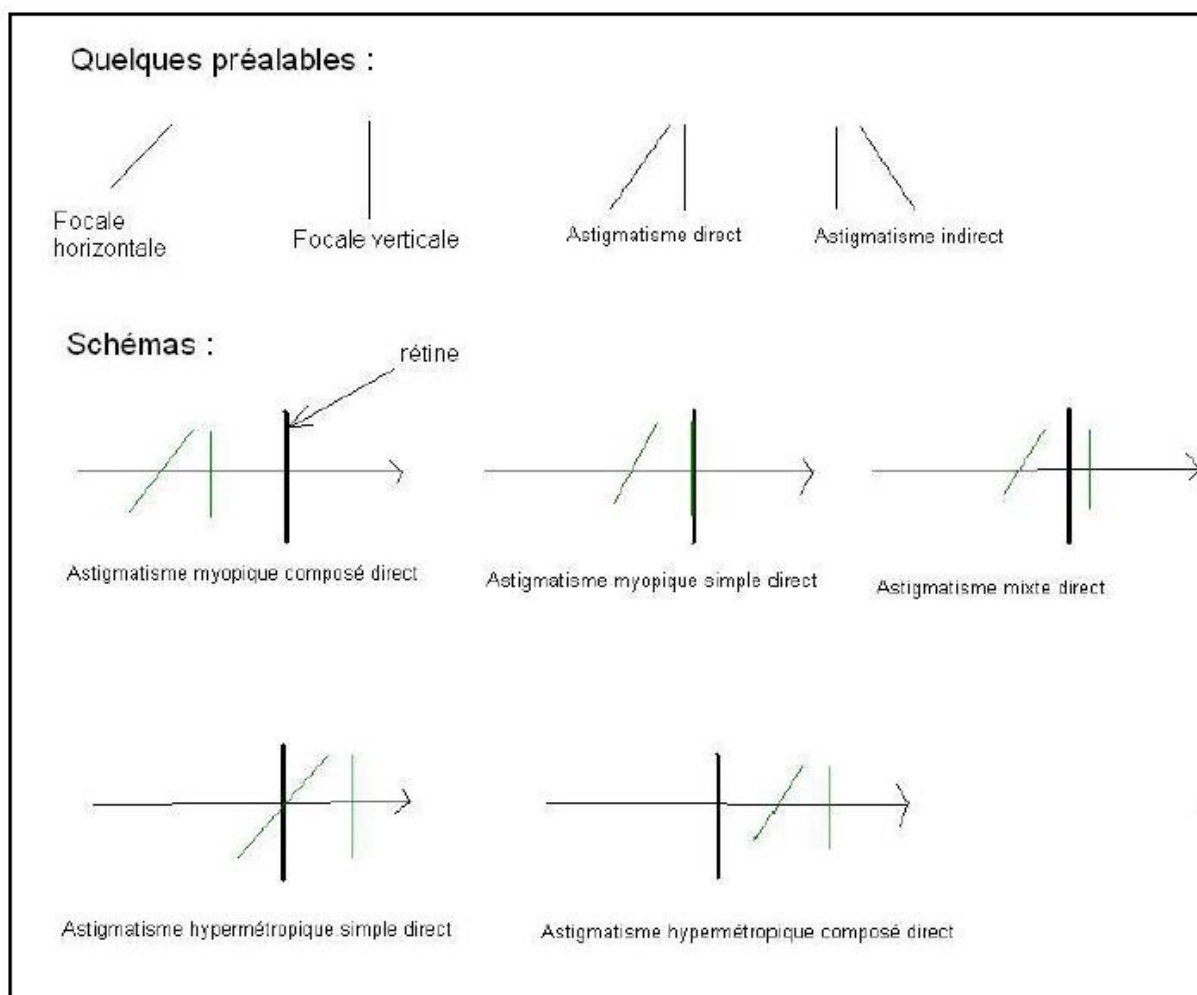


Figure 17 : Schéma des différents types d'astigmatisme

Les astigmatismes, fréquents chez le très jeune enfant, disparaissent dans la plupart des cas pour rejoindre à l'âge scolaire la fréquence de la population adulte, c'est-à-dire 8 %. Cette diminution se fait entre 1 et 4 ans.

C'est essentiellement la puissance qui diminue considérablement, l'axe ne change pas.

Les astigmatismes conformes et obliques nécessitent une surveillance prolongée car ils disparaissent moins souvent. À l'âge scolaire, le nombre d'astigmatismes conformes est plus important.

#### 4. L'anisométrie

L'anisométrie se définit par :

- Différence de réfraction entre les deux yeux  $\geq 1 \text{ } \partial$  pour l'anisométrie sphérique

-  $\geq 0,75 \text{ } \partial$  pour l'anisométrie astigmatique

- et/ou qu'il y ait une différence significative d'axe d'astigmatisme

Elle peut être :

§  $1 \text{ } \partial \leq$  faible  $< 3 \text{ } \partial$

§  $3 \text{ } \partial \leq$  moyenne  $< 6 \text{ } \partial$

§ Forte  $\geq 6 \text{ } \partial$

Cette différence de l'état réfractif entre les deux yeux cause une différence de netteté et de taille (anisiconie) de l'image qui est floue sur l'un des yeux.

Une anisométrie peut être responsable d'une amblyopie sur l'œil le plus amétrope dont la profondeur dépend directement du degré d'anisométrie, qui peut être associée à un strabisme.

Sa fréquence est évaluée à 25 % chez le nourrisson, diminue à 3-6 % chez les enfants d'âge scolaire et préscolaire.

Il est également classique de constater que la majorité des anisométries présentes avant l'âge d'un an vont disparaître, alors que celles constatées plus tard sont généralement secondaires et souvent le témoin d'un processus amblyopique.

#### D. Méthodes d'étude de la réfraction :

L'examen de la réfraction chez l'enfant pose le problème du manque de coopération de ces derniers et de la difficulté à interpréter les examens subjectifs.

Or, chez les enfants, il est primordial d'obtenir une réfraction de qualité qui permettra de corriger les amétries et de lutter contre l'amblyopie et la part réfractive du strabisme.

##### 1. Skiascopie

La skiascopie est la technique historique pour l'étude la réfraction décrite initialement par l'ophtalmologiste militaire français Cuignet en 1873 à Lille. Copeland a inventé par la suite, en 1926 le premier skiascope. « Skia » signifie « ombre » en grec, « scopie » signifie regard.

Le principe d'utilisation du skiascope est le suivant : On projette la lumière du skiascope en fente sur l'œil du patient dilaté ou non et l'on en observe le reflet pupillaire par l'ouverture située dans l'appareil. Il s'agit en fait d'une aire du fond d'œil qui se comportera suite à son éclairage comme une source lumineuse. C'est plus précisément le mouvement de ce reflet que l'on observe en pratiquant un balayage de la pupille du patient.

L'interprétation de ce reflet en interposant entre le skiascope et l'œil du patient des verres sphériques de puissances différentes permettra de déduire la puissance sphérique du méridien étudié (perpendiculaire à la fente lumineuse). Le skiascope et donc, l'œil de l'examineur doivent se situer à un mètre de l'œil du patient.

L'étude du reflet doit s'effectuer sur deux méridiens perpendiculaires dont les axes sont déterminés par le reflet obtenu au premier balayage horizontal.

Par exemple, si l'image pupillaire du balayage horizontal est une fente oblique sur un axe de  $100^\circ$  alors on effectuera des balayages sur les méridiens  $10^\circ$  et  $100^\circ$  pour obtenir la formule skiascopique de l'œil étudié. Plus le balayage est effectué sur un axe éloigné de l'astigmatisme du patient, plus le reflet observé sera large. (Figure 18,19)

L'étude des reflets doit commencer sans interposition de verres correcteurs. L'objectif est de déterminer si le mouvement du reflet de la fente verticale (balayée donc horizontalement) est dans le même sens ou dans le sens inverse de celui du balayage lumineux.



Figure 18 : Skiascopie et échelles à skiascopie



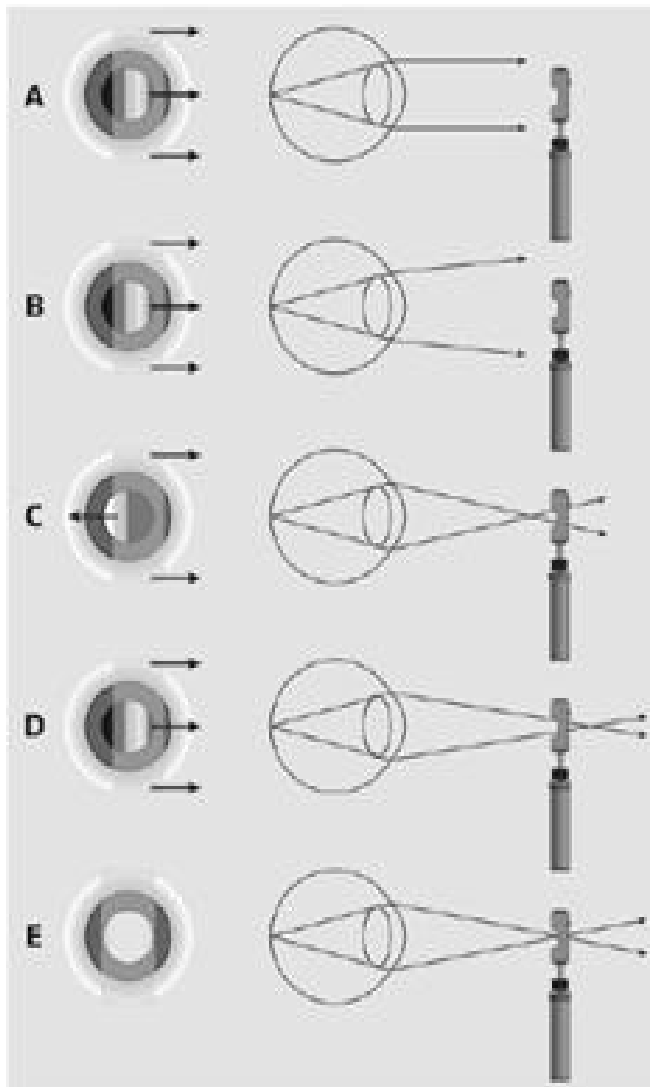


Figure 19 : Constitution d'un skiascope

En cas d'emmétropie, l'aire du fond d'œil renverra une image d'éclairement total de la pupille sans mouvement de fente décelable. Cette situation s'appelle l'ombre en masse et correspond au point neutre où la position de la rétine du patient et du skiascope sont des points conjugués.

Si le reflet pupillaire présente un mouvement dans le même sens que celui du skiascope alors l'œil est hypermétrope et l'on interposera des lentilles convexes de puissance croissante devant l'œil étudié jusqu'à l'obtention de l'ombre en masse.

Si ce reflet présente un mouvement en sens inverse, l'œil est myope et l'on interposera dans ce cas des verres concaves de puissance croissante jusqu'à l'obtention de l'ombre en masse. (Figure 20,21)



C. Si les rayons sortants se croisent entre l'œil examiné et le skiascope alors le mouvement du reflet est perçu en sens inverse du balayage effectué par le skiascope

A, B et D. Si les rayons sortant se croisent ailleurs alors le mouvement perçu est dans le même sens que le balayage.

E. Si les rayons sortant se croisent au point où se trouve le skiascope (soit un mètre pour un myopie de -1) alors le skiascope est placé sur le punctum remotum et on n'observe pas de mouvements mais l'ombre en masse.

Figure 20 : Géométrie des rayons sortant en fonction de l'amétropie

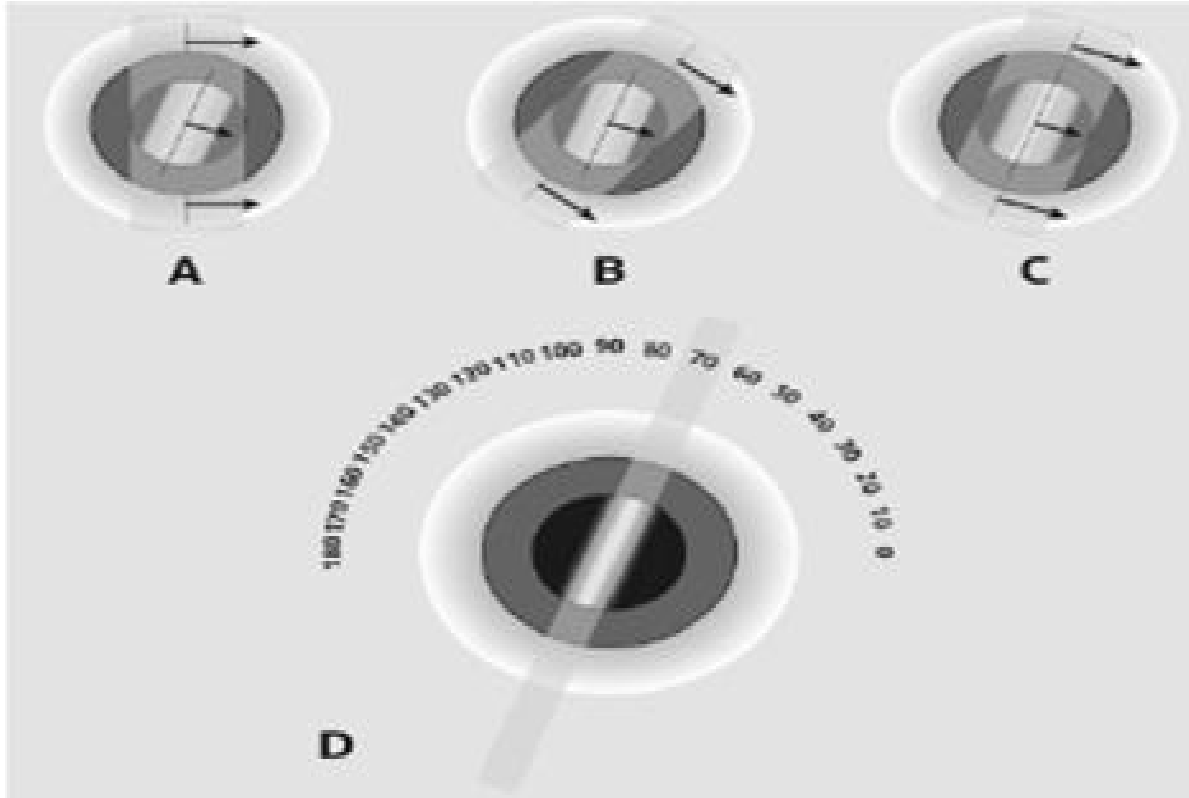


Figure 21 : Détermination de l'axe de l'astigmatisme

- A. Si l'on examine en premier le méridien horizontal alors on observe dans le cas d'un astigmatisme à  $70^\circ$  un reflet oblique non parallèle à la fente lumineuse du skiascope.
- B. On modifie alors l'inclinaison du skiascope pour faire coïncider l'orientation du reflet avec celle de la fente lumineuse.
- C. Quand le faisceau lumineux est aligné sur l'axe de l'astigmatisme alors la largeur du reflet diminue : c'est sur ce méridien et sa perpendiculaire qu'il faut effectuer les mesures. (49)

D'autres caractéristiques du reflet peuvent être étudiées pour affiner la technique :

- § La largeur du reflet dépend du degré d'amétropie : plus on se rapproche du point neutre, plus la largeur de la fente diminue. Cette relation n'est pas linéaire, la largeur de la fente diminue de plus en plus vite au fur et à mesure qu'on se rapproche de l'ombre en masse mais parallèlement, le reflet semble se diffuser du fait de l'illumination de l'aire du fond d'œil.
- § La luminosité du reflet : elle est plus importante pour les amétropies faibles que dans les fortes amétropies. Elle ne peut pas être étudiée réellement car elle dépend d'autres facteurs : l'intensité d'éclairage du skiascope, la coloration du fond d'œil et la transparence des milieux.
- § La vitesse du reflet : dans les fortes amétropies la vitesse de passage du reflet est plus faible que dans les amétropies moins importantes. Au cours de la neutralisation, avec l'alternance des lentilles, on observe une augmentation progressive de la vitesse du reflet non linéaire.
- § La recherche du punctum remotum des yeux myopes peut s'effectuer en approchant lentement le skiascope de l'œil examiné sans interposition de verres correcteurs. Lorsque le skiascope se trouve au niveau du punctum remotum, la neutralisation se produit et l'on obtient l'ombre en masse. Cela constitue une technique alternative d'évaluation de la myopie.

A la fin de l'examen, on obtient donc la formule skiascopique de l'œil examiné avec les valeurs réfractives des deux principaux méridiens perpendiculaires entre eux. A partir de cette formule, on pourra établir la réfraction du patient en correction sphéro-cylindrique.

Cette technique, fiable et reproductible chez un opérateur entraîné, donne des résultats plus aléatoires chez les utilisateurs moins expérimentés. Elle nécessite en

outre une certaine fixation du patient donc une coopération, et est relativement longue à réaliser. Ces inconvénients ont été supprimés par l'avènement des réfractomètres automatiques fixes ou portables

## 2. Refractomètre automatique [(50) (51)(52)(53)]

Cet appareil est apparu pour la première fois en France au milieu des années 70 et s'est vite imposé chez la majorité des ophtalmologistes car il permet une réfraction fiable dès l'âge de 3 ou 4 ans, en attendant une coopération suffisante pour une réfraction subjective.

Son principe [(53)(54)(55)] repose sur :

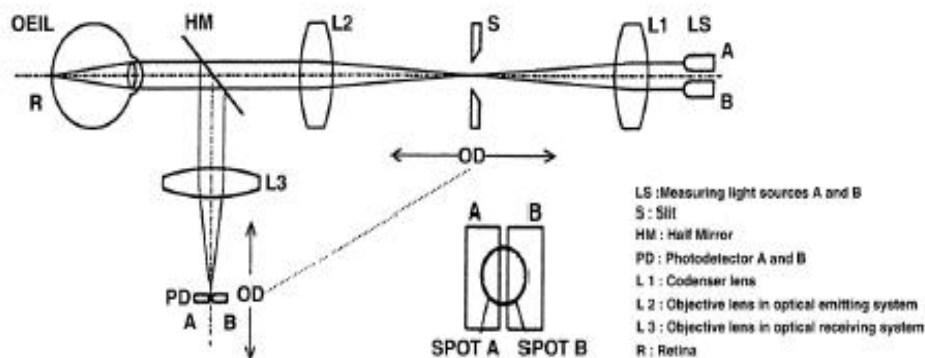
- la rétinoscopie (principe de l'optomètre) : déplacement d'une cible lumineuse derrière une lentille pour déterminer le point de neutralisation des rayons émergents de l'œil, donc son degré d'amétropie ;
- le principe de Scheiner : déplacement d'une cible lumineuse pour faire converger sur la rétine deux faisceaux lumineux en un seul.

Les auto-réfractomètres utilisent eux une lentille de valeur constante placée devant l'œil à une distance équivalente à la distance focale de la lentille, et c'est le déplacement de la cible lumineuse derrière la lentille qui permet de déterminer le point de neutralisation des rayons émergents de l'œil.

La mesure de la défocalisation sur la rétine est effectuée grâce à un faisceau infrarouge : le système d'éclairage de la machine projette sur la rétine l'image d'un test à l'infini en lumière infra-rouge, invisible pour l'œil humain, afin de minimiser l'accommodation instrumentale.

En effet, malgré des conditions artificielles de vision de loin recréées, la proximité de la machine nécessaire à la mesure peut avoir tendance à stimuler l'accommodation du sujet.

Le réfractomètre automatique possède un système d'observation, constitué de récepteurs photosensibles, qui est couplé à un ordinateur chargé de déterminer le plan conjugué de la rétine à travers ce système optique. (Figure 22)



**Principe Optique d'un réfractomètre automatique (pour un emmétrope).**

LS = Sources lumineuses (A et B).

S = Fente dans le plan conjugué des sources A et B, à travers la lentille du système émetteur.

HM = Demi miroir incliné.

PD = Récepteurs photosensibles [A et B].

L1 = Lentille condensatrice du faisceau lumineux.

L2 = Lentille du système optique émetteur.

L3 = Lentille du système optique récepteur.

R = Plan rétinien.

Figure 22 : Principe optique d'un réfractomètre automatique

En cas de mesure d'une hypermétropie, si la fente est dans le plan focale de la lentille du système émetteur, son image se projette en arrière de la rétine et doit donc effectuer un mouvement positif pour faire la mise au point sur la rétine.

A l'inverse pour un œil myope, l'image de la fente se projettera en avant de la rétine et devra donc faire un mouvement négatif pour réaliser la mise au point sur la rétine. L'auto-réfractomètre calcule la valeur de cette défocalisation et nous donne la valeur de l'amétropie.

D'un côté de l'appareil, on retrouve une mentonnière pour positionner et maintenir la tête du patient de manière adéquate. Une caméra film l'œil mesuré et son image est retransmise à l'examineur de l'autre côté de la machine, sur un écran avec un panneau de commande.

Du côté de l'opérateur on retrouve la sortie de l'imprimante où est imprimé le ticket de réfracteur, avec les valeurs des mesures réalisées au préalable, sur le ticket imprimé on retrouve l'indice de fiabilité de ces mesures sur une échelle de 1 à 10, la valeur de chacune des mesures effectuées ainsi que leur moyenne.

Il fournit également des informations à propos de l'astigmatisme cornéen avec les rayons le plus plat ( $R1$  = le moins puissant) et le rayon le plus cambré ( $R2$  = le plus puissant).

Il y a également une manette permettant d'effectuer la mise au point et les déplacements requis pour la mesure. Pour ce qui est de l'appareil de mesure, il comprend une fenêtre sur laquelle le patient dirige son regard et d'où part le rayon infra-rouge se dirigeant dans l'œil.

Un mécanisme de poursuite automatique assure le déplacement de l'unité en fonction du déplacement des yeux, pendant que le dispositif de commande lance une série de mesures dès que la mise au point est réalisée correctement.

Dans l'ensemble, la performance des refractomètres automatiques sous cycloplégie est très satisfaisante.

Enfin, même si le faisceau infra-rouge ne stimule pas l'accommodation, elle entre quand même en jeu en l'absence de cycloplégie, par le phénomène de proximité de l'appareil et de fixation d'une cible, ce qui peut donner une variabilité importante des mesures.

Les avantages des réfractomètres automatiques sont :

- ü La rapidité : 0,3 seconde par mesure ;
- ü La précision : calculs à 0,25  $\delta$  voire 0,12  $\delta$  près ;
- ü La fiabilité et la reproductibilité des calculs ;
- ü La large gamme de mesures permises : de - 18  $\delta$  à + 23  $\delta$  pour la sphère et de - 10  $\delta$  à + 10  $\delta$  pour le cylindre ;
- ü La possibilité que la mesure soit réalisée par une personne autre que l'ophtalmologiste, permettant un gain de temps lors de la consultation.

Les limites de ces appareils sont :

- ü La non-suppression de l'accommodation (nécessité d'une cycloplégie) ;
- ü La difficulté de réalisation en cas de mouvements oculaires : enfants de moins de deux ans, nystagmus, patients infirmes, etc. ;
- ü L'existence de troubles des milieux transparents.





Figure 23 : Image d'un auto-réfractomètre

Afin de pallier à certaines situations dans lesquelles l'installation d'un patient face au réfractomètre est impossible, les fabricants ont développé des réfractomètres automatiques portables qui sont aujourd'hui largement utilisés en pédiatrie : comme le Rétinomax ou le Plusoptix.

### 3. Refractomètres automatiques portables : (50) (51)(52)(53)

Le premier réfractomètre automatique portable de fabrication japonaise (Rétinomax) est apparu en 1995, il permet de prendre des mesures réfractives à tout âge.

Les principes optiques sur lesquels se basent ses mesures sont analogues à ceux des auto-réfractomètres classiques : Des rayons infra-rouges sont utilisés avec une exploration des méridiens sur 360° selon les principes de la skiascopie et de la rétinoscopie.

Toutefois dans ce cas-là, la machine ne se base pas sur la recherche du point de neutralisation, mais sur la vitesse du mouvement des rayons émergents pour effectuer ses mesures.

L'appareil est équipé d'une caméra sensible à la lumière infra-rouge ainsi que d'un petit écran destiné à l'opérateur, permettant de vérifier que l'œil examiné a un bon alignement, grâce à des mires et aux reflets cornéens.

L'auto-réfractomètre portable est très simple d'utilisation et seul un bouton, situé sur le manche de l'appareil, est à actionner pour démarrer la série de mesures, ce qui permet de minimiser les manipulations.

Il est important que l'examineur veille au bon positionnement entre l'œil et l'appareil lors de l'examen. Il prend connaissance des valeurs dans le viseur, sur l'écran, et peut imprimer sa série de mesure lorsque l'appareil est associé à une imprimante.

Le ticket imprimé comprend alors les mêmes informations que celles citées pour le réfractomètre fixe. Il permet la mesure d'amétropies allant de -18d à +23 d avec un cylindre jusqu'à 12d.

Le Rétinomax® possède un mode « normal », qui enclenche une méthode, anti-accommodative, de brouillage automatique de la cible après avoir obtenu un bon

alignement avec l'œil. Cela permet de limiter la myopisation instrumentale, c'est-à-dire le spasme d'accommodation. Il s'ensuit le déclenchement de la série de mesures.

On retrouve également un mode « Quick », celui-ci ne déclenche pas de brouillage automatique et est donc beaucoup plus rapide car la prise de mesure est immédiate. Il peut être utilisé si les yeux du patient bougent trop et que le mode normal ne permet pas d'effectuer les mesures. Néanmoins sa fiabilité est moindre et les mesures peuvent être variables.

D'autres auto-réfractomètre portables que le Rétinomax®(Figure 24) existent, comme le Plusoptix® Nidex ou le Sure-sight®, et pour lesquels le principe de base reste le même. Seuls des paramètres comme la distance d'examen, ou le temps de la prise de mesure, varient.



Figure 24 : Auto-réfractomètre portable : Rétinomax K-plus 2

Leurs principaux atouts par rapport aux réfractomètres automatiques fixes sont :

- une cible attrayante à regarder, permettant d'éveiller l'intérêt de l'enfant dans le cadre d'une utilisation en pédiatrie ;

- la présence d'un seul appui (frontal) pour le patient, voire pas d'appui, avec absence de contention de la tête (moins effrayant pour les enfants) ;
- son caractère transportable (son poids est inférieur à 1 kg), le rendant utilisable dans plusieurs positions ; cette caractéristique le rend particulièrement pratique pour une utilisation au bloc opératoire ou en ambulatoire chez des patients peu mobilisables. (Figure 25)



Figure 25 : Mesure de la réfraction par Plusoptix chez un patient alité

L'utilisation de ces appareils est aisée même si elle nécessite quelques précautions : il faut obligatoirement bien aligner l'appareil dans les trois plans de l'espace (horizontal, vertical et torsionnel) ; un diamètre pupillaire minimal de 2,3 mm est requis.

La lecture du résultat doit de faire après vérification de l'indice de fiabilité de chaque mesure et élimination des mesures aberrantes (liées à des mesures prises en absence de fixation). La valeur « représentative » sélectionnée par l'appareil correspond à la médiane des mesures pour chacune des valeurs réfractives.

Les limites des réfractomètres automatiques portables sont :

- une surestimation de l'astigmatisme en cas d'amétropie forte ;
- un risque d'erreur de latéralisation (celle-ci se faisant normalement automatiquement) ;
- une imprécision sur l'axe de l'astigmatisme, particulièrement si l'appareil est mal positionné.

#### 4. Réfracteur automatique (Figure 26)

Plus pratiques d'utilisation et moins encombrants qu'une boîte de verre d'essai accompagnée de sa monture, les réfracteurs automatiques ont vu leur utilisation se répandre largement.

Ses intérêts sont :

- une mesure plus rapide de l'acuité visuelle subjective chez le grand enfant et l'adulte ;
- une réalisation facile et rapide de la méthode du « brouillard » lorsqu'une cycloplégie n'est pas indispensable ;
- une connexion aux autres appareils d'examen (réfractomètres notamment)
- un gain de temps par l'absence de manipulation des verres.

Cet appareil permet également une utilisation plus aisée de certains tests. Ainsi, l'utilisation du cylindre croisé de Jackson permettra d'affiner l'axe et la puissance du cylindre avec moins de risque d'erreur que lors de sa réalisation « manuelle ». De même, l'utilisation des prismes, des verres polarisés et du test rouge-vert est simplifiée.

Il existe des limites inhérentes à ces appareils :

- la difficulté à voir les yeux du patient, entraînant une certaine perte de contact, une difficulté à observer son comportement (plissement des yeux) et la nécessité de surveiller le positionnement de la tête et des yeux du patient ;

- l'examen de la vision de près est plus difficile qu'avec une monture d'essai, particulièrement chez les enfants ou les sujets âgés (position non « physiologique » du test de Parinaud).



Figure 26 : Réfracteur automatique

## VI. ACCOMMODATION-CYCLOPLÉGIE

### A. Accommodation : [(57)(58)(59)(60),]

L'accommodation représente la faculté des yeux à augmenter leur pouvoir dioptrique de manière synchrone par le biais du cristallin, afin de pouvoir obtenir l'image la plus nette possible sur la rétine, d'un objet rapproché situé entre le punctum remotum (L'infini pour un emmétrope ou un amétrope corrigé) et le punctum proximum du sujet.

L'accommodation n'en reste pas moins un phénomène monoculaire. Il s'agit d'un réflexe optico-moteur automatique et permanent mais qui possède aussi un versant volontaire moins connu.

Le réflexe d'accommodation est précis et très rapide, après un court temps de latence de 0,4 seconde, il atteint une vitesse proche de 4,6  $\delta/s$  et peut être maintenu de façon prolongée sans signes fonctionnels jusqu'au 2/3 de l'accommodation maximale.

Elle peut être induite de quatre manières :

- § L'accommodation réflexe stimulé par une image peu contrastée et diffuse sur la rétine.
- § L'accommodation convergentielle induite par l'effort de convergence.
- § L'accommodation proximale provoquée par la proximité d'un objet rapproché.
- § L'accommodation tonique, appelé également tonus accommodatif de base, lié au tonus parasymphatique qui répond à une légère hypermétropie physiologique latente.

Ce réflexe est stimulé par un « flou » de l'image qui arrive sur la rétine et n'agit pas de façon isolée car la proximité de l'objet entraîne également un mouvement de

convergence ainsi qu'une contraction pupillaire. On appelle cette triple réponse la « triade » ou la « syncinésie » de la vision de près.

A l'inverse, la désaccommodation est la capacité des yeux à diminuer leur puissance réfractive dans le but de mettre au point un objet éloigné perçu flou. La fixation d'une cible éloignée entraînera donc les mouvements inverses.

On appelle « punctum remotum » le point le plus éloigné que l'œil arrive à percevoir net, avec une accommodation nulle.

Le punctum proximum quant à lui est le point le plus rapproché que l'œil est capable de voir net en mettant en jeu son accommodation maximale.

La distance, exprimée en mètre, entre le punctum remotum et le punctum proximum constituent le « parcours d'accommodation » d'un individu et devient l'« amplitude d'accommodation » lorsqu'elle est transcrite en dioptrie. Mais la valeur de ce parcours n'est pas fixe dans le temps : d'après Duane il diminue rapidement à mesure que l'âge du sujet avance, jusqu'à devenir quasi nul entre 50 et 55 ans. La mesure de l'amplitude d'accommodation se fait en monoculaire avec ou sans lunettes.

Chez l'emmétrope elle correspond à l'inverse de la valeur du punctum proximum d'accommodation (PPA) en mètre par rapport à l'œil, car le punctum remotum (PR) se situe à l'infini.

A noter que les enfants possèdent une très grande capacité accommodative, avec une accommodation pas toujours maîtrisée dans les premières années de vie (Figure 27). Ce grand pouvoir accommodatif leur permet de compenser l'hypermétropie physiologique avant leur emmétropisation mais il va aussi entraîner des gênes et des erreurs dans la mesure de la réfraction. C'est pour cette raison que la réfraction sur un sujet jeune doit être effectuée avec précaution notamment les réfractations subjectives pour ne pas passer à côté d'une amétropie : au moindre doute, il faut réaliser une cycloplégie.



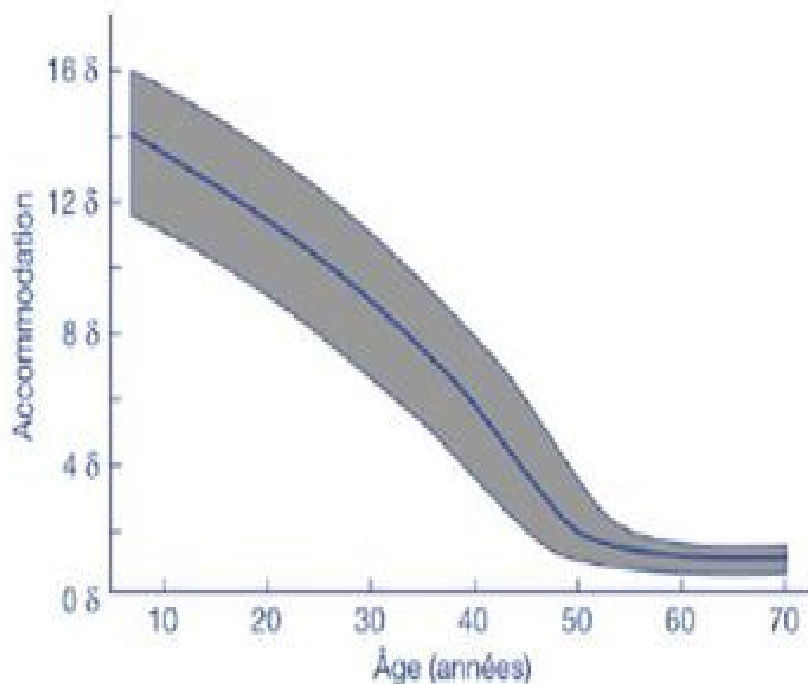


Figure 27 : Courbe d'évolution de l'amplitude d'accommodation en fonction de l'âge

### 1- Développement de l'Accommodation : [ (59)(60)]

Le réflexe d'accommodation est présent dès les premiers mois de la vie, au départ immature et très imprécis, il commence à devenir plus ou moins cohérent à partir de l'âge de 3 mois.

Tout comme l'emmétropisation, l'accommodation cohérente commence à se mettre en place dès les premiers mois pour devenir stable entre le 6ème et le 9ème mois.

En effet, avant l'âge de 6 mois l'accommodation apparaît trop instable pour être un moteur du développement de l'acuité de contraste. Inversement la faible acuité de contraste et la grande profondeur de champ sont un obstacle trop important pour permettre à l'image rétinienne d'influer efficacement sur le développement de l'accommodation.

Pendant ces 6 premiers mois, la relation entre l'accommodation et la réfraction est limité par deux facteurs : d'une part, des capacités initiales trop faibles du

récepteur rétino-cortical pour évaluer le flou d'un stimulus, et d'autre part, une accommodation mal coordonnée.

L'intervention de l'accommodation en réponse à une amétropie peut se rencontrer à pratiquement tous les stades de la vie, mais avec des conséquences variables en fonction de l'âge.

C'est à partir de 2 ans que l'acuité visuelle est suffisamment développée pour qu'une amétropie déclenche des réactions accommodatives parfaitement ciblées, c'est-à-dire qu'elles puissent masquer efficacement les hypermétropies ou du moins en partie.

## 2 - Mécanismes et Neurophysiologie : [(51)(53),(61)]

### a- Mécanismes de l'accommodation :

Stimulée par la vision floue d'un objet rapproché, l'accommodation fait intervenir plusieurs structures, et est réalisé sous l'action du muscle ciliaire :

- Lors de l'accommodation les fibres circulaires du muscle de Rouget-Müller se contractent sous l'effet du système parasympathique.

- Cette contraction entraîne un relâchement de sa tension sur les fibres antérieures et postérieures de la zonule.

- Le cristallin n'est alors plus soumis à leur traction et va tendre à reprendre sa forme naturellement bombée, due à son élasticité et plus précisément grâce à celle de sa capsule. A noter que lors du relâchement des fibres zonulaire, le cristallin est aussi soumis à l'effet de la pesanteur qui explique sa forme bombée. Il devient alors de forme plus sphérique en réduisant principalement son rayon de courbure antérieure, ce qui induit une augmentation du pouvoir réfractif du cristallin pouvant passer de  $20\delta$  au repos, à  $30\delta$  à l'état accommodé.

- Mais la diminution des rayons de courbures du cristallin n'est pas le seul facteur de l'augmentation de sa puissance: En effet, grâce à son point d'ancrage fixe

sur l'éperon scléral, le corps ciliaire se déplace légèrement vers l'avant et en dedans, entraînant avec lui le cristallin et augmentant un peu plus son effet optique. Cette modification va donc également accroître le pouvoir dioptrique du cristallin.

-Le mouvement en dedans du corps ciliaire va permettre de réduire le diamètre du sphincter que constituent les fibres du muscle circulaires et ainsi relâcher la partie de la zonule entre les procès ciliaires et le cristallin.

-En même temps, le déplacement en avant du corps ciliaire va impliquer une tension des fibres longitudinales postérieure, qui vont elles-mêmes permettre de tendre les fibres zonulaires, afin de constituer une réserve d'énergie en prévision d'un retour à la position de repos accommodatif.

-L'action du muscle ciliaire porte surtout sur la partie antérieure des fibres de la zonule, accompagnées des fibres équatoriales, alors que les fibres postérieures sont moins relâchées du fait d'un angle d'attaque plus important. C'est pour cela que la face antérieure joue un rôle beaucoup plus important que la face postérieure dans l'augmentation de la puissance du cristallin et dans le mécanisme de l'accommodation.

Toutes ces modifications décrites correspondent à l'accommodation « externe » et représente les 2/3 de l'accommodation totale.

-L'autre tiers correspond à l'accommodation « interne »: Il s'agit d'une augmentation de la puissance réfractive du cristallin par le déplacement de ses fibres, qui provoque la modification de son indice de réfraction. Ce changement d'indice intervient par glissement des fibres cristalliniennes du cortex, de la périphérie vers le centre (centripète), qui se fait surtout en avant du noyau. L'équateur du cristallin se trouve, à ce moment-là, dans une position plus antérieure que celui de son noyau.

-A cela s'ajoute l'allongement du diamètre antéro-postérieur du cristallin vers l'avant, dû à la reprise de sa forme bombée, ce qui implique une translation de son centre optique également vers l'avant et augmente un peu plus sa puissance.

-Ces deux phénomènes contribuent à l'augmentation de la réfringence du cristallin, en complément de l'accommodation externe.

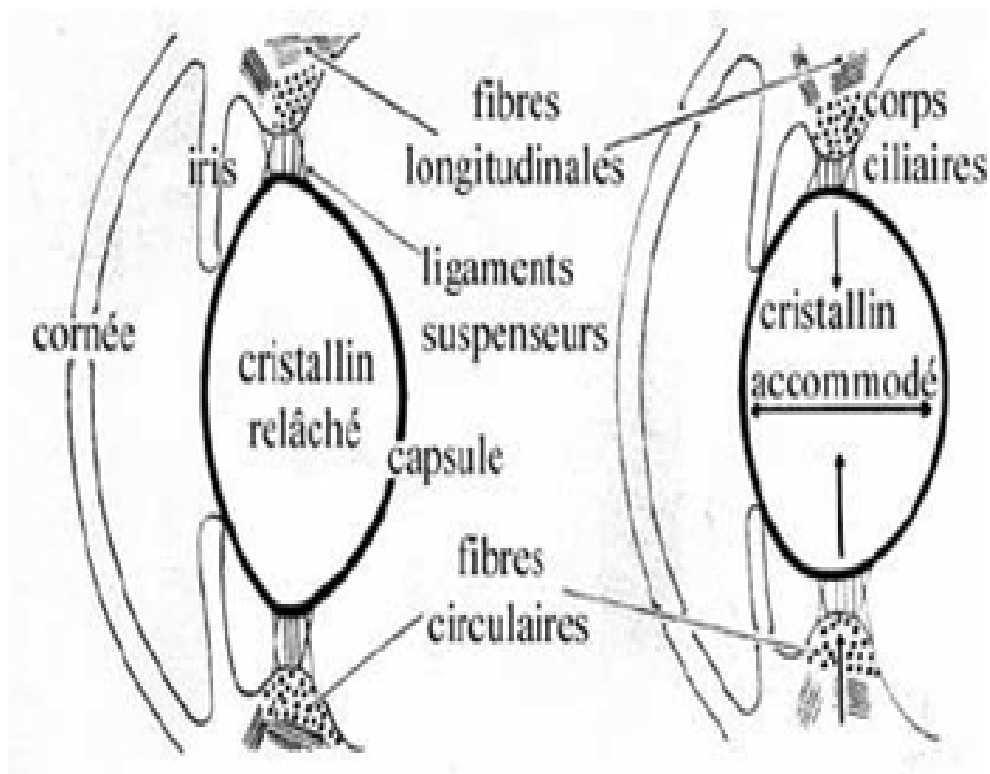


Figure 28 : Coupe d'un cristallin au repos (à gauche) et accommodé (à droite)

### b. Neurophysiologie de l'accommodation :

Le muscle effecteur de l'accommodation et de la désaccommodation est le muscle ciliaire. Il reçoit une innervation par des fibres parasympathiques provenant du noyau d'Edinger-Westphal (sous noyau du III également responsable de la contraction pupillaire et de la convergence) situé dans la partie mésencéphalique du tronc cérébral. Ces fibres font relais dans le ganglion ciliaire et donnent les nerfs ciliaires courts qui vont venir directement innover le muscle.

D'autre part, il est innervé par le système sympathique cervical, via des fibres provenant du centre hypothalamique et faisant relais dans le ganglion cervical supérieur avant de rejoindre le globe oculaire par l'intermédiaire des nerfs ciliaires longs. Le muscle ciliaire reçoit près de 30 fois plus de fibres que l'iris et le système irido-constricteur.

Au niveau cortical, il semblerait qu'il y ait des afférences du cortex strié (aire 17) au cortex péristrié (aires 18 et 19), dont la stimulation engendrerait aussi un rôle dans la commande du myosis et de la convergence en plus de celui de l'accommodation.

L'accommodation est contrôlée par le système parasympathique pendant que la désaccommodation est quant à elle gérée par le système sympathique.

Cette dernière correspond à un processus actif, car en cas contraire son inertie serait gênante.

## B. Cycloplégie

### 1. Définition

La cycloplégie correspond à la paralysie du corps ciliaire, l'accommodation est annihilée, ce qui permet une étude objective et subjective de la réfraction ainsi que la mise en place de la correction optique totale.

Par l'accommodation, l'œil augmentera sa puissance réfractive pour faire coïncider ce foyer image avec sa fovéa et verra donc net. Plus l'objet se rapprochera de l'œil, plus l'accommodation devra être importante pour conserver cette vision nette.

Elle est sollicitée en quasi permanence, il existe rarement une relaxation suffisante pour pouvoir déterminer par le seul examen visuel la valeur de base de l'état réfractif, Cette donnée est pourtant essentielle dans l'établissement d'une correction optique adaptée. En conséquence, seule une paralysie de cette accommodation permet d'atteindre cet objectif. Cette action définit la cycloplégie.

L'accommodation est le principal mécanisme qui rend l'évaluation de la réfraction imprécise, elle peut entraîner une sous-estimation de l'hypermétropie ou une surestimation de la myopie.

### 2. Pharmacologie des collyres cycloplégiques :

Le mécanisme réflexe de l'accommodation est sous la dépendance du système parasympathique. Le système parasympathique a pour médiateur l'acétylcholine qui est libérée au niveau des terminaisons nerveuses mais ne produit ses effets que lorsque la molécule est captée par des récepteurs muscariniques.

Le principe commun à toutes les molécules cycloplégiques est de bloquer ces récepteurs muscariniques. Ces substances qualifiées de parasympatholytiques sont donc plus précisément des antagonistes muscariniques non sélectifs.

L'inactivation chimique du muscle ciliaire s'accompagne d'un blocage de l'irido-constriction et donc d'une mydriase plus ou moins importante selon les sujets et les molécules utilisées.

Il existe une autre possibilité de bloquer l'accommodation par stimulation du système orthosympathique dont le médiateur est cette fois l'adrénaline. L'instillation locale du sympathicomimétique représenté par la phényléphrine (Néosynéphrine®) a un effet principalement dilatateur et modérément anti-accommodatif.

Les principaux collyres cycloplégiques utilisés en pratique sont décrits ci-dessous par ordre décroissant de pouvoir cycloplégiant. Nous allons en préciser les caractéristiques pharmacologiques et les modalités d'utilisation.

#### a. Atropine

L'atropine est le cycloplégique de référence. C'est la molécule anticholinergique la plus utilisée.

Historiquement, à la Renaissance, les collyres atropiniques étaient extraits de la Belladone (« Belladonne » = « belle femme » en italien) pour une utilisation à but esthétique afin de donner un regard plus profond à la pupille dilatée. Aujourd'hui on utilise des collyres à base de sulfate d'atropine à différents dosages : 0,3%, 0,5% et 1%. L'efficacité du traitement augmente avec sa durée et son effet est rémanent pendant huit à dix jours.

Les recommandations d'utilisation sont les suivantes : une goutte matin et soir pendant les cinq jours qui précèdent la consultation et une goutte le matin de la consultation.

- Atropine 0,3% avant l'âge de deux ans ;
- Atropine 0,5% de deux à cinq ans ;
- Atropine 1% à partir de cinq ans.

Le risque principal d'un surdosage est la tachycardie parfois mortelle. Les quelques cas décrits étaient secondaires à l'ingestion du flacon et non à une instillation topique. Cependant, par mesure de précaution, il est préférable de conseiller aux parents de comprimer les points lacrymaux inférieurs pendant quelques minutes après l'instillation du collyre et de ne pas laisser les flacons à portée des enfants.

Il faudra aussi conseiller le port de lunettes de soleil, surtout en période estivale car la dilatation pourrait fortement gêner les patients. Des complications bénignes de type rougeur, fièvre ou agitation sont plus fréquentes et cessent rapidement à l'arrêt du traitement.

Son inconvénient majeur reste l'effet rémanent de cinq à dix jours qui rend difficile l'utilisation répétée au-delà de deux à trois ans et en période estivale.

#### b. Cyclopentolate (Skiacol®)

Le cyclopentolate est disponible depuis 1977 (2-diméthylaminoéthyl-2-(1-hydroxycyclopentyl)-2phényl-acétate). C'est un composé de synthèse antagoniste des récepteurs muscariniques d'acétylcholine : Comme l'atropine, cela lui donne une propriété parasympatholytique qui permet de bloquer l'accommodation du sujet et de mettre la pupille en mydriase par inhibition du système parasympathique.(62)

Commercialisé en France sous forme de chlorhydrate de cyclopentolate à 0,5%, le cyclopentolate est très fréquemment utilisé en raison de sa rapidité d'action et de son délai de rémanence court d'environ dix à vingt-quatre heures.

Il est utilisable à partir de l'âge de un an et est contre indiqué en cas d'antécédent de crise convulsive. Le protocole de référence est de trois instillations à 0, 5 et 10 minutes avec une mesure de la réfraction entre la 45<sup>ème</sup> et la 60<sup>ème</sup> minute après la première goutte.



Certains auteurs proposent d'instiller seulement deux gouttes à 10 minutes d'intervalle (63), voire même pour certains une seule goutte pour réaliser une cycloplégie efficace. (64)

Les effets indésirables sont la survenue de crise d'épilepsie chez les patients aux antécédents comitiaux (la précaution élémentaire est donc de rechercher systématiquement des antécédents de toute pathologie neurologique), ainsi qu'une légère somnolence relativement fréquente surtout chez les enfants.

#### c. Homatropine

Il s'agit d'un dérivé de synthèse de l'atropine : le bromhydrate d'homatropine 1%. Son efficacité est maximale entre 30 et 60 minutes en ce qui concerne la cycloplégie et son délai de rémanence oscille entre 24 et 48 heures. (65)

Il n'existe pas de protocole connu ou conseillé pour les examens réfractifs. Dans les études comparatives menées par Péchereau (66), un protocole identique à celui du cyclopentolate a été adopté avec instillations à T0, T5 et T10. La réfraction maximale a été notée à T60.

Les effets indésirables signalés dans le Vidal sont les mêmes que ceux de l'atropine. Ils ne sont pas décrits dans la littérature.

#### d. Tropicamide (Mydriaticum°)

Son action est surtout mydriatique. L'efficacité maximale sur l'accommodation est entre trente et quarante-cinq minutes après l'instillation. Le délai de rémanence est de quatre à six heures.

Le protocole inscrit dans le Vidal est de quatre à six instillations à cinq minutes d'intervalle avec un examen réfractif trente minutes après la dernière instillation.

Les effets indésirables sont très rares et sont surtout de type allergique avec des réactions locales conjonctivales ou cutanées.

#### e. Associations cycloplégiques :

L'efficacité des cycloplégiques n'étant souvent pas totale lors des premiers examens, il peut être intéressant de rechercher une potentialisation en associant plusieurs molécules dès lors qu'on ne veut plus utiliser l'atropine (67)(68).

Il n'existe pas de forme commercialisée de ces associations. L'association la plus classique est celle du cyclopentolate et du tropicamide, dont l'efficacité a été confirmée.

Une association également retrouvée dans la littérature est celle du cyclopentolate et de la phényléphrine. On rappellera que cette dernière molécule est principalement un dilatateur mais sa potentialisation est confirmée par certains auteurs. Il faut surtout insister sur le fait que cette molécule est connue de longue date pour des risques cardiovasculaires et est donc à éviter chez le jeune enfant. Cet effet a récemment été confirmé pour le dosage à 10 % en dessous de douze ans et pour le dosage à 5 % pour le nouveau-né.

### 3. Utilisation des collyres cycloplégiques en pratique

En pratique, les deux collyres les plus utilisés sont l'atropine et le cyclopentolate.

Classiquement on considère que l'atropine est le cycloplégique de référence car il est le plus efficace(69)(70)(71), il a un effet supérieur à celui du cyclopentolate de l'ordre de 0,30 à 0,50  $\delta$  ; ce dernier a lui-même un effet supérieur à celui de l'homatropine et du tropicamide pour les mêmes valeurs.

Cependant, il faut nuancer cette hiérarchie qui peut présenter des écarts nettement supérieurs en fonction des individus (iris clairs *versus* iris foncés), selon l'amétropie (spasmes accommodatifs des forts hypermétropes), et selon le contexte (premier bilan ou correction optique portée).

Ainsi, la variabilité d'efficacité entre les différentes molécules est certainement maximale lorsqu'il s'agit d'un examen de première intention et dans un contexte de pathologie sensorimotrice. Ces différences ont tendance à s'amenuiser dès lors qu'il existe une correction optique adaptée, plus particulièrement une correction optique totale dont le port est permanent. Dans certaines conditions, quand le traitement a été suffisamment long pour libérer la totalité de l'hypermétropie latente, il n'y a le plus souvent aucune différence entre l'effet de l'atropine et celui du cyclopentolate. Les examens cycloplégiques itératifs sont néanmoins nécessaires pour la mise à jour régulière de la réfraction optimale.

Dans la pratique quotidienne, une cycloplégie s'impose afin de prescrire une correction optique totale chez les enfants présentant les critères suivants :

- § Antécédents familiaux de strabisme ou d'hypermétropie,
- § Hétérotropies et hétérophories quel que soit le sens et l'angle de la déviation,
- § Nystagmus,
- § Symptômes fonctionnels : gêne visuelle, céphalées, asthénopie,
- § Blépharites et conjonctivites chroniques,
- § Chalazions à répétition,
- § Retard psychomoteur, dyslexie, ...

Chez les enfants présentant une forte amétropie et/ou un strabisme, les cycloplégies doivent être répétées pour affiner la correction optique totale et en suivre l'évolution.

à Plusieurs études confirment que sur le plan de l'efficacité et de la fiabilité, il n'existe que deux vrais cycloplégiques : l'atropine et le cyclopentolate.

L'atropine qui est le cycloplégique de référence parce que le plus efficace dans son protocole minimal de cinq à six jours, permettant ainsi d'atteindre d'emblée le meilleur point de départ possible pour une éventuelle correction optique. Il est donc

a priori d'indication idéale pour le premier examen, en particulier lorsqu'il est motivé par une pathologie sensorimotrice suspectée ou avérée. Compte tenu de leur rareté, les complications graves ne sont nullement un obstacle à cette démarche.

Le cyclopentolate peut être défini comme le cycloplégique de base. En effet à partir de l'âge de deux à trois ans, l'utilisation itérative de l'atropine devient nettement gênante et le relais est nécessairement pris par le cyclopentolate. C'est également l'indication de choix de tout examen réalisé pendant la scolarité et chez l'adulte en première intention.

Le choix du cyclopentolate peut également se justifier chez le tout jeune enfant en première consultation. En effet, lorsque le domicile des consultants est éloigné (circonstance fréquente dans la pathologie oculomotrice), un examen sous cyclopentolate permet une prescription immédiate. C'est seulement lors du second contrôle que le protocole d'atropine permettra de vérifier les résultats du premier examen.

Au total, le choix entre ces deux cycloplégiques, reste lié aux circonstances d'examen, l'essentiel étant de réaliser chaque fois que la clinique l'impose au minimum un bilan avec le cycloplégique de référence. Cela est évident pour le jeune enfant dont on connaît la puissance accommodative. Mais cette indication peut concerner l'adulte en cas de spasme accommodatif rebelle, surtout avant une éventuelle décision chirurgicale.

## VII. Auto-réfractomètre Pédiatrique Plusoptix A 12 :

Ces auto-réfractomètres binoculaires ont été développés en 2003, ils sont extrêmement faciles à utiliser et ont été spécialement conçus pour les nourrissons, les enfants et les patients non coopérants. A partir d'une distance d'un mètre et sans la nécessité d'une cycloplégie, une mesure de la réfraction des deux yeux est effectuée simultanément et fournit des valeurs à propos du diamètre de la pupille et de la distance inter-pupillaire, les mesures peuvent également être prises sur les lunettes du patient ou des lentilles de contact.

### A. Principe de mesure :

Les auto-réfractomètres Pédiatriques mesurent la réfraction par photo-rétinoscopie excentrique.

A la différence d'une rétinoscopie classique, le système utilise une source infrarouge de faible intensité, complètement inoffensive, pour éviter les reflets. En fonction des distorsions réfractives, la lumière reflétée crée une forme lumineuse spécifique dans la pupille qui permet le calcul de la réfraction sphérique. Les mesures sont effectuées sur 3 méridiens pour déterminer le cylindre et l'axe.

#### 1. Principales caractéristiques :

- Technique de mesure : photo rétinoscopie
- Marges de mesure : de - 7 à +7 dioptries
- Taille de la pupille : 4 à 8 mm
- Poids : 800 g
- Connexions : infra rouge, carte SD, USB
- Ecran tactile : 4.3"

## 2. Réalisation d'une mesure :

Le dispositif utilise la lumière infrarouge pour effectuer des mesures. Pour obtenir des résultats précis, il est important de ne pas perturber cette lumière : Il faut fermer les rideaux ou les volets et éteindre toute autre source de lumière.

Cependant, la salle d'examen ne doit pas obligatoirement être sombre. Les sources de lumière froides telles que les lampes à économie d'énergie ou des tubes au néon ne perturbent pas les résultats de mesure.



Figure 29 : Réalisation d'une mesure au Plusoptix

L'enfant doit fixer le nez hexagonal du dispositif afin de pouvoir prendre une mesure. Il doit être assis droit et ne doit pas tourner la tête. Un son spécialement développé attire l'attention des nourrissons à l'appareil.

La durée d'attention des enfants est très limitée, Il faut profiter du fait que la salle d'examen est un nouvel environnement : Un gazouillis dans un environnement inconnu est très attrayant pour l'enfant.



Figure 30 : Image du Plusoptix A12

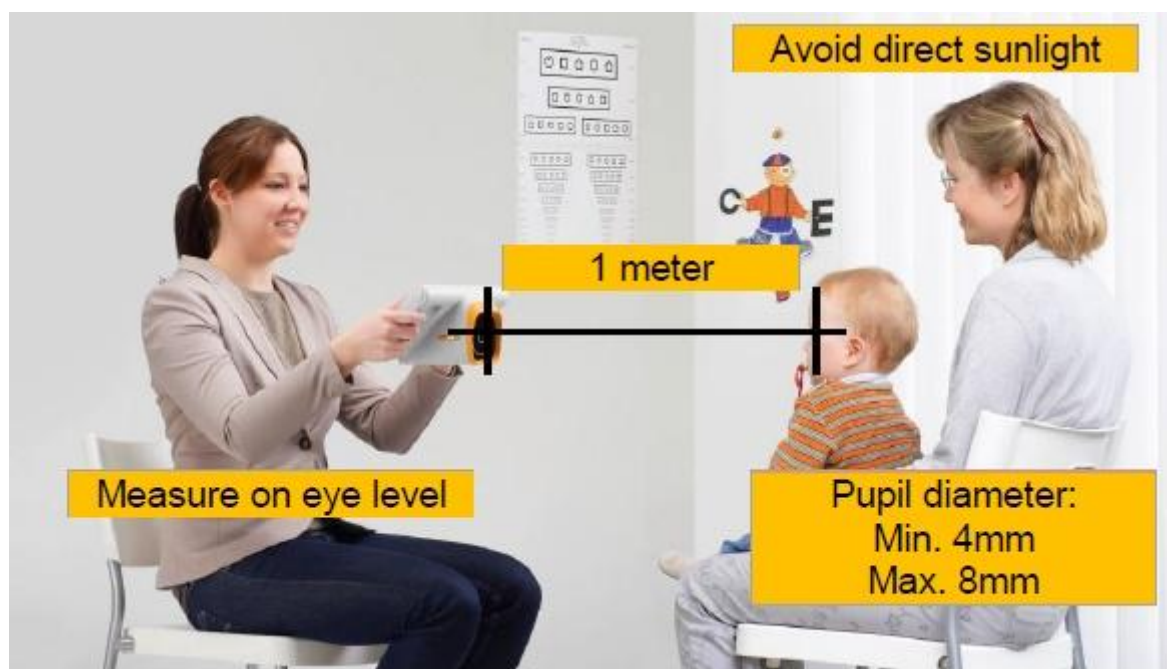


Figure 31 : Image objectivant la réalisation d'une mesure au Plusoptix

a. Mesure de la réfraction :

Pour mesurer de la réfraction au Plusoptix, il faut suivre les étapes suivantes :

- Indiquer les données du patient : date de naissance, nom, prénom.
- Placer le Plusoptix à 1m du patient.
- Cliquer sur le bouton jaune afin de commencer la mesure.
- Aligner la caméra de façon à voir les deux yeux,
- Balayer vers le patient.

Au début, des carrés blancs sont tracés autour des deux pupilles, ces carrés blancs vont se transformer en cercles rouges puis verts quand la distance de mesure sera correcte.

Dès que les deux 2 pupilles sont entourées en vert et que la ligne tracée entre les 2 pupilles est verte aussi, la mesure va démarrer automatiquement et Un autre son est joué. Ce second son assure que le patient continue en regardant la caméra pendant la mesure.

Un son « Ping » indique la fin d'une mesure. Les résultats de mesure seront affichés sur l'écran.

Les résultats sont présentés sur 3 écrans pour une meilleure lisibilité.



Le 1<sup>er</sup> écran donne les résultats de la dernière mesure (Figure 32) :



Figure 32 : Image de l'écran du Plusoptix affichant les résultats de la dernière mesure.

Sur le 2<sup>e</sup> écran on peut voir une vidéo de l'examen (Figure 33) :



Figure 33 : Image du 2<sup>e</sup>écran du Plusoptix A12 prise au service d'ophtalmologie de l'hôpital militaire Moulay Ismail de Meknès

Sur le 3<sup>e</sup>, il y a un récapitulatif des données du patient avec les différentes mesures (Figure34) :

Entrée de la base de données de [REDACTED]

Date	OD (Œil Droit)				OS (Œil Gauche)				DP	ASY
	Sph	Cyl	A	Ø	Sph	Cyl	A	Ø		
2016-09-27 09:16:18	+1.75	-1.00	9°	15.0	+2.25	-1.50	163°	15.1	54	1.5
2016-09-27 09:16:14	+1.75	-1.00	9°	15.2	+3.00	-1.50	167°	15.4	54	2.0
2016-09-27 09:16:18	+1.50	-1.00	17°	15.0	+1.75	-1.25	180°	15.1	54	1.5
2016-09-27 09:16:09	+1.50	-1.00	14°	15.0	+1.75	-1.25	180°	15.0	54	2.1

Figure 34 : Image de l'écran du Plusoptix montrant un récapitulatif des données du patient avec les différentes mesures

Si un message d'erreur s'affiche, il faut vérifier que toutes les conditions ont été respectées :

- la distance de mesure est correcte : elle doit se situer entre 95 cm et 105 cm, toujours vérifier que l'image de la caméra sur l'écran est mise au point, on doit être en mesure de voir les cils et les sourcils à l'écran.

- Le patient fixe l'objectif de la caméra : le dispositif et les yeux du patient doivent être alignés les unes avec les autres. Le patient doit fixer le nez hexagonal.

- Les deux pupilles sont vues complètement : Les deux pupilles ne doivent pas être couvertes par les paupières, les cils, les sourcils ou les cheveux longs, par exemple.

-Les deux pupilles doivent avoir un diamètre compris entre 4 et 8 millimètres.

## **B. Avantages**

ü Le grand atout des auto-réfractomètres Plusoptix est la mesure binoculaire à la distance d'un mètre en moins d'une seconde. Cela permet de minimiser l'accommodation et de rendre l'examen agréable pour l'enfant, les parents et l'utilisateur. C'est aussi un excellent outil de communication avec les parents et les patients.

ü Il est utilisé sans dilatation : mesure l'hypermétropie, la myopie, l'astigmatisme et l'anisométrie. Il fournit des données précieuses pour un examen rapide de la vision. En outre, les résultats peuvent être utilisés comme point de départ pour rétinoscopie ou de confirmer les résultats rétinoscopique.

ü La mesure monoculaire est également possible.

ü Les marges de mesures peuvent aller de -7 jusqu'à + 7 dioptries sphériques ou cylindriques.

ü C'est un examen non invasif, non opérateur dépendant. Le dépistage de troubles réfractifs peut s'effectuer avec tous les enfants car la seule exigence est de fixer brièvement la caméra. Cette fixation est attirée par une cible sonore spécialement conçues.

ü Au service, on utilise le Plusoptix A12 également comme pupillographe.

ü Le Plusoptix permet aussi de mesurer la réfraction chez les patients alités ou peu mobilisables.

## C. Résultats :

### 1. Anisométrie

Indépendamment de l'état d'accommodation, une anisométrie peut être reconnue de manière sûre, puisque les deux yeux sont mesurés simultanément.

### 2. Myopie et Astigmatisme

Ni la myopie, ni l'astigmatisme ne sont influencés par l'accommodation.

L'absence de myopie induite par accommodation permet une utilisation sur des pupilles non dilatées.

### 3. Strabisme de petit angle (Figure 35).

A chaque mesure, les réflexes de la cornée sont également indiqués pour les deux yeux. Si les réflexes de la cornée ne sont pas symétriques, il est possible que l'enfant présente un strabisme.

Des réflexes asymétriques de la cornée peuvent se présenter chez les nouveau-nés, lorsque la fixation ne s'est pas encore totalement développée.



Figure 35 : Image prise au service d'ophtalmologie de l'HMMI : réflexes cornéens asymétriques témoignant d'un strabisme

#### 4. Hypermétropie

Une hypermétropie peut être compensée par une accommodation, et une mesure de l'hypermétropie en myosis ne fournit donc pas systématiquement des valeurs exactes.

Néanmoins, la mesure binoculaire, la distance de 1m et l'obscurité diminuent sensiblement l'accommodation. De plus, la mesure étant possible à travers des verres correcteurs, une deuxième mesure avec des lentilles de + 3,00 d permet de déterminer s'il y a eu une accommodation.

#### 5. Opacifications

Si l'on distingue des variations de la structure de brillance dans la pupille, par exemple des tâches noires, cela indique une opacification, un corps étranger ou un endommagement de la cornée. (Figure 36)

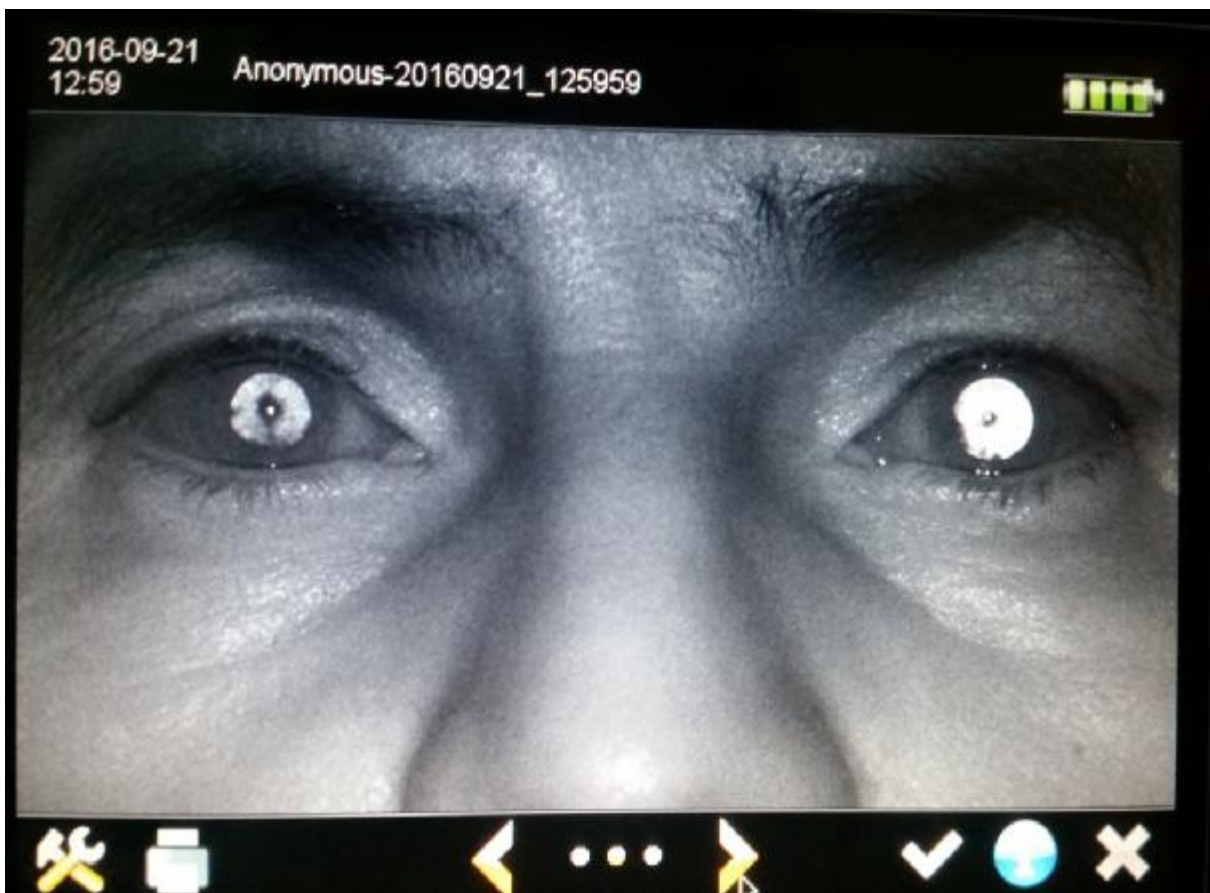


Figure 36 : Image prise au service d'ophtalmologie de l'HMMI : opacification du cristallin de l'œil droit

## 6. Nystagmus

Dans la plupart des cas, le Plusoptix permet de mesurer la réfraction chez les enfants présentant un nystagmus, étant donné que la détermination de la réfraction est effectuée à 50 Hz, ce qui signifie que chaque mesure est effectuée en 20 ms.

## 7. Anisocorie

Étant donné que le Plusoptix indique également le diamètre de pupille des deux yeux, il est possible de détecter la présence d'une anisocorie.

Les mesures d'hypermétropie, de la myopie, de l'astigmatisme et de l'anisométrie obtenues fournissent des informations indispensables à l'exploration de la vision pédiatrique.

L'auto-réfractomètre Pédiatrique Plusoptix permet en option la génération de rapports informatiques et papiers. L'option étiqueteuse permet d'imprimer des étiquettes adhésives et l'option imprimante des copies d'écran et des rapports d'examen personnalisés pour les parents.





Figure 37 : Plusoptix A12



Figure 38 : Plusoptix A12



# MATERIEL

# ET METHODES

Il s'agit d'une étude prospective portant sur 52 enfants (soit 104 yeux), dont le but était de comparer les valeurs de réfraction obtenues par Plusoptix A12 sans cycloplégie à celles fournies par auto-réfractomètre sous cycloplégie.

## I. Population étudiée

### A. Critères d'inclusion

Les enfants inclus dans l'étude ont été recrutés au service d'ophtalmologie pédiatrique de l'hôpital militaire Mohammed V de Meknès entre le mois de juin et novembre 2016, âgés entre 3 et 16 ans.

### B. Critères d'exclusion

Ont été exclus de l'étude les enfants ayant des contre indications au cyclopentolate :

- Hypersensibilité au cyclopentolate ou à l'un des excipients du collyre (notamment au chlorure de benzalkonium).
- Enfants de moins d'un an.

## II. Matériel utilisé :

- Plusoptix A12.



Figure 39 : Image prise au service d'ophtalmologie de l'HMMI objectivant une mesure de la réfraction au Plusoptix A12

- Réfractomètre automatique fixe : Canon (RK-F2)



Figure 40 : Image de l'auto-réfractomètre fixe canon disponible au service d'ophtalmologie de l'HMMI

- Skiacol® 0.5% (cyclopentolate).
- un compteur digital.
- un chronomètre.

### III. Méthodes d'étude :

Il s'agit d'une étude prospective, colligée au service d'ophtalmologie pédiatrique à l'hôpital militaire Mohammed V, sur une période de 6 mois allant de juin à novembre 2016.

52 enfants (104 yeux) ont été inclus, âgés de 3 à 16 ans. Chaque enfant a eu une mesure de la réfraction par Plusoptix A12 (4 valeurs, la valeur moyenne représentait le résultat final).

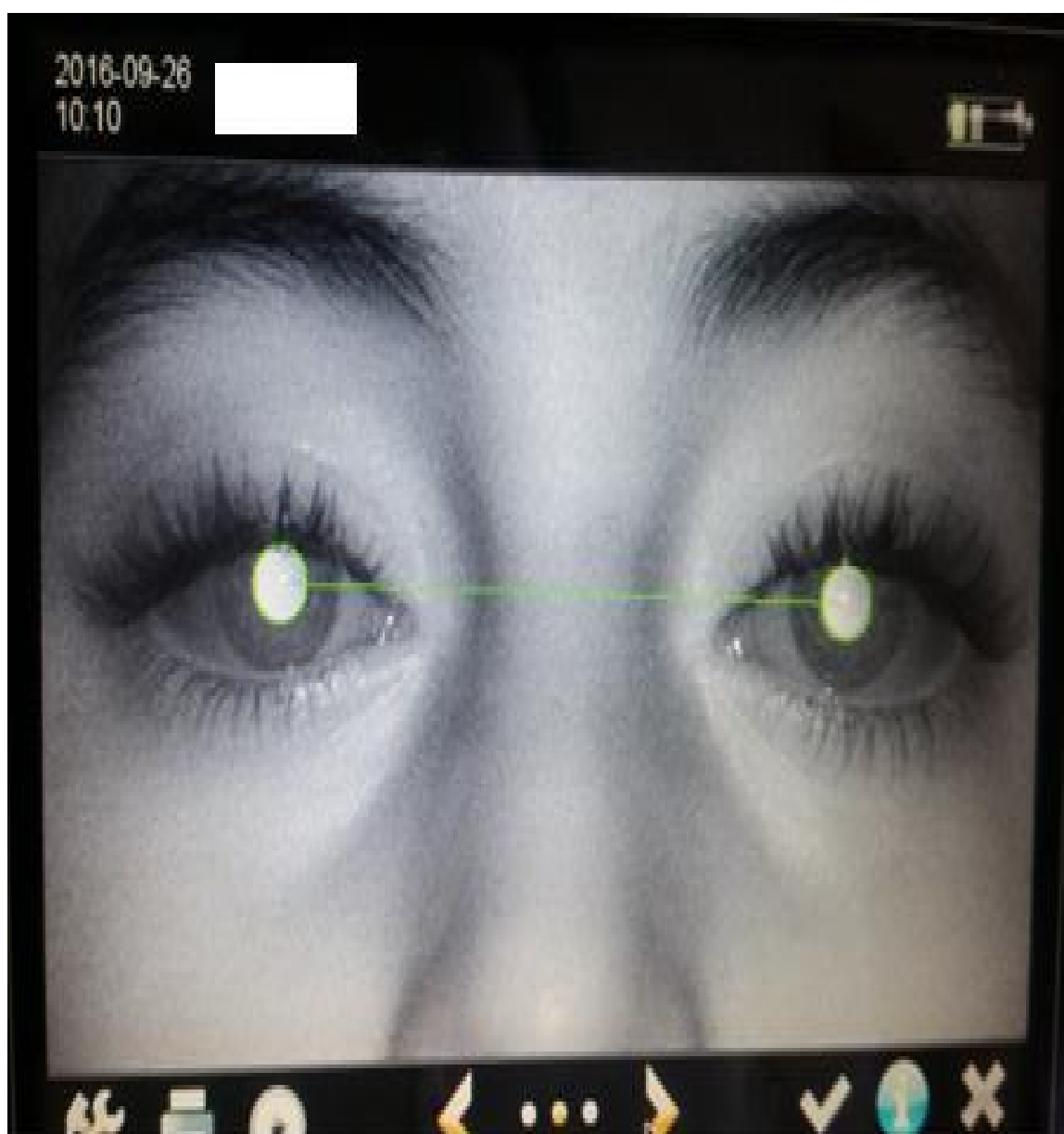


Figure 41 : Image montrant les 2 yeux du patient sur l'écran du Plusoptix

Entrée de la base de données de [REDACTED]

Date	OD (Œil Droit)				OS (Œil Gauche)				DP	ASY
	Sph	Cyl	A	Ø	Sph	Cyl	A	Ø		
2016-09-26 10:10:04	+1,50	-0,25	7°	5,0	+1,75	-0,25	152°	4,7	58	5,2
2016-09-26 10:09:30	+2,00	-0,25	19°	4,5	+2,50	0,00	n/a	4,1	55	2,0
2016-09-26 10:09:19	+1,00	-0,25	22°	4,7	+1,25	0,00	n/a	4,4	55	2,4
2016-09-26 10:09:17	+2,00	0,00	n/a	4,0	+1,75	-0,50	70°	4,2	55	2,1
2016-09-26 10:09:05	+0,25	-0,00	n/a	4,5	+0,75	-0,25	00°	4,0	54	1,5

Figure 42 : Récapitulatif des données du patient et des valeurs de réfractions réalisées au plusoptix



Figure 43 : La dernière mesure réalisée visualisée sur l'écran du Plusoptix

Puis trois instillations de chlorhydrate de cyclopentolate (Skiacol® 0.5%) ont été réalisées (T0, T5, T10 min). Les mêmes mesures ont été effectuées après 45 min à l'aide d'un auto-réfractomètre automatique fixe. (Figure 44)



Figure 44 : Image d'une patiente examinée par réfractomètre automatique

Les 2 mesures ont été pratiquées lors de la même séance, par le même opérateur. Pour tous les enfants examinés nous pouvons donc comparer directement les valeurs de réfraction objectives obtenues avec les deux types de réfractomètres.

Trois degrés de sévérité des amétropies ont été adoptés le tout en valeur algébrique :

Ø L'hypermétropie était considérée comme :

- Faible si sa valeur est inférieure à 1.75 D.
- Modérée entre 2 et 3.25 D.
- Forte au-delà de 3.50 D (31).

∅ Pour la myopie :

- Faible pour une réfraction inférieure à 3D.
- Modérée pour une réfraction comprise entre 3 et 6D.
- Forte pour une réfraction au-delà de 6D. (31)

∅ L'astigmatisme était considéré comme :

- Faible entre 0 et 0.75 dioptrie.
- Moyen de 1 à 2 dioptries.
- Et fort au-dessus de 2 dioptries.

#### IV. Fiche d'exploitation :

Une fiche d'exploitation a été utilisée afin de faciliter le recueil des données.

(Annexe 1)

#### V. Saisie et analyse des données :

Les données statistiques ont été réalisées grâce au logiciel SPSS version 21.

Les données descriptives ont été présentées sous forme de moyenne, d'écart type et de fréquence. Un test t apparié et une analyse de régression de l'estimation de la courbe ont été effectués afin de comparer la réfraction cycloplégique à celle obtenue par PlusoptiX A12. Une différence statistiquement significative a été définie par une valeur de  $p < 0.05$ .

A noter que les données ont été analysées en valeurs absolues.

# RESULTATS



## I. Caractéristiques épidémiologiques :

La population totale étudiée est constituée de 52 enfants, soit 104 yeux.

### A. Répartition selon l'âge :

L'âge moyen de notre échantillon est de  $9,5 \pm 3,6$  ans avec des extrêmes allant de 3 à 16 ans. [diagramme1]

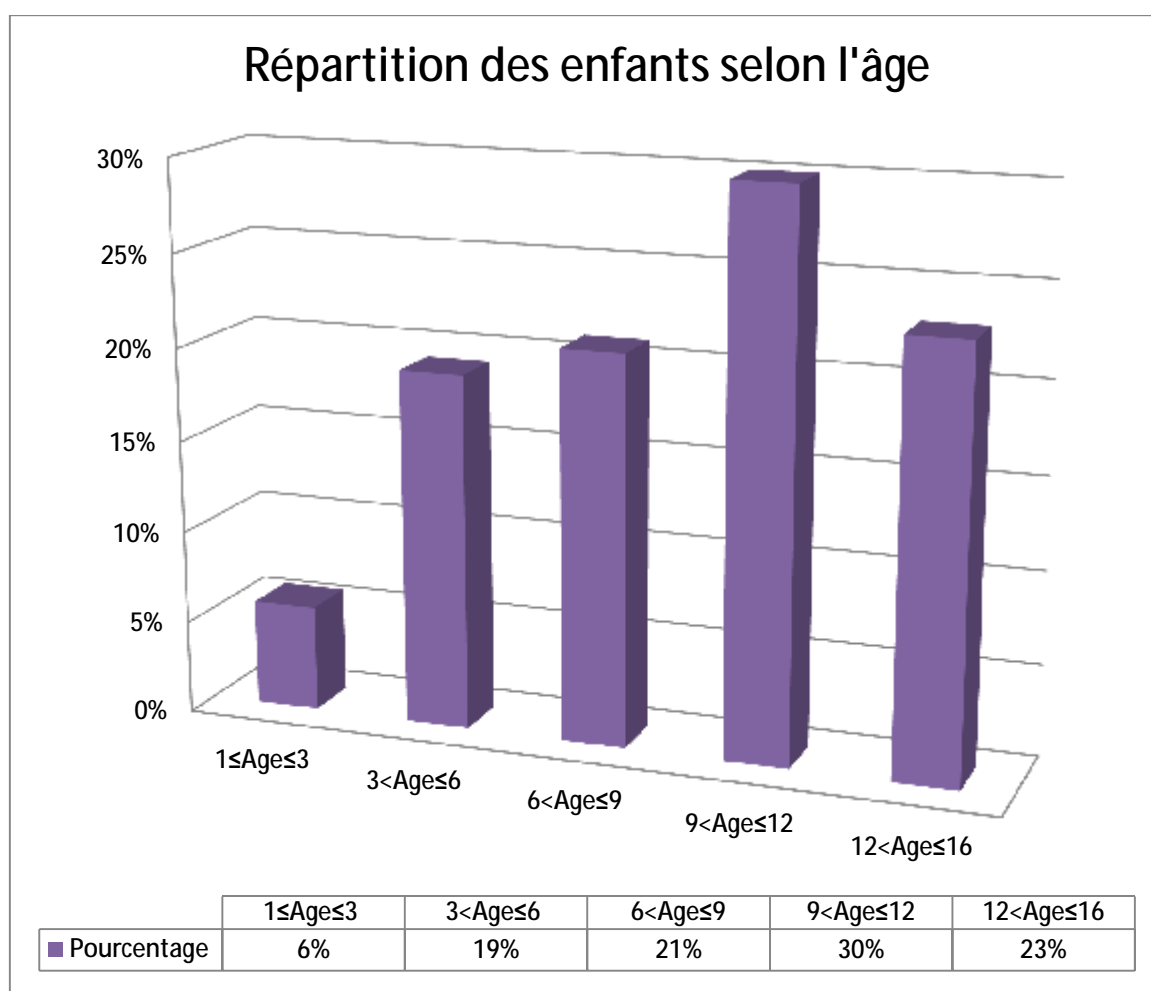


Diagramme 1 : Répartition des enfants selon les tranches d'âge

## B. Répartition selon le sexe

Parmi les 52 enfants inclus dans notre étude, on trouve :

§ 26 garçons, soit 50 %.

§ 26 filles, soit 50%.

Soit un sexe ratio H/F à 1 [diagramme2].

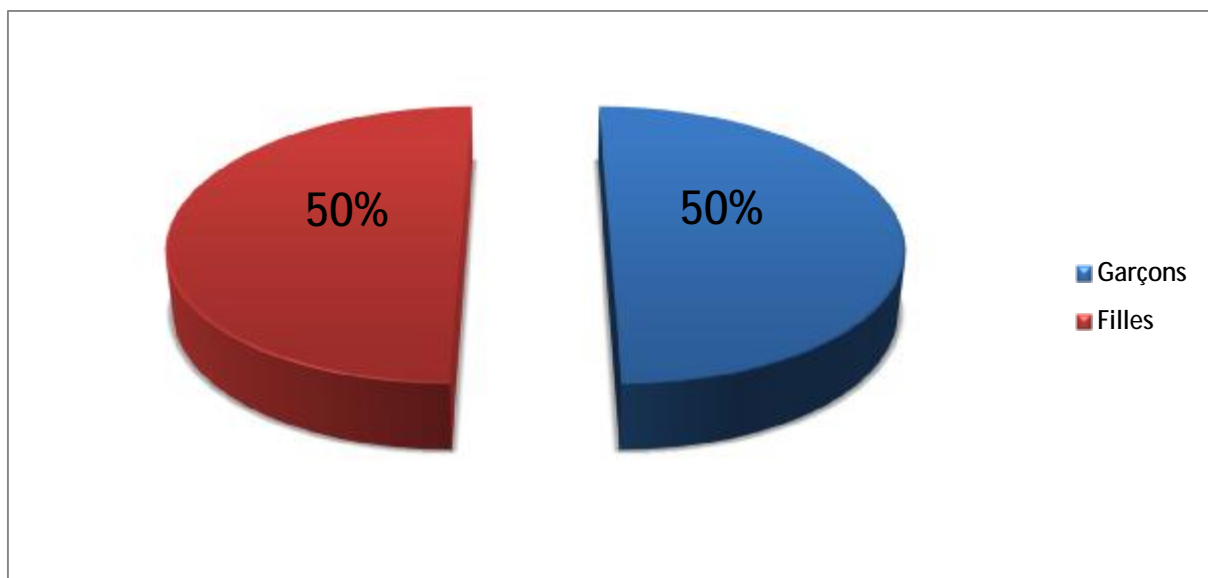


Diagramme 2 : Proportion de chacun des deux sexes parmi nos patients

## II. Description clinique :

### A. Port antérieur de correction optique :

30 enfants portaient déjà une correction optique avant notre étude, soit 57 %.

[Diagramme 3].

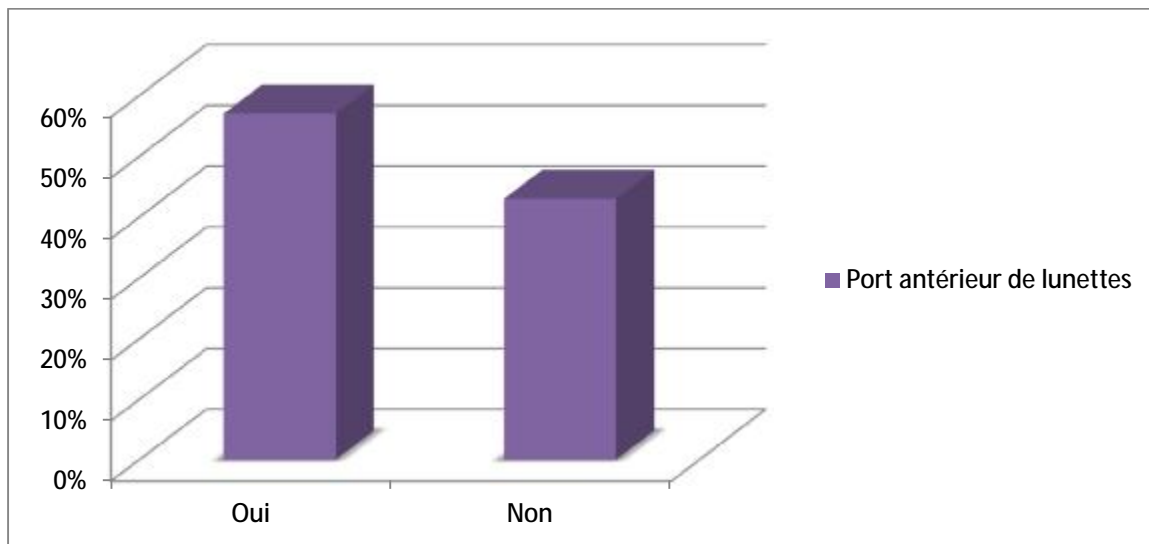


Diagramme 3 : Répartition des patients selon le port antérieur de correction optique

### B. Strabisme

16 enfants de notre échantillon présentaient un strabisme soit 30%.

[Diagramme 4]

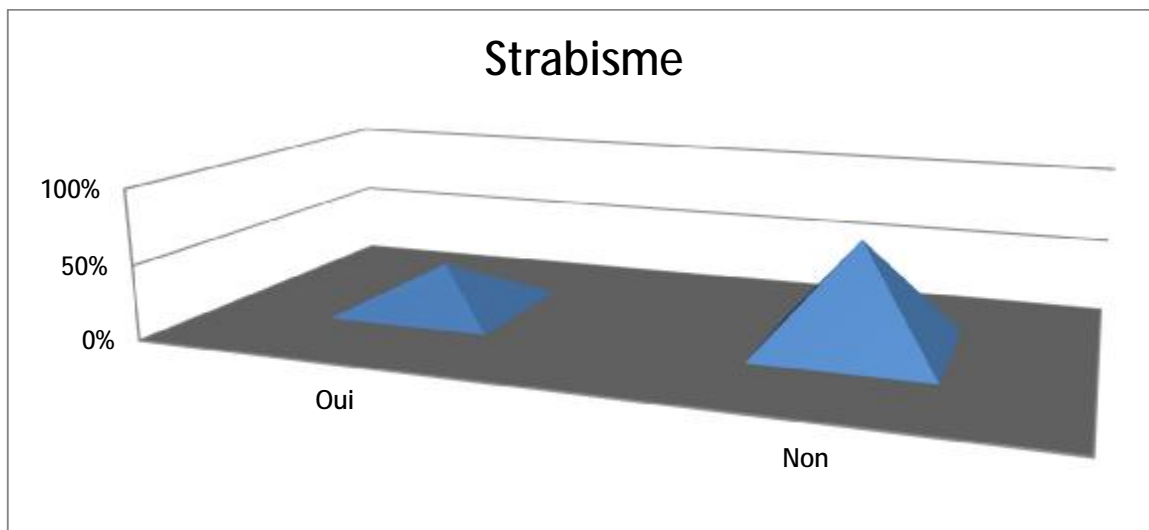


Diagramme 4: Répartition des patients selon l'existence ou non d'un strabisme

### C.Nystagmus :

Dans notre série, deux enfants présentaient un nystagmus, soit 3%.

Pour la 2<sup>e</sup> patiente, la mesure par auto-réfractomètre fixe était impossible vu le nystagmus.

## III. Conditions de la mesure au Plusoptix :

### A.Coopération :

La majorité de nos patients étaient coopérants : 48 soit 92 %. [Diagramme 6].

Les 4 autres avaient des difficultés à fixer la cible : pour remédier à cela, on a dû utiliser une nouvelle source d'attraction (bonbon, dessin).

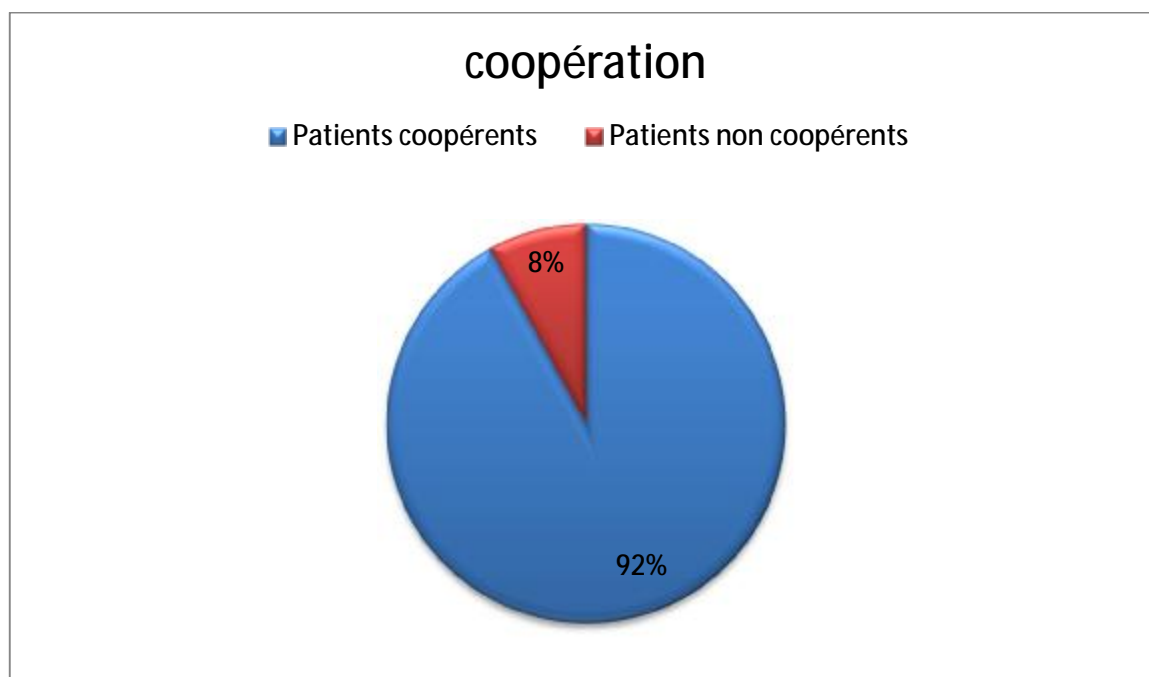


Diagramme 6 : Répartition des enfants selon la notion de coopération

**B. Mode de mesure binoculaire/ monoculaire :**

La mesure binoculaire (Figure46) a été effectuée pour 39 patients soit 75% ; tous les patients chez qui on a effectué une mesure monoculaire (Figure45) présentaient un strabisme. [Diagramme 7]

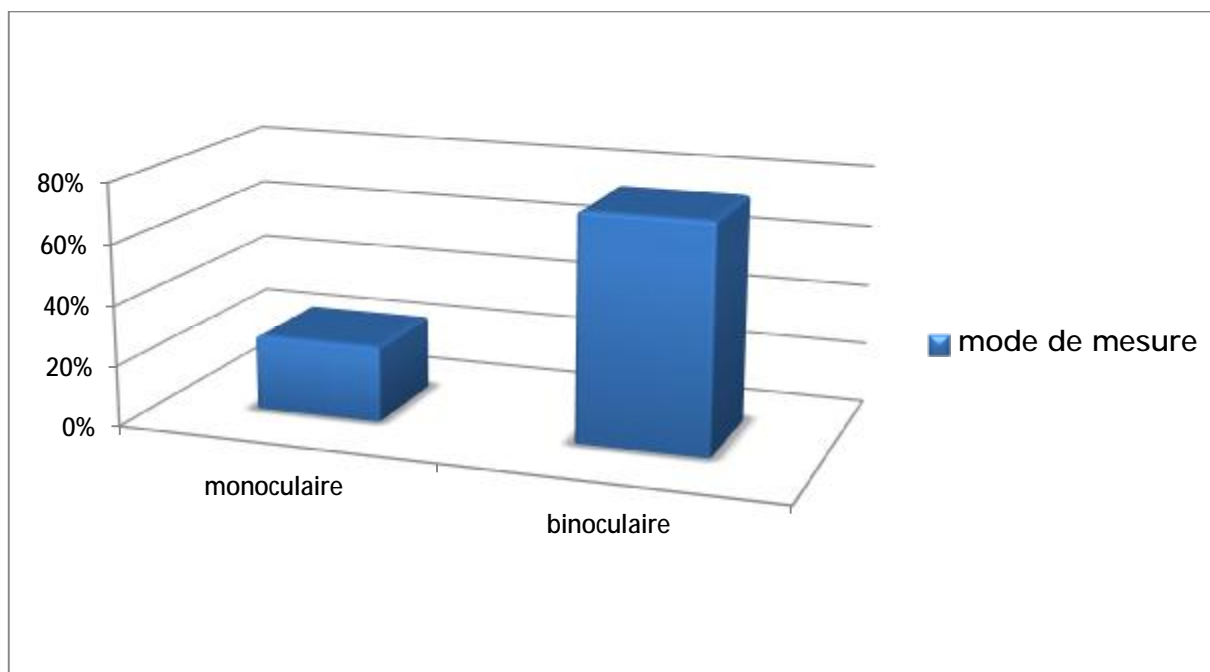


Diagramme 7 : Répartition des enfants selon le mode de mesure



Figure 45 : Mesure monoculaire

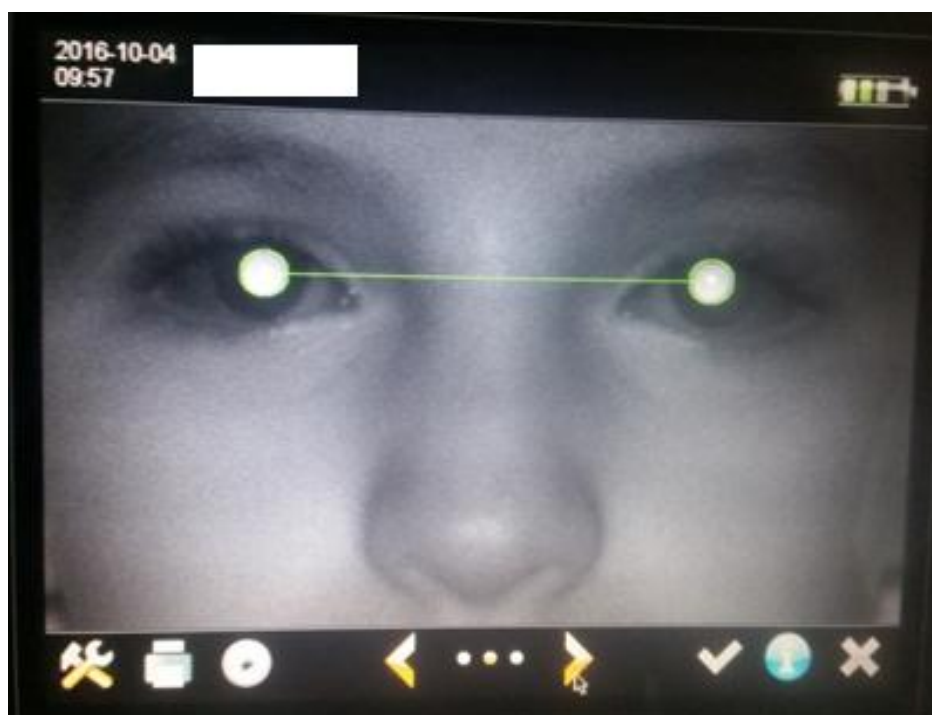


Figure 46 : Mesure binoculaire

### C. Nombre de tentatives :

Pour chaque patient, on a répertorié 4 mesures au Plusoptix.

Le nombre de tentatives variait entre 4 et 49, (49 tentatives ont été faites pour un enfant qui présentait un strabisme avec une forte hypermétropie à +7 ODG) [Figure 47]

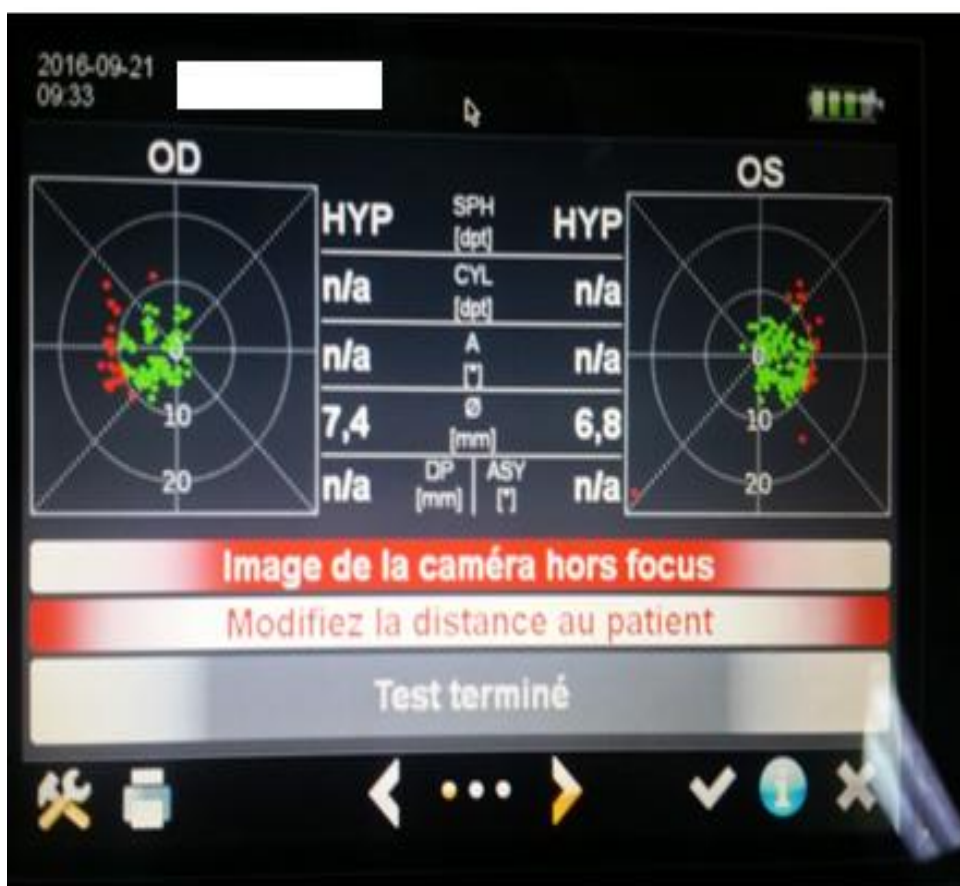


Figure 47 : Réflexes cornéens excentrés témoignant d'un strabisme, avec message d'erreur HYP vu que la valeur de la réfraction dépassait les capacités de l'appareil

### D. Temps nécessaire

La durée durant laquelle les 4 mesures ont été effectuées variait entre 1 et 17 minutes.

### E. Difficultés rencontrées :

- La mesure était impossible pour :
  - un patient qui présentait une forte myopie à -8 D ODG.
  - une patiente de 5 ans qui présentait une anisométrie sphérique : +1.75 OD, -9.50 OG, la mesure était impossible pour l'œil gauche.
  - un enfant de 3 ans qui était pseudophaque (opéré pour cataracte congénitale).

Afin de vérifier la possibilité de mesure de la réfraction par Plusoptix chez le pseudophaque, nous l'avons essayé chez des sujets opérés pour cataracte et portant des implants intra-oculaires : la mesure était possible en mode monoculaire après plusieurs messages d'erreur. (Figure 48,49)



Figure 48 : Mesure de la réfraction par Plusoptix chez un pseudophaque





Figure 49 : Mesure monoculaire chez un pseudophtalme

- Les enfants strabiques de bas âge qui nécessitaient une mesure monoculaire n'acceptaient pas facilement l'occlusion d'un œil (pour 2 enfants qui en plus, n'arrivaient pas à fixer le nez hexagonal du Plusoptix, on a dû utiliser une cible attrayante supplémentaire : bonbon, spot lumineux, dessins animés sur un téléphone portable). (Figure 50)



Figure 50 : Utilisation d'une nouvelle source attractive

- La mesure était impossible par auto-réfractomètre fixe pour une patiente de 3 ans présentant un nystagmus.

## F. Erreurs :

Principaux messages d'erreur :

### 1. Le patient ne fixe pas la caméra :

Pour les patients strabiques, on a eu recours à la mesure monoculaire. [Figure 51,52]



Figure 51 : Image d'un message d'erreur sur l'écran du Plusoptix A 12 « le patient ne fixe pas la caméra », chez un patient présentant un strabisme à grand angle.

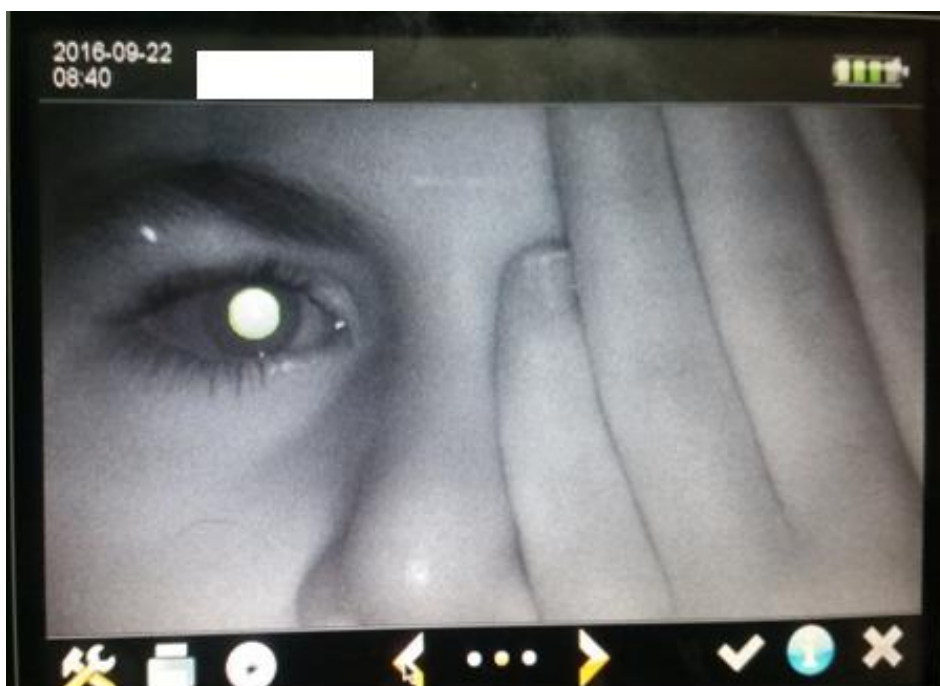


Figure 52 : Image de l'écran du Plusoptix objectivant une mesure monoculaire

## 2. Mesure incomplète : répéter la mesure [Figure 53]



Figure 53 : Image de l'écran du Plusoptix affichant le message d'erreur « mesure incomplète »

## 3. Image de la caméra hors focus : [Figure 54]

Lorsque l'écran de l'auto-réfractomètre affiche le message d'erreur suivant : Image de la caméra hors focus, il faut changer la distance au patient afin d'obtenir une mesure, elle doit être entre 95 et 105 cm.



Figure 54 : Message d'erreur « Image de la caméra hors focus »

#### 4. Pupilles non détectées :

Lorsque l'écran du Plusoptix affiche le message d'erreur : pupilles non détectées, il faut aligner la caméra sur le patient. [Figure 55]



Figure 55 : Image de l'écran du Plusoptix affichant le message d'erreur « pupilles non détectées »



### 5. Réflexes cornéens trop foncés :

Le diamètre pupillaire doit être entre 4 et 8 mm, si le message d'erreur « réflexes cornéens trop foncés » est affiché [Figure 56], Il faut fermer les rideaux ou les volets et éteindre toute autre source de lumière. Cependant, la salle d'examen ne doit pas obligatoirement être sombre. Les sources de lumière froides ne perturbent pas la mesure.



Figure 56 : Message d'erreur « Réflexes cornéens trop foncés »

### 6. Pupilles trop petites :

Le diamètre pupillaire doit être entre 4 et 8 mm, s'il est inférieur à 4 mm le message d'erreur suivant apparait « pupilles trop petites » [Figure 57], pour résoudre ce problème il suffit de réduire la lumière.



Figure 57 : Message d'erreur « Pupilles trop petites »

7. Mesure hors limites (MYO) :

Pour des myopies fortes, dépassant les capacités de l'appareil.

- C'était le cas pour 2 patients : le premier présentait une forte myopie ODG respectivement à -8.12, -8.87.
- Le 2<sup>e</sup> patient avait une anisométrie : hypermétropie OD +1.5, Myopie forte OG à -9.5 [Figure 58].



Figure 58 : Image de l'écran du Plusoptix affichant le message « MYO »



### 8. Mesure hors limites (HYP) :

Pour des hypermétropies dépassants les capacités de l'appareil. [Figure 59].

-C'était le cas pour 3 enfants :

§ Le 1<sup>er</sup> présentait une hypermétropie à 5,62 d OG,

§ Le 2<sup>e</sup> présentait une hypermétropie à +7 d ODG,

§ Le 3<sup>e</sup> présentait une hypermétropie à 6.87 OD 6.62 OG.



Figure 59 : Image de l'écran du Plusoptix affichant le message « HYP »

#### IV. Etude des amétropies tous types confondus :

##### A. Répartition selon le type :

###### 1. Mesure sous cycloplégie :

L'astigmatisme était l'amétropie la plus fréquemment rencontrée dans notre série, il a été retrouvé dans 86,12 % des yeux, suivi de l'hypermétropie et de la myopie avec respectivement 79.4 % et 19.6 %. [Diagramme 8],

###### 2. Mesure au Plusoptix :

Au Plusoptix, l'astigmatisme était présent dans 91% des yeux examinés, l'hypermétropie dans 77,4% et la myopie dans 15.68% des cas. [Diagramme 8].

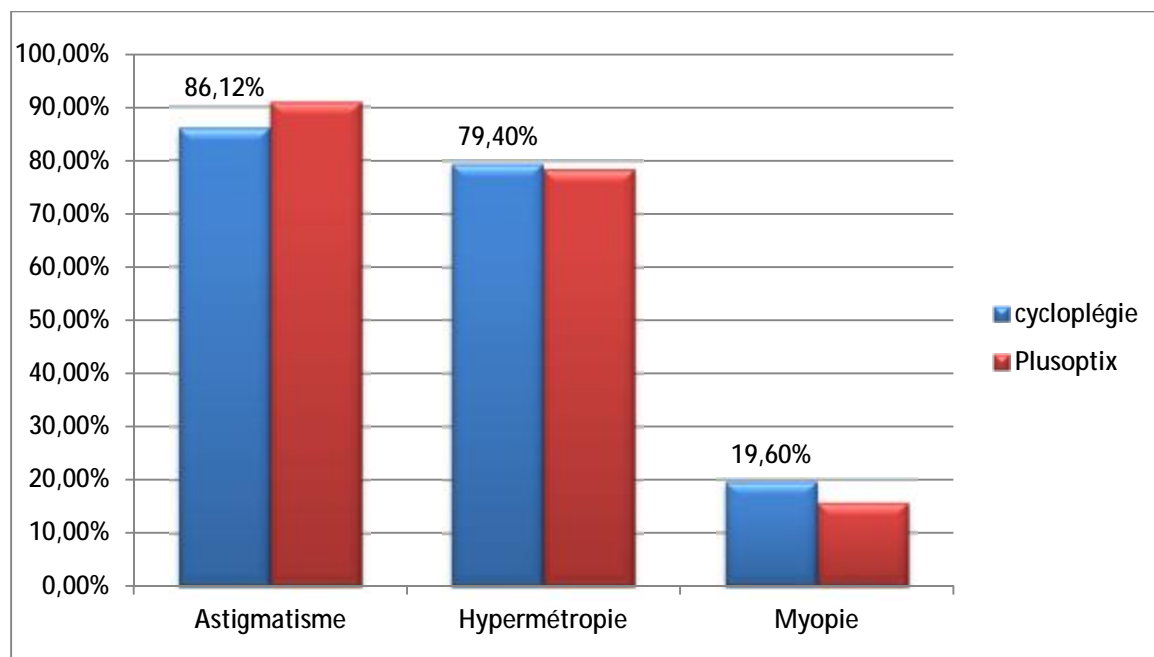


Diagramme 8 : Répartition des types d'amétropies

## B. Répartition selon le degré de sévérité :

### 1. Mesure sous cycloplégie :

L'amétropie faible représentait 60.2% de la totalité des amétropies tous types confondus, suivie de l'amétropie modérée qui représentait 24.7%, l'amétropie forte ne représentait que 15.1% des cas. [Diagramme n°9].

### 2. Mesure au Plusoptix :

Au Plusoptix : les amétropies faibles représentaient 65.6%, modérées 21.1% et fortes 13.3%. [Diagramme n°9].

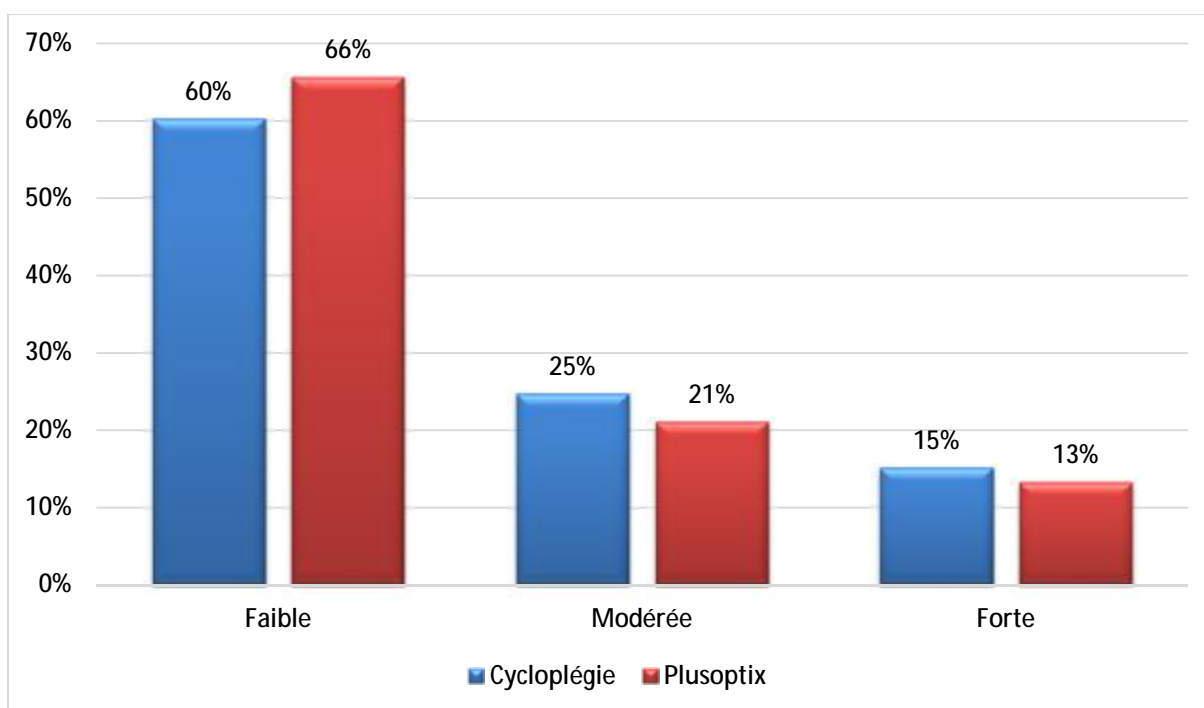


Diagramme 9 : Répartition des amétropies selon la sévérité

## V. L'hypermétropie :

### A. La prévalence globale :

#### 1. Sous cycloplégie :

L'hypermétropie tous degrés confondus était retrouvée dans 79.4% des yeux examinés. Ses valeurs dans notre échantillon variaient entre +0.25 et +7d avec une moyenne de  $+2.29 \pm 1,66$ .

#### 2. Mesure au Plusoptix :

Au Plusoptix, l'hypermétropie était retrouvée dans 78.4 % des cas, les valeurs variaient entre +0.25 et +4.5, la valeur moyenne était de  $+1,68 \pm 1,15$ .

### B. Répartition selon les tranches d'âge :

#### 1. Mesure sous cycloplégie :

36 % des enfants hypermétropes dans notre série étaient âgés entre 9 et 12 ans, 23 % entre 3 et 6 ans. [Diagramme n°10],

#### 2. Mesure au Plusoptix

38 % des enfants hypermétropes étaient âgés entre 9 et 12 ans, 24% entre 3 et 6 ans [Diagramme n°10],

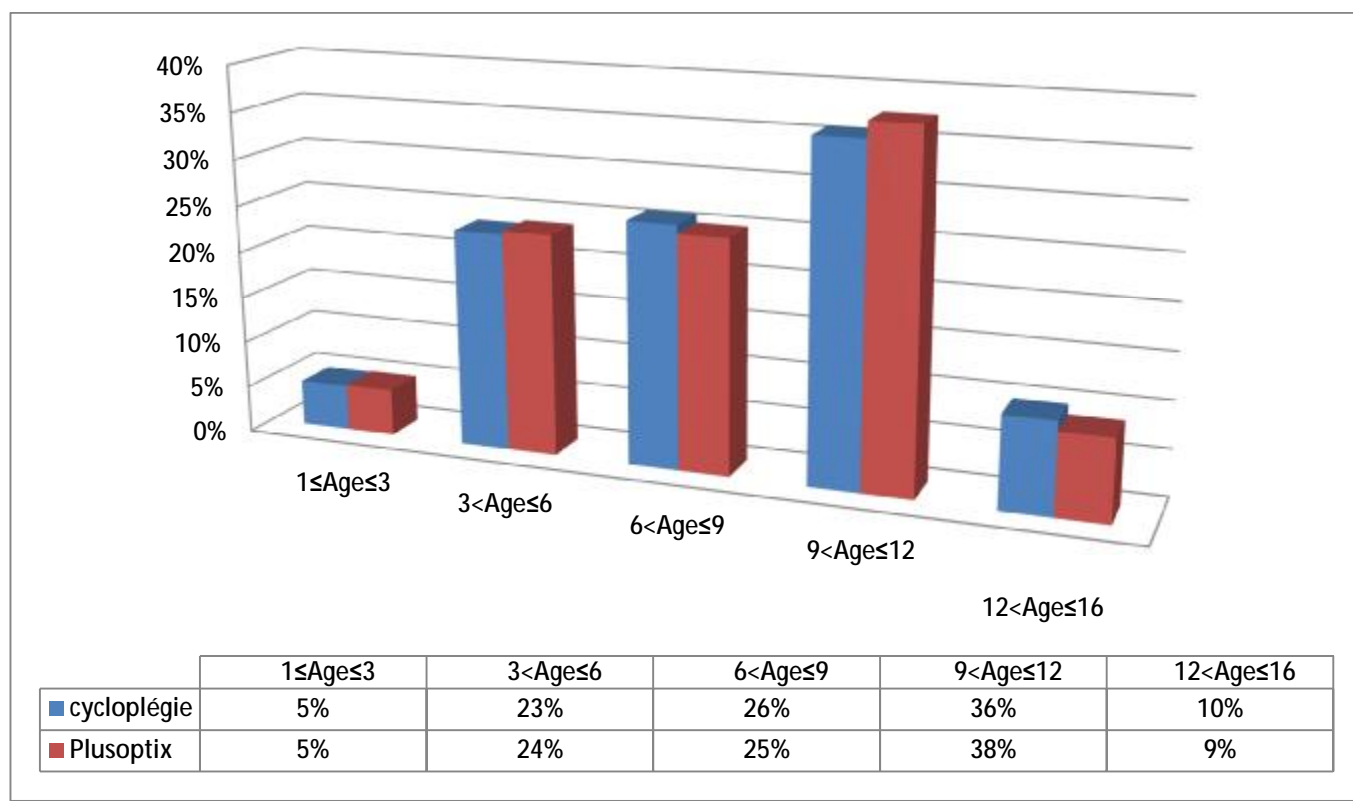


Diagramme 10 : Répartition de l'hypermétropie selon les tranches d'âge

## C. Prévalence selon le sexe :

### 1. Mesure sous cycloplégie :

Dans notre série, 21 garçons présentaient une hypermétropie soit 40.38% de la totalité des enfants, contre 19 filles soit 36,53%. [Diagramme n°11].

### 2. Mesure au Plusoptix :

Au Plusoptix, 22 garçons présentaient une hypermétropie soit 42,3% contre 18 filles soit 34.61%. [Diagramme n°11],

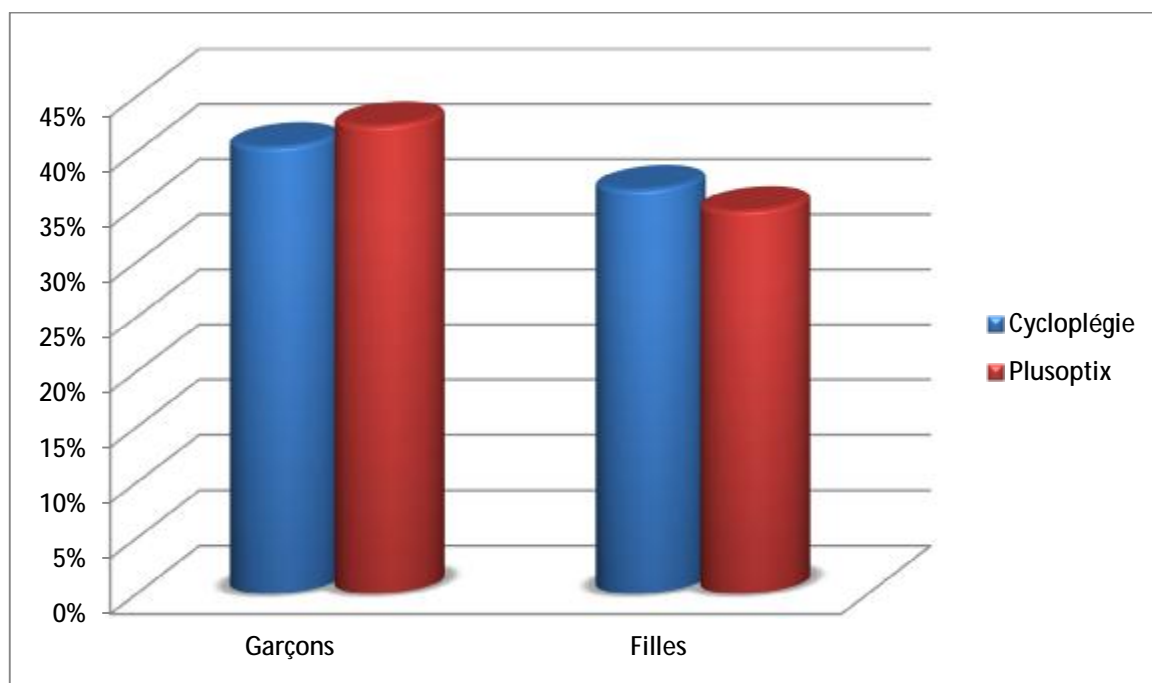


Diagramme n°11 : Prévalence de l'hypermétropie selon le sexe

## D. Prévalence selon la sévérité :

### 1. Sous cycloplégie

L'hypermétropie était faible dans 56.25% des cas. La forme modérée représentait 20.98% des cas. Dans 22.5% des cas, l'hypermétropie était forte. [Diagramme n°12],

### 2. Au Plusoptix :

Au Plusoptix, 66.25 % des hypermétropies retrouvées étaient faibles, 18.75 % modérées et 15% fortes. [Diagramme n°12],

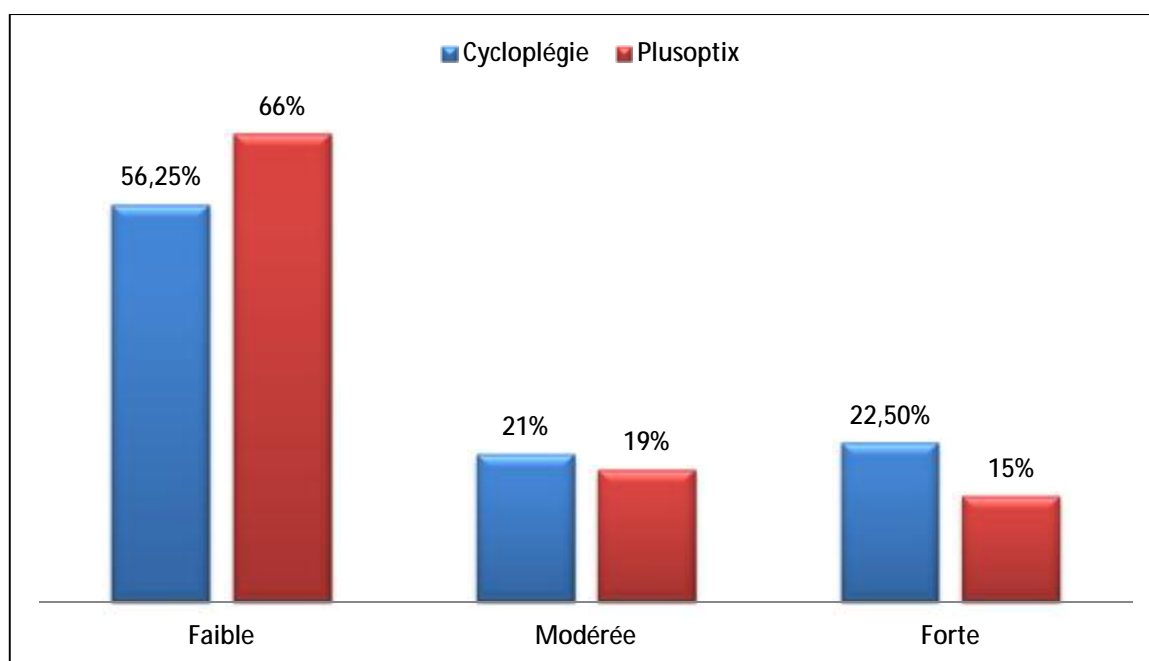


Diagramme n° 12 : Répartition de l'hypermétropie selon la sévérité

## VI. La myopie :

### A. La prévalence globale :

#### 1. Sous cycloplégie :

La myopie tous degrés confondus était retrouvée dans 19.6 % des yeux examinés, dans notre série les valeurs variaient entre -0.25 et -9.5 avec une valeur moyenne -1.73.

#### 2. Au Plusoptix :

La myopie était retrouvée dans 15,68% des yeux examinés, les valeurs variaient entre -0.25 et -4.25 avec une valeur moyenne de -1.97.



## B. Répartition selon les tranches d'âge :

### 1. Sous cycloplégie

75% % des enfants myopes étaient âgés entre 12 et 16 ans. [Diagramme n°13],

### 2. Au Plusoptix :

68,75 % des enfants myopes étaient âgés entre 12 et 16 ans. [Diagramme n°13],

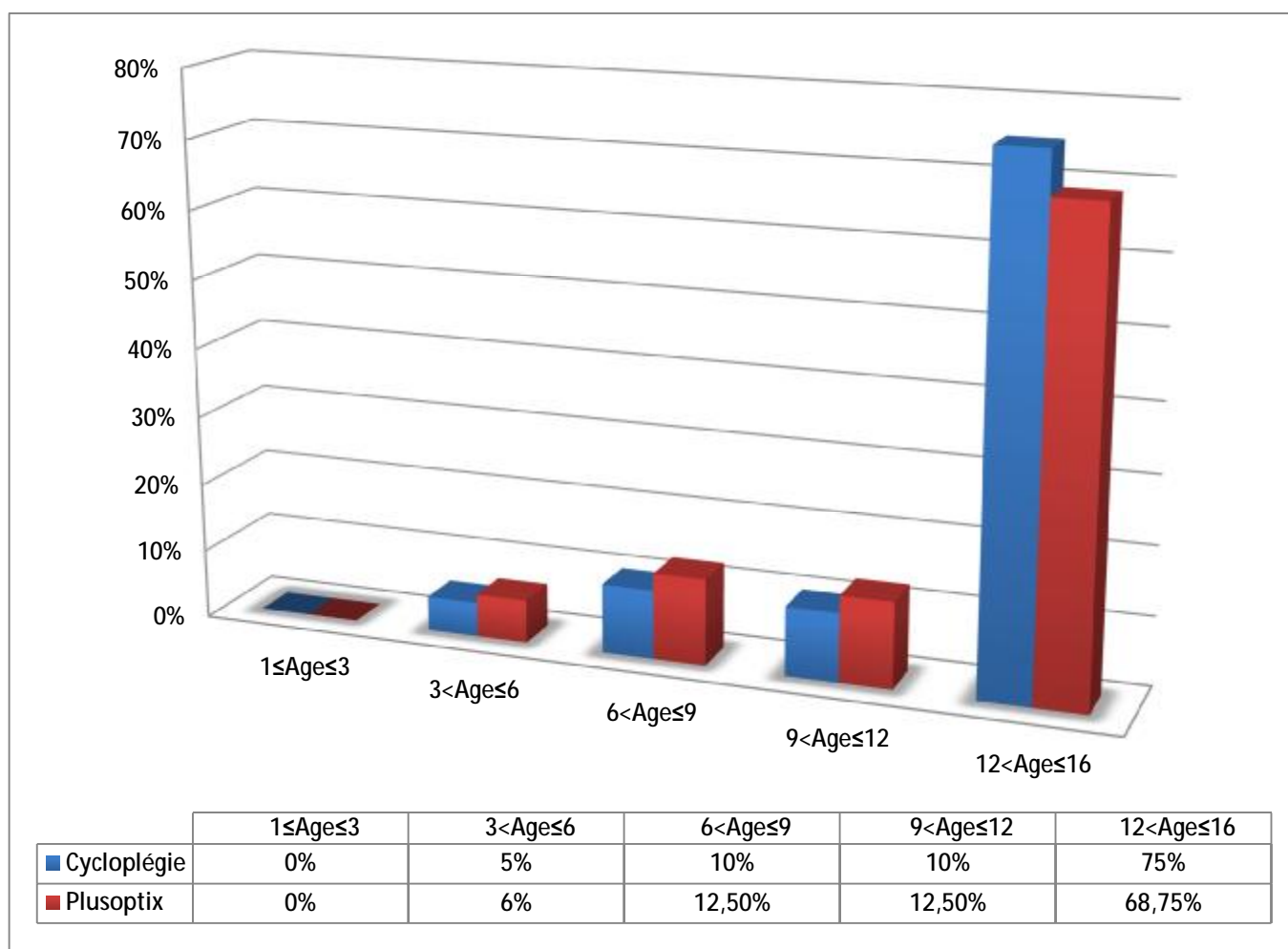


Diagramme 13 : Répartition de la myopie selon les tranches d'âge

### c. Prévalence selon le sexe :

#### 1. Sous cycloplégie :

Dans notre série, le pourcentage des garçons qui présentaient une myopie était de 8,8% de la totalité des enfants, contre 10.7% pour les filles. (Diagramme n°14).

#### 2. Au Plusoptix :

Au Plusoptix 6,8 % des garçons présentaient une myopie contre 8,8% des filles.

[Diagramme n°14],

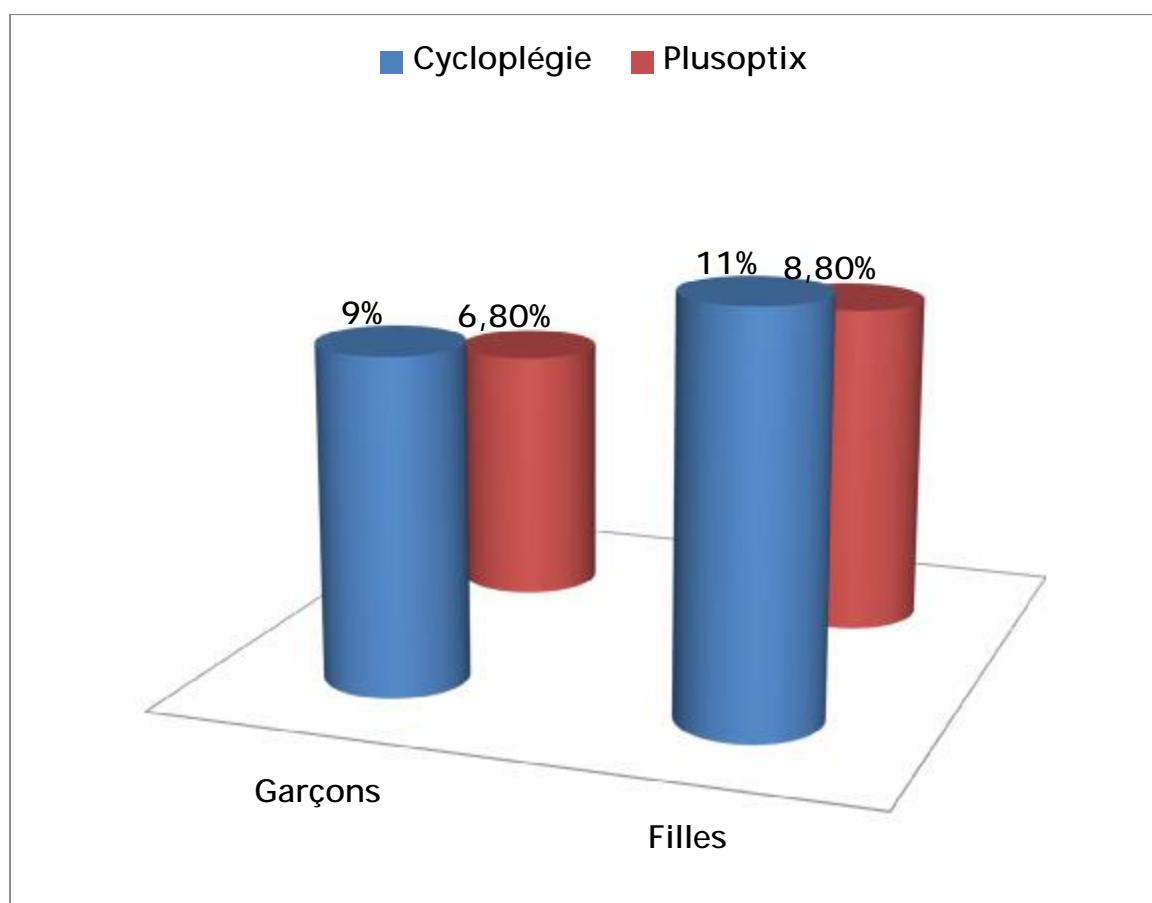


Diagramme 14 : Prévalence de la myopie selon le sexe

## D. Répartition selon la sévérité :

### 1. Sous cycloplégie :

Parmi les 20 yeux myopes : 14 présentaient une myopie faible, 3 une myopie modérée et 3 une forte myopie. [Diagramme n°15],

### 2. Au Plusoptix :

Parmi les 16 yeux myopes : 9 avaient une myopie faible, 4 une myopie modérée et 3 une forte myopie. [Diagramme n°15],

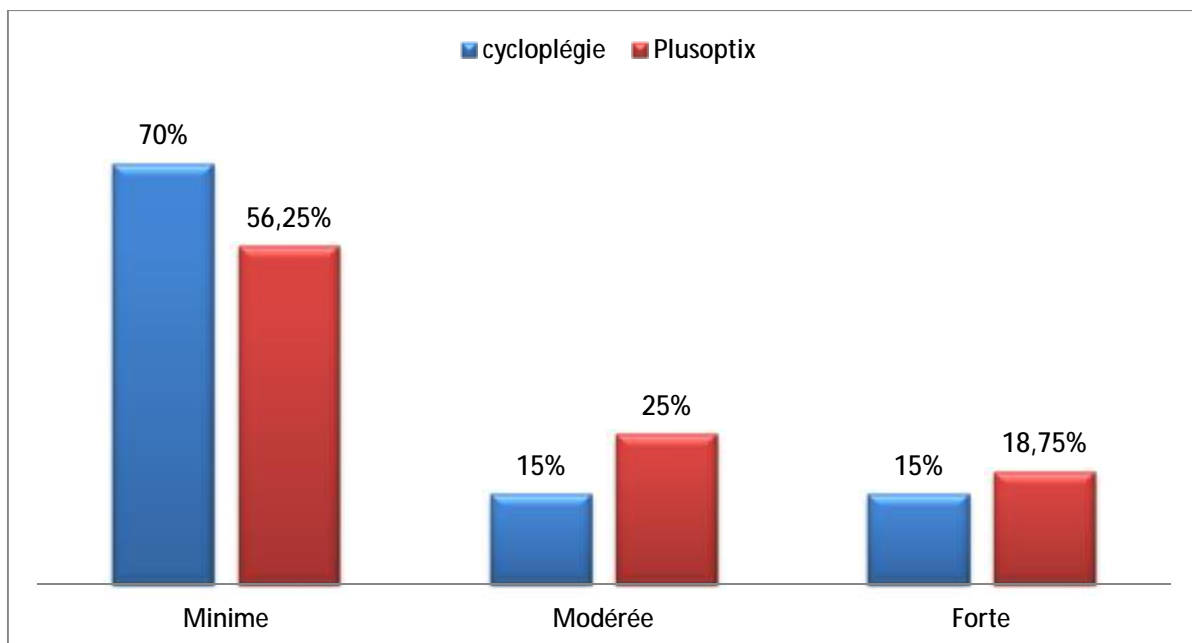


Diagramme n° 15 : Répartition de la myopie selon la sévérité

## VII. L'astigmatisme :

### A. Prévalence globale

#### 1. Sous cycloplégie :

La prévalence de l'astigmatisme tous types confondus était de 86.12%.

L'astigmatisme simple représentait 2.2 % des cas. L'astigmatisme était composé dans 97.8% des cas, associé à la myopie dans 18.8% des cas et à l'hypermétropie dans 79 % des cas. [Diagramme n°16],

La valeur moyenne était de  $-0.80 \pm 0.89$ .

#### 2. Au Plusoptix :

La prévalence de l'astigmatisme tous types confondus était de 91%.

L'astigmatisme simple représentait 5.3 % des cas. L'astigmatisme était composé dans 94.7 % des cas, associé à la myopie dans 12.9% des cas et à l'hypermétropie dans 81.8% des cas.

La valeur moyenne était de  $-0.95 \pm 0.97$ . [Diagramme n°16],

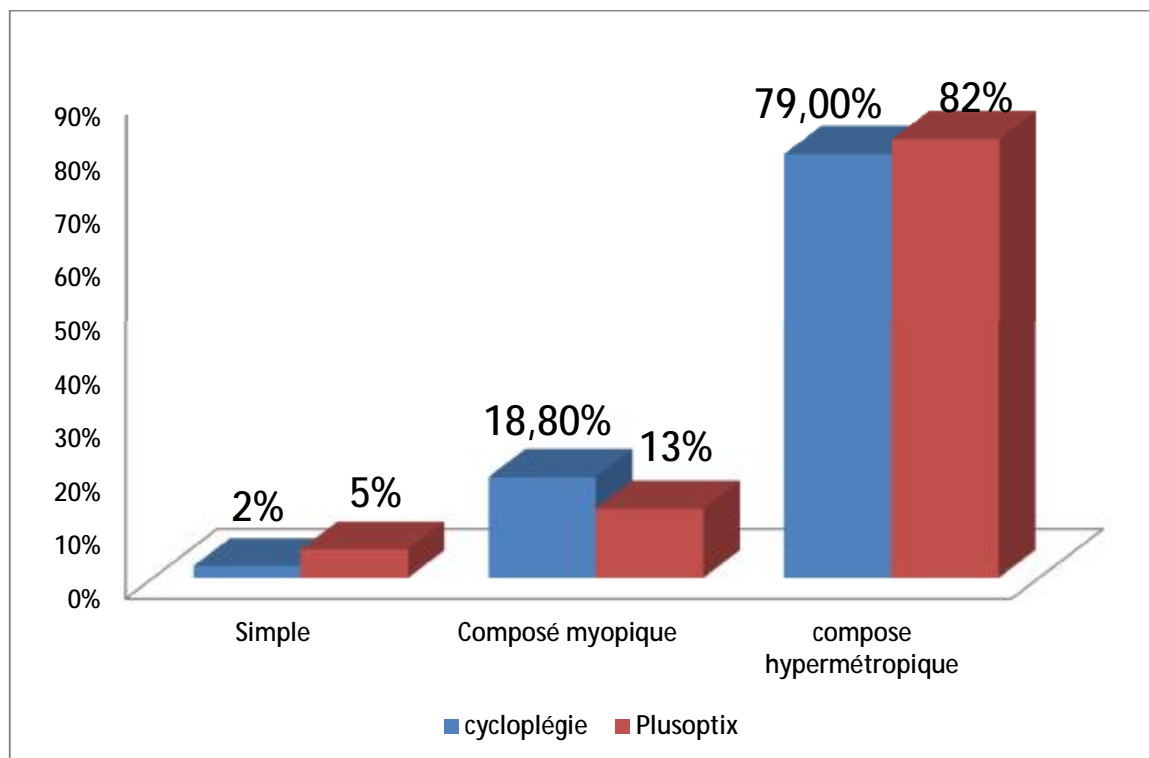


Diagramme n°16 : Prévalence des différents types d'astigmatisme

## B. Répartition selon les tranches d'âge :

### 1. Sous cycloplégie

31 % des enfants astigmatés dans notre série étaient âgés entre 9 et 12 ans, 22% entre 6 et 9 ans, et 20% étaient âgés de plus de 12 ans. [Diagramme n°17],

### 2. Au Plusoptix :

Dans notre travail, 31,91% des enfants astigmatés étaient âgés entre 9 et 12 ans, 21.27% entre 6 et 9 ans, et 23.4 % étaient âgés de plus de 12 ans.

[Diagramme n°17],

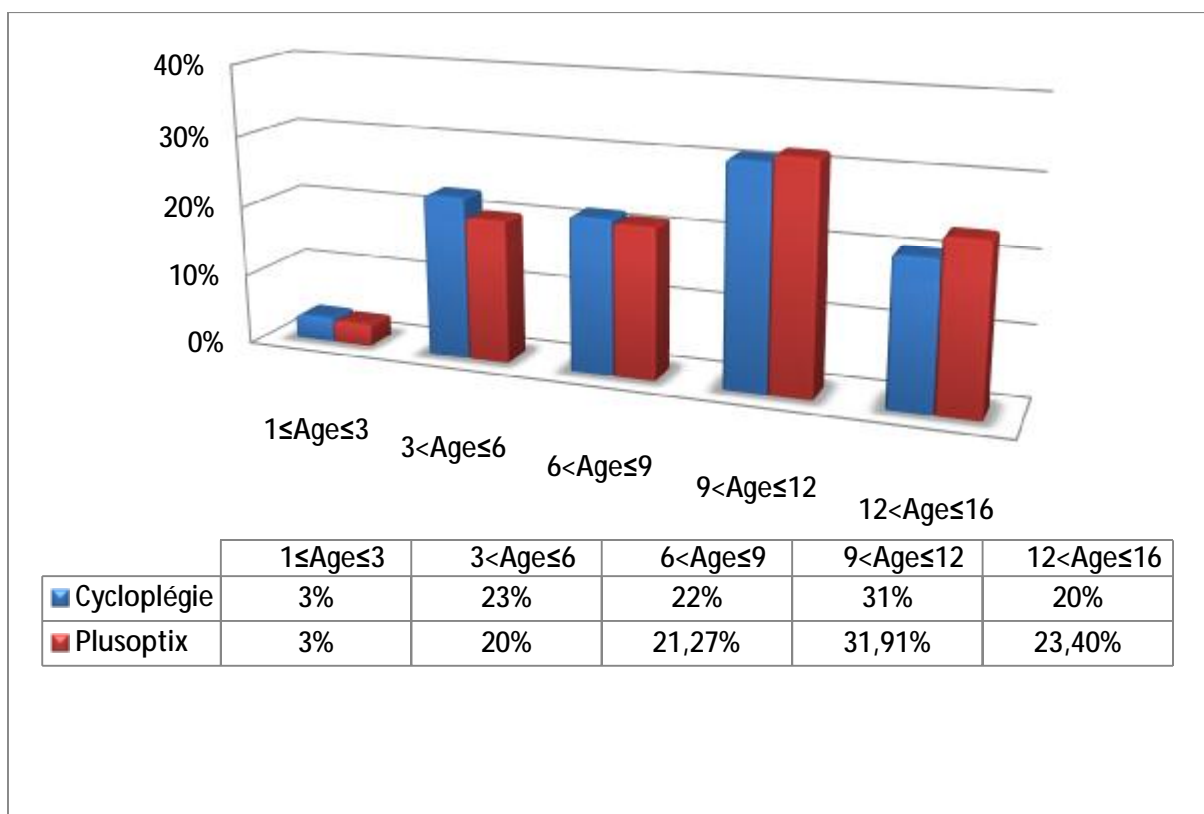


Diagramme 17 : Répartition des enfants astigmatés selon les tranches d'âge

## C.Prévalence selon le sexe

### 1. Cycloplégie

Dans notre étude, 88.3 % des garçons présentaient un astigmatisme, contre 84.31% pour les filles. (Diagramme n°18).

### 2. Plusoptix

90.19% des garçons présentaient un astigmatisme, contre 92.15% des filles.

[Diagramme n°18],

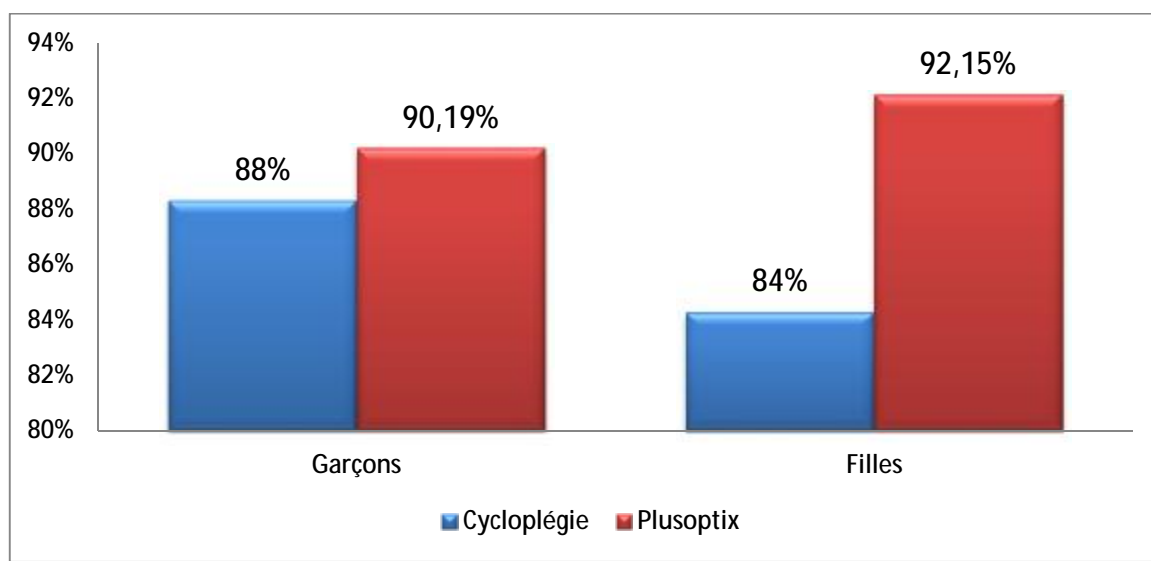


Diagramme 18 : Prévalence des enfants astigmatés selon le sexe

## D. Répartition selon la sévérité

### a. Sous cycloplégie :

L'astigmatisme faible était retrouvé dans 62.20% des cas. La forme modérée représentait 29.8% des cas. L'astigmatisme fort représentait 8% des cas. [Diagramme n°19],

### b. Au Plusoptix :

Au Plusoptix, l'astigmatisme faible était retrouvé dans 65.9% des cas. La forme modérée représentait 22.3% des cas. L'astigmatisme fort représentait 11.8% des cas.

[Diagramme n°19],

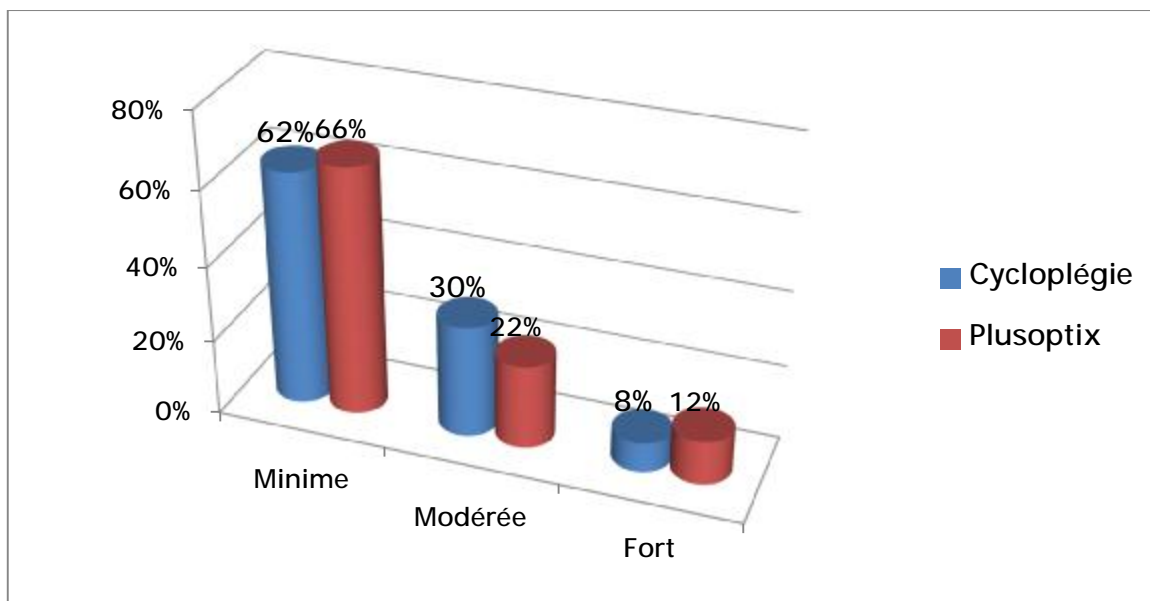


Diagramme 19 : Répartition selon la sévérité

### /III. L'anisométrie :

#### A. Sous cycloplégie :

Dans notre série, nous avons noté 11 cas d'anisométrie, soit 21%.

Cette dernière était faible dans 15% des yeux examinés, modérée dans 3,8 % des cas et forte dans 1,9% des cas. (Diagramme20)

#### B. Au Plusoptix :

Au Plusoptix, 10 cas d'anisométrie ont été signalés.

L'anisométrie était faible dans 13,4 % des yeux examinés, modérée dans 3,8% des cas et forte dans 1,9 % des cas. [Diagramme n°20],

L'anisométrie a entraîné une amblyopie chez 6 enfants, soit 54% (Diagramme n° 21).

Le Plusoptix peut donc sous-estimer le diagnostic des anisométries faibles.



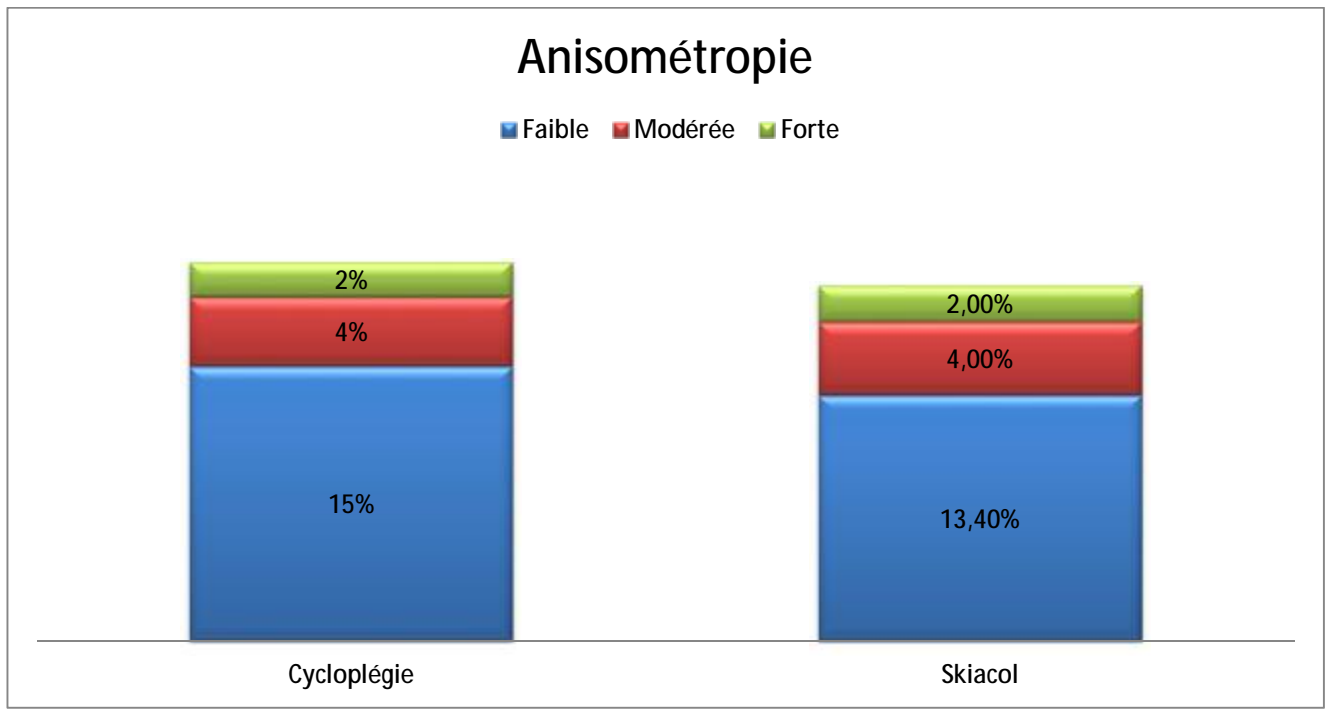


Diagramme 20 : Répartition des anisométries selon la sévérité

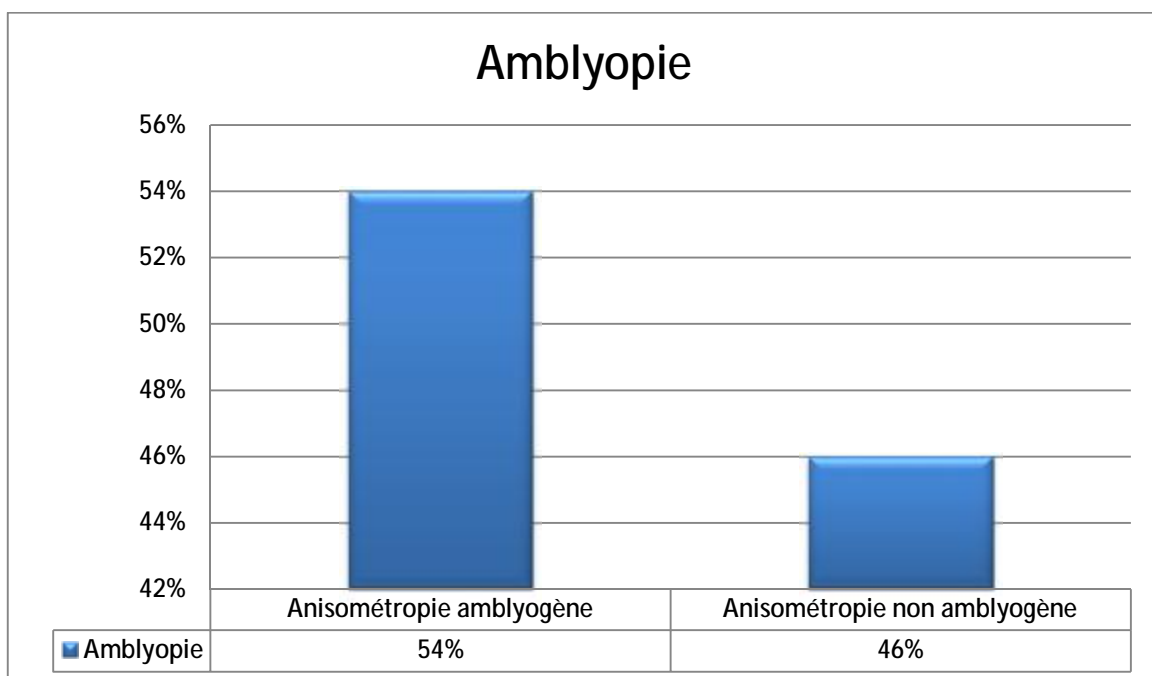


Diagramme 21 : Association amblyopie-anisométrie

## IX. Comparaison des 2 méthodes :

### A. Equivalent sphérique :

Tableau 1 : Moyenne des équivalents sphériques

ES	Moyenne±ET	P (degré de signification)
Sous cycloplégie	1,94±1,40	0,00
Au Plusoptix	1,46 ±1,10	

-La valeur moyenne des équivalents sphériques est de  $1,94\pm 1,40$  pour la réfraction cycloplégique,  $1,46\pm 1,10$  pour la réfraction au Plusoptix.

- La différence moyenne entre les 2 méthodes de réfraction :  $-0.48\pm 1.06$ , cette différence était statistiquement significative avec un degré de signification  $p : <0.001$ .

- Coefficient de corrélation de Pearson ( r ) :  $r = +0.66$ ,  $p < 0.001$ , la réfraction au Plusoptix est significativement et positivement corrélée à la réfraction cycloplégique.

Le graphique de Bland-Altman, représente la concordance entre les 2 types de réfraction en ce qui concerne les équivalents sphériques. Les limites d'agrément variaient entre :  $[-2.56 ; 1.59]$  (Figure 60)

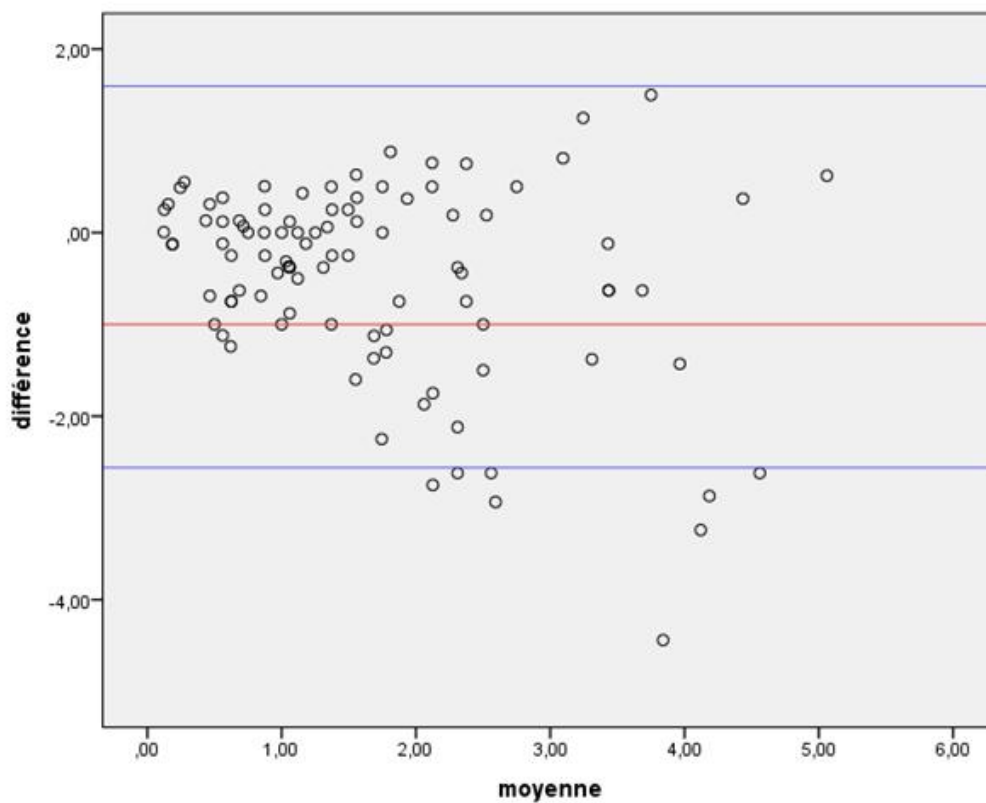


Figure 60 : Graphique de Bland- Altman montrant la concordance entre les 2 types de réfraction en ce qui concerne l'équivalent sphérique

Chez les enfants strabiques, la différence moyenne des équivalents sphériques entre les 2 types de réfraction s'élevait à  $-1.11 \pm 1.28$ , avec un degré de signification  $p < 0.05$ .

**B. Comparaison des valeurs sphériques :**

Tableau 2 : Comparaison des valeurs sphériques entre les 2 méthodes

<u>Sphère</u>	<u>Moyenne+/- ET</u>	<u>P (degré de signification)</u>
Sous cycloplégie	2,17±1,62	0,00
Plusoptix	1,75±1,21	

-La valeur moyenne pour les amétropies sphériques tous types confondus est de  $2,17\pm 1,62$  pour la réfraction cycloplégique,  $1,75\pm 1,21$  pour la réfraction au Plusoptix.

- La différence moyenne entre les 2 types de réfraction :  $-0.42\pm 1.03$ , cette différence était statistiquement significative avec un degré de signification  $p : <0.001$ .

- Coefficient de corrélation de Pearson ( r ) :  $r = +0.77$ ,  $p < 0.001$ , la réfraction au Plusoptix est significativement et positivement corrélée à la réfraction cycloplégique.

-Le graphique de Bland-Altman, représente la concordance entre les 2 types de réfraction en ce qui concerne les valeurs sphériques. Les limites d'agrément variaient entre :  $[-2.45 ; 1.60]$  (Figure 61)

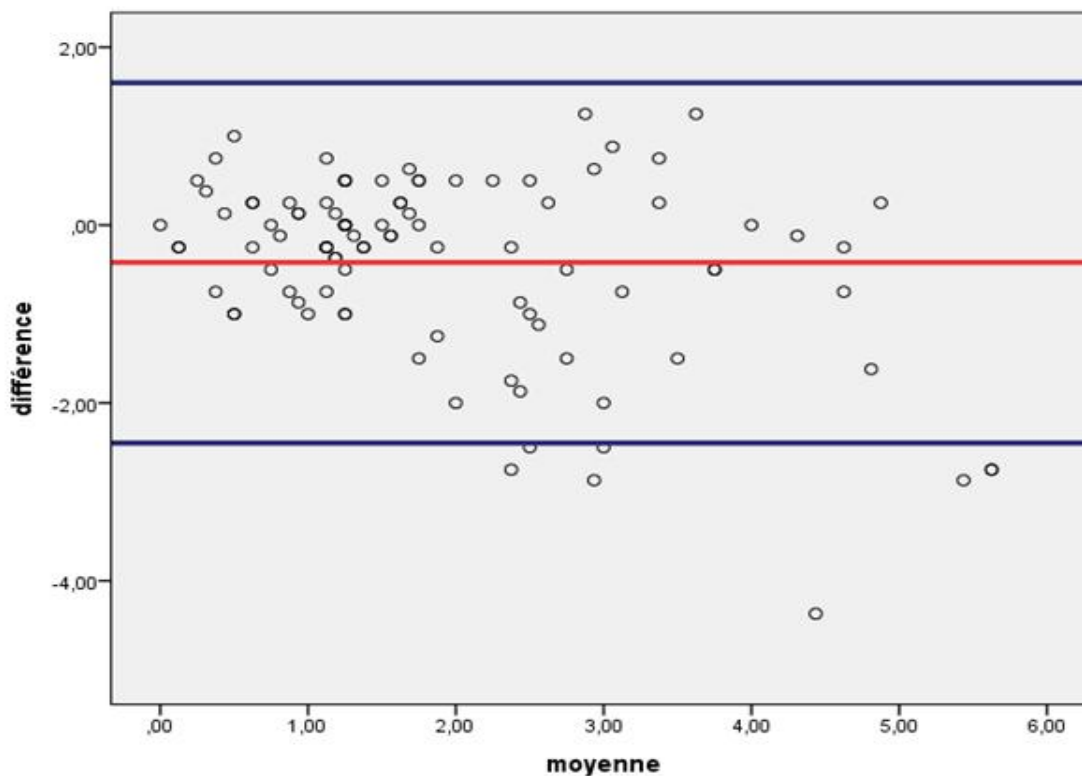


Figure 61 : Graphique de Bland- Altman montrant la concordance entre les 2 types de réfraction en ce qui concerne les valeurs sphériques

### 1. Hypermétropie :

Tableau 3 : Comparaison des valeurs moyennes de la composante hypermétropique entre les 2 méthodes

<u>Sphère</u>	<u>Moyenne±ET</u>	<u>P (degré de signification)</u>
Sous cycloplégie	2,29±1,66	0,000
Plusoptix	1,68±1,15	

-La valeur moyenne pour la composante sphérique hypermétropique est de  $2,29 \pm 1,66$  pour la réfraction sous skiacol,  $1,68 \pm 1,15$  pour la réfraction au Plusoptix.

- La différence moyenne entre les 2 types de réfraction :  $-0,61 \pm 1,03$ , cette différence était statistiquement significative avec un degré de signification  $p : < 0,001$ .

- Coefficient de corrélation de Pearson ( r ) :  $r = +0.78$ ,  $p < 0.001$ , la réfraction au Plusoptix est significativement et positivement corrélée à la réfraction cycloplégique.

-Le graphique de Bland-Altman, représente la concordance entre les 2 types de réfraction en ce qui concerne la composante hypermétropique des valeurs sphériques. Les limites d'agrément étaient entre :  $[-2.63 ; 1.41]$  (Figure62).

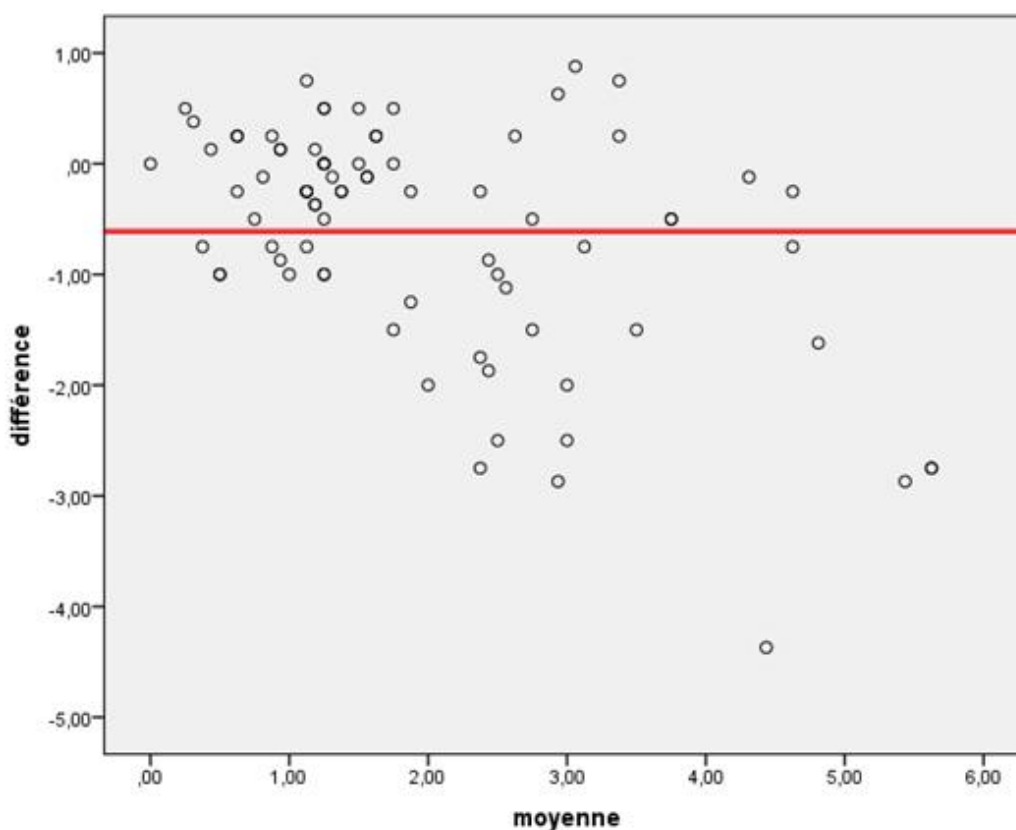


Figure 62 : Graphique de Bland- Altman montrant la concordance entre les 2 types de réfraction en ce qui concerne l'hypermétropie

2. Myopie :

Tableau 4 : Comparaison des valeurs moyennes de la composante myopique entre les 2 méthodes

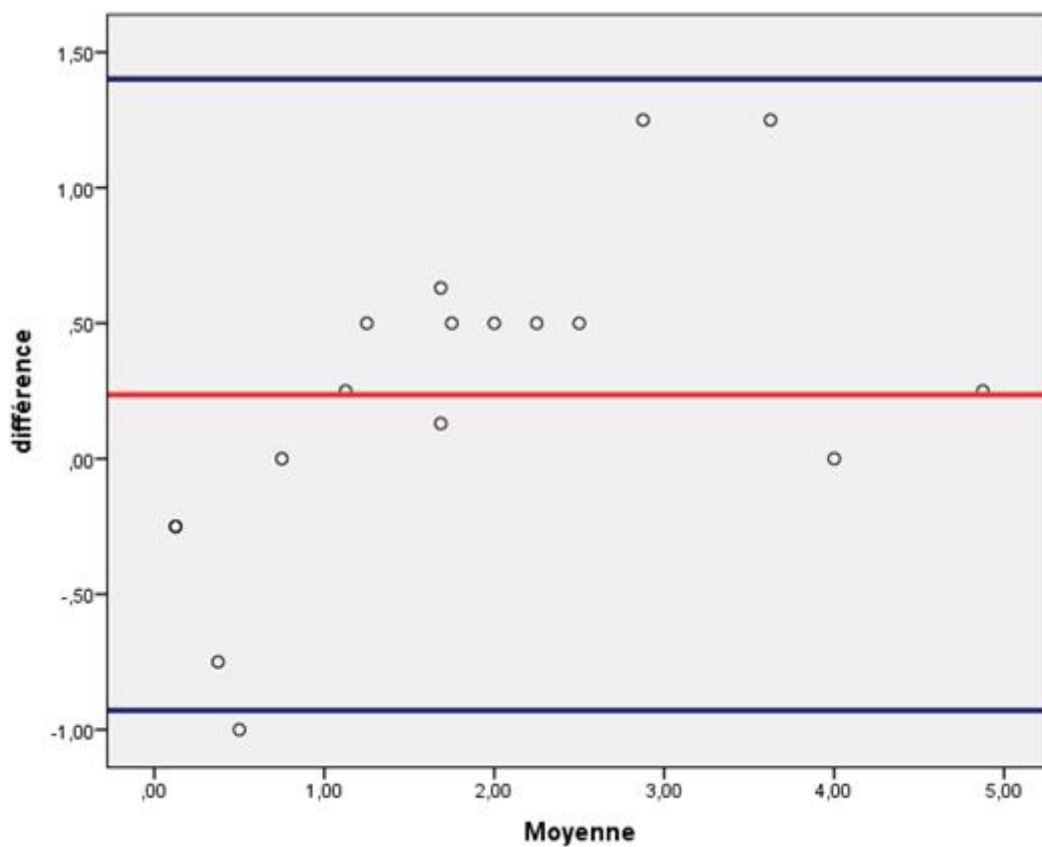
<u>Sphère</u>	<u>Moyenne±ET</u>	<u>P (degré de signification)</u>
Skiacol	1,73±1,23	0,121
Plusoptix	1,97±1,57	

-La valeur moyenne (en valeurs absolues) pour la composante sphérique myopique est de  $1,73\pm 1,23$  pour la réfraction sous skiacol,  $1,97\pm 1,57$  pour la réfraction au Plusoptix.

- La différence moyenne entre les 2 types de réfraction :  $0.23 \pm 0.59$ , cette différence n'était pas statistiquement significative avec un degré de signification  $p : 0.121 > 0.05$ .

- Coefficient de corrélation de Pearson (r) :  $r = +0.93$ ,  $p < 0.001$ , la réfraction au Plusoptix est significativement et positivement corrélée à la réfraction cycloplégique.

-le graphique de Bland-Altman, témoigne de la concordance entre les 2 types de réfraction en ce qui concerne la composante myopique des valeurs sphériques. Les limites d'agrément étaient comme suit:  $[-0.92 ; 1.40]$  (Figure 63)



I

Figure 63 : Graphique de Bland- Altman montrant la concordance entre les 2 types de réfraction en ce qui concerne la myopie



### C. Réfraction cylindrique

Tableau 5 : Comparaison des valeurs moyennes de la réfraction cylindrique entre les 2 types de réfraction

<u>Astigmatisme</u>	<u>Moyenne±ET</u>	<u>P (degré de signification)</u>
Skiacol	0.80±0.89	0,00
Plusoptix	0.95±0.97	

-La valeur moyenne (en valeurs absolues) pour les amétropies cylindriques est de  $0.80 \pm 0.89$ , pour la réfraction sous skiacol,  $0.95 \pm 0.97$  pour la réfraction au Plusoptix.

- La différence moyenne entre les 2 types de réfraction :  $0.14 \pm 0.38$ , cette différence était statistiquement significative avec un degré de signification  $p < 0.001$ .

- Coefficient de corrélation de Pearson ( r ) :  $r = +0,92$ ,  $p < 0.001$ , la réfraction au Plusoptix est significativement et positivement corrélée à la réfraction cycloplégique.

-le graphique de Bland-Altman, compare les moyennes des mesures à leurs différences et montre la concordance entre les 2 types de réfraction en ce qui concerne la réfraction cylindrique, avec des limites d'agrément entre :  $[-0.59 ; 0.89]$  (Figure 64)

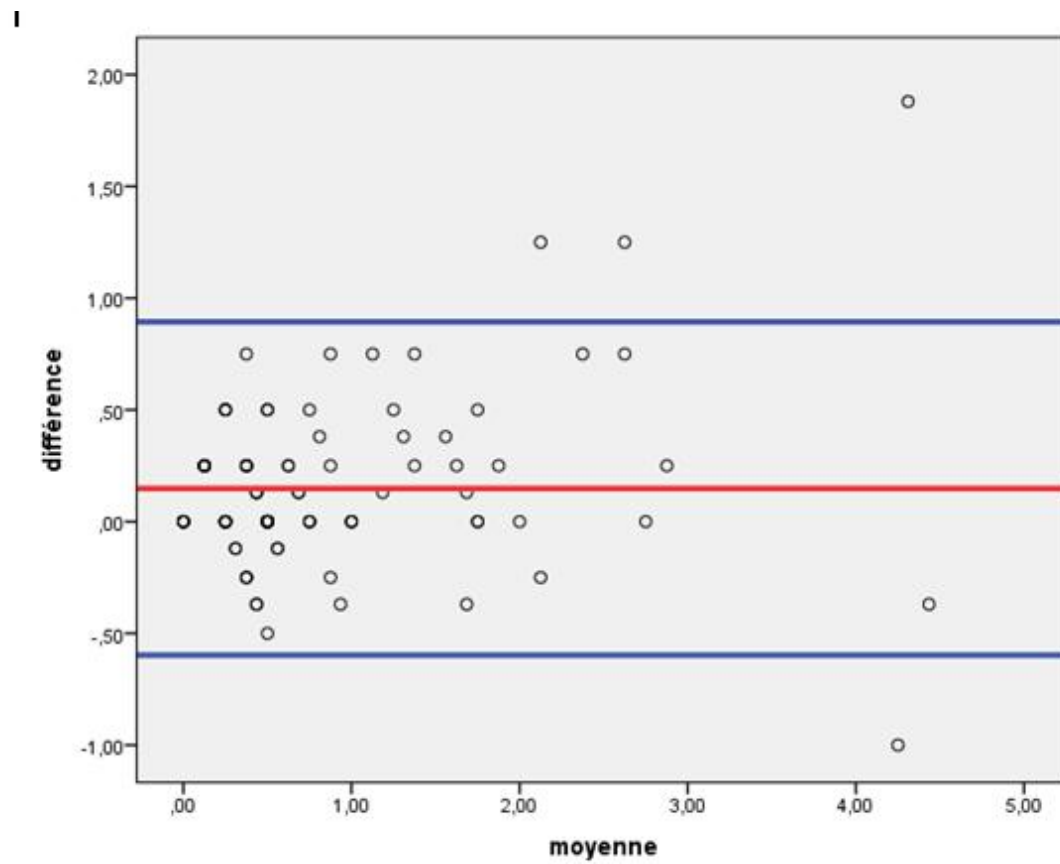


Figure 64 : Graphique de Bland- Altman montrant la concordance entre les 2 types de réfraction en ce qui concerne l'astigmatisme

D. Axe :

Tableau 6 : Comparaison des valeurs moyennes des axes de l'astigmatisme entre les 2 types de réfraction

<u>Axe</u>	<u>Moyenne±ET</u>	<u>P ( degré de signification)</u>
Skiacol	63.44±69.27	0,08
Plusoptix	69.05±68.95	

-La valeur moyenne de l'axe de l'astigmatisme est de 63.44 +/- 69.27 pour la réfraction sous skiacol, 69.05 +/- 68.95 pour la réfraction au Plusoptix.

- La différence moyenne entre les 2 types de réfraction : 5.60 ±31.89, cette différence n'était pas statistiquement significative avec un degré de signification p : 0.087 > 0.05.

- Coefficient de corrélation de Pearson (r) : r= +0,89, p<0.001, la réfraction au Plusoptix est significativement et positivement corrélée à la réfraction cycloplégique.

-le graphique de Bland-Altman, représente la concordance entre les 2 types de réfraction en ce qui concerne l'axe de l'astigmatisme. Les limites d'agrément : [-56.89 ; 68.11] (Figure 65)

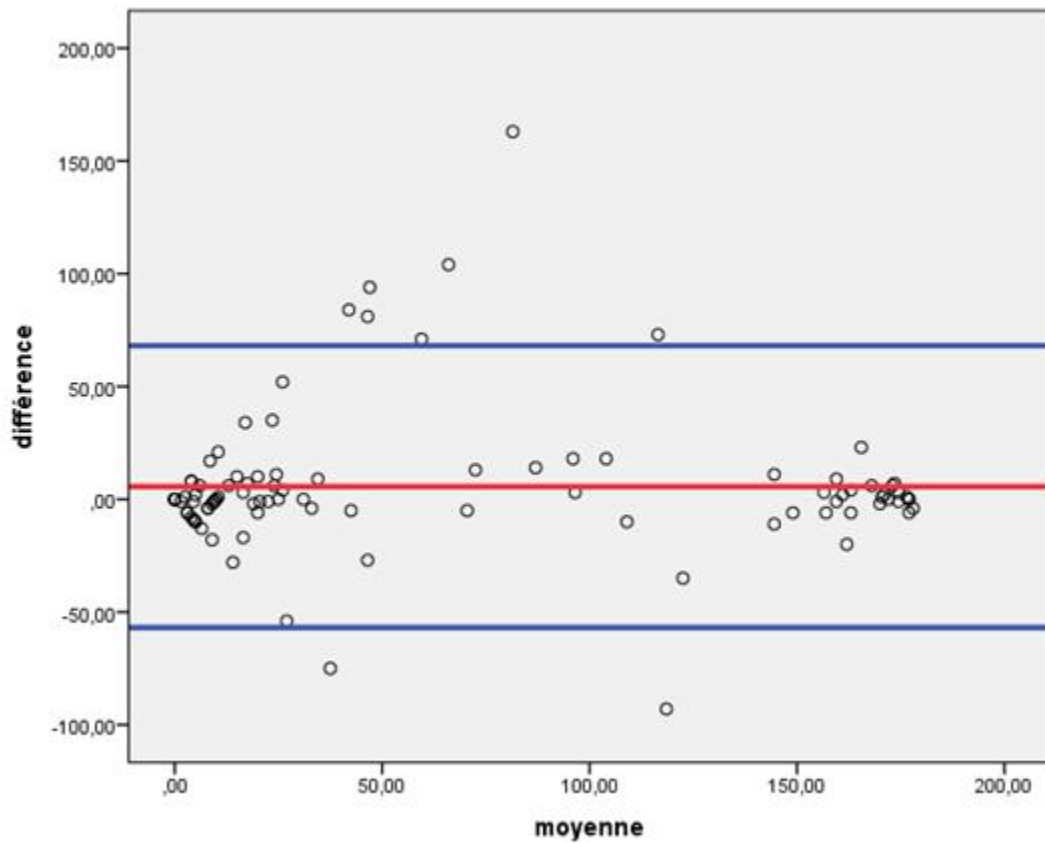


Figure 65 : Graphique de Bland- Altman montrant la concordance entre les 2 types de réfraction en ce qui concerne l'axe de l'astigmatisme

# DISCUSSION

Il faut prendre en considération que de potentielles erreurs peuvent intervenir lors des différentes mesures. Elles peuvent être dues à plusieurs facteurs, comme le mauvais alignement du patient ou l'erreur humaine. Néanmoins, nous avons tenté de conserver le maximum de rigueur lors des prises des mesures afin de respecter notre protocole.

Dans cette étude, les enfants ont été examinés avec la plus nouvelle génération des Plusoptix : le Plusoptix A12. À notre connaissance, il n'a été testé à ce jour que dans une seule étude. (86)

L'âge de nos patients était compris entre 3 et 16 ans. D'autres auteurs ont réalisé des études afin de comparer le Plusoptix à la réfraction cycloplégique sur des tranches d'âge approximatives : (Tableau 7)

Dans l'étude faite par Miri Fogel-Levin, l'âge des enfants était compris entre 1 et 17 ans [86]. Dans le travail de Mona Fadl et al, fait en Egypte, l'âge des enfants variait entre 4 et 16 ans avec une moyenne d'âge proche de la nôtre ( $8.8 \pm 2.6$ ). [73] Arnaud Payerols et Soner Demirel (84,85) ont fait des études portant sur des enfants âgés respectivement de 1 à 12 ans et de 1 à 13 ans. L'étude Irlandaise effectuée par LAURA M (77), a porté sur des enfants âgés de moins de 8 ans.

S. Matta (80) dans son étude sur les performances du Plusoptix dans la détection des facteurs de risque de l'amblyopie s'est intéressé aux enfants d'âge préscolaire (3 à 5 ans).

Dans l'enquête conduite par Prabakan à Singapour l'âge des enfants était compris entre 2 à 6 ans [87].

Tableau 7 : Comparaison des tranches d'âge et de l'âge moyen de notre série avec la littérature

	Pays	Nombre de yeux examinés	Tranche d'âge	Moyenne d'âge
<b>Dahlmann-Noor et al (2009)</b>	Angleterre	252	-	5.5 ± 1.5
<b>Demirel et al (2013)</b>	Turquie	220	1 à 13 ans	8.06 ± 2.89
<b>Payerols et al (2016)</b>	France	64	1 à 12 ans	4.83
<b>L. M. Gilmartin et al (2010)</b>	Irlande	84	<8 ans	-
<b>Won et al. (2016)</b>	Corée du sud	77	2 à 10 ans	-
<b>Fogel-Levin et al (2016)</b>	Israël	402	1 à 17 ans	7.63± 3.41
<b>Xiao-Ran Yan et al (2015)</b>	Chine	178	2.2 à 14.1 ans	6.2 ± 2.4
<b>Demirci et al (2013)</b>	Turquie	235	1 à 12 ans	4.9 ± 2.6 ans
<b>Silbert, Matta, and Andersen (2013)</b>		153	3 à 5 ans	
<b>S. Prabakaran et al. (2009)</b>	Singapour	102	2 à 6 ans	
<b>Ali Akbar et al. (2011)</b>	Iran	764	5 à 36 mois	16.95 ± 8.59 mois
<b>Mona Fadl et al. (2014)</b>	Egypte	500	4 à 16 ans	8.8±2.6
<b>Notre série</b>	Maroc (Meknès)	104	3 à 16 ans	9,5 ±3,6

Nous avons vu dans notre travail que 30% des enfants avaient un strabisme.

Cette prévalence élevée pourrait être expliquée par le recrutement très particulier lié aux consultations spécialisées d'ophtalmologie pédiatrique et de strabologie faites au sein de notre service.

Ce résultat est proche de celui retrouvé par Xiao-Ran Yan (74) dans son étude à propos des performances du Plusoptix A09 dans la détection des facteurs de risque de l'amblyopie chez les enfants chinois, et de celui retrouvé par A H Dahlmann-Noor [72], dans son étude sur la précision et la reproductibilité des mesures de réfraction par le Plusoptix qui ont retrouvé respectivement 35,4 % et 29.6 % de cas de strabisme dans leurs séries.

Ces résultats sont supérieurs à ceux retrouvés par Payerols [85] et Brian W [76], qui rapportent respectivement 9,4% et 5% de cas de strabisme. Soner Demirel (84) quant à lui, a exclu tous les sujets portant un strabisme de son étude. Pour Laura M (77), seuls les strabismes avec une déviation de  $>$  de  $10\Delta$  ont été exclus.

Dans notre série, la moyenne des équivalents sphériques obtenus au Plusoptix était  $1.46 \pm 1.10$ , et de ceux obtenus en utilisant la réfraction cycloplégique était  $1,94 \pm 1,40$ .

La différence moyenne entre les 2 instruments était  $-0.48 \pm 1.06$ , ce qui veut dire que l'équivalent sphérique obtenu à partir du Plusoptix était inférieur de 0,48 D à celui obtenu sous cycloplégie. Ainsi, on peut conclure que le Plusoptix a tendance à sous-estimer l'hypermétropie et surestimer la myopie. Nos résultats concordent avec ceux obtenus par MILLICENT W. PETERSEIM (92), Demirel(84) et Mirzajani (89), qui ont rapporté respectivement une différence moyenne de  $-0.47 \pm 0.07$ ,  $-0.25$ , et  $-0,22 \pm 0,75$ .

Dans l'étude faite par Ali Akbar et al (75), en 2011, à propos du dépistage des facteurs de risque de l'amblyopie chez les enfants en âge préverbal en utilisant le



Plusoptix, la différence moyenne dans l'équivalent sphérique était de  $-0,16 \text{ D} \pm 1,0$ , une différence négative a également été rapportée par Erdurmus et al (94), qui ont trouvé un écart de  $-0,63 \text{ D}$ ,

Dans notre travail, 75 % des valeurs des équivalents sphériques fournies par le Plusoptix A 12 étaient inférieures à  $\pm 1,00 \text{ D}$  de celles obtenues par auto-réfractomètre sous cycloplégie. Ces résultats rejoignent ceux obtenus par Erdurmus et al (94), qui ont inclus une cohorte d'enfants en bonne santé âgés de 9 mois à 14 ans, et qui ont trouvé que chez 82% de leurs patients, les équivalents sphériques obtenus avec le Plusoptix CR03 étaient inférieurs à  $\pm 1,00 \text{ D}$  de ceux obtenus par rétinoscopie cycloplégique.

Pour Mirzajani et al (89), qui ont comparé la photoréfraction à la rétinoscopie cycloplégique dans leur étude menée en Iran, ont observé qu'une différence de  $\pm 1$  en ce qui concerne les équivalents sphérique a été retrouvée dans 82 % des cas, ce qui rejoint nos résultats et ceux d'Eduumus et Coll.

Pour Kiyak et al (88), les équivalents sphériques obtenus avec le Plusoptix S04 se situaient à  $\pm 1,00 \text{ D}$  de ceux obtenus par rétinoscopie chez seulement 51,5% des patients.

La différence entre les deux méthodes de réfraction en ce qui concerne les équivalents sphériques était statistiquement significative avec un degré de signification  $p : <0,05$ , le même résultat a été rapporté par toutes les études retrouvées dans la littérature.

En se basant sur le coefficient de corrélation de Pearson ( $r$ ), on peut dire que la réfraction au Plusoptix était significativement et positivement corrélée à la réfraction cycloplégique ( $r = +0,66$ ,  $p < 0,001$ ). Ce même constat a été rapporté par MILLICENT W. PETERSEIM et al (92) en 2014, avec un coefficient de corrélation à 0.89.

Tableau 8 : Comparaison des résultats de notre étude avec ceux de la littérature en ce qui concerne l'équivalent sphérique

	Moyenne ES/ C $\pm$ ET	Moyenne ES / P $\pm$ ET	Différence moy $\pm$ ET	P (degré de signification)	R (corrélation)
Fogel-Levin et al (2016)	0.68 $\pm$ 2.63	0.25 $\pm$ 1.3			
Payerols et al. (2016)	1.06 $\pm$ 2.04	0.54 $\pm$ 1.82		0.04	
Demirel et al (2013)	-0.25	0.125	-0.25	< 0.001	
Kiyak et al.(2010)	2.14 $\pm$ 2.29	1.15 $\pm$ 1.65		<0.001	
MILLICENT W. PETERSEIM et al(2014)			-0.47 $\pm$ 0.07	< 0.001	0.89
Ali Akbar et al. (2011)	1.30 $\pm$ 0.99	0.96 $\pm$ 0.82	-0.16 $\pm$ 1.0	0.01	
Mirzajani et al (2012)			- 0,22 $\pm$ 0,75		
Notre étude (2016)	1.94 $\pm$ 1.40	1.46 $\pm$ 1.10	-0.48 $\pm$ 1.06	< 0.001	0.66

Dans notre série, la moyenne des valeurs sphériques (en valeurs absolues) obtenues au Plusoptix était  $1.75 \pm 1.21$ , et de celles obtenues en utilisant la réfraction cycloplégique était  $2.17 \pm 1.62$ .

La différence moyenne entre les 2 types de réfraction était  $-0.42 \pm 1.03$ , cette valeur négative indique une sous-estimation de l'hypermétropie et une surestimation de la myopie par Plusoptix en comparaison avec la réfraction cycloplégique. Ce résultat est proche de celui obtenu par MILLICENT W. PETERSEIM et al (92), qui était de  $-0.64 \pm 0.08$ ,

Demirel et al (84), dans leur étude visant à comparer Plusoptix S08 à la réfraction sous cycloplégie, ont rapporté une différence de  $-0.25$ .

En revanche, pour Fogel-Levin et al (86), la différence moyenne entre les valeurs sphériques était positive de l'ordre de  $0.29 \pm 0.89$ .

Dans notre travail, le degré de signification (p) était inférieur à 0.05, et par conséquent la différence entre Plusoptix et la réfraction cycloplégique en ce qui concerne les valeurs sphériques était statistiquement significative. Fogel-Levin (86), Payerols (85), Demirel (84) et MILLICENT W. PETERSEIM (92) ont également rapporté une différence statistiquement significative. La réfraction au Plusoptix était significativement et positivement corrélée à la réfraction cycloplégique ( $r = +0.77$ ,  $p < 0.001$ ). Ceci a également été rapporté par Fogel-Levin et al (86), avec un coefficient de corrélation de Pearson proche du nôtre ( $r : 0.81$ ).

Tableau 9 : Comparaison des résultats de notre étude avec ceux de la littérature en ce qui concerne la valeur sphérique.

	Moyenne S/ C ± ET	Moyenne S / P ± ET	Différence moy ± ET	P (degré de signification)	R (corrélation)
Fogel-Levin et al (2016)	0.88 ± 1.5	0.58 ± 1.4	0.29±0.89	<0.001	0.81
Payerols et al.(2016)	1.77± 2.20	1.27 ±2.07		0.044	
Demirel et al (2013)	0	+0.50	-0.25	< 0.001	
Demirci et al (2013)	0.16 ± 1.44	0.27 ± 1.64			
Ali Akbar et al. (2011)	1.64 ± 1.06	1.38 ±0.95	0.05 ± 1.05	0.43	
MILLICENT W. PETERSEIM et al(2014)			-0.64±0.08	< 0.001	
Mirzajani et al (2012)			-0.16±0.75		
Notre étude (2016)	2.17 ± 1.62	1.75 ± 1.21	-0.42 ±1.03	< 0.001	0.77

LAURA M (77), dans son étude comparant le Plusoptix S04 avec la réfraction cycloplégique effectuée par un ophtalmologue, a admis que la différence acceptable entre les valeurs du Plusoptix et la réfraction cycloplégique doit être  $\pm 1,00$  pour la sphère. Cette différence acceptable a été atteinte dans 67 % des cas, les 33% restant différaient de  $> 1,00$  DS. Parmi ces cas qui n'étaient pas dans les normes acceptables, 7 avaient une différence de 1.25 DS ou 1.50 DS. Pour les 7 autres cas, la différence était beaucoup plus importante, elle atteignait des valeurs entre 4 et 6 DS.

Pour Ali Mirzajani (89), 82 % des valeurs sphériques étaient à  $\pm 1$  DS.

En ce qui concerne notre série, la différence acceptable de  $\pm 1.00$  DS a été atteinte dans 79.5% des cas, les 20.4% restant différaient de plus de  $\pm 1,00$  DS : 9.2%

avaient une différence de 1.25 DS ou 1.50 DS. Pour 11.2 %, la différence atteignait des valeurs entre 2.75DS et 4.5DS. Ces données témoignent d'une bonne concordance entre les résultats sphériques du Plusoptix et ceux de la réfraction cycloplégique.

Nous avons divisé les données en deux sous-groupes afin d'examiner la précision du Plusoptix séparément: la myopie, définie comme sphère  $<0$ , et l'hypermétropie, définie comme une sphère  $\geq 0$ .

La différence moyenne entre les 2 types de réfraction :  $-0.61 \pm 1.03$ , cette valeur négative confirme les soupçons antérieurs concernant la sous-estimation de l'hypermétropie par le Plusoptix, ce qui est probablement le résultat de l'accommodation causée par la fixation d'une cible proche.

La différence était statistiquement significative avec un degré de signification  $p : <0.001$ .

Le Coefficient de corrélation de Pearson ( $r = +0.78$ ,  $p < 0.001$ ), la réfraction au Plusoptix A12 est significativement et positivement corrélée à la réfraction cycloplégique. Ce coefficient de Pearson reste supérieur à ceux obtenus par Fogel-Levin et al (86), et Payerols et al (85) qui étaient respectivement 0.62 et 0.52.

Tableau 10 : Comparaison de nos résultats avec la littérature en ce qui concerne

l'hypermétropie

	Différence moy $\pm$ ET	P (degré de signification)	R (corrélation)
Fogel-Levin et al (2016)	0.37 $\pm$ 0.93	<0.001	0.62
Payerols et al.(2016)			0.52
Notre étude (2016)	-0.61 $\pm$ 1.03	<0.001	0.78

Pour la composante sphérique hypermétropique, 10% des résultats étaient identiques, 33% des valeurs du Plusoptix A12 étaient à 0,25 D, 13,5% à  $\pm 0,50$ , 12,5% à  $\pm 0,75$  de la réfraction cycloplégique.  $\approx 78,8\%$  des résultats étaient  $\leq \pm 0,75$  de la réfraction cycloplégique.

Pour les hypermétropies dépassant 3D, la différence moyenne était beaucoup plus importante atteignant  $-1,54 \pm 1,19$ , avec un coefficient de corrélation ne dépassant pas 0,54. En se basant sur ces résultats, on peut conclure que les performances du Plusoptix diminuent lorsqu'il s'agit de l'hypermétropie  $>3D$ .

La différence moyenne entre les 2 types de réfraction :  $0,23 \pm 0,59$ , cette différence n'était pas statistiquement significative avec un degré de signification  $p : 0,121$ .

Dans l'étude faite par Fogel Levin (86) comparant le Plusoptix A12 à la réfraction cycloplégique la différence moyenne était négative ( $-0,048 \pm 0,55$ ), cette différence n'était pas statistiquement significative.

Le Coefficient de corrélation de Pearson  $r = +0,93$ ,  $p < 0,001$ , ce qui signifie qu'il y a une excellente corrélation entre les résultats du Plusoptix et de la réfraction cycloplégique en ce qui concerne la composante myopique. Ce coefficient de corrélation est très proche de celui obtenu par Payerols et al (85) qui était de 0,91.

En revanche, il est meilleur par rapport à celui rapporté par Fogel-Levin qui était de 0,85,

Tableau 11 : Comparaison de nos résultats avec la littérature en ce qui concerne la myopie

	Différence moy $\pm$ ET	P (degré de signification)	R (corrélation)
Fogel-Levin et al (2016)	-0.048 $\pm$ 0.55	>0.05	0.85
*Payerols et al (2016)			0.91
Notre étude (2016)	0.23 $\pm$ 0.59	0.121	0.93

En ce qui concerne la myopie, Environ 11% étaient identiques, 30 % des résultats du Plusoptix A 12 se situaient à 0.25 D et 35 % à 0.5D des résultats de la réfraction sous cycloplégie à 75% des résultats étaient  $\leq \pm 0.5$  de la réfraction cycloplégique.

Selon nos résultats, Plusoptix a tendance à sous-estimer l'hypermétropie et surestimer la myopie, il donne des résultats plus proches de la réfraction cycloplégique en ce qui concerne la composante sphérique myopique par rapport à la composante hypermétropique.

Cette conclusion a également été faite par Payerols et al (85), qui ont constaté que la différence moyenne entre les 2 méthodes de mesure de la réfraction était plus élevée avec l'hypermétropie qu'avec la myopie et que le Plusoptix était plus précis chez les enfants myopes par rapport aux hypermétropes.

Dans notre travail, la différence moyenne entre les 2 moyens de mesure de la réfraction en ce qui concerne le cylindre était  $0.14 \pm 0.38$ , cette différence positive indique une surestimation des résultats cylindriques par Plusoptix, cette valeur est proche de celle rapportée par MIRJAZANI (89), qui, en comparant le Plusoptix S08 à la rétinoscopie cycloplégique, a noté une différence de  $0.13 \pm 0.44$ .

Kiyak et al (88) ont également noté une différence positive de  $0.48 \pm 0.38$ .

Quant à Ali Akbar (75) et Demirel (84), ils ont trouvé une différence négative avec respectivement  $-0.43 \pm 0.58$  et  $-0.25$ .

Dans notre étude, cette différence était statistiquement significative ( $p < 0.001$ ), ce qui est compatible avec des études précédentes (Fogel Levin (86), Demirel (84), et Ali akbar (75)).

En revanche, dans l'étude menée par Payerols et al (85) en France, à propos de la précision du Plusoptix A09 chez des enfants de 1 à 12 ans, il n'y avait pas de différence significative de la valeur moyenne du cylindre entre les 2 méthodes ( $p:0.69$ ).

En se basant sur le coefficient de corrélation de Pearson qui était de 0.92, on peut conclure que la corrélation entre les 2 méthodes était positive et forte, le même résultat a été rapporté par Fogel-Levin et al (86), avec un coefficient de Pearson de 0.91.



Tableau 12 : Comparaison de nos résultats avec la littérature en ce qui concerne la réfraction cylindrique

	Moyenne C / C ± ET	Moyenne C / P ± ET	Différence moy ± ET	P (degré de signification)	R (corrélation)
Fogel-Levin et al (2016)	-0,61±0,74	-0,66±0,77	0.05±0.32	<0.001	0.91
Payerols et al.(2016)	-1.41±0.98	-1.46±1.22		0.69	
Demirel et al (2013)	-0.50	-0.50	-0.25	<0.001	
Demirci et al (2013)	-0.88±0.72	-0.81±0.71			
Ali Akbar et al. (2011)	-0.67±0.72	-0.85±0.71	-0.43±0.58	0.01	
Kiyak et al (2010)	-1.02±0.87	-1.09±0.96	0.48±0.38	0.057	
Mirjazani et al (2012)			0.13±0.44		
Notre étude (2016)	-0.80±0.89	-0.95±0.97	0.14±0.38	< 0.001	0.92

Dans l'étude de Laura M (77), utilisant le Plusoptix S04, la différence acceptable de 0,75 DC a été retrouvée dans 90% des cas. Les 10% restant présentaient une différence qui variait de 1DC à 3,5DC. Dans notre série, les résultats étaient meilleurs avec le Plusoptix A12, et la différence acceptable a été retrouvée dans 95 % des cas. Les 5 % restant présentaient une différence entre 1 et 2 DC.

Pour l'axe de l'astigmatisme, nous avons trouvé une différence de  $5.60 \pm 31.89$  entre Plusoptix et la réfraction cycloplégique, cette différence n'était pas statistiquement significative avec  $p : 0.087$ , et les résultats du Plusoptix étaient fortement et positivement corrélés à ceux obtenus sous réfraction cycloplégique.

Payerols et al (85) ont également noté une différence non significative statistiquement avec  $p : 0.28$ .

Quant à Levin-Fogel (86), il a rapporté une différence négative de  $-6.1 \pm 38,13$ , cette différence était statistiquement significative avec  $p : 0.02$ .

Tableau 13 : Comparaison de nos résultats avec la littérature en ce qui concerne l'axe de l'astigmatisme

	Moyenne A/ C $\pm$ ET	Moyenne A/ P $\pm$ ET	Différence moy $\pm$ ET	P (degré de signification)	R (corrélation)
Fogel-Levin et al (2016)	$71,17 \pm$ $71,04$	$77,12 \pm 68,92$	$-6.1 \pm 38,13$	0.02	0.7
Payerols et al.(2016)	$73.50 \pm$ $67.29$	$84.41 \pm 68.56$		0.28	
Demirci et al (2013)	$90.86 \pm 68.21$	$89.73 \pm 61.18$			
Kiyak et al (2010)			$0.29 \pm 0.36$		
Paff et al. (2010)			$-0.23 \pm 0.53$		
Notre étude (2016)	$63.44 \pm 69.27$	$69.05 \pm 68.95$	$5.60 \pm 31.89$	0.087	0.89

L'amblyopie est la principale cause de diminution de l'acuité visuelle chez l'enfant, les vices réfractifs étant la cause la plus importante.

En raison de l'importance du diagnostic et du traitement précoces de l'amblyopie, plusieurs méthodes de dépistage ont été conçues pour les enfants.

La réfraction cycloplégique en est actuellement le gold standard.

Cependant, cette méthode est limitée par la nécessité d'un examinateur expérimenté et un temps excessif, ainsi que le passage parfois obligatoire par une sédation chez les enfants de bas âge.

Pour pallier à ces restrictions, plusieurs auto-réfractomètres portables ont été développés. Parmi ceux-ci, le Plusoptix A12, qui est la version la plus récente des auto-réfractomètres portables. Il présente plusieurs avantages, en effet, c'est un appareil portable sans appui frontal, ne nécessitant aucune connexion à un ordinateur, qui permet une acquisition rapide des données, il est convivial pour les enfants car il utilise un visage souriant avec des sons et des lumières comme cible de fixation. Ses avantages n'auront une valeur ajoutée que si ses résultats sont fiables.

Afin de définir les enfants présentant des facteurs de risque d'amblyopie, on s'est basé sur les recommandations de l'association américaine d'ophtalmologie pédiatrique et de strabologie (AAPOS), qui incluent :

§ Hypermétropie > 3,5 D,

§ Myopie > 3 D,

§ Anisométrie > 1,5 D

§ Astigmatisme > 1,5 D. Si l'axe de l'astigmatisme était oblique (plus de 10° de 90° ou 180°) les valeurs > 1 D ont été considérées positives.

Dans notre travail, Plusoptix s'est avéré être un bon outil pour le dépistage des facteurs de risque de l'amblyopie avec une sensibilité de 82,5 %, spécificité 94%, une valeur prédictive positive de 75% et une valeur prédictive négative de 96.4%.

Dans l'étude menée par Fogel-Levin (86), Plusoptix A12 a été signalé comme un outil efficace de dépistage des facteurs de risque de l'amblyopie avec des résultats proches des nôtres : une sensibilité de 98,9%, une spécificité de 96,1%, et une valeur prédictive positive de 90%.

Dans l'étude menée par Xiao-Ran Yan et al (74), Plusoptix A09 avait une sensibilité de 80,6% et une spécificité de 76,3% dans la détection des facteurs de risque de l'amblyopie.

Arthur et al (76), a rapporté que la sensibilité du Plusoptix S04 dans la détection des facteurs de risque de l'amblyopie étaient de 83%; sa spécificité de 95%. Les valeurs prédictives positives et négatives étaient respectivement de 73% et 97%.

Pour Ugurbas et al (93), qui ont étudié la validation du Plusoptix comme outil de dépistage chez les enfants ayant une déficience intellectuelle, la sensibilité du Plusoptix S04 95%, spécificité 50%, VPP 47% et VPN 95,4%.

Tableau 14 : comparaison de nos résultats avec la littérature en ce qui concerne la détection des facteurs de risque de l'amblyopie

	PLUSOPTIX	Sensibilité	Spécificité	VPP	VPN
Matta et al (2016)	Plusoptix S04	98 %	69 %	78 %	1.4 %
Demirci et al (2013)	Plusoptix S08	97.1%	83.3%	77.3%	98%
Noor et al (2009)	Plusoptix	44%	100%		
Ugorbas et al (2011)	Plusoptix S04	95%	50%	47%	95.4%
Ali Akbar et al (2011)	Plusoptix S08	100%	38.7%	19%	100%
Silbert et al (2012)	PlusoptixA09	89%	80%	-	-
Xiao-Ran Yan et al (2015)	Plusoptix A09	80.6%	76.3%	-	-
Fogel-Levin et al (2016)	Plusoptix A12	81%	97%	86%	96%
Notre étude (2016)	Plusoptix A12	82.5%	94%	75%	96.4%

# CONCLUSION

Le Plusoptix A12 est un outil très intéressant pour l'étude de la réfraction, essentiellement en ophtalmologie pédiatrique. Il fournit des résultats très proches de ceux sous cycloplégie : ces résultats sont plus fiables pour les sous-groupes myopes et astigmatiques que pour les hypermétropes.

Il présente plusieurs avantages : permet un gain de temps considérable, une mesure simultanée des deux yeux, l'éviction de la réfraction sous sédation ainsi que la cycloplégie, sert à éliminer les fausses myopies chez les adultes jeunes. Il renseigne également sur les microtropies et les opacités cristalliniennes et permet aussi de mesurer la réfraction en cas de nystagmus.

Il présente une bonne sensibilité et spécificité dans la détection des facteurs de risques de l'amblyopie, dont les valeurs sont respectivement 82.5% et 94%.

Toutefois, il reste moins performant lorsqu'il s'agit de fortes amétropies ou de strabisme à grand angle.

La présente étude fournit des informations supplémentaires Concernant les performances du Plusoptix A12 Chez les enfants. Les résultats de cette étude sont suffisamment encourageants que nous recommandons une étude plus approfondie de l'utilité du Plusoptix A12 à propos d'un échantillon plus large.

# RESUMES

## Résumé

### Introduction :

La réfraction chez l'enfant présente de nombreuses particularités, notamment le manque de coopération et l'importance de la réfraction latente, d'où l'intérêt des auto-réfractomètres portables.

Le Plusoptix est un auto-réfractomètre portable qui sert à évaluer la réfraction, il permet une mesure simultanée des deux yeux en moins d'une seconde, à distance d'un mètre.

### Patients et méthodes :

Il s'agit d'une étude prospective menée entre juin et novembre 2016, à propos de 52 enfants (soit 104 yeux), âgés de 3 à 16 ans. Chaque enfant a eu une mesure de la réfraction avec le Plusoptix. Puis trois instillations de chlorhydrate de cyclopentolate ont été réalisées (T0, T5, T10 min).

Les mêmes mesures ont été effectuées après 45 minutes à l'aide d'un auto-réfractomètre automatique fixe (CANON).

Une fiche d'exploitation préétablie a servi à recueillir les données.

### Résultats :

Le nombre total des yeux examinés était de 104, avec un âge moyen de  $9.5 \pm 3.6$  ans (de 3 à 16 ans). La mesure était impossible pour 3 enfants.

La différence moyenne entre les valeurs sphérique était de  $-0.42 \pm 1.03$ , cette différence était statistiquement significative.

Dans le groupe des hypermétropes, la différence moyenne entre les 2 méthodes de réfraction était de  $-0.61 \pm 1.03$ , cette différence était statistiquement significative, contre  $0.23 \pm 0.59$  pour les myopes, pour lesquels la différence n'était pas statistiquement significative ( $p : 0.121$ ).

La puissance moyenne des cylindres était de  $0.95 \pm 0.97$  D pour la photo-réfraction contre  $0.80 \pm 0.89$  D pour l'auto-réfraction cycloplégique. Une différence



statistiquement significative a été notée (différence moyenne,  $-0,14 \pm 0,38$ ,  $P < 0,001$ ).

Il n'y avait pas de signification statistique entre les deux instruments concernant l'axe cylindrique ( $p : 0,087$ )

L'équivalent sphérique moyen était de  $1,46 \pm 1,10$  D pour la photo-réfraction contre  $1,94 \pm 1,40$  D pour l'auto-réfraction cycloplégique avec une différence statistiquement significative (différence moyenne,  $-0,48 \pm 1,06$ ,  $P < 0,001$ ). Chez 75% de nos patients, les valeurs équivalentes sphériques obtenues avec le Plusoptix A12 étaient inférieures à  $\pm 1,00$  D de celles obtenues par auto-réfractomètre sous cycloplégie.

#### Discussion :

Le Plusoptix A 12 est un refractomètre très intéressant pour l'étude de réfraction chez l'enfant. Ses résultats sont très proches de ceux sous cycloplégie.

Il présente plusieurs avantages, notamment le temps de prise qui est réduit de plus de 50%, la mesure binoculaire, l'absence d'appui frontal et la distance de mesure. Il fournit également des renseignements sur la distance inter-pupillaire, la taille pupillaire, l'alignement oculaire et les opacités cristalliniennes.

Les limites sont essentiellement les fortes amétropies, les strabismes à grand angle. Cet outil a tendance à sous-estimer l'hypermétropie et surestimer la myopie, ses résultats sont plus fiables dans les sous-groupes myopes et astigmatés que dans le sous-groupe des hypermétropes.

Il constitue également un bon moyen pour la détection des facteurs de risque d'amblyopie avec une sensibilité de 82.5%, spécificité de 94%, une valeur prédictive positive de 75% et une valeur prédictive négative de 96.4%.

#### Conclusion :

Le but de notre travail est de comparer les valeurs obtenues par auto-réfractomètre portable (Plusoptix) sans dilatation à celles fournies par réfractomètre automatique sous cycloplégie chez l'enfant.

## ABSTRACT

### Introduction:

Refraction in children has many peculiarities, notably the lack of cooperation, hence the interest of photo refractor. The Plusoptix is a portable photo-screener used to evaluate refraction, it allows simultaneous measurement of both eyes in less than one second, at a distance of one meter.

### Patients and methods:

This is a prospective study conducted between June and November 2016, about 52 children (104 eyes), aged 3 to 16 years. Each child had a measure of refraction with Plusoptix. Then, three instillations of cyclopentolate hydrochloride were carried out (T0, T5, T10 min). The same measurements were made after 45 minutes using a fixed auto-refractometer (CANON). A pre-established mining record was used to collect the data.

### Results:

The total number of eyes examined was 104, with an average age of  $9.5 \pm 3.6$  years (3-16 years). The measure was impossible for 3 children.

The mean difference between the spherical values was  $-0.42 \pm 1.03$ , this difference was statistically significant

In the hyperopia group, the mean difference between the two refractive methods was  $-0.61 \pm 1.03$ , this difference was statistically significant, compared with  $0.23 \pm 0.59$  for myopic patients, for whom the difference was not statistically significant (p: 0.121)

The mean power of the cylinders was  $0.95 \pm 0.97$  D for Plusoptix against  $0.80 \pm 0.89$  D for cycloplegic refraction. A statistically significant difference was noted (mean difference,  $-0.14 \pm 0.38$ ,  $P < 0.001$ ).

There was no statistical significance between the two instruments concerning the cylindrical axis (p: 0.087)

The mean spherical equivalent was  $1.46 \pm 1.10$  D for photo-screener compared to  $1.94 \pm 1.40$  D for cycloplegic refraction with a statistically significant difference (mean difference,  $-0.48 \pm 1.06$ ,  $P < 0.001$ ).

In 75% of our patients, the spherical equivalent values obtained with Plusoptix A12 were less than  $\pm 1.00$  D from those obtained by auto-refractometer under cycloplegia.

#### Discussion:

The Plusoptix A 12 is a very interesting refractometer for the refraction study in children. Its results are very similar to those under cycloplegia. It has several advantages, in particular the setting time which is reduced by more than 50%, the binocular measurement, the absence of frontal support and the measuring distance. It also provides information on inter-pupillary distance, pupillary size, ocular alignment and crystalline opacities

The limits are essentially the high ametropia, the wide angle strabismus. This tool tends to underestimate hyperopia and overestimate myopia, its results are more reliable in myopic and astigmatic subgroups than in the hypermetropic subgroup.

It is also a good way to detect amblyopia risk factors with a sensitivity of 82.5%, specificity of 94%, a positive predictive value of 75% and a negative predictive value of 96.4%.

#### Conclusion:

The aim of our work is to compare the values obtained by photo refractometer (Plusoptix) without dilation with those provided by automatic refractometer under cycloplegia in children.

## الانكسار عند الأطفال قارة جهل (Plusoptix) الممول وجهل ثابتة قيسلانكسار بعد شل تكيف

(حول 52 حالة)

### مقدمة:

يتميز الانكسار عند الأطفال قارة جهل بعد قصد وصيدت ، ولاسيم اعطتعا وزو، هذ نتاج قيا ندة Plusoptix. يستخد Plusoptix ج ه ازمحم وللقيد لس ، يتيح هلاج ه ازلما نيقيد لس متز لمك لذ العيدين ، في أقل مثنا ذية ، ع ليهما فة مترو احد.

### المرضى الطرق:

دراسة لتطالعية أجريت بين نوفمبر 2016 وول 52 ط فلا (104 عين)، الذ يترا و ح لمرار هم بين 3-16 سنة. قيسلانكسار عند كل ط فلهج هاز Plusoptix ثم ، ذفت ثلاثة قطرت من هيدر وك ل وسوكيد و بنت ولات (T0، T5، T10 ذ قيفة). وقمت ذفل لقيد لسك بعد 45 قيفة لتخد اجم ه اثارا بت لقيد لس لانكسار (ذ ون). تم لتخد اجم سجل ل لبط ه اذ لك.

### النتائج:

كان العطل اجم اللي لعيون 104، لغمت وسط لمرالأط فال  $9.5 \pm 3.6$  ذ و ت (3-16 سنة). لم نتمكن من قيد لس لانكسار عند هط فال. كان الفرق بين مت وسط لقيد لس -  $1.03 \pm 0.42$ ، وك ان هذا الفرق ذا لال لحد انية. في مجمة وعة مالا بصر كان الفرق بين طريقتي قيد لس لانكسار -  $1.03 \pm 0.61$ ، وك ان هذا الفرق ذا لال لحد انية مارة نتم مع  $0.59 \pm 0.23$  لمرضى قلو نظر ، لمرال فرق لم يعذب رذا قيلم ا نيل لحد اني (ص: 0، 121).

القدرة المت وسط لسط واذ لك  $0.97 \pm 0.95$  ل Plusoptix ضد  $0.89 \pm 0.80$  لانكسار بعد شل التكيف و ذ ط و فر وق ذا لال لحد انية (ذ نيلي فرق ، -  $0.38 \pm 0.14$ ،  $P < 0.001$ ). لم يكن هذ لك فرق ذا لال لحد انية بين لمد والسط واني (ص: 0، 087).

كان ما يع لذكر وية مت وسط  $1.10 \pm 1.46$  لحد و - تحريفة مارة نتم مع  $1.40 \pm 1.94$  لانكسار الهذ بية مع ج و ذ فرق ذ و لال لحد انية (ذ نيلي فرق ، -  $1.06 \pm 0.48$ ،  $P < 0.001$ ).

في 75% من المرضى ذنا هذ ان قديم يع لذكر وية تم لحد و ليه ه امع Plusoptix A12 أقل من  $\pm 1.00$  ذ من ذ كالتي حد عتلي هذ ه ازالا نكسار الو ثابت.

مناقشة:

Plusoptix A12 هو جهاز لقياس الانكسار ثير جلا هتم ام لدراسة الانكسار للأطفال الذين اذجه  
 شدا بجهة الجدالت التي جعلها بعد شل التكيف.  
 وقت الإعداد التي انخفضت بدرجة أكثر من 50%، وقد لوحظت، وغيب العملم لمي قي لسانسة افة بكم ا  
 ي و فوع لومت عنسة افة بيليل حد قتين، حد لحد قة المحول وعدالمية لورية.  
 حد وده هي ألد لال لانكسار الية وزا ويلحد ول ولعة. هذا لأداة يميل إلى التقليل من شأن مد  
 البصوالم بالغة في قلونظنوا، نجه اهي كمثوث و قية في مجموعت فرعية قلونظنوا لالبؤرية مما  
 كانت عليه في فرعية موالص.  
 يعتبر أيضا أسدي لتجيدة ل كلف عزع وامل خطر كسل العين، لديه حد لدية 82.5%، خد صدية من  
 94%، والقبيلة ذبؤلية يجا بية 75% والقبيلة ذبؤلية لدية من 96.4%.

الاستنتاج:

الغرض من هذه الدراسة هو مقارنة القيم التي جعلها بجه از (Plusoptix) ونشل التكيف، مع  
 التاليتي فرها الإكليل لرقائي تحت تأثير نشل التكيف للأطفال.

# ANNEXES

Annexe 1 : Fiche d'exploitation

Hôpital militaire Moulay Ismail de Meknès

DATE.....

Service d'ophtalmologie

Fiche d'exploitation

- Nom : .....
- Age : .....
- Sexe : .....
- Tel : .....
- Age de la correction optique : .....
- Réfraction au Plusoptix :

OD

OG

.....  
 .....  
 .....  
 .....

.....  
 .....  
 .....  
 .....

- Réfraction au Skiacol :

OD

OG

.....  
 .....  
 .....  
 .....

.....  
 .....  
 .....  
 .....

- Strabisme                      Oui                       Non
- Amblyopie                      Oui                       Non
- Nystagmus                      Oui                       Non

- Difficulté/coopération      Coopérant       Non coopérant
- Difficulté/déviation      Oui       Non
- Mode de mesure      Monoculaire       Binoculaire
- Temps global pour la réfraction : .....
- Nombre de tentatives : .....
- Messages d'erreur affichés par Plusoptix :

.....

.....

.....

.....

.....

.....



# BIBLIOGRAPHIE

- 1-Butterbury M, Bowling B  
Ophtalmologie Ed Paris: Elsevier 2005
- 2-Qu'est ce qu'un défaut de la réfraction ?  
<http://www.who.int/features/qa/45/fr/index.html>
3. Poirier J, Poirier I, Baudet J  
Embryologie humaine Maloine 1993
4. Dawn NW  
Visual development In perspectives in visual research, series Editeurs Blachmore C; Plenum Press New York 1995
5. BOUCHET. A, CUIILLERT. J  
Anatomie topographique descriptive et fonctionnelle, 2ème édition, Deuxième partie, la face la tête et les organes de sens (1) ,499-540
6. LAHLAIDI. A.  
Anatomie topographique trilingue ; volume II.
7. Pr Fauquier,  
Faculté de médecine de Lyon
8. Coupe sagittal du segment antérieur de l'œil  
[http://s2.e-monsite.com/2010/01/09/04 Œil.png](http://s2.e-monsite.com/2010/01/09/04/Œil.png) (210x416- 195ko - png-s2.e-monsite.com/2010/01/09/04 Œil.png)
9. NETTER. F.  
Atlas d'Anatomie Humaine ; Section N° 1. Tête et coup
10. Putzar L. Hötting K., Rösler F., Röder B.  
The development of visual feature binding processes after visual deprivation in early infancy; Vision Research 2007; 47: 2616-2626p.

## 11. Chandna A.

Natural history of the development of visual acuity in infants. *Eye* 1991; 5 : 20-26p.

## 12. J. Andrieu.

Le retard d'acquisition de la fonction visuelle chez l'enfant. Mémoire en vue de l'obtention du certificat de capacité d'orthoptie, Faculté de Médecine de ClermontFerrand I, 2010, p. 6-33.

## 13. P. de Laage de Meux.

Ophtalmologie Pédiatrique. Masson, 2003, p.1-78, 230, 245-253.

## 14. F. Niessen.

Développement des fonctions visuelles du fœtus et du nouveau-né et unités de soins intensifs néonataux.

EMC Archives de pédiatrie, 2006, Volume 13, numéro 8, p.1178-1184.

## 15. C. Kovarski,

Les anomalies de la vision chez l'enfant et l'adolescent, 2ème édition. Lavoisier, 2014, p. 5-28, 33-152.

## 16. Inserm (dir.).

Déficits visuels : Dépistage et prise en charge chez le jeune enfant. Rapport. Paris : Les éditions Inserm, 2002, p. 3-17, 55-68, 84-86.

## 17.N. Jeanrot, F. Jeanrot.

Manuel de strabologie : aspects cliniques et thérapeutiques, 3 ème édition. Elsevier Masson, 2011, p.23-27, 39-75, 120-122,153-157.

## 18. O. Braddick, J. Atkinson.

Development of human visual function. *Vision Res.* Elsevier, 2011, 51(13):1588-609.

19.E. Bui Quoc.

Ophtalmologie infantile.

EMC Pédiatrie, 4-120-A-10, 2007.

20. P. Dureau.

Ophtalmologie pédiatrique.

EMC - AKOS (Traité de Médecine) 2008:1-8 [Article 8-0930].

21. G. Clergeau, M. Morvan.

La vision de l'enfant : développement et surveillance.

Ed A & J Pêchereau. Nantes, 2010.

22. X. Zanlonghi.

La vision de l'enfant,

Chapitre 3 : Acuité visuelle chez un enfant d'âge pré-verbal

23. F. Rigaudière, J. Leid, F. Viénot, J.-F. Le Gargasson.

Comprendre et tester les déficiences de la vision des couleurs de l'enfant, en pratique.

Edition Elsevier Masson, Journal Français d'Ophtalmologie, Vol 29, N° 1 - janvier 2006, pp. 87-102.

24. M. E. Mercer, S.C. Drodge, M. L. Courage, R. J. Adams.

A pseudo isochromatic test of color vision for human infants.

fVision Research, 2014, p.72-77.

25. X. Zanlonghi. La vision de l'enfant,

Chapitre 2 : Développement de la vision et l'organisation fonctionnelle des fonctions practo-motrices ; le regard, et des fonctions sensorielles visuelles ou gnosiques ; la vision

26. Marie-Andrée Espinasse-Berrod.

Strabologie : approches diagnostique et thérapeutique, 2ème édition. Atlas en ophtalmologie,

Elsevier Masson 2008, p.37, 107- 115, 163-169.

27. MOHN 1986

28. web MD inc. 2003

29. P. Dureau.

Ophtalmologie pédiatrique.

EMC - AKOS (Traité de Médecine) 2008:1-8 [Article 8-0930].

30. Guy Clergeau.

Réfraction de l'Enfant : La réfraction physiologique [en ligne].

31. D.Denis, C. Benso, P. Wary, C. Fogliarini.

La réfraction chez l'enfant : épidémiologie, évolution, évaluation et mode de correction des amétropies.

EMC Journal Français

32. M. S. Banks,

"Infant refraction and accommodation," *Int.Ophthalmol.Clin.*, vol. 20, no. 1, pp. 205-232, 1980.

33. F. Wibaut,

"Emmetropisation und den Ursprung der Sphärischen Refractousanomalien," *GraefesArchOphthalmol*, no. 116, p. 596, 1925.

34. A. Santonastaso,

"La rifrazione ocular nei primi anni di vita," *AnnOttalEClinOcul*, no. 58, p. 852, 1930.

35. A. Franceschetti,  
"Untersuchungen über die Refraction bei Neugeborenen," *KlinMblAugenheilk*, no. 98, p. 95, 1935.
36. R. C. Cook and R. E. Glasscock,  
"Refractive and Ocular findings in the newborn,"  
*Am.J.Ophthalmol.*, vol. 34, no. 10, pp. 1407–1413, Oct. 1951.
37. K. S. Mehra, B. B. Khare, and E. Vaithilingam,  
"Refraction in full-term babies," *Br.J.Ophthalmol.*,  
vol. 49, pp. 276–277, May 1965.
38. E. Goldschmidt,  
"Refraction in the newborn," *ActaOphthalmol.(Copenh.)*,  
vol.47, no. 3, pp. 570–578, 1969.
39. A. R. Patel, T. S. Natarajan, and R. Abreu,  
"Refractive errors in full-term newborn babies," *J.All.IndiaOphthalmol.Soc.*, vol. 18, no. 2, pp. 59–63, Jun. 1970.
40. A. Hosaka,  
"The significance of myopia in newborn infants,"  
*XxiConcil.Ophthalmol., Mex.*, p. 991, 1970.
41. S. Zonis,  
"Refractions in the Israeli newborn,"  
*JPedOphthalmol*, no. 2, pp. 77–81, 1974.
42. B. Hopkinson and P. Arnold,  
"Can retinoscopy be used to screen infants for amblyopia? A longitudinal study of refraction in the first year of life,"  
*Eye*, vol. 6, pp. 607–609, 1992.

## 43. Clergeau G.

La réfraction de l'enfant. Cahiers de Sensorio- Motricité. A & J Péchereau éditeurs, FNRO Éditions, Nantes, 2008 ; [www.larefraction.net](http://www.larefraction.net).

## 44. Faderin.M.A; Ajaiyeoba A.I

Refractive Errors in Primary School Children in Nigeria, Nigerian Journal of ophthalmology

Vol. 9, N° 1 (August 2001 ):pp 10-14

## 45. Pouliquen.Y:

Précis d'ophtalmologie Masson, Paris, 1983.

## 46. Sandford-Smith.J :

Eye Diseases in Hot climates, Third edition 1997.

## 47. P. Wary, F. May

Réfraction oculaire

Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris), Ophtalmologie, 21-070- A- 10, 2007.

## 48. Loyer J.P ; Chazalon. T :

Les bases de la réfraction, Tome 1.

## 49. Damanakis, LaSkiascopie, A &amp; J Péchereau.

vol. traduction en français. Nantes, 2007.

## 50. LASSALLE David

« La réfractométrie automatique » : « La réfraction v3.1 » Ed A & J Péchereau.

Nantes, 2007, « 59-63 » 87

## 51. ROTH André

« La mesure objective de la réfraction – La réfractométrie » : « Laréfraction v1.0 »

Ed A & J. Péchereau. Nantes, 2006, cours pour l'école d'orthoptie de Nantes, « 28-29 ».

## 52. CORDONNIER Monique

« L'autoréfractométrie ». : « La réfraction de l'enfant v2.1 » Ed A & J Pêchereau, Nantes, 2008, « 34-39 ».

## 53. MARY P. et MAY F.

« Mesure du pouvoir réfractif de l'oeil – Réfraction objective » : « Réfraction oculaire » EMC (Elsevier masson SAS, Paris), Ophtalmologie, [article 21-070-A-10], 2007, page « 11-15 ».

## 54. Angi M, De Bideran M, Bonnac J.P, Capart V et al.

La réfraction. A & J Pêchereau éditeurs, Nantes, 2007.

## 55. Dufier J- L, Abitbol M, Pigamo F.

Évaluation des performances d'un réfractomètre automatique sur 3 618 yeux. J Fr Ophtalmol, 1987 ; 10 : 301-308.

## 56. Wary P, May F.

Réfraction oculaire.

Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris), Ophtalmologie, 21-070- A- 10, 2007.

## 57. PEREIRA Nilton

« Mesure des modifications cristalliniennes lors de l'accommodation chez des enfants grâce à l'imagerie scheimpflug » mémoire d'orthoptie de Clermont Ferrand, 2013.

## 58. M Santallier, J &amp; A Pêchereau. Ed A &amp; J Pêchereau.

« Les milieux transparents : Cristallin et zonule ». : « Anatomie pour les écoles d'orthoptie, v1.0 ».

Nantes, 2008, « 63-68 ».

## 59. CLERGEAU Guy

« Amétropies et accommodation ». : « La réfraction de l'enfant v2.1 »

Ed A & J Pêchereau, Nantes, 2008, « 238-241 ».



## 60. CLERGEAU Guy

« Accommodation et emmétropisation ». : « La réfraction del'enfant v2.1 »

Ed A & J Péchereau, Nantes, 2008, « 191-193 ».

## 61. VELUT S. et DESTRIEUX C :

« Systématisation des voies optiques primaires et secondaires »

EMC - Ophtalmologie 1997 :1.0 [article 21-008-B-10].

## 62. PECHEREAU Alain &amp; ANOMA Marie

«Cyclopentolate - Atropine : Etude prospective ».

## 63. K. Mohan and A. Sharma,

"Optimal dosage of cyclopentolate 1% for cycloplegic refraction in hypermetropes with brown irides,"

IndianJ.Ophthalmol., vol. 59, no. 6, pp. 514-516, Dec. 2011.

## 64. A. Bagheri, S. Givrad, S. Yazdani, and M. Reza Mohebbi,

"Optimal dosage of cyclopentolate 1% for complete cycloplegia: a randomized clinical trial,"

Eur.J.Ophthalmol., vol. 17, no. 3, pp. 294-300, Jun. 2007.

## 65. B. M. Shah, P. Sharma, V. Menon, R. Saxena, and J. P. Singh,

"Comparing homatropine and atropine in pediatric cycloplegic refractions,"

J.AaposOff.Publ.Am.Assoc.Pediatr.Ophthalmol.StrabismusAm.Assoc.Pediatr.Ophthalmol.Strabismus, vol. 15, no. 3, pp. 245-250, Jun. 2011.

## 66. Péchereau A.

Le protocole pharmacologique : la cycloplégie. In : Clergeau G. La réfraction de l'enfant. Cahiers de Sensorio- Motricité. A & J Péchereau éditeurs, FNRO Éditions, Nantes, 2008 : 13-30.

67. Caputo A- R, Lingua RW.

The problem of cycloplegia in the pediatric age group: a combination formula for refraction. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus*, 1980 ; 17 : 119-128.

68. Kleinstein RN, Mutti DO, Manny RE, et al.

Cycloplegia in African- American children. *Optom Vis Sci*, 1999; 76:102-107.

69. R. M. Ingram and A. Barr,

"Refraction of 1 year old children after cycloplegia with 1% cyclopentolate: comparison with findings after atropinisation.,"

*Br.J.Ophthalmol.*, vol. 63, no. 5, pp. 348-352, May 1979.

70. K. Kawamoto and S. Hayasaka,

"Cycloplegic refractions in Japanese children: a comparison of atropine and cyclopentolate,"

*J.Int.Ophthalmol Z.FürAugenheilkd.*, vol. 211, no. 2, pp. 57-60, 1997.

71. A. L. Rosenbaum, J. B. Bateman, D. L. Bremer, and P. Y. Liu,

"Cycloplegic refraction in esotropic children. Cyclopentolate versus atropine," *Ophthalmology*, vol. 88, no. 10, pp. 1031-1034, Oct. 1981.

72. Dahlmann-Noor et al,

Plusoptix vision screener: the accuracy and repeatability of refractive measurements using a new autorefractor .2009. UK

73. Mona Fadl et al

Comparison between measurements of Plusoptix autorefractor and measurements of cycloplegic autorefraction in children 2014 Egypt

74. Xiao-Ran Yan et al

Performance of the Plusoptix A09 Photoscreener in Detecting Amblyopia Risk Factors in Chinese Children Attending an Eye Clinic 2015

75. Ali Akbar et al  
Screening for amblyopia risk factors in pre-verbal children using the Plusoptix photoscreener: a cross-sectional population-based study . Iran 2011
76. Arthur et al  
Field testing of the PlusoptiX S04 photoscreener  
Canada, 2009
77. L. M. Gilmartin et al  
Comparison of the Plusoptix S04 binocular autorefractor with cycloplegic refraction performed by an ophthalmologist  
Ireland 2010
78. Won et al.  
A comparison of the Plusoptix S09 with an autorefractometer of noncycloplegics and cycloplegics in children. 2016
79. Matta et al  
Screening for Amblyogenic Risk Factors Using the PlusoptiX S04 Photoscreener on the Indigent Population of Honduras. 2010
80. Matta, Singman, and Silbert  
Performance of the Plusoptix S04 photoscreener for the detection of amblyopia risk factors in children aged 3 to 5 2010
81. Matta NS, Singman EL, Silbert DI.  
Performance of the Plusoptix vision screener for the detection of amblyopia risk factors in children. J AAPOS 2008;12:490-92.
82. Demirci et al  
Comparison of photorefraction, autorefractometry and retinoscopy in children  
Turquie, 2013

- 
83. Paff et al.  
Screening for refractive errors in children: The PlusoptiX S08 and the Retinomax K-plus2 performed by a lay screener compared to cycloplegic retinoscopy. 2010
84. Demirel et al  
Objective measurement of refractive errors: Comparison of Plusoptix s08 with a standard autorefractometer  
Turquie, 2013
85. Payerols et al.  
Accuracy of Plusoptix A09 distance refraction in pediatric myopia and hyperopia  
France, 2016
86. Fogel-Levin et al,  
A comparison of Plusoptix A12 measurements with cycloplegic refraction Israel .  
2016
87. S. Prabakaran et al.  
Cycloplegic refraction in preschool children:  
comparisons between the hand-held  
autorefractor, table-mounted autorefractor and retinoscopy singapore 2009
88. Kiyak et al  
Accuracy of plusoptix S04 in children and teens.  
Turquie 2010
89. Mirzajani, Heirani, Jafarzadehpur and Haghani  
A comparison of photorefractor and retinoscopy 2012 Iran
90. Silbert, Matta, and Andersen  
Plusoptix photoscreening may replace cycloplegic examination in select pediatric ophthalmology patients  
2012.

91. E. Singman et al.  
A Comparison of Referral Criteria used by the PlusoptiX Photoscreener  
2013
92. MILLICENT W. PETERSEIM et al  
Photoscreeners in the Pediatric Eye Office: Compared testability and Refractions  
on High-Risk Children  
2014
93. Ugurbas et al turquie 2011  
Validation of PlusoptiX S04 photoscreener as a vision screening tool in children  
with intellectual disability.  
2011
94. Erdurmus M, Yagci R, Karadag R, Durmus M.  
A comparison of photo-refraction and retinoscopy in children. JAAPOS. 2007;  
11:606-11