



**HAL**  
open science

# La réfraction oculaire : réfraction subjective binoculaire VS réfraction objective sous cycloplégique chez les enfants de 8 à 18 ans

Romain Angénieux

## ► To cite this version:

Romain Angénieux. La réfraction oculaire : réfraction subjective binoculaire VS réfraction objective sous cycloplégique chez les enfants de 8 à 18 ans. Médecine humaine et pathologie. 2015. dumas-01237754

**HAL Id: dumas-01237754**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01237754>**

Submitted on 6 Jan 2016

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

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



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

Université de Clermont-Ferrand

Faculté de Médecine

*Mémoire en vue de l'obtention du certificat de capacité d'orthoptiste*

**La Réfraction oculaire : Réfraction  
subjective binoculaire VS réfraction  
objective sous cycloplégique chez  
les enfants de 8 à 18 ans**



Année 2014 – 2015



ANGÉNIEUX Romain

# Remerciements

À Madame le Docteur DALENS, praticien hospitalier et directrice de l'école d'orthoptie, pour ses conseils précieux, sa disponibilité et tout le soutien qu'elle apporte aux étudiants orthoptistes.

À Monsieur le Docteur BOCCARD, praticien libéral et hospitalier, pour son enseignement, sa rigueur scientifique, ses analyses pertinentes et dont la contribution à ce mémoire a été essentielle.

À Monsieur le Professeur CHIAMBARETTA, chef du service d'ophtalmologie, pour son enseignement, sa disponibilité et sa bienveillance envers tous les étudiants de l'école d'orthoptie.

À toute l'équipe des orthoptistes du CHU pour leur enseignement pratique précieux, leur patience et la confiance qu'ils nous ont accordés durant toutes ces années de formations. Leur implication aura également servi à la bonne réalisation de ce mémoire.

À toute l'équipe du service ophtalmologie : médecins, internes, infirmières, aides-soignantes, secrétaires pour leur attention leur bonne humeur et leur temps qu'ils n'ont jamais compté pour nous aider.

A mes parents, ma sœur, mon beau-frère et ma nièce, toujours présents pour moi, pour leur soutien sans faille dans les moments difficiles ou les instants de doutes, merci.

## **PARTIE A**

|   |           |
|---|-----------|
| <b><u>1. DEFINITION et RAPPELS</u></b> .....                      | <b>2</b>  |
| 1.a - La Réfraction Oculaire : .....                              | 3         |
| 1.b - Évolution de la réfraction : .....                          | 4         |
| 1.c - Définitions : .....   | 5         |
| 1.d - Développement de l'Accommodation : .....                    | 7         |
| 1.e - Mécanismes et Neurophysiologie : .....                      | 8         |
| 1.e.i - Mécanismes de l'accommodation : .....                     | 8         |
| 1.e.ii - Mécanisme de la désaccommodation : .....                 | 10        |
| 1.e.iii - Neurophysiologie de l'accommodation : .....             | 12        |
| <b><u>2. MESURE DE LA RÉFRACTION OBJECTIVE</u></b> .....          | <b>14</b> |
| 2.a - La Cycloplégie : .....                                      | 15        |
| 2.a.i - Définition : .....  | 15        |
| 2.a.ii - Atropine : .....   | 16        |
| 2.a.iii - Cyclopentolate : .....                                  | 18        |
| 2.a.iv - Tropicamide : .....                                      | 20        |
| 2.b - La Réfractométrie automatique : .....                       | 21        |
| 2.b.i - Réfractométrie automatique fixe : .....                   | 21        |
| 2.b.ii - Réfractométrie automatique portable (Rétinomax®) : ..... | 24        |
| 2.b.iii - Skiascopie Manuelle : .....                             | 27        |
| 2.b.iv - La Correction Optique Totale (COT) : .....               | 36        |
| <b><u>3. MESURE DE LA REFRACTION SUBJECTIVE</u></b> .....         | <b>38</b> |
| 3.a - Préalable à l'examen : .....                                | 40        |
| 3.a.i - L'Interrogatoire : .....                                  | 40        |
| 3.a.ii - Mesures des Acuités visuelles : .....                    | 42        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3.b - Réfraction subjective monoculaire :</b> .....                     | <b>46</b> |
| 3.b.i - Recherche de la sphère :   | 47        |
| 3.b.ii - Recherche de l'astigmatisme : Le cylindre croisé de Jackson ..... | 51        |
| 3.b.iii - Vérification de la Sphère :                                      | 56        |
| 3.b.iv - Équilibre Bioculaire :  | 58        |
| 3.b.v - Équilibre Binoculaire :  | 60        |
| <b>3.c - Réfraction binoculaire :</b> .....                                | <b>61</b> |
| 3.c.i - La méthode de brouillage classique :                               | 62        |
| 3.c.ii - La méthode d'Humphriss :  | 63        |
| 3.c.iii - Autres méthodes :  | 64        |

## **PARTIE B**

|  |           |
|--|-----------|
| <b><u>1. INTRODUCTION</u></b> .....            | <b>67</b> |
| <b><u>2. MATÉRIELS ET MÉTHODES</u></b> .....   | <b>68</b> |
| 2.a - Matériel :                               | 69        |
| 2.b - Population :                             | 70        |
| 2.c - Protocole :                              | 72        |
| <b><u>3. RÉSULTATS ET DISCUSSION</u></b> ..... | <b>74</b> |
| 3.a - Résultats et Analyse statistique :       | 75        |
| 3.a.i - Population :                           | 75        |
| 3.a.ii - Résultats :                           | 75        |
| 3.a.i - Analyse Statistique :                  | 79        |
| 3.b - Discussion :                             | 82        |
| <b><u>CONCLUSION</u></b> .....                 | <b>84</b> |
| <b><u>Bibliographie</u></b> .....              | <b>85</b> |

**Partie A :**

**LA RÉFRACTION OCULAIRE**

# Partie A :

## 1. DEFINITION et RAPPELS

## **1.a - La Réfraction Oculaire : [1] ; [2]**

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 (eu-metron = bonne mesure) dont la longueur axiale et la puissance réfractive oculaire sont en adéquation, ce qui implique la focalisation d'une source lumineuse situé au-delà de 5 mètres de manière ponctuelle sur la rétine, n'entraînant aucun défaut réfractif.
- 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. Nous les aborderons plus en détails dans les anomalies de la réfraction par la suite.

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

Cette mesure de la réfraction peut s'effectuer de différentes manières : à l'aide d'appareils automatisés comme l'autoréfractomètre ou le Rétinomax, ou de manière manuelle grâce à un examen de vue (sur lunettes d'essai ou tête de réfracteur) ou encore par une skiascopie.

Dans chaque cas, le préalable à une mesure exacte et la plus précise possible, sera d'effectuer une cycloplégie dans le but de bloquer complètement les capacités accommodatives du sujet susceptibles de spasmer et ainsi éviter de fausser l'examen.

## **1.b - Évolution de la réfraction :**

La réfraction varie au cours de la vie et notamment pendant les premières années. Cette variation est due à la maturation du globe oculaire, et principalement au développement de la cornée et de la longueur axiale de l'œil.

Au départ hypermétrope physiologique, l'œil va ainsi tendre à l'emmétropisation au fil de la croissance que ces éléments :

- A la naissance, l'enfant présente une hypermétropie de 2,00δ à +3,00 environs.
- De 0 à 2 mois cette hypermétropie augmente légèrement pour diminuer progressivement par la suite.
- A 9 mois l'hypermétropie physiologique est d'environ +2,00δ et continue de régresser petit à petit.
- L'emmétropisation se poursuit et est atteinte aux alentours de 10, avec la maturation complète du globe oculaire.

Malgré tout il n'est pas rare qu'une légère hypermétropie physiologique de +0,50 δ (+/- 0,25) subsiste sans pour autant devoir être corrigée s'il n'y a pas d'indication ou autres signes fonctionnels.

## ÉVOLUTION DE LA RÉFRACTION CHEZ L'ENFANT

| <i>Amétropie sphérique</i>   |                   |                     |
|--|-------------------|---------------------|
| Âge  | Amétropie moyenne | Déviati on standard |
| <i>Prématurité</i>   | +1 $\delta$       |                     |
| <i>1 mois</i>  | +3,75 $\delta$    | $\pm 1,50$          |
| <i>2 mois</i>  | +3,85 $\delta$    |                     |
| <i>3 mois</i>  | +3,60 $\delta$    |                     |
| <i>6 mois</i>  | +2,50 $\delta$    |                     |
| <i>9 mois</i>  | +2,0 $\delta$     |                     |
| <i>10 mois</i>   | +1,75 $\delta$    | $\pm 1,30$          |
| <i>3 ans</i>   | +1,25 $\delta$    |                     |
| <i>10 ans</i>  | +0,75 $\delta$    | $\pm 1$             |
| Les chiffres en italique sont tirés d'une étude [non publiée] de G Clergeau sur 590 enfants. |                   |                     |

Tab I. Évolution de la réfraction chez l'enfant.

A l'âge de l'emmétropisation, on distingue malgré tout quelques groupes dont celui des hypermétropes légers qui vont tendre vers l'emmétropie:

- Les hypermétropes moyens dont l'hypermétropie peut diminuer ou stagner.
- Les petites myopies qui augmentent lentement
- Les myopes forts dont la valeur de l'amétropie n'augmente pas de manière significative pendant les 10 premières années de vies.

En ce qui concerne l'astigmatisme, on le retrouve chez 42% des enfants à l'âge de 6 mois. Cet astigmatisme diminue de 60% dans les deux années qui suivent.

### 1.c - Définitions : [4] ; [5] ; [6] ; [9]

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 fonctionnelles jusqu'au 2/3 de l'accommodation maximale.

Elle peut être induite de quatre manières :

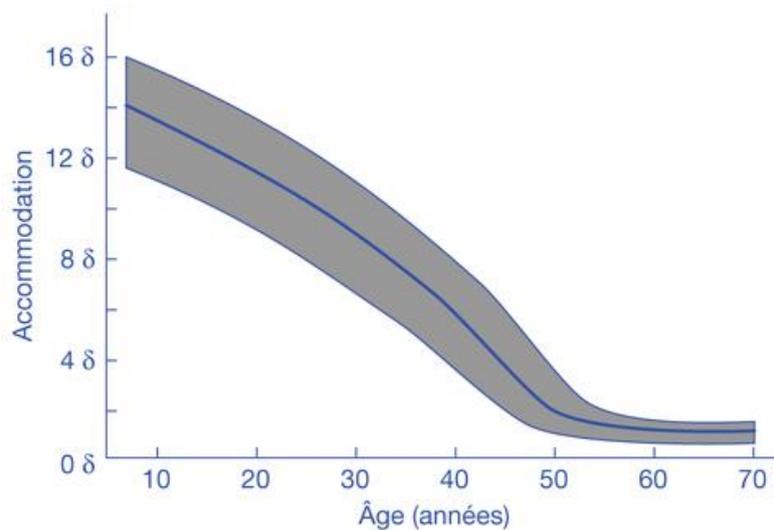
- 1) L'accommodation **réflexe** stimulé par une image peu contrastée et diffuse sur la rétine.
  - 2) L'accommodation **convergente** induite par l'effort de convergence.
  - 3) L'accommodation **proximale** provoquée par la proximité d'un objet rapproché.
  - 4) L'accommodation **tonique**, appelé également tonus accommodatif de base, lié au tonus parasympathique qui répond à une légère hypermétropie physiologique latente.
- 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 1ères années de vie. 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.



Courbe d'évolution de l'amplitude d'accommodation en fonction de l'âge

Ce réflexe est stimulé par un « flou » de l'image qui arrive sur la rétine et n'agit pas de façon isolé 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 entrainera donc les mouvements inverses.

## **1.d - Développement de l'Accommodation : [6] ; [9]**

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.

D'après les travaux de Currie, il existerait une sorte de pré programmation de l'accommodation en rapport avec l'univers de proximité caractéristique du nourrisson, et le mécanisme serait donc initialement moteur.

Tout comme l'emmétropisation, l'accommodation cohérente commence à se mettre en place dès les premiers mois pour devenir stable entre le 6<sup>ème</sup> et le 9<sup>ème</sup> 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 limitée par deux facteurs que sont : 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

## **1.e - Mécanismes et Neurophysiologie : [1] ; [2] ; [3]**

### **1.e.i - Mécanismes de l'accommodation :**

Stimulée par la vision floue d'un objet rapproché, l'accommodation fait intervenir les 3 structures décrites précédemment et est réalisée 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 ciliaire et le cristallin.

Dans le 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.

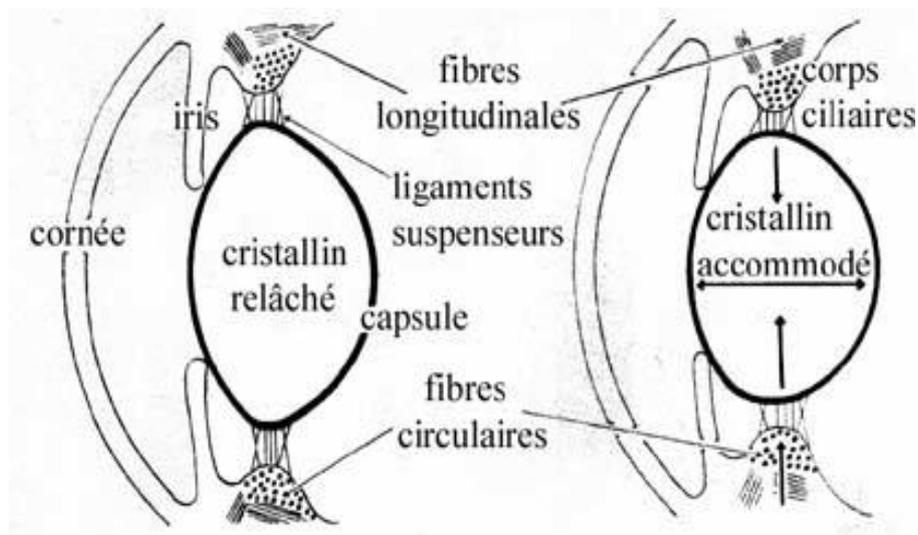


Schéma 5. Coupe d'un cristallin au repos (à gauche) et accommodé (à droite)

### **1.e.ii - Mécanisme de la désaccommodation :**

Pour ce qui est de la désaccommodation, elle est réalisée par le relâchement du muscle ciliaire circulaire et la contraction de son antagoniste, le muscle de Brücke-Wallace, composé de fibres musculaires longitudinales. Le muscle ciliaire retourne à son état de « repos » avec un mouvement de l'apex en arrière et en dehors, par opposition à son mouvement lors de l'accommodation.

C'est grâce à la l'énergie élastique accumulée dans la partie postérieure des fibres longitudinales du muscle et des fibres postérieures de la zonule que ce mouvement est possible. Le déplacement en arrière et en dedans du muscle ciliaire provoque alors une traction centrifuge des fibres radiaires zonulaires, au niveau de l'équateur et de la périphérie de la capsule du cristallin. Il entraîne alors celui-ci vers l'arrière, atténuant l'effet d'optique induit.

Cela a aussi pour effet d'aplatir les rayons de courbure du cristallin, et donc de diminuer sa puissance principalement par l'augmentation de la valeur du rayon de courbure antérieur : c'est la désaccommodation.

La mise sous tension de la capsule comprime également les fibres cristalliniennes en les faisant glisser du centre vers la périphérie (déplacement centrifuge), modifiant son indice de réfraction pour le rendre moins réfringent.

De plus, la position du centre optique est déplacée vers l'arrière par diminution du diamètre antéro-postérieur du cristallin, diminuant d'autant plus son pouvoir réfractif.

Cette déformation met en tension la capsule du cristallin et constitue une réserve d'énergie en prévision d'un retour à une forme sphérique, elle est ainsi prête à reprendre un aspect bombée dans l'éventualité d'un nouveau mouvement d'accommodation.

Ces mouvements actifs et passifs permettent au système corps ciliaire/zonule/cristallin de conserver un potentiel d'énergie par le jeu d'élasticité de ces différentes structures. C'est pour cette raison que l'œil peut assurer la fonction d'accommodation en permanence, sans épuiser le muscle ciliaire.

En résumé, **l'accommodation** résulte :

- De la contraction du muscle de Rouget-Müller qui relâche la tension des fibres zonulaires et permet au cristallin de se bomber, surtout en diminuant son rayon de courbure antérieur.
- Le changement d'indice par glissement des fibres cristalliniennes de manière centripète.
- Le déplacement du cristallin vers l'avant.
- Le déplacement de son centre optique vers l'avant.

A l'inverse, la **désaccommodation** se fait par :

- Contraction du muscle de Brücke-Wallace, qui va exercer une tension sur le cristallin via les fibres de la zonule, ce qui va aplatir le cristallin par l'augmentation du rayon de courbure antérieur.
- La diminution de son indice de réfraction par glissement centrifuge des fibres du cristallin.
- Le déplacement vers l'arrière du cristallin par le mouvement du corps ciliaire.
- Le déplacement du centre optique vers l'arrière.

### **1.e.iii - 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 donne les nerfs ciliaires courts qui vont venir directement innerver 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 de nerfs ciliaires longs.

Le muscle ciliaire reçoit près de 30 fois plus de fibres que l'iris et le système irido-constricteur.

Au niveau corticale, 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 régit 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.

Il existe différentes théories sur le mode d'action du sympathique dans la désaccommodation : une action sur les fibres longitudinales du muscle de Brücke, il

pourrait aussi agir comme un simple inhibiteur du système parasympathique, ou on évoque encore une hypothèse de vasoconstriction du corps ciliaire, entraînant une tension de la zonule. Malgré tout, il semblerait que le système sympathique agirait comme un simple inhibiteur du parasympathique, principal acteur de l'accommodation. En effet, l'état de « repos » du cristallin correspond à un équilibre entre le système parasympathique et sympathique.

L'accommodation se fait de manière extrêmement précise dans des conditions optimales de luminosité et de contraste, mais sa précision baisse et sa latence augmente lorsque la luminosité ambiante et le contraste diminuent.

A l'extrême, l'accommodation peut même devenir incertaine et nécessiter plus de 10 secondes contre quelques dixièmes de secondes en condition optimales.

La fixation dans le noir, ou sur un fond uniforme, met les yeux en « repos accommodatif » qui ne correspond pas à une désaccommodation totale : Il s'agit en fait d'une position accommodative intermédiaire de 1δ à 1,5δ mettant l'œil en position de myopie appelée myopie « nocturne ».

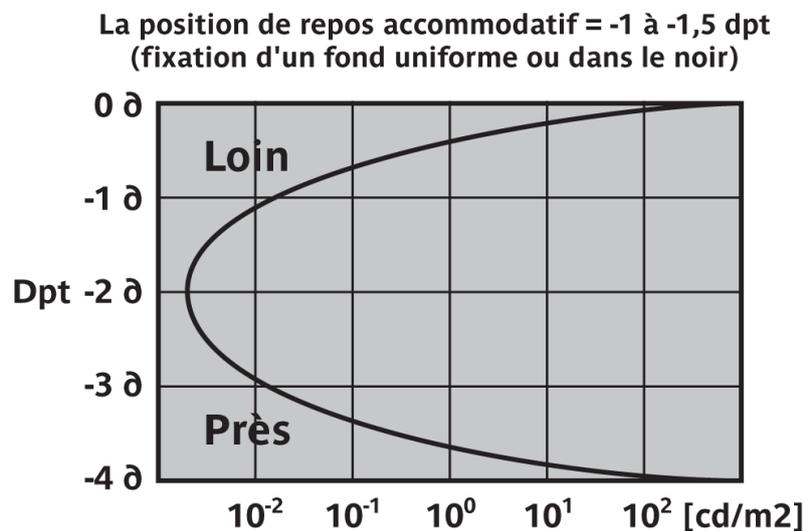


Schéma 6. Accommodation en fonction de la luminosité

# **Partie A :**

## **2. MESURE DE LA RÉFRACTION**

### **OBJECTIVE**

La réfraction objective correspond à la mesure du défaut réfractif de l'œil sans faire appel à des réponses subjective du patient. Elle se pratique associée à une cycloplégie dans la quasi majorité des cas, dans le cas contraire elle ne présente pas grand intérêt. Ce type de réfraction sous cycloplégique permet de déterminer la compensation optique totale (COT), qui est un élément fondamental dans le traitement de tous les troubles oculomoteurs.

La mesure s'effectue grâce à l'analyse d'un faisceau infrarouge (autoréfractomètre) ou d'une lumière (skiascopie), qui se reflète sur la rétine et permet d'obtenir le défaut réfractif total.

On utilise principalement cette méthode pour la réfraction des jeunes enfants ou des personnes handicapées, mais aussi sur toute autre personne que l'on soupçonne de spasme accommodatif.

Les principaux outils de cette réfraction sont :

- Le skiascope.
- L'autoréfracteur fixe.
- Le Rétinomax® (autoréfractomètre portable).

## **2.a - La Cycloplégie :**

### **2.a.i - Définition : [11] ; [23]**

Seule la cycloplégie permet l'étude objective de la réfraction ainsi que la mise ne place de la compensation optique totale.

L'accommodation est le principal mécanisme qui rend l'évaluation de la réfraction imprécise, elle peut entrainer une sous-estimation de l'hypermétropie ou une surestimation de la myopie. Significative jusqu'à environ 50 ans, elle est notamment très dérégulée dans les troubles innervationnels.

Pour connaître précisément la réfraction du patient avant l'installation de la presbytie, il est donc nécessaire de neutraliser tout influx accommodatif par une action cycloplégique médicamenteuse, c'est-à-dire par paralysie des muscles ciliaires autorisant l'accommodation.

On l'utilise en présence de troubles visuels de l'enfant, de troubles oculomoteurs (hétérophories avec signes fonctionnels ou décompensées, strabismes, nystagmus...) ou de signes fonctionnels plus ou moins bien précisés par le patient (céphalées, asthénopie, conjonctivite ou blépharite chronique...).

En résumé, une réfraction objective sous cycloplégique s'impose à chaque fois que la COT est requise. La répétition de cet examen est importante lorsqu'il y a une amétropie marquée et/ou un déséquilibre oculomoteur :

- 2 à 3 fois dans la première année de prescription.
- Tous les 6 mois par la suite, jusqu'à 2 ans environ.
- Puis à chaque changement de verres correcteurs (tous les ans en moyenne).

Cette répétition permet d'actualiser la COT et d'assurer une compensation optimale à tout âge, car la réfraction peut énormément varier dans les premières années de vie, avec la croissance du globe oculaire et la maturation de la rétine.

Plusieurs produits existent pour réaliser une cycloplégie, ils se différencient par leur protocole d'instillation, leurs molécules et donc leur efficacité variable.

### **2.a.ii - Atropine : [11] ; [23]**

L'atropine est une molécule complexe (3-hydroxy-2-phénylpropanoate de 8 méthyl-8-azabicyclo [3.2.1] oct-3-yle) alcaloïde présent dans certaines plantes de la famille des solanaceae, comme la belladone ou la mandragore.

C'est une substance antagoniste cholinergique qui se fixe aux récepteurs muscariniques de l'acétylcholine du système central et périphérique.

En inhibant les récepteurs cholinergiques muscariniques, l'atropine a un effet parasympatholytique.

L'atropine diminue donc le tonus du système parasympathique, à tel point que l'action

du système sympathique devient prépondérante : au niveau du cristallin, elle bloque l'accommodation et au niveau de l'iris, elle dilate la pupille.

En s'opposant à l'effet de l'acétylcholine sur les muscles lisses, elle a un effet anti-spasmodique.

Sur 7 publications internationales, 4 montrent que l'atropine donne de meilleurs résultats sur le blocage de l'accommodation que le cyclopentolate, quand les 3 autres concluent que l'effet de ces deux cycloplégiques sont à peu près équivalents, à +/- 0,25 $\delta$ . L'atropine est considérée comme le cycloplégique de référence, elle n'est pas non plus un cycloplégique parfait mais donne le meilleur effet cycloplégiant.

Elle est commercialisée en différents dosages, que l'on utilise en fonction de l'âge et de la pigmentation :

- Avant 2 ans, on utilise la concentration à 0,3%.
- Entre 2 et 5 ans, c'est la forme à 0,5% qui est préconisée.
- Après 5 ans, le dosage 1% peut être prescrit.

A noter que dans un flacon de 10 ml, on retrouve une dose mortelle pour un enfant. Il est donc essentiel de le ramener au pharmacien à la fin du protocole d'instillation et de le tenir hors de portée des enfants.

Le protocole d'instillation nécessite 1 goutte dans chaque œil, 2 fois par jour (matin et soir en général), durant environ une semaine, jour de la consultation incluse (5/6 jour précédents la consultation puis le matin de celle-ci).

Aucune étude n'a été réalisée sur l'efficacité de l'atropine en fonction du nombre de gouttes ou de la durée de l'instillation, mais cette dernière semble augmenter l'efficacité de la cycloplégie.

C'est une substance dont l'instillation n'est pas non plus sans risque, même si les complications ne représentent qu'un faible pourcentage des patients soumis à ce traitement. Les inconvénients courants sont des sécheresses buccales ou des sensations de déshydratation.

Les risques locaux sont des complications cutanées telles que des rougeurs ou œdèmes, qui doivent donner lieu à l'interruption du traitement.

Les risques généraux sont des intoxications qui, dans de rares cas plus qu'exceptionnels, peuvent s'avérer mortelles in fine.

En fonction du sujet, les effets de l'atropine se prolongent d'une semaine à 10 jours après instillation. Cela peut être un avantage pour faciliter l'adaptation à une première compensation optique totale, mais aussi une gêne conséquent pour la vision de près et la mydriase persistante, d'où la difficulté de répéter les réfractations objectives avec ce type de cycloplégique, surtout chez les enfants scolarisés.

### **2.a.iii - Cyclopentolate : [11] ; [12] ; [13] ; [14] ; [15]**

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.

A défaut d'être le cycloplégique de référence contrairement à l'atropine, le cyclopentolate est lui le cycloplégique de base.

Il possède un effet cycloplégiant rapide de 45 à 60 minutes après instillation, et une courte durée d'action pouvant aller de quelques heures à 1 jour dans certains cas, contre plusieurs jours pour l'atropine.

Malgré ces avantages, plusieurs études ont montrés que le cyclopentolate est une cycloplégique moins efficace que l'atropine. L'étude prospective récente d'Alain PECHEREAU et de Marie ANOMA [23], chiffre même cette différence d'efficacité à 0,64δ en faveur de l'atropine.

L'efficacité du cyclopentolate est directement liée au respect du protocole d'instillation, il en existe deux sortes :

- Une goutte dans chaque œil à T0, T5, T10 avec une réfraction 45 à 60 minutes après instillation de la première goutte.
- Une goutte dans chaque œil à T0, T10 puis une réfraction entre 45 et 60 minutes après la première goutte.

Plusieurs études et notamment deux françaises [24], [25] ont montrés que les différences d'efficacité entre ces deux protocoles ne sont pas significatives chez les enfants caucasiens non strabiques (entre 4 et 13 ans) ou chez le jeune adulte et l'adulte (16 à 29 ans).

Les deux méthodes d'instillations, 2 gouttes ou 3 gouttes obtiennent des résultats relativement similaires. On peut noter que des études prometteuses avec l'instillation du cyclopentolate en spray ont été réalisées.

Le protocole se réalise le plus souvent lors de la consultation par souci de timing. On utilise alors le Skiacol® qui est la forme commercialisée en France, correspondant à du chlorhydrate de cyclopentolate à 0,5%.

Il est aussi commercialisé sous d'autres non à l'étranger tels que le Cyclogyl®, le Mydrilate® ou encore le Myoplegic®. Tout comme l'atropine, ce n'est pas un cycloplégique parfait mais il donne de très bon résultat et possède de grands avantages et une facilité d'emploi par rapport à l'atropine.

L'instillation de cette substance comporte également des risques plus ou moins fréquents pouvant aller de la simple irritation locale ou la somnolence, jusqu'à plus rarement la réaction allergique, le glaucome aigu par fermeture d'angle ou encore convulsions. Ces risques sont néanmoins exceptionnels.

Mais l'utilisation du cyclopentolate est donc à proscrire pour les enfants avant l'âge de 1 an, contrairement à l'atropine, pour des causes médicales mais aussi en cas d'antécédents d'épilepsie ou de crises de convulsions récentes. Pour des raisons d'efficacité, il peut être associé au tropicamide sur les personnes à fortes pigmentation.

#### **2.a.iv - Tropicamide : [11] ; [12] ; [15]**

Il s'agit d'une molécule dont l'effet est plus mydriatique que cycloplégique. De formule N-ethyl-3-hydroxy-2phényl-N-(pyridin-4-yl-methyl) propanamide, elle a malgré tout un effet parasymphatholytique permettant de bloquer partiellement l'accommodation. Dans l'étude prospective d'A. PECHEREAU et M. ANOMA [23], les résultats indiquent que l'efficacité du tropicamide est inférieure de 0,35 $\delta$  par rapport au cyclopentolate (lui-même déjà moins efficace que l'atropine de 0,64 $\delta$ ).

Les seuls fois où il est utilisé comme cycloplégiant sont en complément du cyclopentolate, avec lequel ils semblent avoir une action synergique, et lorsque le cyclopentolate et l'atropine ont contre-indiqués.

En France il est commercialisé principalement sous le nom de Mydriaticum<sup>®</sup>, sous forme de tropicamide 0,5%, et est surtout utilisé pour ses propriétés dilatatrices très pratiques dans la réalisation de fond d'yeux.

Il s'agit donc d'un cycloplégique à mauvaise efficacité, à utiliser uniquement en complément du cyclopentolate ou de l'atropine, pour une cycloplégie correcte. C'est un cycloplégiant de second rang tout comme l'homatropine, dérivé de synthèse de l'atropine (8,8-dimethyl-8-azoniabicyclo [3.2.1] oct-3-yl) 2-hydroxy-2-phenyl-acetate bromide, commercialisé sous la forme de bromhydrate d'homatropine 1%. Peu connu, c'est un produit dont on peine à retrouver dans la littérature, ce qui prouve bien l'utilité extrêmement limitée qui en est faite dans l'ophtalmologie moderne.

Pour conclure : l'atropine est plus efficace que le cyclopentolate, lui-même plus efficace que le tropicamide. Concernant l'utilisation de chacun de ces cycloplégique et quelques soit leurs effets indésirables, il est conseillé de comprimer les voies lacrymales à l'instillation des gouttes pour limiter ou éviter le passage systémique.

La cycloplégie est nécessaire pour connaître la réfraction objective et subjective en minimisant les effets de l'accommodation et elle est à effectuer devant tout trouble oculomoteur, pour prescrire la correction optique totale ou devant toute plainte fonctionnelle de fatigue visuelle.

## **2.b - La Réfractométrie automatique :**

### **2.b.i - Réfractométrie automatique fixe : [19] ; [20] ; [21] ; [22]**

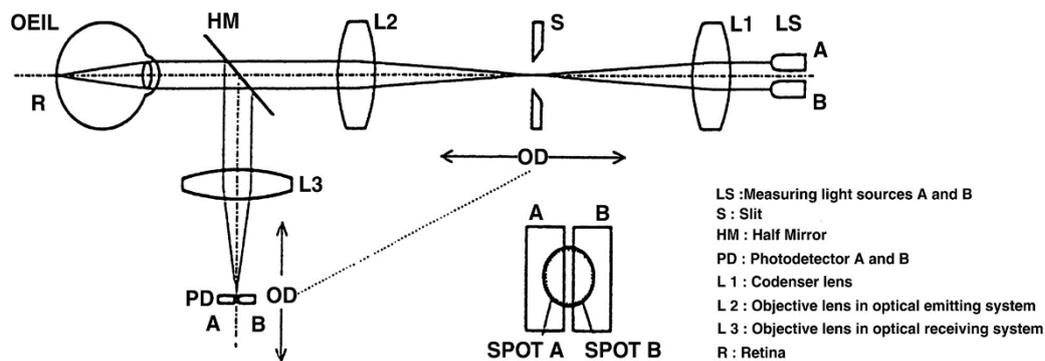
La réfractométrie automatique fixe est la mesure du défaut de réfraction de l'œil à l'aide d'un appareil : l'autoréfractomètre.

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 sous cycloplégique, dès l'âge de 3 ou 4 ans, en attendant une coopération suffisante pour une réfraction subjective.

Les réfractométries automatiques reposent sur les principes de la skiascopie et de la rétinoscopie, mais contrairement à ces dernières qui utilisent des lentilles de puissances différentes en maintenant fixe la distance d'examen, les autoréfracteurs 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 infra-rouge : 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.

L'autoréfracteur 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.



**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.

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'autoréfractomètre 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. 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 autoréfracteurs sous cycloplégie est très satisfaisante et comparable voire supérieure aux résultats obtenus avec la skiascopie manuelle.

L'autoréfractométrie automatique fixe présente de nombreux avantages : les mesures sont à la fois précises, on peut régler la sensibilité des valeurs par pas de 0,01 ; 0,12 ou 0,25δ pour la sphère et pour le cylindre, mais les mesures sont aussi rapides car l'appareil prend une mesure par 0,3 secondes. Ainsi, en moins d'une seconde, l'autoréfracteur prend une série de 3 mesures.

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 nous détail également l'astigmatisme cornéen avec les rayons le plus plat (R1 = le moins puissant) et le rayon le plus cambré (R2 = le plus puissant).

Sa précision est de +/- 0,25δ environ pour les faibles amétropies et de +/- 0,50δ pour les fortes amétropies.

Il peut mesurer une amétropie allant de -18δ à +23δ pour la sphère et de +/- 8δ pour le cylindre, ce qui représente un large panel de défauts réfractifs oculaire.

Mais l'autoréfractomètre automatique fixe possède des limites, toute réfraction sur un enfant de moins de 2 ans ou un peu trop turbulents est très compliquée voire impossible, car la machine peut effrayer les enfants en dessous de cette âge.

Les troubles de la fixation tels que le nystagmus et le trouble des milieux transparents oculaires (cataracte), représentent également une barrière à la prise des mesures, de même que les patients alités.

De plus, l'alignement rigoureux de l'œil et de la machine doit être respecté pour que les faisceaux infra-rouge puissent pénétrer dans l'œil par la pupille.

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.

## **2.b.ii - Réfractométrie automatique portable (Rétinomax®) : [19] ; [20] ; [21] ; [22]**

Le premier réfractomètre automatique portable de fabrication japonaise (Rétinomax®) est apparu en 1995, il permet de prendre des mesure réfractives à tout âge, notamment lorsque le mode « Quick » est activé. Il est donc très utile chez les enfants en bas âge, les enfants turbulents ou encore les personnes handicapées qui ne permettent pas de réaliser une mesure de la réfraction à l'autoréfractomètre fixe.

Les principes optiques sur lesquels se basent ses mesures sont analogues à ceux des autoréfractomètres 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 et permettant de visualiser afin que l'œil examiné ait un bon alignement, grâce à des mirettes et aux reflets cornéens, et ainsi éviter les erreurs de mesures dues au parallaxe.



**Autoréfractomètre portable : Rétinomax K-plus 2®**

L'autoréfractomètre 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 ne comporte pas de mentonnière mais un dispositif d'appui frontal permet de stabiliser l'appareil sur le front du patient afin d'optimiser la fiabilité des valeurs obtenues œil par œil. 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  $-18\delta$  à  $+23\delta$  avec un cylindre jusqu'à  $12\delta$ .

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 un déclenchement assez rapide pour effectuer les mesures. Néanmoins sa fiabilité est moindre et les mesures peuvent être variables.

Le principal avantage de ce mode est sa vitesse d'exécution, il permet de réaliser une mesure toutes les 0,033 à 0,14 secondes (10 fois plus rapide qu'un autoréfracteur fixe), ce qui est très utile pour les patients handicapés moteur, alités et surtout sous anesthésie générale.

Outre la rapidité d'exécution des mesures, l'autoréfractomètre portable à l'avantage d'avoir une grande facilité d'utilisation de par son poids (1kg avec la batterie) et de par sa maniabilité (facilement transportable). De plus son utilisation ne nécessite pas l'obscurité totale pour la réalisation des mesures.

Mais tout comme l'autoréfractomètre fixe, le Rétinomax® a aussi ses inconvénients qui peuvent provenir du mauvais alignement horizontal, vertical ou torsionnel entre l'appareil et l'œil. Cela peut induire une erreur dans la sphère et/ou le cylindre ainsi que dans l'estimation de l'axe de l'astigmatisme.

D'autres autoréfractomètres portables que le Rétinomax® existent, comme le Plusoptix® 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.

### 2.b.iii - Skiascopie Manuelle : [16] ; [17] ; [18]

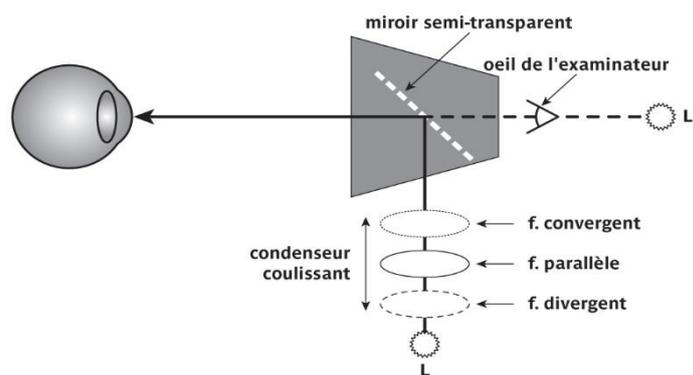
« Skia » signifie « ombre » en grec, elle est aussi appelée « rétinoscopia » par les anglais et les allemands.

Le mécanisme et l'interprétation de la skiascopie manuelle ont été réalisés par les travaux de Landolt (de 1878 à 1927). Son apparition est en réalité antérieure : la première utilisation de la skiascopie ponctuelle est attribuée à Bowman en 1859 et son application à la réfraction a été faite par Cuignet à partir de 1873.

Son principe repose sur l'observation d'un faisceau lumineux projeté dans l'œil de manière à balayer la rétine, laquelle réfléchit ce faisceau vers l'observateur en raison de ses propriétés anatomiques.

Les diverses techniques et contraintes de cet examen sont liés à la distance d'examen, l'utilisation ou non de cycloplégique ainsi qu'à la caractéristique du faisceau incident : fixe ou mobile, convergent, parallèle ou divergent...

Initialement, le faisceau incident provenait d'une source lumineuse proche du sujet, et était envoyé dans la pupille via un miroir percé d'un orifice pour l'observateur. Plus tard, une amélioration a été apportée avec la mise au point du skiascope à spot rond, puis le remplacement du spot rond par un spot à fente permettant l'exploration de tous les méridiens de l'œil.



**Schéma du fonctionnement optique du skiascope.**

Le skiascope possède une source lumineuse, contenue dans le manche de l'instrument. Cette source produit un faisceau lumineux réfléchi par un miroir semi transparent situé dans la tête de l'instrument pour venir se confondre avec l'axe visuel de l'œil de l'examineur et être dirigé vers l'œil à examiner. Concrètement, l'image primaire de la

source lumineuse à travers le système optique du skiascope se retrouve sur l'axe visuel et en avant ou en arrière de l'œil de l'examineur, en fonction de la configuration du faisceau.

Selon la position du condensateur, qui est situé entre la source lumineuse et le miroir, le faisceau pourra avoir différents aspects :

- **Divergent**, lorsque le condensateur est le plus près de l'ampoule (configuration la plus utilisée) où l'image primaire  $L'$  de la source à travers le skiascope se trouve derrière l'examineur et se déplace en sens opposé au mouvement du skiascope.
- **Parallèle**, le condensateur est en position intermédiaire, l'image de la source se retrouve également derrière l'examineur et se déplace donc comme dans la configuration du faisceau divergent.
- **Convergent** (le moins fréquent), où le condensateur est dans la position la plus éloignée de l'ampoule.  $L'$  se retrouve alors devant l'examineur et se déplace dans le même sens que le mouvement du skiascope.

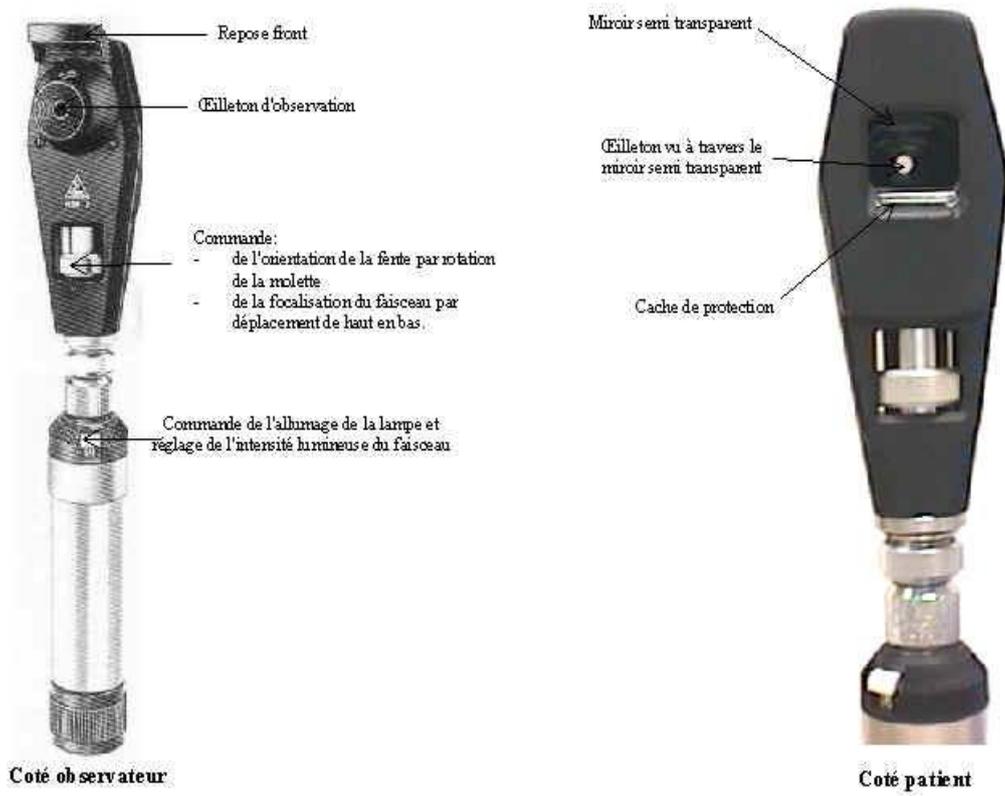
Il faudra tenir compte de ce paramètre pour interpréter le mouvement du reflet dans l'œil (inversé entre divergent/parallèle et convergent), et veiller au bon maintien du même faisceau durant l'examen pour ne pas se tromper dans les mesures.

Ce faisceau lumineux, créé sous forme de fente lumineuse, éclaire la rétine de l'œil examiné et celle-ci réfléchit la lumière devenant ainsi l'image secondaire  $L''$  de la source lumineuse initiale (issue de l'ampoule).

Cette source secondaire se déplace dans le sens inverse de la source image  $L'$  (l'axe  $L'-L''$  agit comme un bras levier dont l'appui est la pupille de l'œil examiné).

Cela signifie que :

- **$L''$  se déplace dans le même sens que le skiascope lorsque le faisceau est divergent ou parallèle.**
- **$L''$  se déplace dans le sens inverse du skiascope lorsque le faisceau est convergent.**

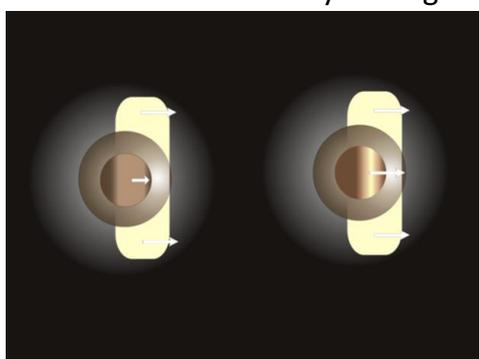


**Constitution d'un skiascope**

En éclairant la pupille, l'examineur ne voit pas réellement L'' mais son image à travers l'œil examiné (c'est en réalité une image tertiaire) : il observe donc le déplacement de L'' sur la rétine, à travers le cristallin et la cornée.

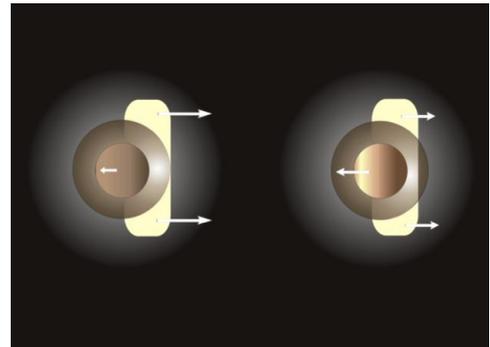
En faisceau divergent ou parallèle, on distingue alors plusieurs cas :

- En cas d'**hypermétropie**, la rétine de l'œil se trouve en avant de son foyer image. L'image de L'' est alors droite, virtuelle et éloignée et par conséquent, elle se déplace dans le même sens que L'' et donc dans le **même sens que le mouvement du skiascope (direct)**.



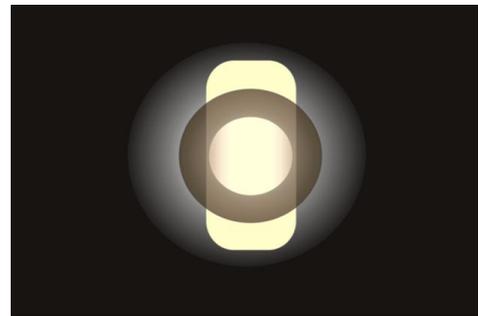
**Mouvement Direct**

- En cas de **myopie**, la rétine est en arrière du foyer image de l'œil.  
L'image de L'' est donc inversée, réelle et plus proche. Par conséquent l'image de L'' se déplace dans le sens inverse de sa source, c'est-à-dire dans le **sens inverse du mouvement du skiascope (inverse)**.



Mouvement Inverse

- - Pour un œil **emmétrope**, la rétine est au foyer image de l'œil, l'image de L'' se situe à l'infini et **paraît immobile** : la pupille s'illumine en totalité lorsque le faisceau éclaire la rétine (illumination) ou s'obscurcit lorsque le faisceau lumineux passe sur l'iris (extinction).



Point neutre

En cas d'amétropies, le but de la skiascopie est donc de neutraliser le mouvement de l'image de L'' en ramenant L'' sur la rétine à l'aide de verres convexes ou concaves et ce dans tous les méridiens. Ce point de neutralisation du mouvement est appelé « point neutre » ou « ombre en masse ».

La distance d'examen est effectuée rapprochée entre 1m et 50 cm et l'examineur doit tenir compte de cette distance dans le calcul de sa formule final :

Pour une distance de 1 mètre par exemple, on réalise une recherche le point neutre, autrement dit l'emmétropisation pour cette distance donnée. Afin d'obtenir la formule définitive de la correction en vision de loin, on devra donc retirer l'équivalent dioptrique de la distance d'examen, ici  $1\delta$ .

Si l'œil examiné a une neutralisation de  $+2,00\delta$  à 1 mètre, son hypermétropie est réellement de  $+1,00\delta$ .

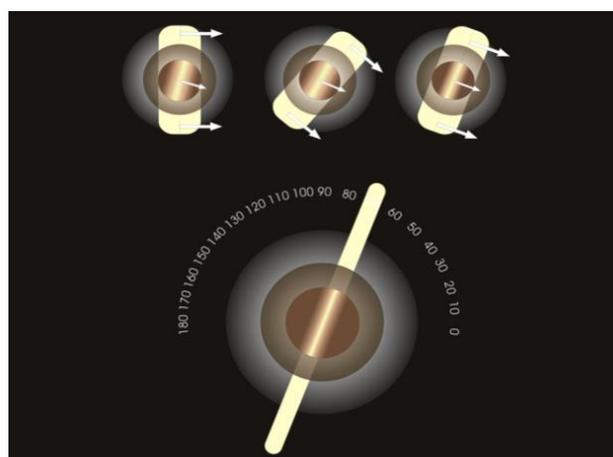
Si on retrouve un point neutre sans aucun verre à 1 mètre, alors l'œil est myope de  $-1,00\delta$ . Pour 67 cm on retirera  $1,50\delta$  et pour 50 cm on retirera  $2,00\delta$ .

L'examineur interpose donc des verres pour modifier la focalisation de  $L''$  et la ramener sur la rétine afin de neutraliser le mouvement :

- Déplacement du mouvement dans le sens inverse du skiascope, le foyer image de l'œil se trouve en avant de la rétine = Interposition de verres concaves.
- Déplacement du mouvement dans le même sens que le skiascope, le foyer image est en arrière de la rétine = Interposition de verres convexes.

L'aspect et la vitesse du reflet renseigne également l'examineur sur l'amétropie : plus le reflet est intense, plus on se rapproche de l'ombre en masse, tandis que plus on est loin du point neutre, moins le reflet est intense. De même, plus le reflet est rapide, plus on se rapproche du point neutre.

On peut aussi avoir une différence d'orientation du reflet par rapport à l'orientation de la fente : l'axe du reflet oblique par rapport à l'axe de la fente lumineuse nous donne une indication sur l'orientation des méridiens principaux de l'astigmatisme.



**Recherche de l'axe de l'astigmatisme au skiascope**

Pour ce qui est de l'astigmatisme, l'examineur doit balayer la pupille dans les différents

méridiens de l'œil, grâce à la molette d'orientation de la fente lumineuse projetée, car l'ombre en masse peut être trouvée dans un méridien principal tandis qu'il subsiste un mouvement dans l'autre.

A noter qu'avec une fente horizontale, on balaye le méridien vertical (90°) et lorsqu'on balaye avec une fente verticale, on recherche la neutralisation du méridien horizontal (0-180°).

L'axe dans lequel le mouvement est le plus rapide et le reflet le plus intense constitue le méridien le moins amétrope. A l'inverse, l'axe où le mouvement est plus lent et le reflet moins intense correspond au méridien le plus amétrope. L'amétropie est entièrement corrigée lorsque le déplacement du reflet est neutralisé dans tous les méridiens.

Il existe deux méthodes d'examen dans le cas d'un astigmatisme. Dans ces deux méthodes on commence par balayer les méridiens de l'œil sur 360° afin d'essayer d'identifier les méridiens principaux. C'est la suite du déroulement de l'examen qui diffère légèrement :

- 1) On peut rechercher d'abord le verre sphérique permettant l'obtention du point neutre dans le premier méridien principal, puis dans un second temps on recherche à neutraliser le second méridien principal, toujours avec un verre sphérique.

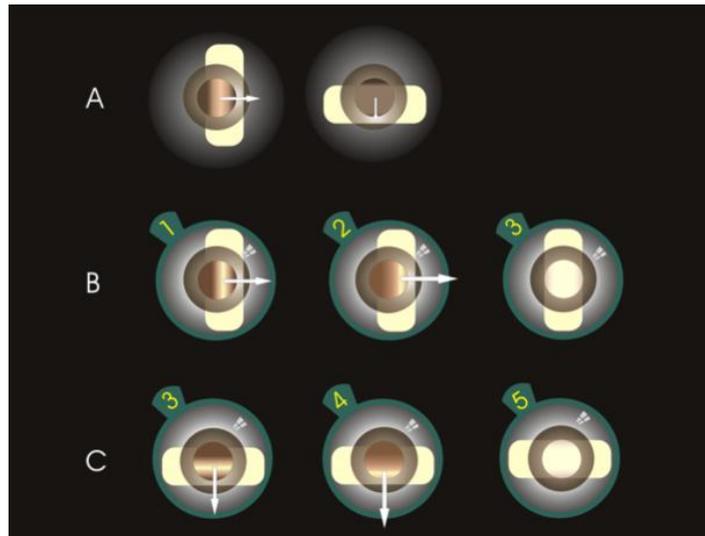
On obtient donc la valeur de l'amétropie dans chaque méridien et la différence nous donne l'astigmatisme total du patient et permet d'en déduire la formule sphéro-cylindre.

Exemple pour une distance d'examen de 1 mètre :

- A 10°, mouvement neutralisé avec +1,50δ.
- A 100°, mouvement neutralisé avec +3,00δ.

Après avoir retiré 1δ correspondant à la distance d'examen on obtient +0,50 à 10° et +2,00 à 100°. La formule sphéro-cylindrique donne donc +2,00 (-1,50) 100°.

Cette méthode est principalement utilisée pour l'examen du nourrisson ou des enfants en bas âge sur lesquels il est trop compliqué de placer des lunettes d'essai pour y faire tenir le verre sphérique plus le verre cylindrique.



**A - Recherche des méridiens principaux**

**B - Neutralisation du méridien horizontal à +3,00**

**C - Neutralisation du méridien vertical à +5,00**

2) Cette deuxième méthode consiste à rechercher l'ombre en masse dans tous les méridiens en même temps à l'aide d'un verre torique corrigeant directement l'astigmatisme. Cette neutralisation globale de tous les méridiens permet d'obtenir la formule sphéro-cylindrique de l'amétropie sans passer par des calculs, uniquement en retirant la valeur de la distance d'examen.

On commence d'abord par rechercher le point neutre dans le premier méridien principal grâce à un verre sphérique.

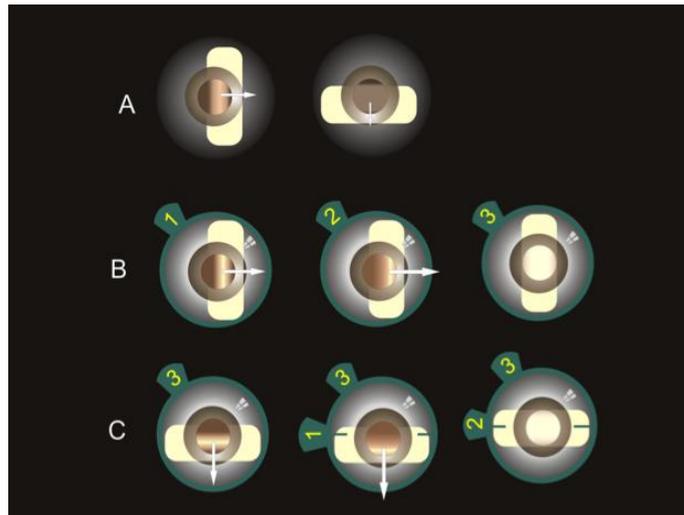
Ensuite, on recherche le point de neutralisation dans le second méridien plus amétrope (normalement perpendiculaire) par interposition de verres cylindriques dont l'axe est similaire à celui de la fente lumineuse (puisque le cylindre corrige dans le contre-axe).

Exemple pour un examen à une distance de 1 mètre :

- A 35°, point neutre obtenu avec +2,50.

- A 145°, il subsiste un mouvement à +2,50 $\delta$ , neutralisé avec (-1,00) à 35° (la fente étant placée à 35°, elle balaye le méridien 145°).

On obtient alors la formule +2,50 (-1,00) 35° et il ne reste plus qu'à enlever la distance d'examen ce qui nous donne : +1,50 (-1,00) 35°.



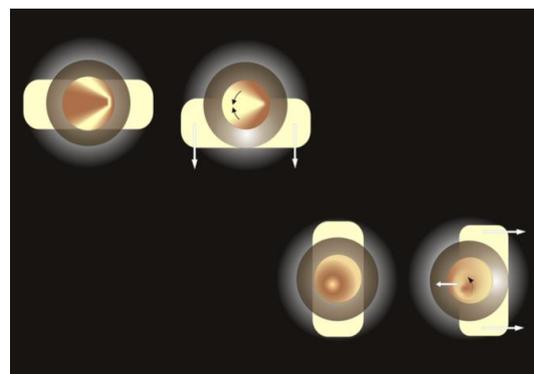
**A - Recherche des méridiens principaux**

**B - Neutralisation du méridien vertical (verre sphérique)**

**C - Neutralisation du méridien horizontal (verre cylindrique)**

En revanche, ce type de méthode est contraignant car pour obtenir un résultat fiable, il faut faire tenir le verre sphéro-cylindrique sur la lunette d'essai afin de s'assurer d'être à l'ombre en masse dans tous les méridiens. Cette méthode ne convient donc pas pour les jeunes enfants et nourrisson, et son utilisation est préférable sur une tête de réfracteur pour une meilleure stabilité.

Lors du déplacement de la fente lumineuse on peut également se retrouver face à un reflet dont le mouvement semble se faire en rotation : Il peut s'agir d'un effet « ciseau » qui signe la présence d'un fort astigmatisme ou qui peut évoquer la présence d'un kératocône.



**Difficultés de la Skiascopie : Effet « Ciseau »**

Si la skiascopie manuelle est mal maîtrisée, les sources d'erreurs sont nombreuses :  
 - Le parallaxe, un décalage du faisceau entrant dans l'œil peut amener une erreur de réfraction.

- La mauvaise orientation du faisceau qui n'est alors plus parallèle à l'image rétinienne.
- La distance entre l'examineur et l'œil qui doit être constante.
- L'interposition de verres mal centrés ou à une distance mal adaptée.
- Une cycloplégie incomplète.
- Manque de coopération de l'enfant qui hurle ou qui pleure.

La skiascopie sous cycloplégique est la skiascopie standard mais il existe d'autres techniques de skiascopie réalisées sans cycloplégique et où les conditions d'examen varient, comme la technique de la skiascopie statique, la skiascopie dynamique ou encore la skiascopie de Mohindra dite de « proximité ».

Nous ne développerons pas ces différentes techniques car elles ne rentrent pas dans le cadre de notre sujet.

Sous cycloplégie, c'est une technique très rapide qui permet de déterminer la correction optique totale mais pas forcément la correction réellement supportée par le patient. En cas d'absence de strabisme, d'amblyopie, et lorsqu'elle est effectuée sur des sujets plus âgés, on peut donc vérifier la correction par une réfraction subjective basée sur les résultats de la skiascopie tout comme les autres méthodes de mesure objective de la réfraction.

Toutes ces méthodes possèdent leurs avantages et leurs inconvénients. Des études ont montré qu'avec un bon blocage de l'accommodation, aucune n'est meilleure que l'autre et elles se complètent en permettant une mesure objective de la réfraction dans des conditions très variées (âge, coopération, amétropies...). En fonction des conditions, on privilégiera plus ou moins une méthode plutôt qu'une autre. Réalisées en association avec un cycloplégique efficace, elles rendent possible la mesure de la correction optique totale qui est un élément essentiel dans la prise en charge du strabisme, de l'amblyopie ou de tout autre trouble oculomoteur.

## **2.b.iv - La Correction Optique Totale (COT) : [23]**

La correction optique totale est déterminée par la réfraction objective sous cycloplégique. Elle représente le défaut réfractif total de l'œil, sans composante accommodative.

Chez l'enfant, la correction optique totale ne se négocie pas : elle permet de mettre à plat le trouble oculomoteur soit en le diminuant, soit en révélant un trouble qui apparaîtrait tôt ou tard avec la diminution physiologique de l'accommodation. Plus elle est prescrite jeune, plus elle est facilement supportée.

En cas de COT refusée par l'enfant, il faut avant tout vérifier les verres portés et la tolérance à la monture. On peut ensuite révérier la réfraction sous cycloplégique puis faire une cure d'atropine pour lever le spasme accommodatif persistant. Très souvent le refus inconscient du port de lunettes par les parents contribue à la difficulté du port de lunettes par l'enfant.

La répétition des cycloplégie est nécessaire pour connaître et actualiser cette COT, indispensable pour le traitement du strabisme et/ou nystagmus, de l'amblyopie et des hétérophories à signes fonctionnels.

Une vérification 2 fois par an pendant les premières années de vie semble adaptée puis 1 fois par an par la suite.

Chez l'adulte présentant un trouble oculomoteur et lisant 10/10<sup>ème</sup> avec sa correction, il faut vérifier sa correction sous cycloplégique car celle-ci est souvent trop concave. Soit la COT sera proche de la correction portée et l'adaptation se fera sans problème, soit la différence sera grande et il faudra longuement expliquer l'intérêt de parvenir à la supporter d'emblée ou en plusieurs étapes, pour soulager son asthénopie par exemple. Chez l'amblyopie unilatéral ou bilatéral, la COT est prescrite d'emblée car l'image doit être la plus nette possible sur l'œil amblyopie afin de s'assurer de sa bonne stimulation.

Elle permet souvent de démasquer des anisométries ou de pseudo-anisométries. Seule la COT permet l'obtention d'une image nette sur la rétine quand l'appréciation subjective de l'image dans les basses acuités est trop compliquée. Même si elle ne fait pas beaucoup varier l'acuité, elle sollicite moins les mécanismes compensateurs.

La cycloplégie est incontournable pour connaître la réfraction objective du patient. La COT s'impose dans tous les troubles oculomoteurs, amblyopies et fortes amétropies car elle a elle-même un effet cycloplégiant.



## **Partie A :**

### **3. MESURE DE LA REFRACTION**

#### **SUBJECTIVE**

La réfraction subjective est une méthode d'examen permettant une réfraction monoculaire et binoculaire faisant appel aux réponses et donc à la perception du patient. Cet examen ne peut donc pas être utilisé chez les jeunes enfants ni chez certaines personnes handicapées, car elle nécessite une bonne coopération pour un résultat fiable. Il existe une multitude de techniques pour réaliser ce type de réfraction, mais elles reposent toutes sur le fait d'essayer de bloquer au maximum le réflexe d'accommodation, d'une manière ou d'une autre, pour ne pas passer à côté d'une hypermétropie latente.

Il est possible de réaliser cette réfraction en y associant un cycloplégiant, mais nous ne traiterons pas de ce cas-là car, à moins de vérifier le confort perceptuel du patient, l'expérience aura montré que les méthodes de réfractations objectives sous cycloplégique sont bien plus pratiques, rapides et tout aussi efficace voire plus.

De manière générale et pour un gain de temps, l'examen est précédé d'un examen objectif dont le ticket de réfraction constitue une base pour la réfraction subjective. La valeur du cylindre obtenu est d'autant plus fiable que sa valeur est importante et la sphère est d'autant plus fiable que les capacités accommodatives du patient sont faibles : Chez le sujet jeune elle ressort souvent trop concave ou donne des valeurs très variables en cas de spasmes, tandis que chez le presbyte les valeurs sont bonnes à +/- 0,25δ.

En théorie, la participation et la fiabilité des réponses peuvent être utilisées à partir de 5 ans pour un tel examen mais, en réalité, il y a une partie d'examen liée à la compréhension du sujet et qui ne rend la réfraction subjective vraiment fiable que vers l'âge de 7 ou 8 ans.

L'examen peut être réalisé sur lunettes d'essai avec interposition de verres d'essais, ou sur une tête de réfracteur, appelé aussi « phoropter », qui rassemble tous les verres de la boîte d'essai sur un ou deux disques de Risley. Ces appareils évitent les manipulations des verres, mais ne correspondent pas tout à fait aux conditions réelle du port des lunettes et peuvent parfois solliciter l'accommodation chez certaines personnes, par la sensation de proximité de l'appareil.



Tête de réfracteur

### **3.a - Préalable à l'examen :**

#### **3.a.i - L'Interrogatoire : [24] ; [25] ; [26] ; [27] ; [28] ; [29] ; [30]**

Avant tout examen, une bonne anamnèse à visée réfractive apparaît comme essentielle pour déterminer l'état de base de yeux examinés. En effet, en fonction des gènes ou des divers signes fonctionnels, l'interrogatoire nous renseigne et nous oriente sur un éventuel trouble réfractif du patient et sur la valeur de l'amétropie.

Plusieurs choses sont notamment à prendre en compte et à ne pas négliger pour effectuer une bonne réfraction.

Connaitre l'âge du patient est un élément essentiel pour se faire une idée de sa capacité accommodative et donc sa capacité plus ou moins bonne à compenser une éventuelle hypermétropie, ce qui pourrait expliquer l'apparition de signes fonctionnelle.

De plus, même si il n'y a pas d'âge légal pour ce qui est de la presbytie, il est admis que chez les caucasiens son apparition se fait en général aux alentours de

45 ans, et un peu plus précocement chez les personnes d'origine africaine (40 ans environ). Lorsque l'apparition de la presbytie est plus précoce, on peut suspecter une hypermétropie non ou sous-correcte, ou une myopie surcorrecte.

Le patient énonce ses différentes plaintes et besoins visuels lorsque la question du motif de sa consultation lui est posée, ce qui permet de mieux cerner ses attentes. Ces premières informations donnent déjà la possibilité d'émettre une hypothèse sur la tendance amétropique du patient, mais il faut les prendre au conditionnel et les mettre en corrélation avec le reste de l'examen pour pouvoir réellement en conclure quelque chose.

Pour les myopes, la gêne principale sera la plupart du temps une vision floue de loin sans problème particulier en vision de près. Cela se matérialise par un éblouissement à la conduite de nuit par exemple ou encore des difficultés à lire un tableau en salle de classe pour les plus jeunes.

En ce qui concerne les hypermétropes qui possèdent une réserve maximale accommodative suffisante pour masquer leur trouble, on retrouvera surtout des signes fonctionnels liés à l'effort accommodatif prolongé que doit fournir le patient pour compenser l'hypermétropie. Une asthénopie, des céphalées en fin de journée et irritations oculaires sont les plus fréquentes. En cas de fortes hypermétropies il peut également survenir une vision floue de près et de loin lorsque l'effort accommodatif ne suffit pas ou ne peut plus être maintenu de manière prolongée.

Des difficultés associées à une vision floue lors du passage de la vision de loin à la vision de près ou inversement, nous indiqueront qu'il existe sûrement une hétérophorie gênante, tout comme une vision double intermittente peut également nous orienter sur une hétérophorie accommodative décompensée. Les conditions habituelles dans lesquelles évoluent le patient peuvent

influencer la correction finale prescrite en fonction de sa distance de travail ou en fonction de ses loisirs. Pour cette raison il est important de s'en tenir également informé. Ces distances sont surtout à prendre en compte pour l'addition chez le presbytes.

Des antécédents familiaux sont aussi à prendre en compte du fait du caractère héréditaire dans certaines fortes amétropies. De même il est important de savoir si le patient a déjà fait de la rééducation orthoptique, s'il porte ou a porté une correction optique auparavant.

La prise de certains traitement médicamenteux comme des antidépresseurs ou antipsychotiques peuvent modifier l'état des yeux et décompenser des troubles oculomoteurs sous-jacents, entraînant des signes fonctionnels. Le but et avant tout de déterminer l'état de fatigue du patient et la prise de médicaments pouvant faire varier l'accommodation et donc la réfraction.

### **3.a.ii - Mesures des Acuités visuelles :**

La mesure des acuités visuelles monoculaires brute est sans conteste l'une des étapes les plus importantes pour réaliser une bonne réfraction. Elles vont nous renseigner directement sur l'amétropie attendue grâce à la règle de Swaine.

Il s'agit d'une règle qui permet l'estimation de la valeur d'une amétropie myopique ou d'un équivalent sphérique myopique (pour les faibles astigmatismes) en fonction de l'acuité visuelle de loin du sujet. Elle est basée sur un diamètre pupillaire d'environ 3mm [30], et donne la relation suivante : **AV = 1/n avec Amétropie (A) = -n x 0,25.**

On utilise donc le plus souvent l'acuité visuelle en inverse pour pouvoir obtenir une idée de la valeur amétropique ou de la sphère de brouillage pour un hypermétrope.

Exemples :  $1/10^{\text{ème}}$ ,  $n = 10$  donc cela nous donne  $A = -10 \times 0,25 = -2,50\delta$ .

$2/10^{\text{ème}} = 1/5$  avec  $n = 5$ , l'amétropie (A) sera de  $-5 \times 0,25 = -1,25\delta$ .

$5/10^{\text{ème}} = 1/2$  avec  $n = 2$ , on aura  $A = -2 \times 0,25 = -0,50\delta$ .

| V = 1/v | V    | V décimal | Sphère de brouillage |
|---------|------|-----------|----------------------|
| 10      | 1/10 | 0,10      | + 2,50 D             |
| 9       | 1/9  | 0,11      | + 2,25 D             |
| 8       | 1/8  | 0,12      | + 2,00 D             |
| 7       | 1/7  | 0,14      | + 1,75 D             |
| 6       | 1/6  | 0,16      | + 1,50 D             |
| 5       | 1/5  | 0,20      | + 1,25 D             |
| 4       | 1/4  | 0,25      | + 1,00 D             |
| 3       | 1/3  | 0,33      | + 0,75 D             |
| 2       | 1/2  | 0,50      | + 0,50 D             |

**Règle de Swaine : Tableau représentant la relation entre AV et amétropie**

$1/v = 1/\text{Acuité en inverse} = n$ .

$V = \text{Acuité en inverse}$ .

$V \text{ décimal} = \text{Acuité décimale}$ .

On peut aussi utiliser la technique du Swaine inverse et en tirer une estimation de l'amétropie : avec un verre de brouillage, on amène artificiellement l'acuité du patient entre 2 et  $5/10^{\text{ème}}$  et on compare la valeur du verre celle de la sphère de brouillage qui est en théorie nécessaire pour obtenir cette acuité selon Swaine :

Si par exemple on a une AV =  $2/10^{\text{ème}}$  le sujet est sensé n'être brouillé que de  $1,25\delta$ , donc si on obtient cette acuité avec un brouillage de  $+3,00$  on peut estimer que le sujet est hypermétrope d'au moins  $+3,00 - 1,25 = +1,75\delta$ .

Idem si avec un  $+1,00$  on a une AV =  $5/10^{\text{ème}}$  alors que cette acuité est sensée être obtenue pour un brouillage de  $+0,50$ , on estime donc le sujet hypermétrope d'au minimum  $+1,00 - 0,50 = +0,50\delta$ .

Les acuités visuelles sont aussi à confronter aux données recueillis sur le ticket de réfracteur pour détecter les patients sujets à d'éventuels spasmes de l'accommodation.

En effet, si on retrouve 10/10<sup>ème</sup> à la mesure de l'acuité tandis que le ticket de réfracteur indique une myopie de 0,75δ par exemple, on sait directement d'après la règle de Swaine, qu'avec une telle acuité le sujet ne peut pas être myope de cette valeur et qu'il s'agit en fait d'un spasme accommodatif.

Un astigmatisme peut également être soupçonné lorsque dans la lecture des différentes lignes d'acuité le sujet confond certaines type de lettres avec d'autres : « C, O ou D » ; « E, F, B ou P » ; « N, H »...

De plus, une acuité visuelle binoculaire inférieure à la meilleure acuité visuelle monoculaire des deux yeux peut être expliquée par un problème de vision binoculaire et notamment la présence d'une hétérophorie gênante, d'origine accommodative ou non.

C'est une mesure qui doit s'effectuer de près comme de loin et de préférence sur un écran LCD à hauteur des yeux, qui possède plusieurs avantages par rapport à une échelle d'acuité mural ou à une échelle d'acuité rétro-projetée :

- Un meilleur contraste avec la possibilité de faire varier ce contraste.
- Une calibration très précise de la taille des optotypes en fonction de la distance d'examen.
- Un choix multiple de morphologie des optotypes (chiffres, dessins, E de Snellen, C de Landolt) permettant de tester aussi bien l'acuité morphoscopique que l'acuité de résolution, chez l'adulte ou l'enfant.
- La possibilité de faire varier les optotypes pour une même ligne d'acuité afin d'éviter la mémorisation.
- La possibilité de tester une acuité au-delà de 10/10<sup>ème</sup> jusqu'à 20/10<sup>ème</sup> .
- Une disposition de plusieurs échelles d'acuité, décimale, logarithmique, inverse, Snellen...

Par souci de comparaison il est préférable d'utiliser la même catégorie d'optotypes d'un examen à l'autre et de se servir d'une échelle logarithmique dont la progression est beaucoup plus linéaire que les autres (l'échelle décimale étant peu précise entre 1 et 5/10<sup>ème</sup> et beaucoup plus entre 5 et 10/10<sup>ème</sup> , inversement pour l'échelle inverse).

| MAR (minute d'arc) | Acuité visuelle décimale (/10) | Acuité visuelle logarithmique LogMAR |
|--------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 100                | 0,1                            | - 2                                  |
| 20                 | 0,5                            | - 1,3                                |
| 10                 | 1                              | - 1                                  |
| 7,94               | 1,3                            | - 0,9                                |
| 6,31               | 1,6                            | - 0,8                                |
| 5                  | 2                              | - 0,7                                |
| 3,98               | 2,5                            | - 0,6                                |
| 3,33               | 3                              | - 0,52                               |
| 2,5                | 4                              | - 0,4                                |
| 2                  | 5                              | - 0,3                                |
| 1,67               | 6                              | - 0,22                               |
| 1,58               | 6,3                            | - 0,2                                |
| 1,43               | 7                              | - 0,16                               |
| 1,25               | 8                              | - 0,1                                |
| 1,11               | 9                              | - 0,05                               |
| 1                  | 10                             | 0                                    |

#### Equivalence AV décimale et AV logarithmique

MAR = Angle minimum de résolution (AV décimale = 1/AMR)

Depuis Helmholtz, on considère qu'un sujet a une acuité de 10/10<sup>ème</sup> lorsqu'il est capable de distinguer deux objets ou deux détails séparés par un angle de 1 minute.

Après avoir mesuré les acuités visuelles monoculaires, on peut alors émettre des hypothèses sur l'amétropie du patient en mettant en lien toutes les informations précédemment recueillies :

- AV > ou = à 10/10<sup>ème</sup> : Emmétrope, faible hypermétropie ou encore astigmatisme < 0,50δ.
- AV de 5/10<sup>ème</sup> : Myopie de 0,75δ maximum, astigmatisme de 1 à 1,75δ, Hypermétropie mal compensée ou encore emmétrope avec spasme ou hypermétropie compensée avec spasme (à ne pas exclure).
- AV < ou = à 1/10<sup>ème</sup> : Myopie > ou = à 2,50δ, fort astigmatisme entre 3,50δ et 5δ ou très forte hypermétropie.

L'acuité visuelle est donc un préalable essentiel à une réfraction subjective réussie. Une bonne exploitation de toutes ces informations constituent un gain de temps au niveau de l'examen qui leur succède et donc une meilleure efficacité du point de vue de la réfraction.

### **3.b - Réfraction subjective monoculaire : [24] ; [25] ; [26] ; [27] ; [28] ; [29] ; [30]**

Dans une réfraction subjective sans cycloplégie on cherche toujours à obtenir la compensation optique la plus convexe laissant au sujet la meilleure acuité. Pour arriver à ce résultat, il existe de nombreuses techniques différentes mais toutes ont le même objectif : bloquer au maximum l'accommodation du sujet pour ne pas sur-corriger une myopie ou sous-corriger une hypermétropie. Les protocoles peuvent varier mais dans la plupart des cas on retrouve la même marche à suivre, c'est la méthode SAS (Sphère-Astigmatisme-Sphère) ou SCS (Sphère-Cylindre-Sphère).

L'examen commence par la recherche de la sphère palier, se poursuit par la recherche de l'astigmatisme au cylindre croisé de Jackson et se termine par un contrôle final de la sphère. Pour tout examen monoculaire il s'ensuit un équilibre bioculaire et pour finir un équilibre binoculaire. La réfraction monoculaire s'utilise principalement pour des patient au profil accommodatif limité (jeunes presbyte), dans les cas d'anisoacuité ou encore chez les sujets à troubles oculomoteurs (strabiques ou hétérophoriques avec signes fonctionnels).

Une réfraction ne s'effectue jamais dans le noir sous peine de solliciter une part de l'accommodation pour les raison énoncées précédemment (voir partie 2.d). Pour cette raison on doit avoir des conditions de vision les plus réelles possibles avec un éclairage entre 300 et 500 lux. Seuls les examens bioculaires pourront être effectués avec un éclairage plus faible.

### **3.b.i - Recherche de la sphère : [24] ; [25] ; [27] ; [28] ; [29] ; [30]**

Sur lunettes d'essai ou sur tête de réfracteur, le principe reste le même et le patient doit au préalable être bien installé, avec le respect de ses écarts pupillaires sur le phoroptère ou sur les lunettes.

Pour la recherche de la sphère au palier, l'efficacité réside dans la rapidité d'exécution de l'examen mais elle passe aussi par un bon brouillage afin de solliciter au minimum l'accommodation.

Un brouillage permet en théorie de placer le patient en position de myopie artificiellement, à l'aide d'un verre convexe de valeur variable, afin d'empêcher le patient de mettre en jeu son accommodation.

Chez le sujet myope, le brouillage est naturellement présent sans la compensation, en témoigne leur acuité visuelle, et c'est dans ce cas-là que la règle de Swaine intervient pour estimer la valeur de cette myopie. En fonction de sa valeur, il n'est donc forcément pas nécessaire de rajouter en plus une sphère de brouillage pour l'étude de la réfraction. Malgré tout, il peut être intéressant pour les faibles myopies de rajouter un verre de  $+0,50\delta$  à  $+1,00\delta$  pour être sûr de faire chuter l'acuité, afin de ne pas passer à côté d'une pseudo-myopie qui se révélerait être en réalité une suraccommodation.

Pour un hypermétrope, la simple acuité visuelle ne permet pas de chiffrer l'hypermétropie, on pourra alors placer devant l'œil une sphère de brouillage grâce à laquelle on estimera la valeur de l'amétropie en fonction de l'AV obtenu avec celle-ci. Chez un astigmat, on cherchera à trouver la sphère plaçant le sujet sur le CMD (Cercle de Moindre Diffusion) qui lui autorise la meilleure vision possible avant la recherche de l'axe et de la valeur de son cylindre compensateur. Pour cela on le placera en position d'astigmatisme myopique.

Plusieurs méthodes peuvent être employées :

- 1) La méthode dites du « Brouillard »**, est une technique d'examen subjective visant à éviter les surcorrections myopique et sous-corrrection d'hypermétropie en levant les spasmes accommodatif : en théorie, un verre de  $+2,50\delta$  entraîne une

acuité de  $1/10^{\text{ème}}$  chez l'emmetrope.

En pratique on rajoute donc un verre convexe d'au moins  $+2,50\delta$  à la valeur présumée de l'amétropie, pour induire une acuité inférieure ou égale à  $1/10^{\text{ème}}$  provoquant un flou visuel appelé le « brouillard ». Certains auteurs préconisent même un brouillage jusqu'à  $+5,00$  voire  $+8,00$  (Catros) [36] ajouté à l'amétropie supposée.

Ainsi une acuité de  $3/10^{\text{ème}}$  par exemple, laissant supposer une myopie de  $-0,75\delta$ , on réalisera un brouillage de  $+2,50-0,75 = +1,75\delta$ .

Dans le cas d'un patient hypermétrope possédant une acuité de  $5/10^{\text{ème}}$  avec un verre de  $+2,50$ . Il est présumé hypermétrope d'au moins  $+2,00$  d'après Swaine, on démarrera l'examen avec une sphère de brouillage d'au moins  $+2,50+2,00 = +4,50\delta$ .

Une fois le brouillage effectué correctement, le but de la méthode est de « débrouiller » le patient (cela revient à enlever du + ou bien à rajouter du -), autrement dit diminuer le verre convexe par pas de  $0,50$  en  $0,50$  en s'assurant que l'acuité visuelle progresse.

Il est très important d'effectuer ce débrouillage par substitution des verres, pour ne pas laisser le patient sans correction, sous peine de déclencher aussitôt le réflexe de l'accommodation et de perdre le bénéfice de la méthode.

La diminution des verres est réalisée de manière calme et méthodique, jusqu'à obtention de la sphère la plus convexe donnant l'acuité maximale. C'est seulement ensuite que la recherche de l'astigmatisme sera faite.

Cette technique possède l'inconvénient d'être fastidieuse avec une sphère de brouillage importante qui nécessite de prendre plus de temps au débrouillage.

- 2) Le Test Rouge-Vert** est un test simple basé sur le principe simple des aberrations chromatiques : dans un faisceau de lumière blanche dévié, tous les rayons ne sont pas déviés de la même manière en fonction de leur différente longueur d'onde. En effet, les grandes longueurs d'ondes les plus grandes sont moins déviées que les petites longueurs d'onde.

Un myope aura donc naturellement une meilleure perception des optotypes dans le rouge, car la focale rouge se situera plus proche de la rétine et donc mieux perçue.

Un hypermétrope, à l'inverse, percevra mieux les optotypes dans le vert, la focalisation des rayons se faisant en arrière de la rétine et le vert étant moins dévié, la focale verte sera plus proche du plan rétinien.

Le test se présente sous la forme de lignes d'optotypes de 3 à 4/10<sup>ème</sup>, symétriques de préférence, sur un fond dont la moitié est rouge et l'autre verte.



Exemple de test Rouge-Vert

Associé à un brouillage de +0,50 à +0,75 $\delta$ , il peut servir à la recherche de la sphère au palier. Le patient est placé dans la position myopique artificiel ce qui lui donne une meilleure perception des optotypes dans le rouge, en débrouillant on va donc rechercher l'égalité de perception entre le rouge et le vert.

Si avec le brouillage le patient est d'emblée mieux dans le vert, c'est que la valeur de la sphère de brouillage n'est pas suffisante, on rajoutera alors du convexe, alors que tant que la perception est préférée dans le rouge, on rajoutera du concave.

Le débrouillage s'effectue de 0,25 en 0,25 jusqu'à égalité de perception. Cette égalité et parfois difficile à obtenir, on privilégiera alors la dernière sphère de meilleure perception dans le rouge avant inversion pour le myope, et la première sphère préférée dans le vert pour l'hypermétrope avant inversion, c'est-à-dire la position physiologique de meilleure perception en fonction de l'amétropie.

Malgré tout, le test Rouge-Vert reste le plus souvent un test de vérification, le sujet porte sa correction optique et donne sa préférence de perception. Si il n'y a aucune différence, le sujet est bien emmétrope avec sa compensation, si il est mieux dans le rouge c'est qu'il subsistera une petite myopie ou une hypermétropie surcorrigée, tandis que si sa préférence est dans le vert il restera un peu d'hypermétropie ou une myopie surcorrigée.

C'est un test qui n'a pas une grande fiabilité chez les sujets jeunes car il donne des résultats souvent trop concaves à cause des spasmes.

**3) La méthode de brouillage classique**, à l'image de la méthode du Brouillard, consiste à relâcher l'accommodation en myopisant le patient avec un brouillage induit par un verre convexe. L'examen se déroule sur des optotypes présentés en vision de loin, en groupe de lignes d'AV croissante.

On utilise une sphère de brouillage qui peut être variable, pour faire chuter l'acuité du sujet entre 3/10<sup>ème</sup> - 5/10<sup>ème</sup>. En général, pour l'émétrope un brouillage de +1,00δ chez les sujets jeunes à +0,50δ chez les sujets plus âgés suffit à brouiller jusqu'au degré voulu, mais si ce n'est pas le cas, une mesure de l'acuité visuelle avec la sphère de brouillage permettra une estimation rapide de l'amétropie selon la règle de Swaine et donc une adaptation de la sphère de brouillage :

Un myope entre -0,50 et -1,00δ sera en effet naturellement brouillé dans la fourchette d'acuité recherchée et un verre convexe supplémentaire ne sera donc pas nécessaire.

Un hypermétrope de +1,00δ par exemple pourra conserver une acuité de 10/10<sup>ème</sup> avec le verre convexe de +1,00 et il faudra donc adapter une sphère de brouillage de +1,50 à +2,00δ selon Swaine pour obtenir la chute d'acuité désirée. Lorsque le brouillage est réalisé correctement, les lignes d'optotypes 6,3 ; 8 et 10/10<sup>ème</sup> sont présentés en même temps au patient.

On effectue ensuite un débrouillage en s'assurant que l'acuité visuelle progresse, pour rechercher la sphère palier. Il se base sur l'augmentation réelle de l'acuité et

pas sur l'amélioration du confort, de la netteté ou du contraste.

Le débrouillage s'effectue par substitution de verres de  $0,25\delta$  en  $0,25\delta$ , pour ne pas laisser le sujet sans correction et éviter ainsi le déclenchement de l'accommodation.

Plus il est méthodique et rapide, plus la réfraction est fiable. On retiendra la sphère la plus convexe et laissant la meilleure acuité visuelle en veillant à ne pas dépasser  $12/10^{\text{ème}}$  afin de ne pas solliciter une légère accommodation qu'on peut retrouver dans les très hautes acuités. De plus en binoculaire le gain d'acuité est de 1 à  $2/10^{\text{ème}}$  par rapport en monoculaire et une acuité binoculaire de  $14/10^{\text{ème}}$  apparaît comme suffisante.

Seulement après avoir obtenue la sphère au palier, on recherchera l'astigmatisme.

### **3.b.ii - Recherche de l'astigmatisme : Le cylindre croisé de Jackson [24] ; [26] ; [28] ; [31]**

Le cylindre croisé de Jackson est l'instrument qui permet aussi bien la recherche subjective d'un astigmatisme que de la vérification du cylindre compensateur déjà porté par le patient, que ce soit au niveau de l'axe ou de la valeur du cylindre. On peut donc décider de placer le cylindre trouvé sur le ticket de réfracteur dans la lunette d'essai ou la tête de réfracteur, puis d'effectuer une vérification, ou au contraire d'effectuer une recherche vierge de l'astigmatisme.

D'autres tests permettent le dépistage d'un astigmatisme comme la kératométrie, mais il s'agit de l'astigmatisme cornéen uniquement, sans pouvoir donner la valeur de l'astigmatisme total comme le fait le cylindre de Jackson.

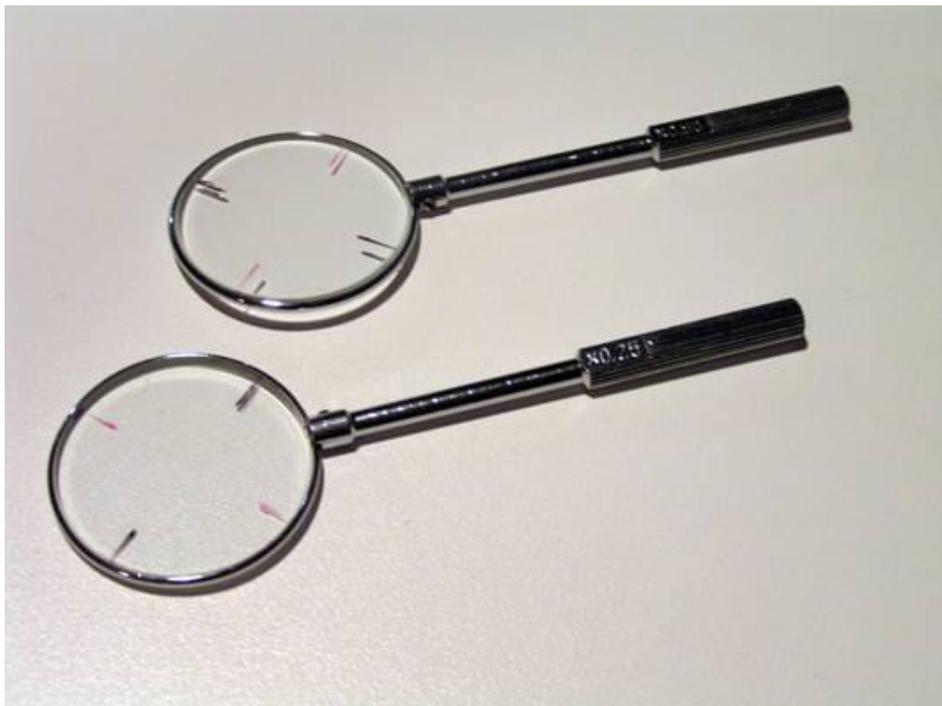
Il se présente sous la forme d'un verre sphéro-cylindrique dont la formule est :  $+0,25(-0,50)X^\circ$  ou  $-0,25(+0,50)X+90^\circ$  pour un CCR de  $\pm 0,25$  qui induit donc une variation cylindre de  $0,50\delta$ .

En réalité, il s'agit de l'association de deux verres plan cylindriques, un plan-concave de  $(-0,25) X^\circ$  et perpendiculairement un plan-convexe de  $(+0,25) X+90^\circ$ .

Un verre plan-cylindrique de (-0,25) orienté à 0° par exemple, donnera une puissance nulle dans cet axe et une puissance de -0,25δ à 90°.

A l'inverse, un verre plan-cylindrique de (+0,25) orienté à 0° aura une puissance de +0,25δ à 90° alors qu'à 0° la puissance sera nulle.

Le cylindre est composé d'un manche, permettant son retournement lors de l'examen, qui se situe à 45° (c'est-à-dire à la bissectrice) des deux axes principaux.



**Cylindre croisé de Jackson manuel**

On trouve des repères sur le CCR qui marquent l'axe du cylindre négatif (en rouge et/ou signe -) et parfois des repères pour l'axe du cylindre positif (en noir et/ou signe +) peuvent être présent sur certains modèles. En manuel, ils existent en différentes puissances (+/-0,25 à +/-1,00) utilisées en fonction de l'importance de l'astigmatisme, de la basse vision ou d'une amblyopie.

L'avantage du CCR repose sur le fait que son équivalent sphérique est nul, son interposition devant l'œil qui porte déjà une correction fait varier la puissance cylindrique mais ne modifie donc en rien la sphère.

Par conséquent, ce test se réalise œil par œil, sans brouillage et permet la mise au point de l'astigmatisme et de la sphère au palier.

Pour toute formule en cylindre négatif il existe un équivalent en cylindre positif, mais la formule en cylindre négatif possède une sphère plus convexe que celle en cylindre positif et donc moins susceptible d'accommoder. Avec le CCR, c'est l'axe et la valeur du cylindre négatif compensateur que l'on va rechercher, le signe « - » sur le verre nous servira donc de repère.

C'est un test monoculaire basé sur l'appréciation perceptuelle du patient qui s'effectue sur de lignes de hautes acuités ou sur des mires telles que les nuages de points noirs sur fond blanc. Il est important de préciser au sujet que l'interposition du cylindre devant l'œil va entraîner un flou visuel et que le but de l'examen est de comparer ce flou visuel de chaque côté du verre après le retournement. La présentation de chaque côté doit être rapide et ne pas dépasser 1 à 2 secondes par côté. Le patient doit alors donner sa préférence pour la position 1, la position 2 après le retournement ou encore signaler si il n'y pas de différences entre les 2 positions, le but étant d'obtenir l'égalité de perception, que ce soit dans la recherche de l'axe ou dans celle de la valeur.

Interposer le cylindre de Jackson sur un œil astigmaté revient à superposer deux verres cylindriques de même signe (négatif). Il en résulte une formule sphéro-cylindrique, qui peut être différente en fonction de l'orientation des axes du CCR, ce qui permettra au patient pourra juger la qualité « flou visuel » :

Lorsque le manche est exactement à l'axe de l'astigmatisme à corriger, la formule sphéro-cylindrique induite est la même de chaque côté du CCR et le flou visuel induit est alors identique dans la position 1 et la position 2.

A l'inverse, lorsque le manche du cylindre de Jackson diffère de l'astigmatisme à corriger, la formule sphéro-cylindrique résultante sera différente entre la position 1 et la position 2 et va induire un flou moins important dans la position où l'axe du CCR se rapproche le plus de l'axe réel de l'astigmatisme, tandis que le flou sera plus important du côté du verre où l'axe négatif du CCR s'éloigne le plus de celui de l'astigmatisme du patient.

Dans la recherche de l'axe par encadrement, il faudra alors réaliser une rotation du manche du CCR du côté de l'axe du cylindre négatif de la position préférée.

1) La recherche de l'axe de l'astigmatisme : Le principe est le même qui celui énoncé ci-dessus, la recherche de l'axe est réalisée par un encadrement qui met en évidence un secteur probable de présence de l'axe réel.

On effectue donc un 1<sup>er</sup> encadrement pour trouver un secteur de 45°. Pour cela on présente le cylindre de Jackson par retournement pour que le sujet compare les deux positions, la rotation du manche se fait du côté de l'axe négatif dans la position préférée. Chacune de ces rotations a pour but de placer l'axe du CCR à la bissectrice du secteur trouvé, jusqu'à positionner le manche parallèle à l'axe de l'astigmatisme de l'œil et ainsi obtenir l'égalité de perception dans les deux positions. L'exploration de 3 secteurs successifs sont possible, d'où 3 rotations maximum pour affiner la recherche de l'axe.

- On place d'abord le manche du CCR à 45° pour tester les positions 0° et 90°. Si une des positions est préférée, elle constitue le premier encadrement du secteur de recherche et nous donne une indication sur la tendance de l'astigmatisme, direct ou inverse. Exemple : Le sujet préfère la position à 0°, le secteur de recherche sera donc entre de 45° de part et d'autre de l'axe 0-180° = rotation du manche de 45° vers 0°, tendance directe.

Si il y a une égalité de perception dès ce retournement, cela ne signifie pas forcément qu'il n'y a pas d'astigmatisme mais que l'axe de l'astigmatisme se situe peut être aux environs de 45°, l'examen ne s'arrête donc pas là.

- L'axe du manche est ensuite placé à 0° pour explorer la préférence dans les secteurs de 45° (0°-45° ou 0°-135°) et on réalise une nouvelle présentation par retournement afin d'affiner le secteur de recherche de l'axe. Exemple : La position la moins flou est du côté de 45° = **1<sup>ère</sup> rotation** du manche de 20° vers 45°. A noter qu'il est possible de mettre un cylindre de (-0,25) à la bissectrice pour mieux objectiver la recherche, puis vérifier sa légitimité plus tard.

- Le manche est alors placé à la bissectrice ( $22,5^\circ$  arrondi à  $20^\circ$ ) du secteur préférentiel précédent pour procéder à l'exploration des  $20^\circ$  de part et d'autre de cette bissectrice. Exemple : Le sujet préfère la position où l'axe négatif est du côté du secteur  $0^\circ$ - $20^\circ$  plutôt que le secteur  $20^\circ$ - $40^\circ$  = **2<sup>ème</sup> rotation** du manche de  $10^\circ$  vers  $0^\circ$ .
- On met à nouveau le manche dans la bissectrice du secteur préférentiel précédent et par présentation une nouvelle fois, on explore les  $10^\circ$  de part et d'autre de la bissectrice. Exemple : La position du côté de  $10^\circ$ - $20^\circ$  est moins floue que celle du côté  $0^\circ$ - $10^\circ$  = **3<sup>ème</sup> rotation** du manche de  $5^\circ$  du côté de  $20^\circ$ .  
On obtient alors un axe dans lequel on place le manche du CCR, après retournement un cylindre on doit obtenir une égalité de perception entre la position 1 et la position 2, c'est l'axe réel de l'astigmatisme.

L'égalité entre les deux positions peut intervenir avant d'avoir fait toutes les 3 rotations, cela signifie que le manche du CCR est déjà dans l'axe de l'astigmatisme réel recherché. Le principe est le même pour la vérification d'un axe de cylindre déjà porté par le patient. On place le manche du CCR dans l'axe du cylindre compensateur porté et on effectue la manœuvre de retournement. Si l'égalité n'est pas obtenue, on effectue la rotation dans le sens de l'axe négatif du CCR vers la position préférée. De même on effectue au maximum 3 rotations pour obtenir le bon axe.

2) La recherche de la valeur du cylindre : Une fois l'axe obtenu on peut placer un cylindre (-0,25) à l'axe trouvé et vérifier sa légitimité.

On aligne ensuite les axes du CCR avec l'axe réel de l'astigmatisme recherché précédemment pour pouvoir présenter successivement au sujet soit le cylindre négatif, soit le cylindre positif par retournement.

Le retournement doit être rapide et on présente de préférence le cylindre positif à l'axe, pour éviter de trop solliciter l'accommodation.

L'ajout de cylindre compensateur se fait de 0,25 en 0,25 jusqu'à l'obtention d'une perception similaire entre les deux positions.

- Si le patient préfère le positif signifie que les deux focales se sont plus éloignées avec le (-0,50) qu'avec le (+0,50), on doit donc enlever du « - » ou rajouter du « + », il faut alors retirer le (-0,25).
- Si le patient préfère le négatif, c'est qu'il permet aux focales de mieux se rapprocher que le positif, on rajoute donc un (-0,25) à l'axe.

L'égalité est obtenue avec le cylindre de la valeur exacte du cylindre réel puisque, que ce soit avec le (+0,50) ou avec le (-0,50) du CCR, les focales sont éloignées de la même valeur et le flou est donc le même dans la position 1 et dans la position 2.

Mais à l'inverse du CCR de Jackson, un cylindre compensateur ne possède pas un équivalent sphérique nul et son interposition modifie donc la sphère au palier : un cylindre de (-0,25) possède un équivalent sphérique de  $-0,12\delta$  tandis qu'un (-0,50) à un équivalent sphérique de  $-0,25\delta$ ...

Cela implique qu'à chaque ajout de cylindre compensateur de (-0,50) il faudra ajouter un +0,25 à la sphère pour respecter l'équivalent sphérique de la formule de notre correction, sous peine d'avoir une réfraction trop concave. Idem pour tout retrait de (-0,50), on rajoutera  $-0,25\delta$  à la sphère.

Pour une vérification de la valeur d'un cylindre compensateur déjà porté, la méthode est similaire.

Quand le patient hésite entre les deux positions ou qu'il demande successivement du « + » puis du « - », on peut trancher grâce aux nombres de lettres lues ou déchiffrées et on choisira le cylindre négatif le plus faible donnant la meilleure acuité, de plus, lors d'une vérification, la demande d'ajout de « - » de plus de 0,50 est rare et il faut en général révérifier la sphère qui est peut-être trop convexe.

### **3.b.iii - Vérification de la Sphère : [25] ; [26] ; [27] ; [28] ; [29] ; [30]**

L'état de la sphère peut être modifiée une fois l'astigmatisme correctement modifié, il est donc important de vérifier à bien être à la sphère la plus convexe d'acuité maximale. Plusieurs type de tests peuvent être utilisé mais toujours sur le même principe, la comparaison de la vision avec l'ajout d'un verre de +0,25 puis sans, et avec l'ajout d'un verre de -0,25 et sans ensuite. Le but n'est pas de faire lire le patient mais plutôt de

comparer si la vision est « plus nette, plus noire ou plus contrastée ».

L'examen est réalisé le plus que possible dans des conditions que se rapproche de la réalité, avec un bon éclairage ambiant.

**Avec la face vérificatrice de +/- 0,25δ :** On fait d'abord comparer la vision au sujet avec un +0,25δ puis sans le verre :

- Si la vision est moins bien avec le +0,25δ, on garde la sphère actuelle.
- Si la vision est pareille ou mieux, alors on rajoute +0,25δ à la sphère.

Il est important de faire le test avec le +0,25δ avant celui avec le -0,25δ pour ne pas solliciter une accommodation.

On lui fait ensuite comparer la vision avec le -0,25δ puis sans :

- Si le patient ne trouve pas de différence, on garde la sphère actuelle.
- Si le patient est mieux avec le -0,25δ.

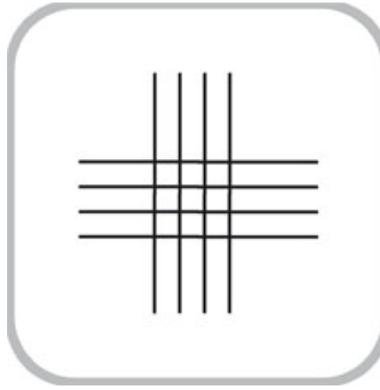
C'est un test qui comporte plusieurs avantages et notamment le fait d'être simple et très rapide, il peut également s'utiliser en binoculaire.

**Avec le test Rouge-Vert :** Le principe a été énoncé précédemment, on présente des optotypes symétriques si possible et avec un éclairage atténué.

- Si les optotypes sont aussi nettes/noirs/contrastés sur le rouge que sur le vert, la sphère est juste.
- Si la vision est mieux dans le rouge, on rajoute -0,25δ jusqu'à égalité de perception.
- Si la vision est mieux dans le vert, on rajoute +0,25δ jusqu'à égalité de perception.

Si l'égalité est compliquée à obtenir on rappelle qu'on retient la dernière sphère mieux dans le rouge avant l'inversion pour les myopes et la dernière sphère dans le vert avant inversion pour les hypermétropes.

**Le test du Cylindre croisé fixe et de la croix de Jackson :** Le principe de ce test repose sur la création artificielle d'un astigmatisme direct grâce à l'interposition cylindre croisé fixe de +050 (-1,00) à 90°. Le sujet fixe la croix de Jackson qui correspond à une croix composées de plusieurs traits noirs verticaux et plusieurs traits noirs horizontaux.



Croix de Jackson

Le test est réalisé en éclairage moyen et avec un léger brouillage permettant au patient de voir les lignes verticales plus nettes puisqu'avec la création de l'astigmatisme direct, si le patient est brouillé, c'est la focale verticale qui est la plus proche de la rétine et donc la mieux perçue.

On effectue alors un débrouillage jusqu'à égalité de perception entre les lignes verticales et les lignes horizontales qui correspond à la bonne sphère.

### **3.b.iv - Équilibre Bioculaire :**

Une fois la réfraction monoculaire réalisée sur chacun des deux yeux on place le patient en binoculaire. Mais lors de la réfraction monoculaire, les deux yeux ont pu avoir un comportement accommodatif différent. Il faut donc réaliser un équilibre bioculaire afin de s'assurer une mise à foyer identique entre les deux yeux, ce qui veut dire égaliser le stimulus accommodatif.

Le principe est de comparer la vision entre les deux yeux en même temps, ce teste fait donc appel à un système de dissociation et nécessite quelques conditions comme une bonne vision binoculaire et une absence de neutralisation qui rendrait le test impossible. L'examen se réalise avec un brouillage binoculaire (même valeur sur les deux yeux) le plus souvent de  $+0,50\delta$ , avec une présentation une ligne d'acuité floue mais reconnaissable, en général 6,3 à 8/10<sup>ème</sup>. A l'aide d'un verre convexe, le but est d'égaliser les perceptions dans le flou tout en sachant que si la réfraction est bonne, la différence ne doit pas excéder  $0,25\delta$ .

**Le test aux prismes de Von Graefe** est une méthode qui utilise une dissociation aux prismes : on place  $3\Delta$  base Inférieure sur l'œil droit et  $3\Delta$  bas supérieure sur l'œil gauche, ou inversement. Les deux yeux sont alors dissociés, l'œil droit percevant l'image plus haute et l'œil gauche percevant l'image plus basse. On demande au patient de comparer ces deux images.

Cette méthode ne peut être utilisée qu'en cas d'isoacuité.

- Les deux images sont floues de la même manière, on ne touche pas à la sphère.
- L'image du haut est perçue plus nette, on brouille alors l'œil droit à l'aide de verres convexes de  $+0,25\delta$  jusqu'à égalité de perception dans le flou.
- L'image du bas est perçue plus nette, on brouille l'œil gauche avec des verres de  $+0,25\delta$  jusqu'à égalité de perception.

**La méthode des lunettes polarisées** utilise comme dissociation un test polarisé et des lunettes polarisées comme son nom l'indique. La cible correspond à deux lignes d'optotypes identiques regroupant des optotypes de plusieurs tailles, une ligne vue uniquement par l'œil droit et l'autre vue uniquement par l'œil gauche.

Ce test recrée un peu mieux les conditions réelle et perturbe donc moins la vision binoculaire, mais il nécessite néanmoins une isoacuité tout comme le précédent. La procédure est la même que la dissociation aux prismes, on réalise l'équilibre de la perception des deux lignes dans le flou.

**Le test Rouge-Vert avec prisme**, est à privilégier pour les anis acuités, en éclairage atténué avec une dissociation aux prismes, comme pour la méthode de Von Graefe. Mais dans ce cas précis on ne présente un test rouge-vert avec des optotypes symétriques. Après la dissociation le sujet perçoit deux tests, l'un vu en haut par l'œil droit et l'autre vu en bas par l'œil gauche. On réalise un petit brouillage de  $+0,50$  sur les deux yeux afin de donner une meilleure perception dans le rouge aussi bien pour l'œil droit que pour l'œil gauche. On débrouille ensuite œil par œil pour obtenir légalité rouge et vert. Si l'égalité est difficile à obtenir on retient la dernière sphère ou la perception était préférée dans le rouge avant l'inversion (la plus convexe).

**Le test Rouge-Vert polarisé** existe également pour les anisoacuités, il repose sur le même principe que le test Rouge-Vert avec dissociation aux prismes mais la dissociation des deux yeux est faite avec des lunettes polarisées et on utilise un test Rouge-Vert polarisé.

L'équilibre entre le rouge et le vert est réalisé œil par œil comme pour le test aux prismes mais l'avantage de celui-ci est qu'il permet de conserver une fusion périphérique même si la vision centrale est dissociée, par conséquent on effectue à la fois l'équilibre bioculaire et l'équilibre binoculaire.

**Le test de la croix de Jackson avec prisme** reprend le principe de vérification de la sphère mais avec un système de prismes qui dissocie les deux yeux. On place un cylindre fixe de +0,50(-1,00) à 90° devant chacun des deux yeux afin de créer un astigmatisme direct artificiel. Un léger brouillage est ajouté pour obtenir la meilleure perception des lignes verticales. Grâce au système dissociant, le sujet voit deux croix de Jackson, l'une en haut et l'autre en bas. On débrouille œil par œil pour obtenir une égalité entre les verticales et les horizontales.

### **3.b.v - Équilibre Binoculaire :**

Suite à l'équilibre bioculaire et au brouillage effectué pour réaliser l'équilibre dans le flou, on retire le système dissociant pour laisser place à la fusion qui permet un meilleur contrôle de l'accommodation avec la mise en place de la convergence fusionnelle.

On se base sur la progression réelle de l'acuité en débrouillant de façon binoculaire et non sur l'appréciation de la vision. Le débrouillage se fait de 0,25 en 0,25 sur les deux yeux en même temps, jusqu'à obtenir la meilleure acuité visuelle.

Suite à ce débrouillage on peut faire un test d'appréciation perceptuelle avec la face vérificatrice +/-0,25 et dont le principe est similaire à celui énoncé dans la vérification de la sphère. Si le sujet est moins bien au passage du +0,25 et pareil au passage du -0,25, alors la sphère est bonne et rien n'est à rajouté ou à enlever en binoculaire.

### **3.c - Réfraction binoculaire : [28] ; [31] ; [32]**

Comme son nom l'indique, la réfraction binoculaire consiste à réaliser une mesure de la réfraction subjective, le patient ayant les deux découverts.

Elle doit être impérativement réalisée sur lunettes d'essai pour laisser un champ de vision plus conséquent qu'avec un réfracteur, et faciliter la fusion périphérique. Elle est indiquée dans certaines conditions bien précises : le sujet doit posséder une bonne vision binoculaire sans trouble oculomoteur susceptible d'entraîner une neutralisation. C'est une méthode qui nécessite également une isoacuité, toujours pour prévenir la neutralisation d'un œil. Une anisoacuité relative peut être tolérée, mais elle ne doit pas dépasser  $1/10^{\text{ème}}$  entre les deux yeux.

C'est une technique qui est donc à proscrire en cas de strabisme, d'hétérophories avec de faibles amplitudes de fusion, d'amblyopie ou de forte anisométrie, en revanche rien n'empêche de l'utiliser pour des patients avec un petit nystagmus, elle permet au contraire une réfraction plus simple.

Le but de la réfraction binoculaire est de mieux contrôler l'accommodation et c'est pour cette raison qu'on l'utilise le plus souvent sur des patients jeunes.

Le fait que le sujet soit en binoculaire permet à la fois de faire la réfraction mono, l'équilibre bioculaire et l'équilibre binoculaire dans le même temps.

Dans ce type de réfraction, placer le sujet en binoculaire entraîne un meilleur relâchement de l'accommodation.

De plus, dans cette méthode, la vision centrale des deux yeux est dissociée avec le brouillage mais la fusion para-centrale et périphérique est conservée, ce qui permet de verrouiller la convergence et donne donc par la même occasion une meilleure stabilisation sur l'accommodation.

A l'image de la réfraction monoculaire, on retrouve différentes techniques et différents protocoles de réfractations binoculaires, mais elles reposent toutes sur le même principe et peuvent être réalisées pour une vérification de correction portée comme pour une réfraction vierge.

Comme pour la réfraction monoculaire, on estime au préalable l'amétropie du sujet grâce au ticket de réfraction et à l'acuité visuelle via la règle de Swaine.

### **3.c.i - La méthode de brouillage classique :**

Toutes les méthodes citées ci-après pourront serviront également à la vérification de la sphère (suivant la méthode Sphère Cylindre Sphère) après avoir effectué la recherche de l'astigmatisme au cylindre croisé de Jackson.

La méthode du brouillage classique est la plus utilisée. Elle consiste à brouiller l'œil non réfracté, en général avec un verre de  $+1,00\delta$  ajouté à l'amétropie supposée, pour lui imposer la suppression centrale pendant que l'œil examiné dirige l'état accommodatif et la perception du couple oculaire.

- C'est une méthode dans laquelle l'OG non examiné doit être brouillé à une acuité inférieure ou égale à  $5/10^{\text{ème}}$  en monoculaire tandis que l'OD examiné est brouillé inférieur à  $8/10^{\text{ème}}$ .

Le plus souvent l'œil qui n'est pas examiné est brouillé avec un verre convexe de  $+1,00$  (qui est censé faire chuter l'acuité d'un emmétrope à  $2,5/10^{\text{ème}}$ ). Si ce verre n'est pas suffisant pour faire descendre l'acuité comme souhaité, on augmente le brouillage et on peut donc approximer, par la même occasion, la valeur de l'amétropie par la méthode du Swaine inverse.

- En présentant des lignes d'optotypes groupés (3 lignes par 3 lignes) et d'acuités croissantes, on débrouille l'OD de  $-0,25\delta$  en  $-0,25\delta$  et s'assurant de la progression de l'acuité visuelle du patient à chaque ajout de  $-0,25$ .

Dans la recherche de la sphère on ne cherchera pas à dépasser les  $12/10^{\text{ème}}$  puisqu'en binoculaire et sans brouillage, le gain sera de  $1$  à  $2/10^{\text{ème}}$  par rapport à l'acuité monoculaire.

- Une fois la sphère trouvée, on fait une recherche de l'astigmatisme au CCR de Jackson en monoculaire, la méthode étant le même que celle décrite en 5.b.ii. On révérifie alors la sphère selon la méthode SCS puis on s'assure de la bonne acuité visuelle finale.

- Pour effectuer ensuite la réfraction de l'OG, on enlève son brouillage que l'on place à droite pour faire chuter à son tour l'acuité < ou = à 5/10<sup>ème</sup>, tout en brouillant légèrement l'OG, et la même opération de débrouillage est réalisée sur cette œil.

### **3.c.ii - La méthode d'Humphriss :**

C'est une technique complexe et difficile à réaliser si elle n'est pas bien maîtrisée, elle est encore appelée méthode par contraste immédiat. Comme pour la méthode classique, on brouille l'œil non examiné avec un +1,00δ.

Une ligne d'optotypes symétriques comprise entre 0,5 et 0,8 est présentée.

La réfraction s'effectue par présentation d'une face +/-0,25 devant l'œil examiné. La règle de cette technique est que lorsqu'un +0,25δ sera accepté par l'œil examiné, on le rajoutera ODG, tandis que si le patient préfère un -0,25δ on le placera uniquement sur l'œil examiné.

- On brouille donc l'OG et on vérifie que son acuité soit < ou = à 5/10<sup>ème</sup>. Si le +1,00δ ne suffit pas à faire chuter l'acuité, on augmente le brouillage.
- Avec la face +/-0,25 monoculaire, on présente successivement sur l'OD le +0,25δ pendant 2 sec. puis -0,25δ sur 1 sec. et enfin on présente à nouveau le +0,25δ qu'on laisse en place devant l'œil, sans enlever la face. On demande alors au patient si les optotypes lui semblent plus nette avec le « + » ou avec le « - ».
- Soit le patient préfère le +0,25δ ou ne trouve pas de différence entre les deux positions, on ajoute effectivement le +0,25δ ODG.

Soit le patient préfère le -0,25δ et dans ce cas-là on place le -0,25δ uniquement sur l'OD.

- Si le patient à commencer par accepter le +0,25δ on continue l'examen jusqu'à la position ou il préfère le -0,25δ et s'arrêter là, sans rajouter ce -0,25δ, on a atteint la sphère palier.

Si il à commencer par préférer le -0,25δ, on continue cette manœuvre jusqu'à ce qu'il préfère le +0,25δ ou qu'il ne trouve pas de différence entre le « + » et le « - » mais cette fois-ci on lui rajoute effectivement le +0,25δ ODG, la sphère palier est

alors obtenue et on s'arrête là, car à la prochaine présentation il redemandera automatiquement le  $-0,25\delta$ .

Lorsque la sphère palier est atteinte, on recherche l'astigmatisme au CCR puis on vérifie la sphère selon la même méthode et on contrôle l'acuité finale sur des optotypes de hautes acuités.

- On passe ensuite à la réfraction de l'OG en enlevant le brouillage de  $+1,00\delta$  que l'on place sur l'OD en vérifiant que son acuité chute en dessous ou à  $5/10^{\text{ème}}$  en monoculaire. La technique est alors la même quelques détails : Si le sujet préfère le « + » d'emblée, on lui place uniquement sur l'OG. S'il demande une deuxième fois de suite du « + » on rajoute le  $+0,25\delta$  ODG et on considère alors l'OG comme le premier œil examiné, il faudra donc refaire la réfraction de l'OD par la suite.

### **3.c.iii - Autres méthodes :**

**Le test Rouge-Vert avec brouillage** peut aussi être utilisé. On réalise un brouillage en monoculaire de l'OG avec un verre de  $+1,00\delta$  pour faire chuter son acuité  $<$  ou  $=$  à  $5/10^{\text{ème}}$  et si cela ne suffit pas augmenter la valeur du verre de brouillage. L'OD étant examiné, il doit également être brouillé de manière moins importante mais  $< 8/10^{\text{ème}}$ .

Toujours sur des optotypes symétriques d'acuité moyenne et grâce au principe des aberrations chromatiques, on recherche donc l'égalité de perception entre le rouge et le verre sur l'œil examiné.

L'œil examiné étant légèrement brouillé pour être placé en position myopique, il voit naturellement mieux dans le rouge, on effectue alors un débrouillage de l'OD de  $-0,25\delta$  en  $-0,25\delta$  jusqu'à ce que le patient ne trouve pas de différence entre le rouge et le vert, on a alors obtenu la sphère palier.

On recherche ensuite l'astigmatisme de l'œil examiné avec la méthode du CCR en monoculaire et après vérification de la sphère on contrôle l'acuité sur des optotypes classiques avant de passer à la réfraction de l'OG en lui enlevant son brouillage de  $+1,00\delta$  et en le plaçant devant l'OD.

Il faut alors vérifier à nouveau que ce brouillage suffit à faire chuter l'acuité  $<$  ou  $=$  à  $5/10^{\text{ème}}$  et si ce n'est pas le cas, le brouillage doit être augmenté en conséquence. L'OG est lui aussi légèrement brouillé pour une meilleure perception dans le rouge, on peut ensuite commencer son débrouillage selon la même technique que précédemment.

**Le test Rouge-Vert polarisé** peut également être employé pour une réfraction binoculaire, la dissociation centrale est faite grâce aux lunettes polarisée mais le patient conserve sa fusion périphérique.

Deux tests rouge-vert sont présentés au patient, l'un est perçu uniquement par l'OD et l'autre uniquement par l'OG.

On peut y ajouter un léger brouillage similaire ODG pour s'assurer en monoculaire que la perception est préférée dans le rouge.

Après avoir été placé en binoculaire, le débrouillage se fait de 0,25 en 0,25 œil par œil et on recherche à obtenir l'égalité rouge-vert qui signifie que l'on a atteint la sphère palier. Une fois le débrouillage du 1<sup>er</sup> œil terminé, on recherche l'astigmatisme et on vérifie la sphère puis l'acuité finale sur des optotypes classiques comme pour la méthode du rouge-vert avec brouillage.

Dans toutes ces méthodes, une fois la réfraction de l'œil droit et de l'œil gauche effectuée, on enlève les verres de brouillage afin de placer le patient avec la compensation finale trouvée et on contrôle l'acuité visuelle binoculaire qui doit être supérieure à la meilleure acuité monoculaire.

On peut également tester l'appréciation perceptuelle avec la face vérificatrice de  $+/-0,25$  comme à la fin d'un équilibre binoculaire pour une réfraction monoculaire, puisqu'il s'agit d'une réfraction soumis au confort « subjectif » du patient.

**Partie B :**

**ÉTUDE CLINIQUE**

# Partie B :

## 1. INTRODUCTION

Le but de notre étude clinique est de comparer les différences de valeurs entre une réfraction subjective binoculaire sans cycloplégiant, et les valeurs obtenues avec une skiascopie réalisée avec cycloplégique.

Lors de la réfraction subjective la mise en jeu de l'accommodation peut fausser les résultats de l'examen, notamment chez les sujets les plus jeunes ou la réserve accommodative est très importante.

Dans certains cas et dans certaines conditions, il est possible d'utiliser un protocole de réfraction subjective binoculaire afin de limiter au mieux ce phénomène durant l'examen.

Le meilleur moyen de définir la COT reste évidemment la réfraction objective sous cycloplégie, mais il paraît intéressant de chiffrer les différences obtenues avec une méthode subjective ne nécessitant pas l'instillation de gouttes et, par conséquent, constituant un protocole bien plus rapide.

**Partie A :**

**2. MATÉRIELS ET MÉTHODES**

## 2.a - Matériel :

Pour la réfraction subjective, on utilisera :

- Les lunettes d'essai, avec une boîte de verres d'essais complète. Elles sont préférées à une tête de réfracteur car elles sont beaucoup moins massives et stimulent donc moins l'accommodation que celle-ci lorsque le patient s'installe derrière. De plus les lunettes d'essai paraissent plus facilement adaptables à tous types de morphologies et de tailles de visage pour obtenir un bon centrage des verres.
- Un cylindre croisé de Jackson à disposition, une de  $\pm 0,25$  et un de  $\pm 0,50$  pour le dépistage de l'astigmatisme.
- On utilise également un écran LCD Luneau® placé à 5 m du patient pour l'affichage des optotypes.

Ce type d'écran LCD donne un meilleur contraste à éclairage ambiant qu'une échelle d'acuité murale, rétroéclairée ou encore rétro-projetée. Il est donc nécessaire d'utiliser ce matériel pour ce type de réfraction qui doit se réaliser le plus proche possible des conditions réelles de vie, c'est-à-dire avec une luminosité ambiante suffisante.

De plus ce genre d'appareil permet de calibrer exactement la taille des optotypes en fonction de la distance précise d'affichage, et nous permet de choisir le type d'échelle voulu, qui sera donc logarithmique dans ce cas-ci.

L'échelle logarithmique est logiquement choisie pour sa précision et sa linéarité, que ce soit pour les hautes ou les basses acuités, essentielle pour l'établissement des données statistiques.

L'affichage des optotypes peut se faire par groupes de 3 lignes d'acuité croissante pour que le patient se focalise sur la ligne d'acuité maximale déchiffrée, sans le faire forcer, ce qui pourrait stimuler son accommodation. Entre chaque œil on l'écran LCD permet de présenter une multitude de combinaisons d'optotypes différentes pour éviter la mémorisation.

En ce qui concerne la réfraction objective sous cycloplégique :

- L'autoréfractomètre fixe ARK 530a de chez NIDEK® du CHU de Clermont-Ferrand. Il s'agit d'un réfracteur automatique fixe de haute précision, constitué d'un écran LCD et d'une imprimante intégrée et qui combine deux principes de mesure : La technique SLD et la méthode de détection de l'aire pupillaire. Cette dernière permet une analyse de zone pupillaire plus grande (environ 4 mm de diamètre contre 2,5 mm en moyenne pour les autres machines), afin d'obtenir des données plus fiables, plus réalistes et donc plus proche de la réfraction manifeste. Il est doté d'une SLD (Diode Super Luminescente) accompagnée d'un capteur CCD très sensible pour améliorer la qualité des mesures. L'image obtenue est plus contrastée et plus nette qu'avec une diode LED classique. Il possède aussi un kératomètre automatique très fiable grâce à une mesure centrale classique réalisée avec une mire concentrique de Placido, et une mesure périphérique aux 4 points cardinaux de la cornée. Il effectue une série au moins au moins 3 mesure par œil. La gamme des mesure va de -30δ à +25δ, et peut mesurer la réfraction sur des diamètres pupillaires restreints (jusqu'à 2 mm). Il possède un alignement 3D automatique avec l'œil, la prise de mesure est automatique lorsque la mise au point selon l'axe Z est effectué.
- Le cycloplégiant utilisé est le Skiacol®. C'est un cycloplégique dont la molécule de base est le cyclopentolate. A défaut d'être le cycloplégique de référence comme l'atropine, c'est le cycloplégique de base : Son utilisation est beaucoup plus simple et son temps d'action plus rapide.

## **2.b - Population :**

Dans le cadre de cette étude clinique, les réfractions de 18 paires d'yeux appartenant à 18 enfants/adolescents ont pu être réalisées.

Tous ces enfants participants étaient volontaires et une autorisation de participation au

protocole a été signée par leur tuteur légal.

Ces patients ont malgré tout effectué un interrogatoire ciblé et des tests préliminaires pour vérifier qu'ils remplissaient bien tous les critères d'inclusions :

- L'âge : Entre 8 et 18 ans, cette tranche d'âge devait être suffisamment élevée pour que les patients puissent coopérer. En dessous de 8 ans il devient plus difficile pour un enfant de comprendre ce que l'on attend de lui à la réfraction subjective (notamment au cylindre croisée de Jackson), mais aussi de maintenir son attention.

Après 18 ans, l'accommodation a moins tendance à fluctuer car la réserve accommodative est moins conséquente et une réfraction subjective binoculaire présente donc moins d'intérêt.

- L'absence d'antécédents : Au préalable, on a vérifié que les volontaires étaient sains, ne présentaient pas d'antécédents ophtalmologique en dehors d'un éventuel port d'une compensation optique.

Tous les patients testés n'avaient aucun antécédent de crise de convulsions ou d'épilepsie pour l'instillation du Skiacol®.

- Une bonne vision binoculaire : La stéréoscopie est testée par un test au Lang et au WIRT.

On s'assure également qu'il n'existe pas de strabisme, de suppression ni aucune amblyopie et qu'après l'examen subjective on obtient une isoacuité. Seule une anisoacuité ne dépassant pas 1/10<sup>ème</sup> entre les deux yeux est tolérée. La bonne vision binoculaire est nécessaire à la réalisation de la réfraction subjective binoculaire.

Dans le cas contraire, seule la réfraction monoculaire serait possible.

## 2.c - Protocole :

- 1) Dans un premier temps, et avant d'entamer toute réfraction subjective, on réalise une première mesure à l'autoréfractomètre automatique fixe afin d'obtenir un premier profil réfractif du patient.
  
- 2) On effectue ensuite un test de stéréoscopie de Lang II, suivi d'un test de Witt si celui-ci est positif. C'est ensuite seulement que la réfraction subjective binoculaire commence.  

Le patient est installé assis, tête droite et à hauteur de l'écran LCD présenté à 5 mètre devant lui.
  
- 3) Les acuités visuelles brutes (sans correction) sont d'abord recueillis, de loin comme de près, en monoculaire et en binoculaire. Ces données sont ensuite comparées au ticket du réfractomètre automatique afin d'orienter l'examen de la réfraction subjective en fonction de la tendance amétropique soupçonnée.
  
- 4) On fait ensuite passer les lunettes d'essai au patient et, à l'aide d'un brouillage, on fait chuter l'acuité des deux yeux en monoculaire entre 3 et 5/10<sup>ème</sup>, l'acuité ne dépassant pas 5/10<sup>ème</sup> une fois le patient placé en bio/binoculaire avec son brouillage.
  
- 5) La recherche de la réfraction est effectuée selon la méthode SAS décrite précédemment :  

D'abord avec un débrouillage de l'OD pour trouver la sphère palier, le patient étant en binoculaire avec son brouillage sur l'OG, puis la recherche de l'astigmatisme cette fois ci en monoculaire, l'OG occlus. La sphère de l'OD est ensuite vérifiée, OG démasqué et toujours brouillé.

6) On répète la même opération pour la réfraction de l'OG après avoir replacé le brouillage sur l'OD.

Une fois la réfraction des deux yeux effectuée, on retire les brouillages et on vérifie l'acuité binoculaire.

7) Les gouttes de Skiacol® (Cyclopentolate 0,5%) sont alors instillées, elles ont un effet cycloplégiant rapide et efficace qui permet de bloquer l'accommodation. Pour cela on utilise un protocole à 3 gouttes dans chaque œil instillées à T<sub>0</sub>, T<sub>5</sub> et T<sub>10</sub> avec une réfraction objective réalisée à T<sub>45</sub>.

8) 45 minutes après instillation de la 1<sup>ère</sup> goutte de Skiacol®, on effectue une nouvelle mesure de la réfraction à l'autoréfracteur fixe pour obtenir la mesure de la réfraction objective sous cycloplégie : la COT.

Une fois les pupilles dilatées, un fond d'œil est réalisé par un médecin ophtalmologiste pour vérifier l'intégrité des milieux oculaires et surtout l'intégrité du pôle postérieur.

## **Partie B :**

### **3. RÉSULTATS ET DISCUSSION**

### **3.a - Résultats et Analyse statistique :**

#### **3.a.i - Population :**

La population étudiée est un échantillon composé de 7 filles et de 11 garçons étant âgés de 8 à 18 ans (moyenne : 11.33, écart-type : 3,07).

Tous ont un Lang positif et une acuité stéréoscopique de 50'' au minimum.

#### **3.a.ii - Résultats :**

Les tableaux suivants présentent les mesures réalisées lors des différentes réfractions du protocole, ils distinguent certaines données telles que l'équivalent sphérique, l'astigmatisme, la valeur du méridien le plus convexe et celle du plus concave.

Ces résultats sont à prendre avec un certain recul puisque de potentielles erreurs peuvent intervenir lors des différentes mesures. Elles peuvent être dues à plusieurs facteurs, comme le mauvais alignement du patient dans l'autoréfracteur, la résistance plus ou moins importante des volontaires au Skiacol<sup>®</sup>, mais aussi aller jusqu'à l'erreur humaine notamment lors de la réfraction subjective binoculaire.

Néanmoins, nous avons tenté de conserver le maximum de rigueur lors des prises de mesures afin de respecter notre protocole.

| Identifiant |    | Ticket d'autoréfracteur avant examen |       |                                 |                                 |              |
|-------------|----|--------------------------------------|-------|---------------------------------|---------------------------------|--------------|
|             |    | Formule totale (-C)                  | ES    | Méridien X<br>(le plus convexe) | Méridien Y<br>(le plus concave) | Astigmatisme |
| BOYE 11     | OD | 0,00 (-0,25) 80°                     | -0,12 | 0,00                            | -0,25                           | 0,25         |
|             | OG | 0,00 (-0,25) 110°                    | -0,12 | 0,00                            | -0,25                           | 0,25         |
| CABA 11     | OD | -1,25 (-0,50) 135°                   | -1,50 | -1,25                           | -1,75                           | 0,50         |
|             | OG | -1,50 (-0,50) 50°                    | -1,75 | -1,50                           | -2,00                           | 0,50         |
| CABA 8      | OD | -1,25 (-0,25) 100°                   | -1,37 | -1,25                           | -1,50                           | 0,25         |
|             | OG | -1,25 (-0,50) 40°                    | -1,50 | -1,25                           | -1,75                           | 0,50         |
| DOUZ 18     | OD | +3,25 (-4,75) 10°                    | 0,87  | 3,25                            | -1,50                           | 4,75         |
|             | OG | +2,75 (-3,50) 0°                     | 1,00  | 2,75                            | -0,75                           | 3,50         |
| ESPI 9      | OD | +0,25 (-0,50) 55°                    | 0,00  | 0,25                            | -0,25                           | 0,50         |
|             | OG | -0,50                                | -0,50 | -0,50                           | -0,50                           | 0,00         |
| FERR 17     | OD | 0,00 (-0,50) 175°                    | -0,25 | 0,00                            | -0,50                           | 0,50         |
|             | OG | 0,00 (-0,25) 15°                     | -0,12 | 0,00                            | -0,25                           | 0,25         |
| FERR 14     | OD | +0,75 (-0,25) 25°                    | 0,62  | 0,75                            | 0,50                            | 0,25         |
|             | OG | +0,75 (-0,25) 5°                     | 0,62  | 0,75                            | 0,50                            | 0,25         |
| GARC 12     | OD | -0,75                                | -0,75 | -0,75                           | -0,75                           | 0,00         |
|             | OG | -0,25 (-0,50) 0°                     | -0,50 | -0,25                           | -0,75                           | 0,50         |
| IDE 9       | OD | +0,25 (-0,50) 100°                   | 0,00  | 0,28                            | -0,25                           | 0,50         |
|             | OG | +0,50 (-0,75) 110°                   | 0,12  | 0,50                            | -0,25                           | 0,75         |
| LERO 14     | OD | -0,25 (-2,75) 5°                     | -1,62 | -0,25                           | -3,00                           | 2,75         |
|             | OG | 0,00 (-2,75) 0°                      | -1,37 | 0,00                            | -2,75                           | 2,75         |
| MAGN 10     | OD | +1,00 (-0,50) 5°                     | 0,75  | 1,00                            | 0,50                            | 0,50         |
|             | OG | +0,75 (-0,25) 175°                   | 0,62  | 0,75                            | 0,50                            | 0,25         |
| MEIG 9      | OD | +0,50 (-1,25) 0°                     | -0,12 | 0,50                            | -0,75                           | 1,25         |
|             | OG | +0,50 (-1,50) 0°                     | -0,25 | 0,50                            | -1,00                           | 1,50         |
| RALIM 8     | OD | -0,25 (-0,25) 25°                    | -0,37 | -0,25                           | -0,50                           | 0,25         |
|             | OG | +0,25 (-0,25) 160°                   | 0,12  | 0,25                            | 0,00                            | 0,25         |
| RALIJ 8     | OD | -0,25                                | -0,25 | -0,25                           | -0,25                           | 0,00         |
|             | OG | +0,25 (-0,25) 160°                   | 0,12  | 0,25                            | 0,00                            | 0,25         |
| RASS 15     | OD | -0,75 (-0,25) 155°                   | -0,87 | -0,75                           | -1,00                           | 0,25         |
|             | OG | -0,25 (-0,25) 150°                   | -0,37 | -0,25                           | -0,50                           | 0,25         |
| TORR 13     | OD | -0,50                                | -0,50 | -0,50                           | -0,50                           | 0,00         |
|             | OG | -0,25                                | -0,25 | -0,25                           | -0,25                           | 0,00         |
| VAZE 9      | OD | +0,50 (-0,75) 70°                    | 0,12  | 0,50                            | -0,28                           | 0,75         |
|             | OG | +0,50 (-0,50) 130°                   | 0,25  | 0,50                            | 0,00                            | 0,50         |
| BLAN 9      | OD | +0,50 (-0,50) 175                    | 0,25  | 0,50                            | 0,00                            | 0,50         |
|             | OG | +0,75 (-0,50) 160°                   | 0,50  | 0,75                            | 0,25                            | 0,50         |

**Tableau 1** : Résultats du ticket d'autoréfracteur réalisé avant l'examen, sans cycloplégie accompagnés de l'équivalent sphérique (ES) ; du méridien le plus convexe (X) ; du plus concave (Y) et de la valeur de l'astigmatisme.

| Identifiant |    | Réfraction Subjective Binoculaire |       |                                 |                                 |              |
|-------------|----|-----------------------------------|-------|---------------------------------|---------------------------------|--------------|
|             |    | Formule totale (-C)               | ES    | Méridien X<br>(le plus convexe) | Méridien Y<br>(le plus concave) | Astigmatisme |
| BOYE 11     | OD | +1,25                             | +1,25 | +1,25                           | +1,25                           | 0,00         |
|             | OG | +1,50 (-0,25) 60°                 | +1,37 | +1,25                           | +1,50                           | 0,25         |
| CABA 11     | OD | -1,00 (-0,50) 135°                | -1,25 | -1,50                           | -1,00                           | 0,50         |
|             | OG | -1,50 (-0,50) 55°                 | -1,75 | -2,00                           | -1,50                           | 0,50         |
| CABA 8      | OD | -1,00 (-0,25) 90°                 | -1,12 | -1,25                           | -1,00                           | 0,25         |
|             | OG | -1,00 (-0,50) 45°                 | -1,25 | -1,50                           | -1,00                           | 0,50         |
| DOUZ 18     | OD | +4,00 (-4,00) 10°                 | +2,00 | +4,00                           | 0,00                            | 4,00         |
|             | OG | +3,25 (-3,50) 0°                  | +1,50 | +3,25                           | -0,25                           | 3,50         |
| ESPI 9      | OD | +0,50 (-0,25) 130°                | +0,37 | +0,25                           | +0,50                           | 0,50         |
|             | OG | +0,25                             | +0,25 | +0,25                           | +0,25                           | 0,00         |
| FERR 17     | OD | +0,25                             | +0,25 | +0,25                           | +0,25                           | 0,00         |
|             | OG | +0,25                             | +0,25 | +0,25                           | +0,25                           | 0,00         |
| FERR 14     | OD | +0,50                             | +0,50 | +0,50                           | +0,50                           | 0,00         |
|             | OG | +0,75                             | +0,75 | +0,75                           | +0,75                           | 0,00         |
| GARC 12     | OD | -0,25 (-0,25) 110°                | -0,37 | -0,50                           | -0,25                           | 0,25         |
|             | OG | +0,25 (-0,25) 110°                | +0,12 | 0,00                            | +0,25                           | 0,25         |
| IDE 9       | OD | +0,75 (-0,25) 50°                 | +0,67 | +0,50                           | +0,75                           | 0,25         |
|             | OG | +1,00 (-0,50) 110°                | +0,75 | +0,50                           | +1,00                           | 0,50         |
| LERO 14     | OD | +0,25 (-2,25) 0°                  | -0,87 | +0,25                           | -2,00                           | 2,25         |
|             | OG | 0,00 (-2,25) 170°                 | -1,12 | 0,00                            | -2,25                           | 2,25         |
| MAGN 10     | OD | +1,25 (-0,25) 135°                | +1,12 | +1,00                           | +1,25                           | 0,25         |
|             | OG | +1,25 (-0,25) 110°                | +1,12 | +1,00                           | +1,25                           | 0,25         |
| MEIG 9      | OD | +1,00                             | +1,00 | +1,00                           | +1,00                           | 0,00         |
|             | OG | +1,25 (-1,25) 0°                  | +0,62 | +1,25                           | 0,00                            | 1,25         |
| RALIM 8     | OD | +0,75                             | +0,75 | +0,75                           | +0,75                           | 0,00         |
|             | OG | +0,75                             | +0,75 | +0,75                           | +0,75                           | 0,00         |
| RALIJ 8     | OD | 0,00                              | 0,00  | 0,00                            | 0,00                            | 0,00         |
|             | OG | +0,25                             | +0,25 | +0,25                           | +0,25                           | 0,00         |
| RASS 15     | OD | 0,00 (-0,25) 155°                 | -0,12 | 0,00                            | -0,25                           | 0,25         |
|             | OG | -0,25                             | -0,25 | -0,25                           | -0,25                           | 0,00         |
| TORR 13     | OD | +1,00 (-0,25) 145°                | +0,87 | +1,00                           | +0,75                           | 0,25         |
|             | OG | +1,00 (-0,25) 135°                | +0,87 | +1,00                           | +0,75                           | 0,25         |
| VAZE 9      | OD | +0,75 (-0,75) 70°                 | +0,37 | 0,00                            | +0,75                           | 0,75         |
|             | OG | +0,75 (-0,50) 120°                | +0,50 | +0,25                           | +0,75                           | 0,50         |
| BLAN 9      | OD | +1,25 (-0,50) 10°                 | +1,00 | +1,25                           | +0,75                           | 0,50         |
|             | OG | +1,25 (-0,50) 160°                | +1,00 | +1,25                           | +0,75                           | 0,50         |

**Tableau 2 :** Résultats de la réfraction subjective binoculaire sans cycloplégie, accompagné de l'équivalent sphérique (ES) ; le méridien le plus convexe (X) ; le méridien le plus concave (Y) et de l'astigmatisme.

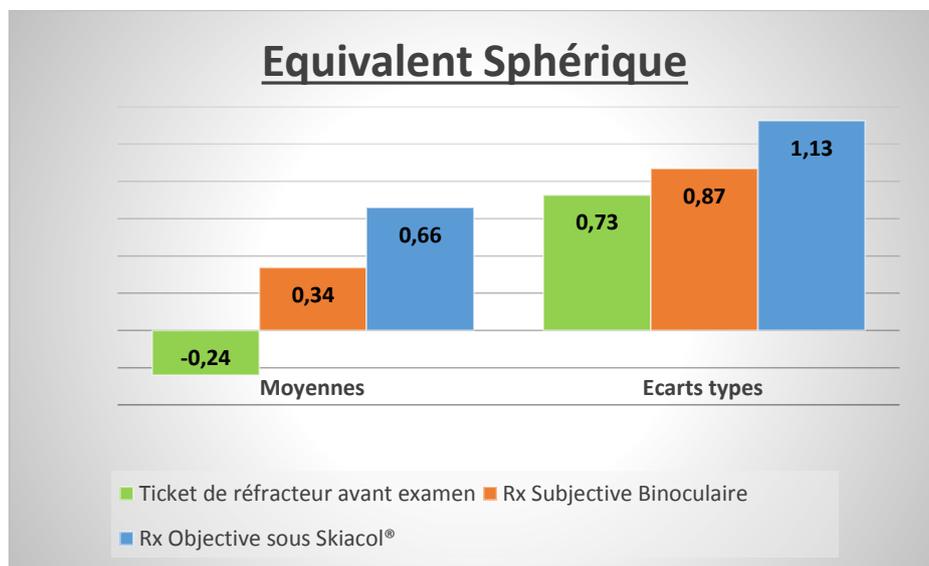
| Identifiant |    | Réfraction objective sous cycloplégie |       |                                 |                             |              |
|-------------|----|---------------------------------------|-------|---------------------------------|-----------------------------|--------------|
|             |    | Formule totale (-C)                   | ES    | Méridien X<br>(le plus convexe) | Méridien Y(le plus concave) | Astigmatisme |
| BOYE 11     | OD | +1,50 (-0,25) 90°                     | +1,37 | +1,25                           | +1,50                       | 0,25         |
|             | OG | +1,50 (-0,25) 110°                    | +1,37 | +1,25                           | +1,50                       | 0,25         |
| CABA 11     | OD | -1,50                                 | -1,50 | -1,50                           | -1,50                       | 0,00         |
|             | OG | -1,50 (-0,50) 55°                     | -1,75 | -2,00                           | -1,50                       | 0,50         |
| CABA 8      | OD | -1,00 (-0,25) 90°                     | -1,12 | -1,25                           | -1,00                       | 0,25         |
|             | OG | -1,00 (-0,25) 90°                     | -1,12 | -1,25                           | -1,00                       | 0,25         |
| DOUZ 18     | OD | +5,50 (-4,50) 10°                     | +3,25 | +5,50                           | +1,00                       | 4,50         |
|             | OG | +4,00 (-3,50) 0°                      | +2,25 | +4,00                           | +0,50                       | 3,50         |
| ESPI 9      | OD | +1,00 (-0,25) 50°                     | +0,87 | +0,75                           | +1,00                       | 0,25         |
|             | OG | +0,75 (-0,25) 160°                    | +0,62 | +0,75                           | +0,50                       | 0,25         |
| FERR 17     | OD | +0,50 (-0,25) 10°                     | +0,37 | +0,50                           | +0,25                       | 0,25         |
|             | OG | +0,75 (-0,25) 0°                      | +0,62 | +0,75                           | +0,50                       | 0,25         |
| FERR 14     | OD | +2,00 (-0,50) 0°                      | +1,75 | +2,00                           | +1,50                       | 0,50         |
|             | OG | +1,50                                 | +1,50 | +1,50                           | +1,50                       | 0,00         |
| GARC 12     | OD | -0,50                                 | -0,50 | -0,50                           | -0,50                       | 0,00         |
|             | OG | 0,00 (-0,25) 0°                       | -0,12 | 0,00                            | -0,25                       | 0,25         |
| IDE 9       | OD | +0,75 (-0,25) 105°                    | +0,62 | +0,50                           | +0,75                       | 0,25         |
|             | OG | +0,75 (-0,50) 105°                    | +0,50 | +0,25                           | +0,75                       | 0,50         |
| LERO 14     | OD | +0,25 (-3,00) 0°                      | -1,25 | +0,25                           | -2,75                       | 3,00         |
|             | OG | +0,25 (-3,00) 0°                      | -1,25 | +0,25                           | -2,75                       | 3,00         |
| MAGN 10     | OD | +1,25 (-0,50) 0°                      | +1,00 | +1,25                           | +0,75                       | 0,50         |
|             | OG | +1,00                                 | +1,00 | +1,00                           | +1,00                       | 0,00         |
| MEIG 9      | OD | +1,50 (-1,50) 0°                      | +0,75 | +1,50                           | 0,00                        | 1,50         |
|             | OG | +1,25 (-1,25) 0°                      | +0,62 | +1,25                           | 0,00                        | 1,25         |
| RALIM 8     | OD | +1,75                                 | +1,75 | +1,75                           | +1,75                       | 0,00         |
|             | OG | +1,75                                 | +1,75 | +1,75                           | +1,75                       | 0,00         |
| RALIJ 8     | OD | +0,75                                 | +0,75 | +0,75                           | +0,75                       | 0,00         |
|             | OG | +1,00 (-0,25) 0°                      | +0,87 | +1,00                           | +0,75                       | 0,25         |
| RASS 15     | OD | +1,25                                 | +1,25 | +1,25                           | +1,25                       | 0,00         |
|             | OG | +1,50                                 | +1,50 | +1,50                           | +1,50                       | 0,00         |
| TORR 13     | OD | +1,00                                 | +1,00 | +1,00                           | +1,00                       | 0,00         |
|             | OG | +1,00 (-0,50) 0°                      | +0,75 | +1,00                           | +0,50                       | 0,50         |
| VAZE 9      | OD | +0,75 (-0,50) 65°                     | +0,50 | +0,25                           | +0,75                       | 0,50         |
|             | OG | +0,50 (-0,25) 120°                    | +0,37 | +0,25                           | +0,50                       | 0,25         |
| BLAN 9      | OD | +2,00 (-0,50) 0°                      | +1,75 | +2,00                           | +1,50                       | 0,50         |
|             | OG | +2,00 (-0,75) 0°                      | +1,62 | +2,00                           | +1,25                       | 0,75         |

**Tableau 3** : Résultat de la réfraction objective sous cycloplégie (Skiacol®) accompagnés de l'équivalent sphérique (ES) ; du méridien le plus convexe (X) ; du méridien le plus concave (Y) et de l'astigmatisme.

### 3.a.i - Analyse Statistique :

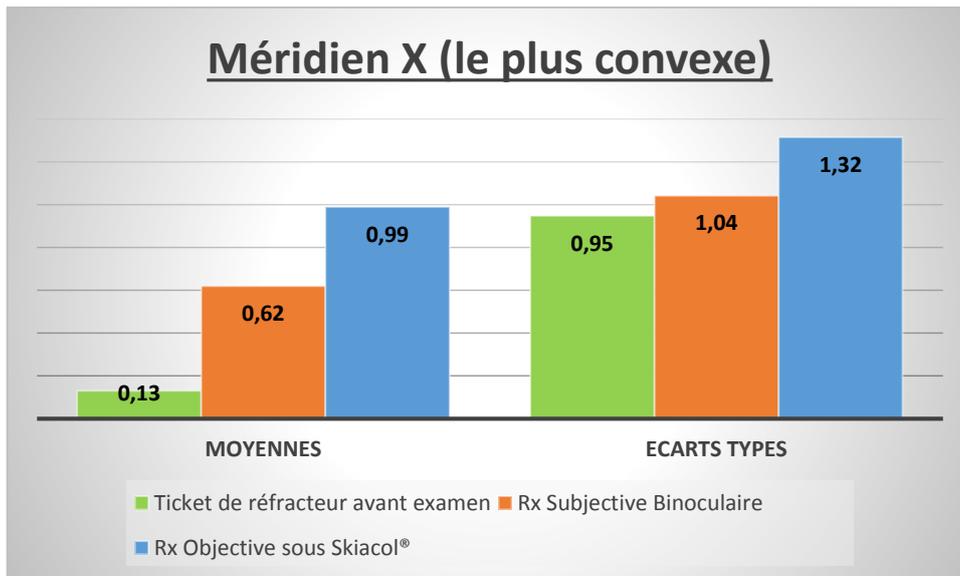
Les graphiques suivant présentent les moyennes comparées et leurs écarts types pour chacun des éléments décrits dans les tableaux précédents. Il est alors possible de visualiser les différences moyennes de la valeur de la réfraction sur l'échantillon de population testé, en fonction de la méthode utilisée.

A noter que toutes les valeurs sont données en dioptries ( $\delta$ ).



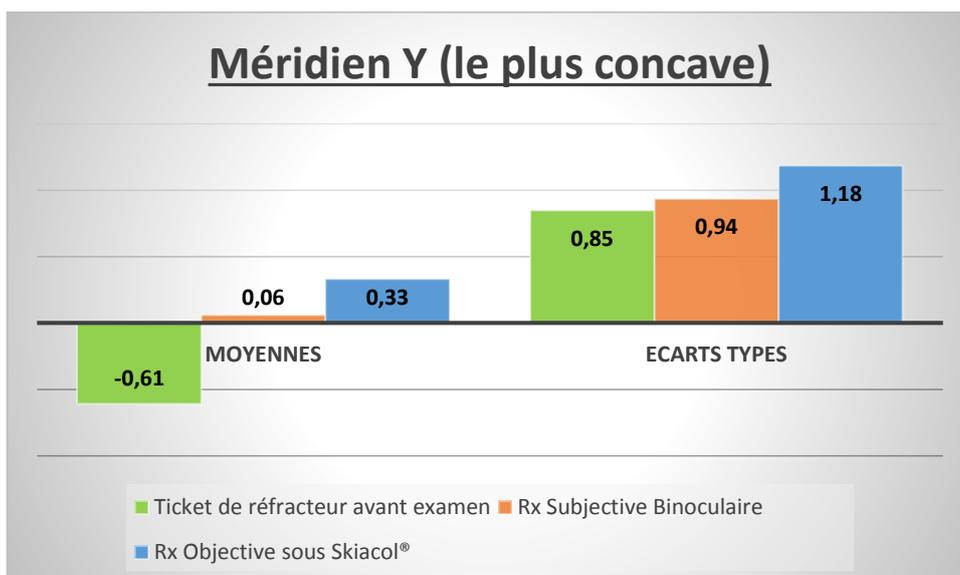
**Graphique 1 :** Représentation de la moyenne et de l'écart type de l'équivalent en fonction des différentes méthodes de réfraction.

La Réfraction Objective sous cycloplégie est la méthode qui donne, sans surprise, l'équivalent sphérique le plus convexe. Ses résultats sont en moyenne plus convexe de  $0,32\delta$  que la réfraction subjective binoculaire, eux-mêmes plus convexe de  $0,50\delta$  que les résultats du ticket d'autoréfracteur sans cycloplégie en début d'examen, ce qui représente une différence conséquente.



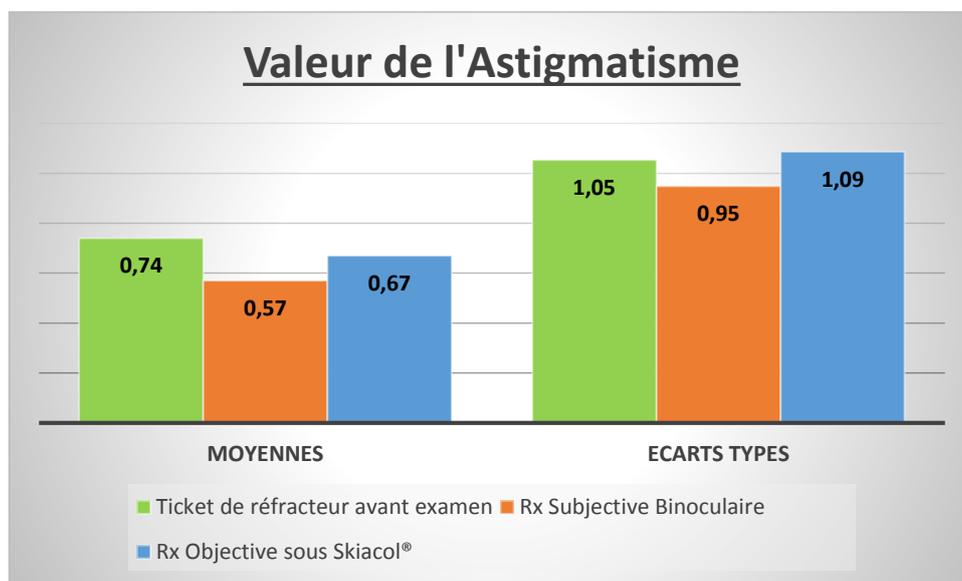
**Graphique 2 :** Représentation de la moyenne et de l'écart types du méridien mesuré le plus convexe, en fonction des différentes méthodes de réfraction.

Concernant le méridien mesuré le plus convexe, les résultats des moyennes montrent que celui-ci est une nouvelle fois, et en toute logique, plus convexe avec la cycloplégie. La différence avec la méthode de réfraction binoculaire est en moyenne de 0,37 $\delta$ , elle-même donnant des résultats plus convexes que le ticket de réfracteur sans cycloplégie, de 0,49 $\delta$  en moyenne. C'est une différence qui est donc significative car non négligeable.



**Graphique 3 :** Représentation des moyennes et de l'écart type du méridien mesuré le plus concave, en fonction de la méthode de réfraction.

C'est à nouveau la réfraction objective sous Skiacol® qui donne en moyenne les résultats les plus convexes pour le méridien mesuré le plus concave. Ils sont plus convexes de 0,25δ avec méthode qu'avec la réfraction subjective binoculaire. Cette dernière est également plus convexe en moyenne de 0,67δ que les résultats du ticket d'autoréfracteur.



**Graphique 4 :** Représentation des moyennes et de l'écart type de la valeur de l'astigmatisme mesuré, en fonction des méthodes de réfraction.

Concernant les valeurs de l'astigmatisme mesuré, elles sont en moyenne les plus faibles avec la réfraction subjective binoculaire. Les résultats sont en moyenne inférieurs de 0,10δ à ceux de la réfraction objective sous cycloplégique et de 0,17δ par rapport à ceux du ticket de l'autoréfractomètre sans cycloplégie. Ces différences de moyennes de sont donc pas vraiment significatives, l'astigmatisme retrouvé est quasiment le même quelle que soit la méthode.

### **3.b - Discussion :**

Les analyses statistiques ont permis de mettre en évidence des variations de la part latente de l'hypermétropie (ou de la surcorrection d'une myopie) au cours de l'examen, en fonction de la méthode de réfraction utilisée et ce, quel que soit le méridien étudié. À noter que l'étude ne porte à aucun moment sur la correction optique supportée par le patient mais bel et bien sur la réfraction pure.

Comme on s'y attendait, c'est la réfraction objective sous cycloplégique qui donne les résultats les plus convexes. En toute logique, en inhibant l'accommodation, le Skiacol® permet d'obtenir la COT ou du moins le résultat qui s'en approche le plus.

Sur l'échantillon étudié, la différence avec la réfraction subjective binoculaire n'excède pas les 0,37δ en moyenne (pour le méridien le plus convexe), elle se réduit même à 0,25 pour la moyenne du méridien le plus concave.

L'écart de résultats n'est donc pas très conséquent dans la mesure où la réfraction subjective binoculaire n'utilise aucun produit pour bloquer l'accommodation.

Bien qu'elle reste évidemment moins efficace, cette dernière méthode permet malgré tout de bien limiter la part de l'hypermétropie latente pour se rapprocher au plus près de la COT, sans avoir à instiller de goutte de cycloplégique.

En revanche, si on se penche sur les résultats entre la réfraction subjective binoculaire et la mesure à l'autoréfracteur fixe avant l'examen, on observe que l'écart moyen est beaucoup plus éloquent : La différence moyenne des valeurs oscille entre 0,49δ et 0,67δ plus convexe en faveur de la réfraction subjective binoculaire.

Sur la tranche d'âge étudiée, les résultats du ticket de réfracteur semble donc être une bonne base de départ pour une réfraction subjective (dépistage des profils à forte accommodation), mais n'est pas suffisamment fiable pour le prendre en compte comme étant la réfraction définitive.

En ce qui concerne l'astigmatisme, il ne varie pas beaucoup et quelle que soit la méthode on retrouve en moyenne les mêmes résultats à peu de choses près.

Même si par souci de reproductibilité les examens ont à chaque fois été effectués par la même personne, avec le même matériel et dans les mêmes conditions, il serait intéressant de poursuivre ce protocole sur un nombre plus grand d'enfants et d'adolescents afin de fiabiliser au maximum les résultats et les conclusions obtenus.

# CONCLUSION

Sur cet échantillon, pour des sujets sans trouble oculomoteur, aptes à coopérer et dans une tranche d'âge où l'accommodation est prépondérante, la réfraction subjective binoculaire apparaît comme une méthode de réfraction possédant de nombreux avantages. C'est une méthode rapide, qui ne présente pas l'inconvénient de l'instillation de gouttes de Skiacol® et qui, même si elle ne permet pas d'obtenir la COT, limite de manière efficace la part latente de l'hypermétropie (ou la surcorrection myopique).

Dans cette étude, même si la réfraction binoculaire ne permet pas d'obtenir la COT, elle en révèle une bonne partie.

De plus, la correction optique totale agissant elle-même comme un cycloplégique, on peut supposer qu'après quelques mois de port de la réfraction obtenue à la Rx subjective binoculaire, un second examen avec cette méthode permettrait de se rapprocher encore un peu plus de la COT.

La question de la recherche de la COT peut d'ailleurs se poser dans le cas de notre échantillon puisque l'étude porte uniquement sur des sujets sans troubles oculomoteurs.

Toutefois, et dans le doute, rien ne vaut une réfraction objective avec instillation de Skiacol® ou d'atropine lorsqu'il s'agit de trouver la correction optique totale.

Dans une prochaine étude, il serait pertinent de réaliser une comparaison entre réfraction subjective Mono et Binoculaire, en conservant ces critères d'inclusions de la population étudiée, ou d'inclure un examen de réfraction monoculaire à ce protocole, ce qui nous permettrait de mettre réellement en évidence la méthode la plus efficace en l'absence de cycloplégie.

# Bibliographie

[1] = MARY P. et MAY F. « Optique physiologique, accommodation et désaccommodation » : « Réfraction oculaire » EMC (Elsevier masson SAS, Paris), Ophthalmologie, [article 21-070-A-10], 2007, page 4.

[2] = ROTH André « L'optique de l'œil » : « La réfraction v1.0 » Ed A & J. Péchereau. Nantes, 2006, cours pour l'école d'orthoptie de Nantes.

[3] = VELUT S. et DESTRIEUX C. : « systématisation des voies optiques primaires et secondaires » EMC - Ophthalmologie 1997:1.0 [article 21-008-B-10].

[4] = 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.

[5] = « Les milieux transparents : Cristallin et zonule ». : « Anatomie pour les écoles d'orthoptie, v1.0 ». M Santallier, J & A Péchereau. Ed A & J Péchereau. Nantes, 2 008, « 63-68 ».

[6] = CLERGEAU Guy « Amétropies et accommodation ». : « La réfraction de l'enfant v2.1 » Ed A & J Péchereau, Nantes, 2008, « 238-241 ».

[7] = THOUVENIN Dominique « Les rapports accommodation & convergence accommodative ». : « La réfraction v3.1 » Ed A & J Péchereau. Nantes, 2007, « 107-110 ».

[8] = « La réfraction : relation accommodation et convergence » : « [www.larefraction.net](http://www.larefraction.net) » tiré de l'ouvrage de A Péchereau, MA Quéré, D Thouvenin et GK Von Noorden.

[9] = CLERGEAU Guy « Accommodation et emmétropisation ». : « La réfraction de l'enfant v2.1 » Ed A & J Péchereau, Nantes, 2008, « 191-193 ».

[10] = Cours sur l'accommodation et la physiologie de l'accommodation pour l'école d'orthoptie de Clermont Ferrand, 2012.

[11] = LASSALLE D. « La cycloplégie : Pourquoi ? Quand ? Laquelle ? », Cours destiné aux élèves d'orthoptie du CHU de Nantes.

[12] = PECHEREAU Alain & ANOMA Marie «Cyclopentolate - Atropine : Etude prospective ».

[13] = GRADIOUX-MADERN; LELEZ M-L; SELLAMI L; SANTALLIER M; FOURQUET F; PISELLA P-J; ARSENE S. : « Influence de l'instillation de 2 ou 3 gouttes de cyclopentolate à 0,5% sur la réfraction de l'enfant caucasien non strabique. » Journal français d'ophtalmologie, 2008; 31, 1, « 51-55 », Elsevier Masson SAS.

[14] = SELLAMI L; LELEZ M-L; SANTALLIER M; THUAULT S; MADERN F; PISELLA P-J; ARSENE S : « Etude de la réfraction sous cycloplégie : 2 gouttes de cyclopentolate versus 3 gouttes. » Journal français d'ophtalmologie, 2002, Elsevier Masson SAS.

[15] = PECHEREAU Alain « Les moyens diagnostics » ; « Le protocole pharmacologique : la cycloplégie ». : « La réfraction de l'enfant v2.1 » Ed A & J Péchereau, Nantes, 2008, « 12-23 ».

[16] = ROTH André « La mesure objective de la réfraction – La skiascopie » : « La réfraction v1.0 » Ed A & J. Péchereau. Nantes, 2006, cours pour l'école d'orthoptie de Nantes, « 20-24 ».

[17] = CLERGEAU Guy « La skiascopie ». : « La réfraction de l'enfant v2.1 » Ed A & J Péchereau, Nantes, 2008, « 25-28 ».

[18] = PECHEREAU Alain « La skiascopie v1.0 » Ed A & J Péchereau, Nantes, 2007, « ix-xx ; 1-43 »

[19] = LASSALLE David « La réfractométrie automatique » : « La réfraction v3.1 » Ed A & J Péchereau. Nantes, 2007, « 59-63 »

[20] = ROTH André « La mesure objective de la réfraction – La réfractométrie » : « La réfraction v1.0 » Ed A & J. Péchereau. Nantes, 2006, cours pour l'école d'orthoptie de Nantes, « 28-29 ».

[21] = CORDONNIER Monique « L'autoréfractométrie ». : « La réfraction de l'enfant v2.1 » Ed A & J Péchereau, Nantes, 2008, « 34-39 ».

[22] = 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 ».

[23] = « Les indications de la correction optique totale » Amblyopie.net.

[24] =ROTH André « Détermination subjective de la réfraction » : « La réfraction v1.0 » Ed A & J. Péchereau. Nantes, 2006, cours pour l'école d'orthoptie de Nantes, « 30-39 ».

[25] = ESPINASSE-BERROD Marie-Andrée. « La méthode du brouillard et le test duochrome » : « La réfraction v3.1 » Ed A & J Péchereau. Nantes, 2007, « 75-77 ».

[26] = ROTH André « La méthode du cylindre croisé de Jackson » : « La réfraction v3.1 » Ed A & J Péchereau. Nantes, 2007, « 79-80 ».

[27] = ROUSSAT Béatrice « Réfraction objective et subjective » : « La réfraction v3.1 » Ed A & J Péchereau. Nantes, 2007, «93-95».

[28] = BOCCARD Raoul « La réfraction » cours sur la réfraction pour l'école d'orthoptie de Clermont Ferrand, 2012-2013.

[29] = SANTALLIER M. « Technique de la réfraction subjective » : « la réfraction » cours pour l'école d'orthoptie de Nantes, avril 2011.

[30] = MARY P. et MAY F. « Réfraction subjective » : « Réfraction oculaire » EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Ophtalmologie, [article 21-070-A-10], 2007, page « 15-19 ».

[31] = BOCCARD Raoul : « Le cylindre de Jackson, comment fonctionne-t-il ? », FNRO Editions, Nantes 2011.

[32] = BASLE Laure : « La méthode d'Humphriss en 14 points : la réfraction subjective par contraste immédiat »