



UNIVERSITÉ DE NANTES



CENTRE HOSPITALIER
UNIVERSITAIRE DE NANTES

UNIVERSITÉ DE NANTES
FACULTÉ DE MÉDECINE ET DES TECHNIQUES MÉDICALES
ENSEIGNEMENT DES TECHNIQUES DE RÉADAPTATION

**ETUDE DE LA REPRODUCTIBILITÉ ET LA
CONCORDANCE DE LA MESURE ANGULAIRE
PHOTOGRAPHIQUE VIA LE LOGICIEL
STRABOCHECK ®**

Mémoire présenté par Emilie LE TEUFF, Pauline PICHON, Noémi
MOSSINO, Léa VEILLARD, Florent CHAUVEAU et Lola VEILLE
en vue de l'obtention du certificat de capacité d'orthoptie

Sous la direction du Dr. COURET

Juin 2021

Remerciements

Nous tenons à remercier notre directrice de mémoire, le Docteur Chloé COURET pour avoir toujours été disponible pendant ces deux dernières années, pour nous avoir aidé dans la réalisation de l'étude et répondre à nos questions.

Nous remercions également Manon PLESSIS et Sybille HOGEDE qui sont à l'origine de la mise en place de l'espace pour la prise de photographies avec la création de la méthode photographique.

Merci aux internes Guillaume LE BRETON et Charlène CORNÉE pour leur soutien, leur disponibilité ainsi que leur réactivité.

Merci également à Adam MAINGUY et à Mr WAGNY qui ont réalisé les diverses statistiques nécessaires pour conclure sur la fiabilité du logiciel Strabochek®.

Enfin, nous tenons à remercier l'ensemble des étudiants orthoptistes actuels ou récemment diplômés, les orthoptistes du service, les internes, les IDE et les patients qui ont accepté de participer à notre base de données ainsi que Dr LE LAN-DIOT, Dr PEIGNE, David LASSALLE, Kevin LEHUEDE et Jaufré WENDEL pour avoir répondu à nos questions sur leur utilisation de Strabochek®.

SOMMAIRE

1.Rappels	6
1.1 Classification des strabismes	6
1.2 Bilan orthoptique : notion d'angle minimum et maximum	7
1.3 Reflets cornéens	8
1.3.1 Définition	8
1.3.2 Méthodes des reflets	10
2.Objectifs du mémoire	11
3.Matériel et méthode	11
3.1 Matériel	11
3.2 Méthode photographique	12
3.3 Logiciel Strabochek®	12
4.Évaluer la reproductibilité inter-observateur et la concordance intra-observateur de la mesure angulaire via Strabochek®	15
4.1. Protocole	15
4.2. Description de la population	16
4.3. Résultats	18
4.3.1 Reproductibilité intra-personnelle	18
4.3.2 Reproductibilité inter-personnelle	20
5.Évaluer la concordance entre les valeurs de la déviation oculaire mesurée aux prismes et la déviation obtenue par Strabochek® pour les ésootropies	21
5.1. Protocole	21
5.2. Description de la population	22
5.3. Résultats	23
6.Évaluer la concordance entre les valeurs de la déviation oculaire mesurée aux prismes et la déviation obtenue par Strabochek® pour les strabismes divergents	24
6.1. Protocole	25
6.2. Description de la population	25
6.3.Résultats	26
6.3.1 Strabismes divergents manifestes.	27
6.3.2 Strabismes divergents intermittents.	27
7. Difficultés rencontrées	29
7.1. Difficultés lors de la prise des photographies	29
7.2. Problème de communication	29
7.3. Difficultés pour recueillir les données	29
8. Perspectives du logiciel	30

9. Avis des professionnels	30
10. Conclusion	33
11. Bibliographie	34

Introduction

Créé et développé en 2019 par Professeur Alain PECHEREAU et Docteur Chloé COURET du CHU de Nantes, Strabochek® est utilisé pour mesurer l'angle des strabismes à l'aide de la méthode de mesure angulaire photographique.

Nous allons évaluer par différents moyens la fiabilité de ce logiciel. Cela aura pour but une meilleure prise en charge des patients ayant un strabisme convergent ou divergent, lors des bilans orthoptiques ou ophtalmologiques pré et post-opératoires ainsi que leur suivi.

Le mémoire conduit par Sybille HOGEDE et Manon PLESSIS a permis de mettre en place la méthode photographique qui est nécessaire pour utiliser le logiciel Strabochek® [1].

Cette étude a pour objectif de développer l'utilisation du logiciel en France et à l'étranger. Une fois sa fiabilité prouvée, il pourrait être intégré systématiquement lors des bilans de strabologie, afin d'être complémentaire de la mesure de l'angle à la barre de prisme. Cela permettra aussi de s'en servir pour conduire d'autres études comme celles en cours au CHU de Nantes sur des strabismes horizontaux.

1.Rappels

1.1 Classification des strabismes

Le strabisme est un défaut de parallélisme des axes visuels. Il témoigne d'une atteinte neurosensorielle avec une composante motrice et une composante sensorielle. La composante motrice implique une position anormale de l'œil dévié par rapport à l'œil dominant (ou fixateur), appelée déviation strabique. La composante sensorielle est relative à une altération de la vision binoculaire (ou vision simultanée des deux yeux).

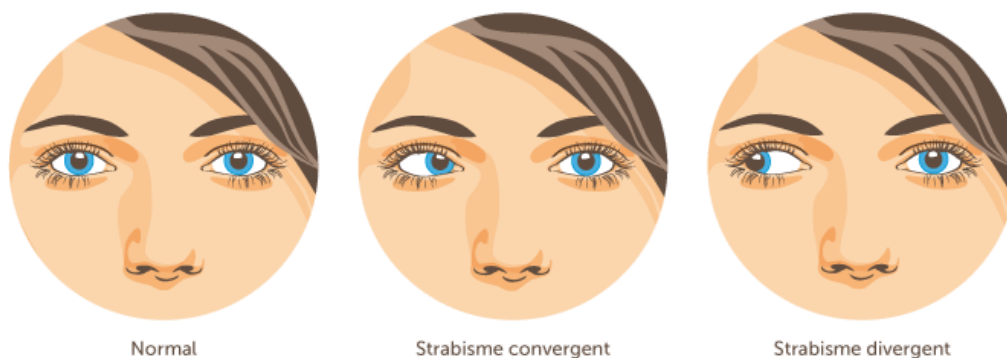
Ici, nous allons seulement nous intéresser à la composante motrice et tenter de classer les différentes déviations strabiques qui existent.

Premièrement, il est important de différencier le type de déviation. Les tropies sont des strabismes patents (ou manifestes) qui altèrent la vision simultanée. La déviation de l'œil est dans ce cas présente en binoculaire et visible selon son ampleur. Les phories sont des déviations latentes. Elles sont compensées par des efforts accommodatifs et fusionnels et de ce fait n'altèrent en rien la vision simultanée. De plus, elles sont non visibles en binoculaire. Seule la rupture de la fusion, en plaçant le cache devant l'œil, permet de mettre en évidence la déviation.

Dans notre étude, les patients hétérotropiques sont des patients considérés pathogènes tandis que les patients hétérophoriques sont considérés sains, sauf pour les phories de grand angle non compensées, soit les tropies intermittentes.

Deuxièmement, il s'agit d'analyser le sens de déviation. Il existe deux axes de déviation : vertical et/ou horizontal. Dans notre objectif d'étude, seules les déviations horizontales nous intéressent. L'œil peut donc être dévié en convergence, on parle alors d'esotropie ou d'esophorie. Sinon il est dévié en divergence, on parle alors d'exotropie ou d'exophorie.

Par convention, on note Et (esotropie), Xt (exotropie), Ep (esophorie) et Xp (exophorie). [2] [3]



1.2 Bilan orthoptique : notion d'angle minimum et maximum

Pour la base de données, nous récupérons les résultats du bilan orthoptique du patient, principalement ceux de l'examen sous écran qui mesure une déviation strabique. L'angle de déviation maximal et minimal en vision de loin et de près, ainsi que celui en vision de près avec des verres de $+3\Delta$ sont notés.

Voici expliquées ci dessous les méthodes de mesure de l'angle minimal et maximal en vision de loin et de près :

- Minimal :

C'est l'angle mesuré le plus petit, il est assez difficile à évaluer. En effet, le simple fait d'interposer un écran devant un œil entraîne très souvent une majoration plus ou moins importante de l'angle. Pour cette raison, nous ne pouvons fréquemment qu'estimer l'angle minimum par la simple observation du patient, aux reflets ou au cover test unilatéral. Il faut alors placer un prisme de la valeur de l'angle évalué par simple observation devant l'œil strabique puis cacher l'œil fixateur. Idéalement aucun mouvement de refixation n'est observé. Sinon, il faut le corriger en changeant la valeur du prisme en un ou deux mouvements.

- Maximal :

C'est l'angle mesuré le plus grand, il est lui beaucoup plus facile à appréhender puisqu'il s'agit de l'angle que l'on obtient après décompensation prolongée. Il est mesuré au cover test alterné à la barre de prismes. On occlut alternativement l'œil droit puis l'œil gauche, sans possibilité d'union binoculaire, tout en augmentant au fur et à mesure la puissance des prismes jusqu'à ne plus observer de mouvement de refixation des yeux.

- Angle $+3\Delta$:

Ajouter des verres convexes de 3Δ devant chaque œil permet de mesurer la part accommodative du strabisme. L'angle se mesure en vision de près au cover test alterné. On l'étudie par exemple :

- Dans le cas d'une ésoptropie avec un angle de déviation augmentant en vision de près : s'il diminue avec $+3\Delta$ cela indique une part accommodative de la déviation qui, avec un port de verres progressifs, peut rendre moins visible le strabisme dans la vie quotidienne.
- Dans les exotropies, l'ajout du $+3\Delta$ permet de se rapprocher de la déviation maximale.

Bien que considéré comme le test “gold standard” en strabologie, l’examen sous écran présente quelques limites et imprécisions qu’il est important de prendre en compte.

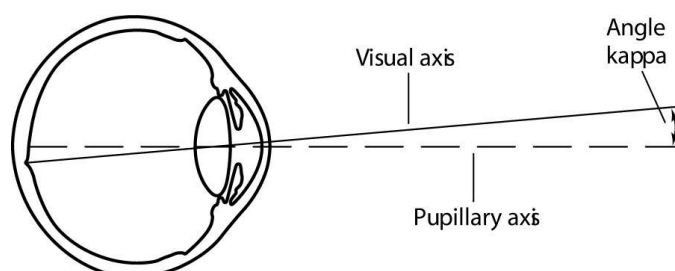
- Il dépend de l’aisance de l’examineur, comme plusieurs études l’ont démontré. [4][5]
- Plus la valeur des prismes augmente, plus la mesure sera imprécise : cela est dû à la barre de Berens qui propose un intervalle différent entre deux prismes. En effet, jusqu’à 20Δ le pas est de 2Δ prismatiques, puis il augmente pour des angles plus importants avec un pas de 5Δ entre deux prismes accolés. D’autre part, une imprécision des prismes en eux mêmes : pour un angle inférieur à 10Δ , on retrouve une imprécision de mesure de 2Δ mais pour les angles de 30Δ à 40Δ elle est de 7Δ et pour les angles supérieurs à 40Δ l’imprécision peut aller jusqu’à 12Δ .
- Il est non utilisable chez les amblyopes profonds et difficile sur un nystagmus ou une personne présentant une correspondance rétinienne anormale.
- Chez les jeunes enfants, le principal frein est le manque de coopération et de contrôle de la fixation.

1.3 Reflets cornéens

1.3.1 Définition

L’étude des reflets cornéens permet de donner des indices sur la déviation du patient surtout en âge préverbal ou encore lorsque la fixation d’un des deux yeux est impossible (exemple dans le cas d’une amblyopie profonde). Cependant, il est important de savoir que même chez un patient orthotrope, les reflets cornéens ne sont pas centrés au milieu de la pupille mais légèrement décalés en nasal. Ce décalage est induit par l’angle Kappa.

Qu’est-ce que l’angle Kappa ? C’est un angle formé entre l’axe pupillaire et l’axe visuel.



Attention, parfois l'écart inter pupillaire peut donner une impression de déviation mais les reflets restent centrés. De même, certaines formes de visages et de paupières peuvent donner cette sensation, comme avec un épicanthus, que l'on retrouve chez les enfants.



Epicanthus

Qu'en est-il de la position des reflets dans les strabismes ?

Pour un patient présentant une ésoptropie, les reflets cornéens seront décalés en temporal. En revanche, pour un patient présentant une exotropie les reflets seront décalés en nasal.



Reflet de l'oeil gauche en temporal - ésoptropie



Reflet de l'oeil droit en nasal - exotropie

1.3.2 Méthodes des reflets [2]

Il existe deux méthodes pour mesurer une déviation en utilisant les reflets :

- **La méthode d'Hirschberg :**

Elle a été décrite en 1885 et est une méthode objective. Elle consiste en la comparaison des reflets d'un œil par rapport à l'autre et à quantifier la différence en millimètres entre les deux reflets. On considère qu'un millimètre de différence correspond environ à un angle de 15Δ à 21Δ selon les études. [6][7] Un reflet sur le bord d'une pupille correspond alors à une déviation pouvant aller jusqu'à 30Δ et sur le limbe jusqu'à 70Δ . Cette méthode a pour avantage d'être réalisable dès le plus jeune âge. En revanche, elle reste très approximative et elle est fondée sur des valeurs pour une pupille de 4 mm de diamètre, ce qui, en pratique, n'est pas toujours vrai.

- **La méthode de Krimsky :**

La méthode de Krimsky permet la mesure de la déviation avec les reflets cornéens mais ce qui la différencie de la première méthode est la nécessité de la barre de prisme de Berens. On place la barre de prisme devant l'œil fixateur, en respectant la déviation. On va augmenter la valeur des prismes jusqu'à ce que l'œil dévié soit recentré et ainsi que les reflets soient symétriques. Il a pour avantage d'être beaucoup plus précis que la méthode d'Hirschberg. En revanche, elle est difficile à réaliser chez les enfants en bas âge.

Ces méthodes sont importantes à connaître pour la suite car la méthode photographique s'appuie sur l'analyse des reflets cornéens.

2.Objectifs du mémoire

Depuis quelques années, il existe un intérêt pour l'apport de la méthode photographique dans la prise en charge des strabismes. Différentes applications et études ont pu voir le jour comme, entre autres, EyeStrab. [8][9][10][11]

Notre mémoire consiste à évaluer la fiabilité de l'un d'entre eux, le logiciel « Strabochek® » chez des sujets sains et pathologiques, pour cela nous nous sommes donnés les objectifs suivant :

- Évaluer sa reproductibilité intra et inter-personnelle
- Comparer les valeurs obtenues par Strabochek® avec celles de l'examen sous écran
- Recueillir des données pour permettre à Charlène CORNEE, interne au CHU de Nantes, d'analyser la variation de la déviation exotropique entre l'état de veille et l'état de sommeil reproduit par l'anesthésie générale après curarisation
- Réfléchir sur les perspectives évolutives du logiciel

3.Matériel et méthode

3.1 Matériel [1]

Ce mémoire nécessite un matériel adapté. Pour cela, nous avons utilisé l'appareil photo Nikon D3500 et un trépied, spécifiquement consacrés à cette méthode. L'appareil est installé à un mètre de l'œil du patient. Pour obtenir une fixation optimale du sujet un filtre UV a été collé ainsi qu'une gommette au centre de l'objectif.

Concernant la salle, nous sommes dans une pièce comprenant un ordinateur intégrant Softalmo et Qdoc, nécessaires à l'enregistrement des photos dans le dossier du patient. Le logiciel « qDslrDashboard » est installé sur cet ordinateur et relié à l'appareil afin de prendre les photographies.

Nous avons retenu les réglages suivant pour l'appareil photo Nikon D3500 avec un objectif AF-S DX NIKKOR 18-140mm f/3.5-5.6G ED VR :

- Priorité d'ouverture : Mode A
- Mise au point : Mode AF-S
- Sensibilité à la lumière : ISO 100
- Ouverture : F 7.1
- Vitesse : 1/60
- Flash

3.2 Méthode photographique [1]

Elle repose sur l'analyse de la comparaison de la position des reflets cornéens d'un œil par rapport à l'autre. Elle consiste à prendre trois photos des yeux du patient ; une en binoculaire, une de l'œil droit et la dernière de l'œil gauche.

Pour la photo binoculaire, le patient fixe la gommette située sur l'objectif de l'appareil avec la tête droite. Pour la photo monoculaire œil droit (OD), nous demandons au patient de se cacher l'œil gauche avec sa main et inversement pour la photo monoculaire œil gauche (OG). Entre ces deux photos, nous décalons le point rouge de mise au point de sorte à ce qu'il soit positionné sur la pupille de l'œil étudié afin d'avoir le reflet cornéen net et bien visible.

Nous traitons ensuite les photos sur le site internet Strabochek®.

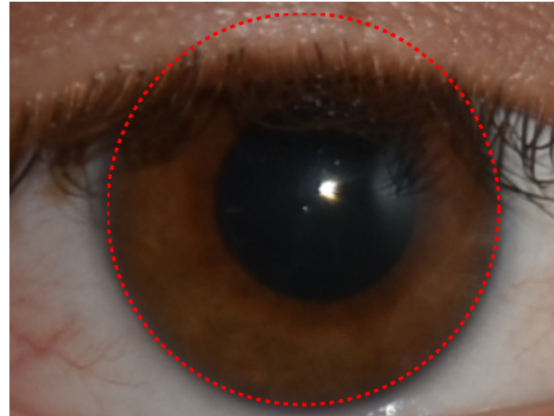
3.3 Logiciel Strabochek®

Strabochek® est un logiciel permettant de calculer l'angle du strabisme horizontal à partir de la méthode photographique.

Pour cela nous avons besoin de 3 photos, qui seront à importer dans l'ordre suivant :

1. Photo monoculaire OD
2. Photo monoculaire OG
3. Photo binoculaire

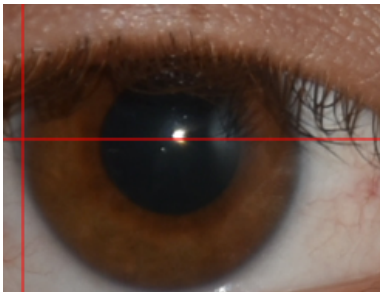
Après avoir importé une photo, il faut mettre l'iris dans le cercle. Puis cliquer sur « continue ».



On place les 3 repères dans l'ordre suivant selon l'œil sélectionné, puis on clique sur « entrée » après avoir sélectionné chaque repère :

- Monoculaire OD : limbe temporal, reflet cornéen, limbe nasal
- Monoculaire OG : limbe nasal, reflet cornéen, limbe temporal
- Binoculaire : OD (limbe temporal, reflet cornéen, limbe nasal) / OG (limbe nasal, reflet cornéen, limbe temporal)

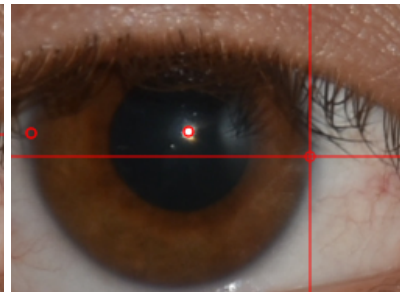
Limbe temporal OD



Reflet central OD

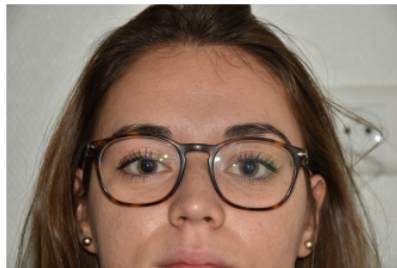


Limbe nasal OD



On obtient les résultats suivants : le ratio de chaque œil, la déviation de chaque œil et la déviation globale. RE (right eye) correspond à l'œil droit et LE (left eye) à l'œil gauche.

Horizontal ocular deviation assessment



RE Ratio = 0.46 LE Ratio = 0.45
RE deviation = 0.71° LE deviation = -0.26°
Global deviation = 0.5°

Fiche de résultat Straboscheck®

Le ratio correspond au rapport entre les différents reflets obtenus lors de la prise de photo : reflet temporal (RT), reflet nasal (RN) et reflet cornéen (RC). Il se calcule de la façon suivante :

$$\text{RATIO} = (\text{RC}-\text{RN}) / (\text{RT}-\text{RN})$$

La déviation de chaque œil est calculée en degrés. Si le résultat est précédé d'un signe "-" cela signifie que le patient a une exotropie. Et si ce n'est pas le cas, le patient a donc une ésoptropie. La déviation en degré est calculée avec cette formule :

$$\text{DÉVIATION d'un oeil} = (\text{Ratio bino} - \text{Ratio mono}) \times 100$$

On additionne ensuite les déviations des deux yeux pour obtenir la déviation globale.

L'équivalence entre degré et dioptrie prismatique est une valeur approximative, elle varie selon l'angle de déviation d'un strabisme, d'autant plus que l'angle est grand. En moyenne, ce facteur est de 1,745.

C'est pourquoi :

$$\text{DÉVIATION (en dioptries)} = \text{DÉVIATION (en degrés)} * 1.745$$

Cela nous sera indispensable par la suite afin de comparer la déviation globale retrouvée par Strabochek® et celle de l'examen sous écran.

4.Évaluer la reproductibilité inter-observateur et la concordance intra-observateur de la mesure angulaire via Strabochek®

Il s'agit dans cette première partie d'évaluer la précision de la mesure d'angle, par Strabochek®, lorsque les photographies et les mesures sont effectuées par des examinateurs différents, reproductibilité inter-observateur, mais aussi la variabilité des mesures pour un même opérateur sur de mêmes clichés, soit la concordance intra-observateur. Cela permet de valider la fiabilité du site pour répandre son utilisation et proposer un nouvel outil objectif de mesure d'angle strabique horizontal.

Pour ce faire, la base de données est constituée de deux groupes :

Groupe 1A : patient examiné en consultation de strabologie, donnant son accord, et ayant une déviation horizontale (latente ou patente).

Groupe 1B : toute personne, donnant son accord, ne présentant pas de déviation strabique, ou ayant une phorie dans les normes physiologiques (orthoporique de loin et une exoporie allant jusqu'à 6Δ de près).

Ont été exclus les sujets ayant une déviation verticale supérieure à 25% de la déviation horizontale ou pour lesquels la prise des trois photographies fut impossible (pour cause d'amblyopie profonde ou mauvaise coopération). Les patients sous mesure de protection juridique/tutelle ou curatelle n'ont pas été inclus.

4.1. Protocole

Tout d'abord, il faut prendre les photographies : OD fixant, OG fixant, binoculaire, en plaçant le patient à un mètre de l'objectif, le tout deux fois de suite. La première série de trois photographies nommée A et la deuxième nommée B étant

réalisées par deux examinateurs différents (orthoptiste, ophtalmologiste, interne ou étudiant).

Ensuite, le bilan orthoptique est réalisé, comprenant les mesures de déviation en vision de loin (angle minimum et maximum), en vision de près (angle minimum et maximum) et avec $+3\Delta$.

Le patient est ajouté à la base de données en indiquant la date de naissance, la date de l'examen, le sexe, le type de strabisme, la valeur des différents angles de déviation, l'indication de si les photos ont été faites avant ou après le bilan orthoptique.

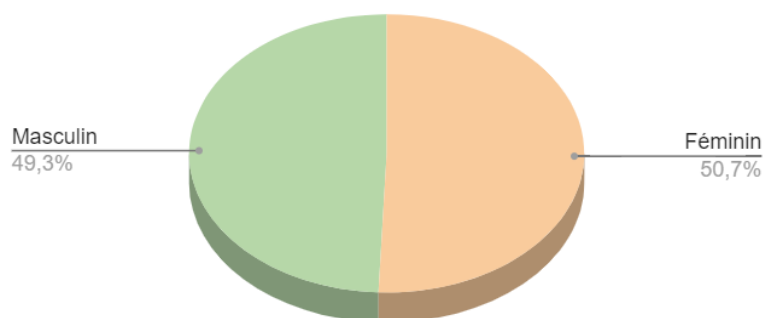
Chacun de nous six réalise enfin, via Strabochek®, quatre mesures : deux pour la série A, deux pour la série B (par exemple pour l'examineur 1 : A1a, A1b, B1a, B1b) qui seront utilisées pour évaluer la concordance inter et intra-observateur. Ajouter ensuite les données calculées par Strabochek® pour chaque série de photographies (ROD, ROG, DevOD, DevOG, DevODG) à la base de données.

4.2. Description de la population

Groupe 1A : composé de 150 patients.

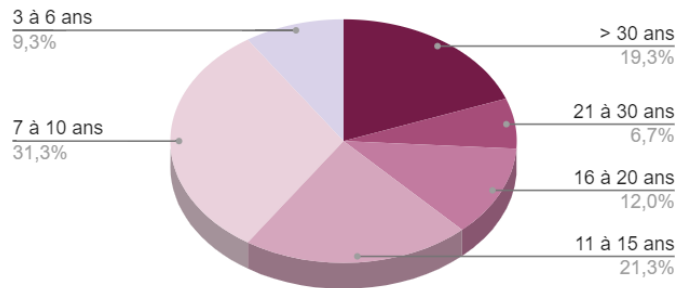
Sexe	Effectif
Féminin	76
Masculin	74
	Total : 150

Répartition de la population chez le groupe 1A



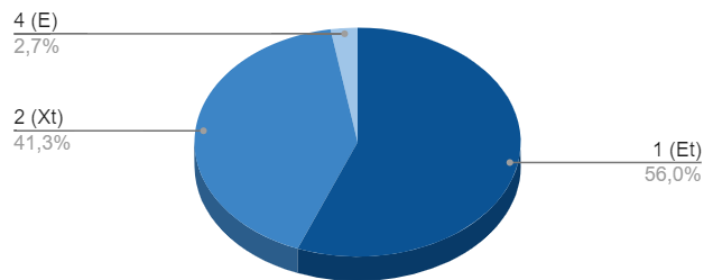
Tranche d'âge (groupe 1A)	Effectif
> 30 ans	29
21 à 30 ans	10
16 à 20 ans	18
11 à 15 ans	32
7 à 10 ans	47
3 à 6 ans	14
	Total : 150

Répartition de la tranche d'âge du groupe 1A



Pathologie	Effectif
1 (Et)	84
2 (Xt)	62
3 (X)	0
4 (E)	4
	Total : 150

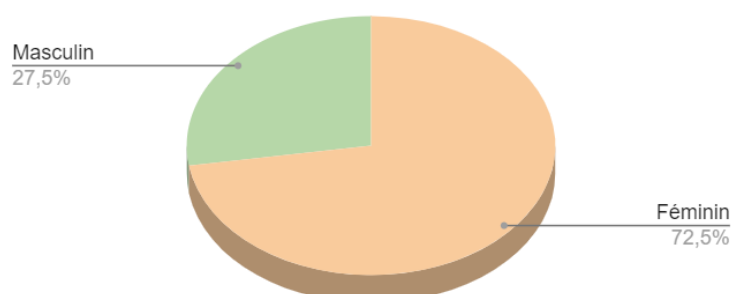
Répartition du type de déviation chez le groupe 1A



Groupe 1B : composé de 91 patients.

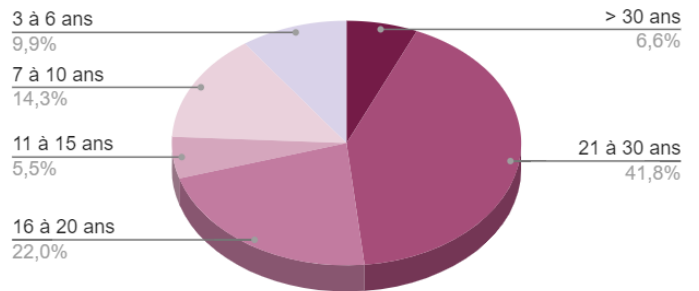
Sexe	Effectif
Féminin	66
Masculin	25
	Total : 91

Répartition de la population chez le groupe 1B



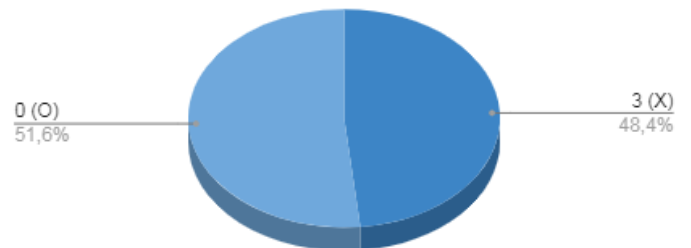
Tranche d'âge (groupe 1B)	Effectif
> 30 ans	6
21 à 30 ans	38
16 à 20 ans	20
11 à 15 ans	5
7 à 10 ans	13
3 à 6 ans	9
	Total : 91

Répartition de la tranche d'âge du groupe 1B



Pathologie	Effectif
0 (O) Orthophorique	47
3 (X)	44
	Total : 91

Répartition du type de déviation chez le groupe 1B

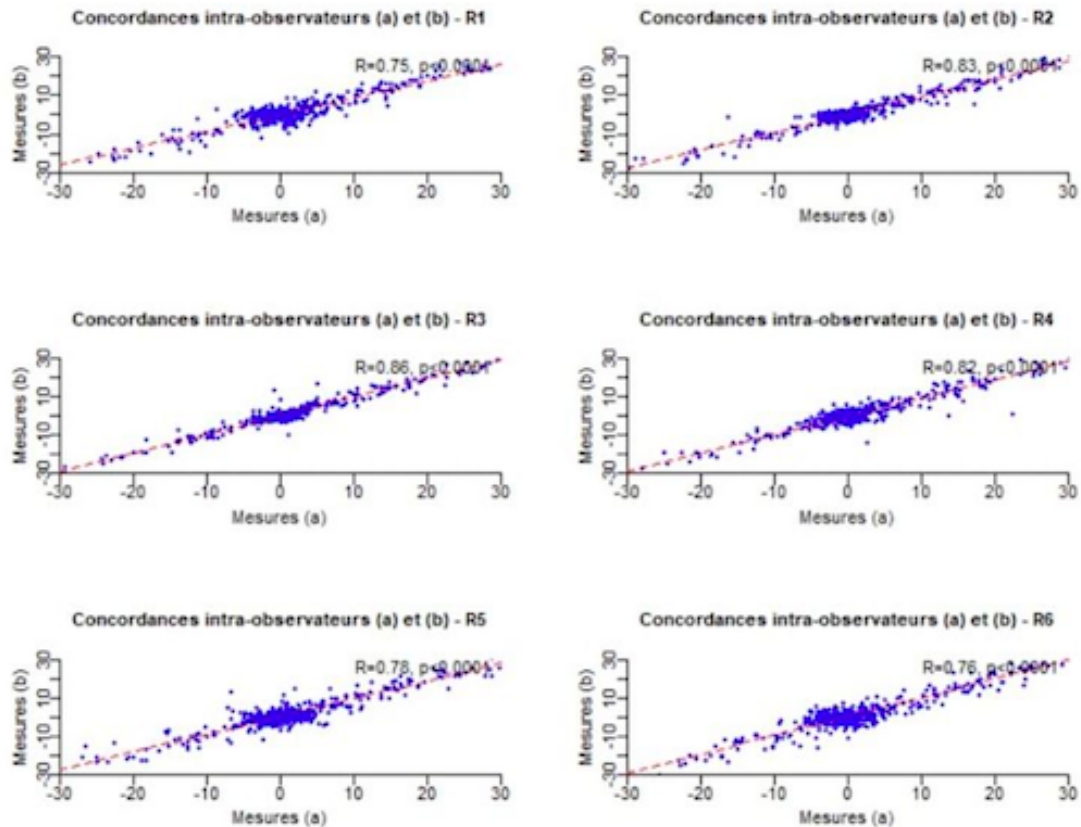


4.3. Résultats

4.3.1 Reproductibilité intra-personnelle

Nous regardons particulièrement lors des résultats le CCI (Coefficient de Corrélation Intra classes) qui témoigne d'une bonne corrélation s'il est compris entre 0,75 et 0,90 et d'une excellente quand il est supérieur à 0,90. Pour qu'il soit interprétable il faut aussi que les limites de l'intervalle qui le contiennent soient supérieures à 0,75 ou 0.90.

- Intervenant 1 : 0.83 IC95% (0.802-0.862%)
- Intervenant 2 : 0.98 (IC95% 0.975-0.983%)
- Intervenant 3 : 0.98 IC95% (0.975-0.983%)
- Intervenant 4 : 0.96 IC95% (0.952-0.967%)
- Intervenant 5 : 0.94 IC95% (0.938-0.957%)
- Intervenant 6 : 0.95 IC95% (0.942-0.960%)



Résultats sur la concordance intra-personnelle

Les résultats sur la reproductibilité intra-observateur nous sont présentés ci-dessus par les six graphiques qui comparent les deux mesures Strabochek® d'un même intervenant à partir de la même série de photos. Chaque membre du groupe a son propre graphique (intervenants 1 à 6). Le CCI témoigne ici d'une bonne voire excellente corrélation pour 5 des 6 intervenants.

Table analyse 1. Photos A vs. B			
Population	Effectif (n)	ICC	IC _{95%} du CCI
Ensemble des évaluateurs	2445	0.96	0.957-0.963
<i>Evaluateur 1 (R1)</i>	408	0.95	0.937-0.957
<i>Evaluateur 2 (R2)</i>	405	0.97	0.968-0.978
<i>Evaluateur 3 (R3)</i>	409	0.98	0.975-0.983
<i>Evaluateur 4 (R4)</i>	406	0.96	0.951-0.967
<i>Evaluateur 5 (R5)</i>	408	0.95	0.938-0.957
<i>Evaluateur 6 (R6)</i>	409	0.95	0.942-0.961

Pour continuer l'analyse sur la reproductibilité intra-observateur, voici le tableau récapitulatif qui compare pour un même intervenant les quatre mesures Strabochek®, c'est-à dire l'ensemble des mesures qu'il a réalisé pour un patient, sur les deux séries de photos différentes.

Le rapport Coefficient de Corrélation Intra classes témoigne d'une excellente reproductibilité pour un même intervenant, quelqu'il soit. En effet pour l'ensemble des intervenants, le CCI est de 0,96, compris dans l'intervalle [0,957-0,963] .

D'après ces résultats, nous pouvons constater que les valeurs d'un même intervenant varient peu, même réalisées à grande échelle. Nous pouvons donc en déduire que le logiciel Strabochek® a une excellente reproductibilité intra-personnelle.

4.3.2 Reproductibilité inter-personnelle

Dans le tableau présenté ci-dessous, ont été comparés les résultats de tous les intervenants entre eux. En enlevant ensuite un à un les intervenants, nous observons si l'absence d'un examinateur fait varier la concordance des résultats.

Analyse 3 – Reproductibilité inter-évaluateurs

Approche de l'ICC : même approche que pour l'analyse 1, mais cette fois-ci on compare les 4 mesures (2 photos * 2 temps de prise) des six évaluateurs pour chacun des 293 patients, soit un total de $293 \times 4 = 1172$ mesures.

Table analyse 2.		
Population	ICC	IC_{95%} du CCI
Ensemble des évaluateurs	0.953	0.948-0.957
<i>Tous sauf R1</i>	0.953	0.948-0.958
<i>Tous sauf R2</i>	0.951	0.946-0.956
<i>Tous sauf R3</i>	0.952	0.947-0.957
<i>Tous sauf R4</i>	0.953	0.948-0.958
<i>Tous sauf R5</i>	0.955	0.950-0.959
<i>Tous sauf R6</i>	0.952	0.947-0.957

Nous pouvons remarquer une excellente corrélation entre les différents examinateurs, en effet le CCI est de 0,953 et son intervalle est compris entre 0,948 et 0,957. Ce résultat ne chute pas lorsqu'on exclut un examinateur, quel qu'il soit. En effet, le CCI minimal est de 0,951 et le maximal de 0,955.

D'après ces résultats, nous pouvons conclure que les mesures Strabocheck® ne dépendent pas de l'examineur. Nous pouvons donc en déduire que la reproductibilité inter-utilisateur est excellente.

Ces conclusions sont donc très positives quant à la fiabilité lors de l'utilisation de Strabocheck® qui semble être un logiciel reproductible quelque soit l'examineur. Nous pouvons donc maintenant nous intéresser à son utilisation dans le cas de suivis et de bilans pré et post-chirurgicaux des strabismes convergents et divergents.

5.Évaluer la concordance entre les valeurs de la déviation oculaire mesurée aux prismes et la déviation obtenue par Strabocheck® pour les ésootropies

Une fois la reproductibilité de Strabocheck® démontrée, nous avons pu utiliser le logiciel pour cette seconde partie, pour laquelle nous avons collaboré avec Guillaume LE BRETON, interne en ophtalmologie à Nantes, qui travaillait sur ce même sujet pour sa thèse. Elle a pour but de comparer les mesures aux prismes des strabismes convergents lors de l'examen sous écran et la déviation totale calculée par Strabocheck®, afin de voir si les deux méthodes tendent vers le même résultat.

Pour cela une nouvelle base de données est créée :

Groupe 2A : patient examiné en consultation de strabologie, et donnant son accord, ayant une déviation convergente patente.

Ont été exclus les sujets ayant une déviation verticale supérieure à 25% de la déviation horizontale ou pour lesquels la prise des trois photographies fut impossible (pour cause d'amblyopie profonde ou mauvaise coopération). Les patients sous mesure de protection juridique/tutelle ou curatelle n'ont pas été inclus.

5.1. Protocole

Tout d'abord, il faut prendre une série de trois photographies : OD fixant, OG fixant, binoculaire, en plaçant le patient à environ 1m de l'objectif.

Ensuite, le bilan orthoptique est réalisé, comprenant les mesures de déviation en vision de loin (angle minimum et maximum), en vision de près (angle minimum et maximum) et avec $+3\Delta$.

Enfin, le patient est ajouté à la base de données en indiquant la date de naissance, la date de l'examen, le sexe, la valeur des différents angles de déviation, l'indication de si les photographies ont été faites avant ou après le bilan orthoptique, les données calculées par Strabocheck® pour chaque série de photographies (ROD, ROG, DevOD, DevOG, DevODG).

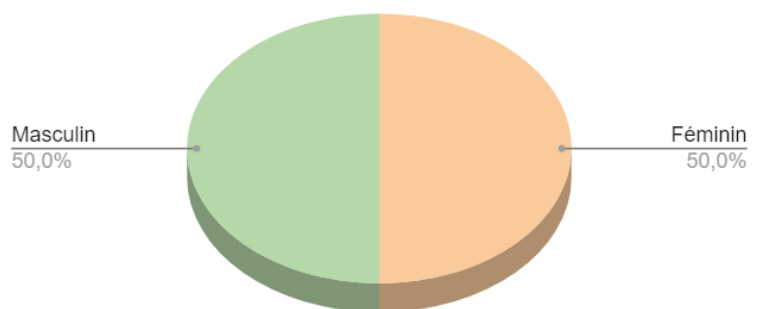
Il est important de remarquer que, dans l'idéal, les photographies d'oculomotricité étaient réalisées avant le bilan orthoptique pour avoir l'angle non décompensé par le cover test, c'est-à-dire celui de la vie quotidienne du patient.

5.2. Description de la population

Groupe 2A : composé de 52 patients.

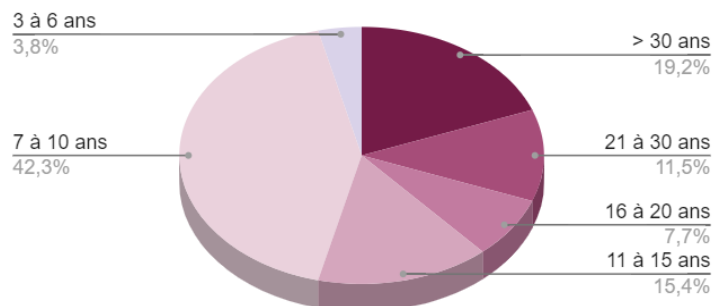
Sexe	Effectif
Féminin	26
Masculin	26
	Total : 52

Répartition de la population chez le groupe 2A



Tranche d'âge	Effectif
> 30 ans	10
21 à 30 ans	6
16 à 20 ans	4
11 à 15 ans	8
7 à 10 ans	22
3 à 6 ans	2
	Total : 52

Répartition de la tranche d'âge du groupe 2A

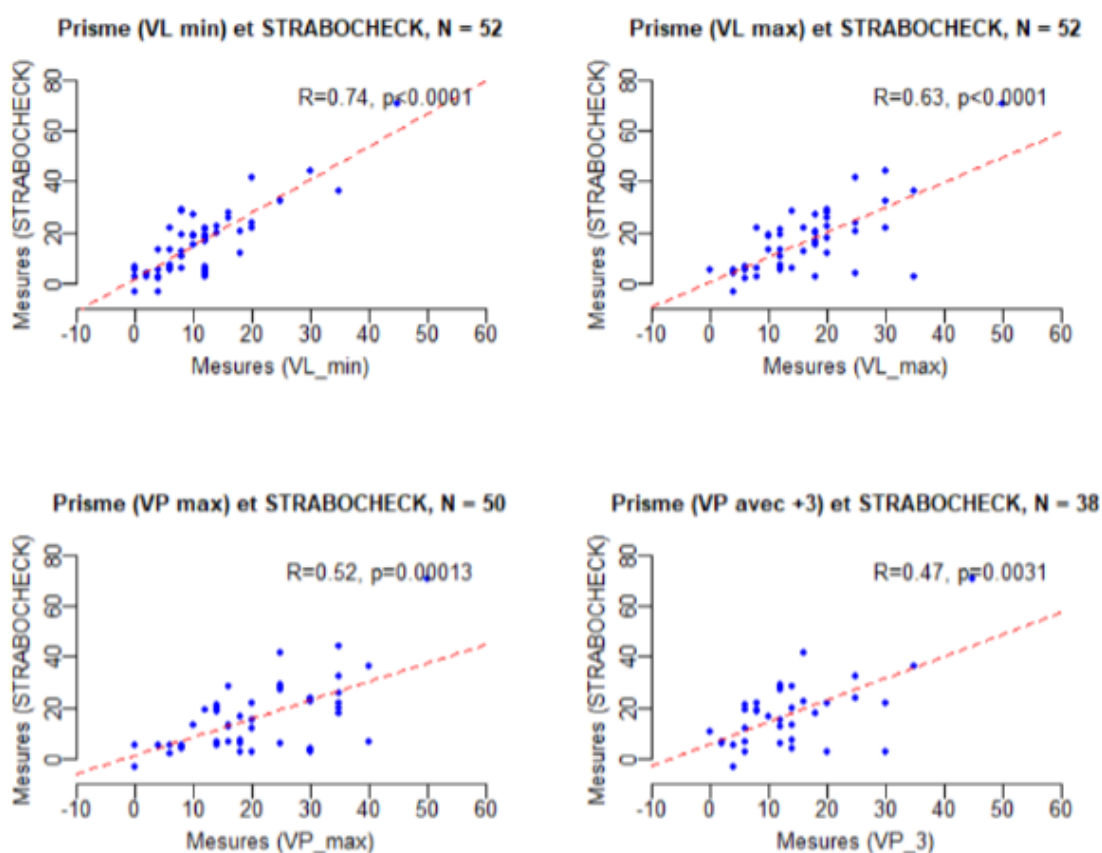


5.3. Résultats

Pour rappel, le CCI (Coefficient de Corrélation Intra classes) témoigne d'une bonne corrélation s'il est compris entre 0,75 et 0,90 et d'une excellente quand il est supérieur à 0,90. Pour qu'il soit interprétable il faut aussi que les limites de l'intervalle qui le contiennent soient supérieures à 0,75 ou 0,90.

Variables	ICC	IC _{95%} du CCI
VL_min (N = 52)	0.771	0.632-0.862
VL_max (N = 52)	0.685	0.509-0.806
VP_max (N = 50)	0.593	0.380-0.747
VP_3 (N = 38)	0.578	0.320-0.756

Dans le tableau ci-dessus, vous découvrez la comparaison entre les quatre angles mesurés à la déviométrie aux prismes et les mesures Straboccheck®. On peut remarquer que le coefficient de corrélation intra classe le plus élevé correspond à la mesure de l'angle minimal en vision de loin mesuré aux prismes. En déduction, l'angle mesuré par le logiciel est donc plus proche de ce dernier, l'intervalle [0,632 ; 0,862] comprenant des valeurs inférieures à 0,75, il est impossible de parler de bonne corrélation malgré un CCI de 0,77. A l'inverse, l'angle de près avec +3Δ est le plus éloigné de la mesure via Straboccheck® (CCI égal à 0,578).



Reproductibilité entre l'examen sous écran et Straboccheck®

Ces quatre repères nous permettent la même analyse que précédemment. En effet, nous observons que les mesures Strabochek® se rapprochent le plus des valeurs de l'angle minimal en vision de loin de l'examen sous écran (R=0,74). Ensuite, la deuxième valeur se rapprochant le plus est l'angle maximal en vision de loin (R=0,63), suivi de l'angle en vision de près (R=0,52) et enfin l'angle en vision de près avec +3Δ (R=0,47). Cependant, ces valeurs restent faibles et sont concordantes avec les résultats ci-dessus.

Ainsi, nous constatons qu'il n'existe pas d'excellente corrélation entre les mesures aux prismes et les résultats du logiciel. Nous pouvons tout de même remarquer que l'angle minimal en vision de loin est le plus proche des valeurs retrouvées avec Strabochek®. Cependant, c'est le plus difficile à mesurer au bilan orthoptique car il est très sensible à la décompensation et à l'expérience de l'examineur d'où l'intérêt de la méthode photographique.

Dans la prise en charge des strabismes convergents, Strabochek® peut donc être utilisé comme un examen complémentaire, en supplément de la mesure aux prismes, pour appréhender l'angle minimal de loin qui est le plus important à connaître en pré-opératoire car il correspond à l'angle de la vie quotidienne du patient.

6.Évaluer la concordance entre les valeurs de la déviation oculaire mesurée aux prismes et la déviation obtenue par Strabochek® pour les strabismes divergents

Pour cette dernière partie nous avons travaillé avec Charlene CORNEE, interne en ophtalmologie à Nantes, dans le cadre de son mémoire intitulé : "Étude comparative entre la mesure angulaire au cover test et la méthode photographique par le logiciel Strabochek® dans les exotropies suivies au CHU de Nantes, associée à l'étude de l'évolution angulaire sous anesthésie générale".

Nous avons participé au développement de la base de données et introduit un nouvel objectif dans notre mémoire qui est de comparer la mesure de la déviation oculaire des strabismes divergents à la barre de prismes et son estimation par le logiciel Strabochek®. Nous ne pourrions ici vous présenter les résultats et l'étude dans son ensemble car la base de données reste ouverte jusqu'en 2022.

Cette nouvelle étude constitue le Groupe 3 qui comprend tout patient examiné en consultation de strabologie, et donnant son accord, ayant une déviation divergente patente ou latente avec une indication chirurgicale éventuelle.

Ont été exclus les sujets ayant une exotropie secondaire suite à une chirurgie d'ésotropie, ayant une pathologie neurologique dégénérative connue ou pour lesquels la prise des trois photographies fut impossible (pour cause d'amblyopie profonde ou mauvaise coopération). Les patients sous mesure de protection juridique/tutelle ou curatelle n'ont pas été inclus.

6.1. Protocole

Tout d'abord, le bilan orthoptique est réalisé, comprenant les mesures de déviation en vision de loin (angle minimum et maximum), en vision de près et avec les verres +3Δ.

Ensuite, il faut prendre une série de trois photographies : OD fixant, OG fixant, binoculaire, en plaçant le patient à environ un mètre de l'objectif.

Enfin, le patient est ajouté à la base de données en indiquant la date de naissance, la date de l'examen, le sexe, le type de strabisme (Exotropie, Exophorie ou Exotropie-phorie), la valeur des différents angles de déviation, l'indication de si les clichés ont été faits avant ou après le bilan orthoptique, les données calculées par Strabochek® pour chaque série de photographies (ROD, ROG, DevOD, DevOG, DevODG).

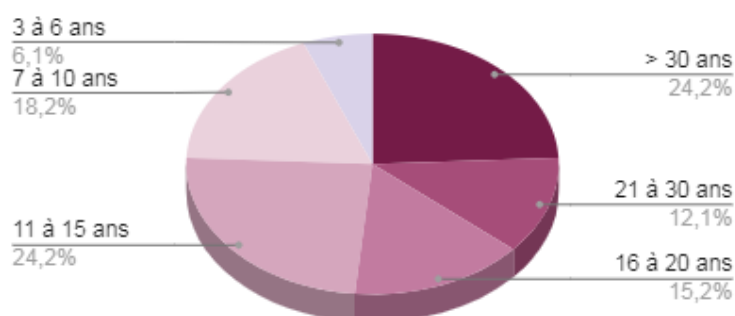
Il est important de noter que, dans l'idéal, les photographies d'oculomotricité sont réalisées après le bilan orthoptique et le cover test, qui décompensent la déviation par l'occlusion. Cela se rapproche alors plus de l'angle maximal qui correspond mieux à l'angle à l'état de sommeil retrouvé lors de la chirurgie.

6.2. Description de la population

Le groupe 3 est composé de 66 patients.

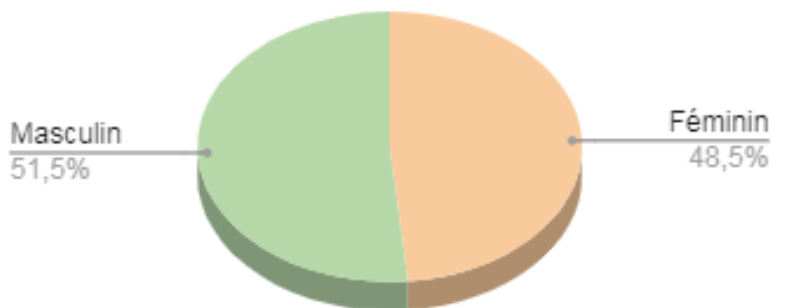
Tranche d'âge	Effectif
> 30 ans	16
21 à 30 ans	8
16 à 20 ans	10
11 à 15 ans	16
7 à 10 ans	12
3 à 6 ans	4
	Total : 66

Répartition de la tranche d'âge



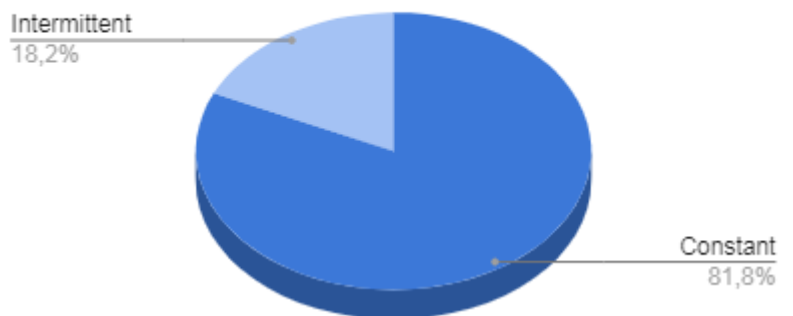
Sexe	Effectif
Féminin	32
Masculin	34
	Total : 66

Répartition de la population



Pathologie (Xt)	Effectif
Constant	54
Intermittent	12
	Total : 66

Répartition du type de strabisme divergent



6.3.Résultats

Pour cette partie, nous avons réalisé les statistiques suivantes à l'aide du site Biostatgv.fr. Dans un premier temps, nous avons converti les résultats obtenus par Strabochek® en dioptrie, en multipliant la mesure en degré par 1,745. Puis nous avons comparé ces valeurs avec les différents angles obtenus lors de l'examen sous écran.

Le site Biostatgv a permis de calculer le P-value, qui correspond à la probabilité de ne pas obtenir la même valeur. On considère que le résultat est significatif s'il est inférieur à 0,01. C'est-à-dire, dans notre étude, une concordance possible entre le résultat obtenu par Strabochek® et l'angle trouvé à l'examen sous écran.

6.3.1 Strabismes divergents manifestes.

Dans un premier temps, nous avons comparé les mesures Strabochek® au bilan orthoptique des strabismes constants, qui représentent 54 patients. Voici ci-dessous les résultats obtenus :

	Nombre de données	P-value
VL max	54	0,150
VL min	3	0,5
VP max	53	0,270
VP min	3	0,5
VP +3	34	0,011

Aucune comparaison n'est donc ici significative, tous les P-value étant supérieurs à 0,01. Nous pouvons cependant remarquer que l'angle de près avec les verres +3Δ se rapproche le plus des valeurs obtenues avec le logiciel.

A noter que pour les angles minimum de loin et de près, nos résultats restent peu fiables du fait du faible nombre de données. En effet, ces angles étant peu mesurés lors du bilan orthoptique, nous n'avons pas pu récolter suffisamment de valeurs.

6.3.2 Strabismes divergents intermittents.

Dans un second temps, nous avons comparé les mesures Strabochek® au bilan orthoptique des strabismes intermittents, qui représentent 12 patients. Voici ci-dessous les résultats obtenus :

	Nombre de données	P-value
VL max	12	0,001
VL min	6	0,280
VP max	12	0,001
VP min	5	0,584
VP +3	8	0,016

Dans ce tableau, nous pouvons remarquer que la comparaison est significative entre les mesures du logiciel et les angles maximum de loin et de près. Étant donné l'intermittence de la déviation, il aurait été plus probable que l'on retrouve une concordance avec l'angle minimum car, en principe, la méthode photographique ne dissocie pas les deux yeux.

Cette incohérence peut s'expliquer par le faible effectif de patients ayant une déviation latente inclus dans cette étude mais aussi du fait que les photos ont pu parfois être réalisées après le bilan orthoptique et donc après décompensation du strabisme.

7. Difficultés rencontrées

7.1. Difficultés lors de la prise des photographies

Lors de la prise de photos, les lunettes sales ou encore abîmées des patients affectent beaucoup la qualité des photos et notre facilité à positionner le reflet pupillaire. De plus, nous ne pouvons pas maîtriser la qualité de fixation du patient lors de la prise ; c'est à son bon vouloir de bien fixer la mire de fixation sur l'appareil photo.

7.2. Problème de communication

Au tout début de l'avancée du mémoire nous ne travaillions pas encore ensemble. En effet, Léa et Florent devaient développer la comparaison entre Strabocheck® et l'examen sous écran tandis que Lola, Pauline, Noémi et Emilie travaillaient sur la fiabilité du logiciel entre examinateurs différents et dans le temps. Après plusieurs mois d'avancée, nous nous sommes rendus compte que nos mémoires pouvaient être fusionnés. Il a donc fallu remettre à jour les bases de données avec parfois des données manquantes. De plus, Lola et Noémi ont commencé à travailler sur la reproductibilité dans le temps, mais cette partie a finalement été retirée du mémoire après discussion avec Dr Chloé COURET suite à la situation sanitaire.

7.3. Difficultés pour recueillir les données

Afin que notre étude soit la plus complète possible, nous avons besoin de recueillir l'angle minimal et maximal en vision de loin et vision de près ainsi que la mesure de l'angle avec le verre de $+3\Delta$. Étant donné que ce n'était pas toujours nous qui voyions le patient pour le bilan orthoptique, il n'était pas toujours facile de recueillir ces données.

Il fallait aussi arriver à temps pour prendre les photos avant que le patient n'ait fait son bilan orthoptique ou n'ait commencé son skiacol, sans pour autant perturber la consultation.

Enfin, le confinement au printemps 2020 a freiné notre recueil de base de données car les consultations ont été annulées et nous ne pouvions nous rendre en stage.

8. Perspectives du logiciel

Le logiciel Strabochek® a de belles perspectives d'avenir.

Actuellement son utilisation se limite au CHU de Nantes mais son objectif est de s'étendre afin qu'il soit utilisé par une majorité en France, et que son utilisation soit systématisée.

Dans un premier temps, augmenter la base de données de l'étude sur les strabismes divergents pourrait potentiellement nous amener à un résultat plus interprétable. On pourrait aussi penser, à plus ou moins long terme, à élargir les paramètres du logiciel afin de pouvoir s'intéresser à la déviation des strabismes verticaux.

On peut se poser la question de l'utilisation du logiciel dans le dépistage visuel chez les jeunes enfants car il est facile d'utilisation et ne nécessite pas de personnel qualifié. Par exemple, à la maison, comme à l'école, les parents ou encore les médecins scolaires pourraient être amenés à réaliser les photos avec le logiciel Strabochek®. Cependant, il sera impératif d'étudier au préalable les seuils à partir desquels il faudra convoquer l'enfant chez un ophtalmologiste ou un orthoptiste pour ne pas provoquer un stress inutile pour les parents mais aussi pour ne pas surcharger les consultations.

9. Avis des professionnels

Nous avons pris l'initiative d'interviewer des praticiens du service afin d'avoir leurs avis sur le logiciel Strabochek®. Parmi les ophtalmologues, nous avons pu récolter le témoignage de Dr Maxime PEIGNE, Dr Marion LE LAN-DIOT, ainsi que les orthoptistes Mr David LASSALLE, Mr Kevin LEHUEDE et Mr Jaufre WENDEL.

Voici un résumé des réponses obtenues.

Que pensez-vous de Strabochek® ?

Pour la majorité, la mesure Strabochek® est intéressante. Elle apporte une mesure d'angle complémentaire à celle mesurée aux prismes, et proche de la déviation quotidienne.

Malgré un intérêt commun sur l'utilité du logiciel, en pratique, certains l'utilisent systématiquement et d'autres pas du tout.

Pourquoi utilisez-vous Strabochek® ?

Les ophtalmologues et orthoptistes qui ont recours à Strabochek® l'utilisent principalement lors du bilan pré-opératoire et post-opératoire du strabisme ainsi que pour connaître l'angle du strabisme de la vie quotidienne du patient, soit l'angle minimum. Le logiciel est également utilisé lors d'une fluctuation de la déviation. Un des professionnels interviewés l'utilise également pour les patients ayant une ésoptropie en CRA, car l'angle au cover test est souvent sur-évalué.

Selon vous, quel bénéfice apporte la mesure Strabochek® au bilan ?

A l'unanimité, cette mesure apporte une mesure de l'angle minimal, autrement dit l'angle de déviation quotidienne.

Avez-vous déjà rencontré des difficultés ou incohérences lors de l'utilisation du logiciel ?

La difficulté de fixation pour les patients amblyopes profonds ainsi que les enfants agités peuvent rendre la prise de photographie difficile, selon les praticiens interviewés. Mais aucune difficulté n'a été relevée concernant l'utilisation du logiciel Strabochek® en lui-même.

Pourquoi ne l'utilisez-vous pas ?

Pour la plupart des praticiens qui ne l'utilisent pas, cela s'explique par le fait que les mesures soient trop longues à réaliser dans un temps de consultation, et ils n'y trouvent pas d'intérêt dans un suivi sans prise en charge chirurgicale. Le logiciel serait également moins intéressant pour les Xt car il n'y a pas d'intérêt à avoir l'angle minimal. Enfin, pour certains le fait que le logiciel soit encore peu répandu engendre que son utilisation est trop restreinte géographiquement.

Quelles sont pour vous les limites de ce type de mesures ?

Pour le plus grand nombre d'entre eux, les limites qui ont été retenues sont principalement liées à l'interface du logiciel, en effet, lors des mesures il est impossible de retourner aux étapes précédentes, ce qui implique de tout recommencer lors d'une mauvaise prise de repères. Les lunettes sales lors de la

prise des photos est également un frein. La mesure étant faite à un mètre l'accommodation entre en jeu et influe sur l'angle de déviation.

Quelles évolutions voyez-vous pour Strabocheck® ?

Les différents professionnels nous ont fait part de leurs diverses suggestions pour faire évoluer le logiciel Strabocheck®. En effet, actuellement seules les mesures des déviations horizontales sont possibles. C'est pourquoi, élargir la capacité du logiciel à pouvoir mesurer des déviations verticales et mixtes (déviation horizontale associée à une déviation verticale) pourrait être intéressant. De plus, installer un algorithme pourrait être une hypothèse pour permettre une automatisation de la mesure, et par conséquent entraîner un gain de temps lors de la consultation. En ce qui concerne l'installation, il serait intéressant dans un premier temps d'adapter la distance à cinq mètres pour la prise de la photo, afin de permettre la prise d'une mesure objective en vision de loin sans stimuler l'accommodation du patient.

Puis dans un second temps, rendre l'installation moins coûteuse, moins encombrante et donc plus accessible à tous permettrait de donner une plus grande visibilité au logiciel. En effet, nous pourrions envisager l'utilisation du téléphone portable pour la prise des photos et inventer pourquoi pas une application pour donner un accès plus direct au logiciel. Pour finir, permettre l'accès ainsi que la manipulation du logiciel, sans connexion internet nécessaire, serait utile par exemple pour un accès direct et rapide au bloc opératoire lors de l'acte chirurgical.

Pensez-vous qu'il pourra remplacer le bilan orthoptique ?

Selon eux, ce n'est pas l'intérêt recherché. La mesure est complémentaire et limitée à une mesure en position primaire. De plus, seul le praticien est capable de faire une déviométrie complète et d'avoir accès à la fois à l'angle maximal et à l'angle minimal.

Pensez-vous qu'un jour vous pourrez compter sur ces mesures pour les chirurgies ?

Oui, car la mesure de l'angle minimal avant la chirurgie des strabismes convergents est très importante et déjà utilisée par les chirurgiens.

10. Conclusion

Notre étude touche donc à sa fin. Elle nous aura demandé beaucoup de rigueur et de volonté mais la finalité vient récompenser notre investissement. Les coefficients de corrélation étant nos témoins de reproductibilité dans nos études, il nous faut reprendre un à un nos résultats pour pouvoir conclure correctement. Pour l'analyse intra-personnelle, les chiffres nous montrent des hauts rapports de reproductibilité sur un grand échantillon de mesures, et ce pour tous les observateurs. Nous retrouvons aussi des hautes valeurs de reproductibilité pour notre étude inter-personnelle. Ces deux premiers rapports témoignent de la fiabilité du logiciel sur son utilisation personnelle et partagée.

Pour l'étude de comparaison entre la mesure Strabochek® et la mesure aux prismes des strabismes convergents, les résultats sont ici plus partagés et les rapports plus faibles. Il en ressort cependant une probable corrélation entre l'angle mesuré au logiciel et l'angle minimal mesuré aux prismes en VL. Il faut néanmoins prendre en considération que la décompensation du strabisme et l'examineur sont les deux variables majeures.

Pour l'étude de la comparaison entre la mesure Strabochek® et la mesure aux prismes des strabismes divergents, les effectifs trop faibles ne nous permettent pas de prouver, pour l'instant, une corrélation significative entre les deux.

Nous prouvons donc aujourd'hui la fiabilité du logiciel Strabochek® sur sa reproductibilité intra et inter personnelle. Ce logiciel est accessible pour tout le monde sans écart de mesure.

Nous pouvons aussi évoquer le fait qu'il soit un bon indice dans la prise en charge des ésootropies et exotropies. Son utilisation peut être complémentaire au bilan. L'avantage étant de pouvoir se rapprocher d'une mesure la plus naturelle possible, il est donc particulièrement intéressant avant une prise en charge chirurgicale.

11. Bibliographie

- [1] Mémoire de Sybille HOGEDE et Manon PLESSIS, 2019, "Mise en place de la méthode photographique de la mesure de l'angle du strabisme dans le service du CHU de Nantes".
- [2] F. Audren, D. Lassalle, M. Santallier, C. Speeg-Schatz, 2013. Rapport SFO Strabisme, partie IV chapitre 11 [Elsevier Masson].
- [3] Dr M. Robert, 2021. Strabisme de l'enfant, Collège des Ophtalmologistes Universitaires de France (COUF), chapitre 4 (item 52).
- [4] Anderson HA, Manny RE, Cotter SA, Mitchell GL, Irani JA. Effect of examiner experience and technique on the alternate cover test. *Optom Vis Sci.* 2010 Mar;87(3)
- [5] de Jongh E, Leach C, Tjon-Fo-Sang MJ, Bjerre A. Inter-examiner variability and agreement of the alternate prism cover test (APCT) measurements of strabismus performed by 4 examiners. *Strabismus.* 2014 Dec;22(4)
- [6] Brodie SE. Photographic calibration of the Hirschberg test. *Investigative Ophthalmology and Vision Science.* 1987 Apr;28(4)
- [7] DeRespinis PA, Naidu E, Brodie SE. Calibration of Hirschberg test photographs under clinical conditions. *Ophthalmology.* 1989 Jul;96(7)
- [8] *Translational Vision Science & Technology* February 2019, Vol.8 : Development and Preliminary Evaluation of a Smartphone App for Measuring Eye Alignment.
- [9] Yang HK, Han SB, Hwang JM, Kim YJ, Jeong CB, Kim KG. Assessment of binocular alignment using the three-dimensional Strabismus Photo Analyzer. *Br J Ophthalmol.* 2012 Jan
- [10] *Investigative Ophthalmology & Visual Science* April 2013, Vol.54 Automated Analysis of Binocular Alignment Using an Infrared Camera and Selective Wavelength Filter
- [11] Yehezkel O, Belkin M, Wagnanski-Jaffe T. Automated Diagnosis and Measurement of Strabismus in Children. *Am J Ophthalmol.* 2020 May

Résumé du mémoire intitulé « Etude de la reproductibilité et la concordance de la mesure angulaire photographique via le logiciel Strabochek® »

Depuis quelques années, la mesure d'un angle strabique par méthode photographique a démontré son intérêt en complémentarité du bilan orthoptique. C'est dans cette optique que le logiciel Strabochek® a été créé en 2019, qui à partir des reflets cornéens calcule la déviation oculaire. Notre étude consiste à évaluer la fiabilité de ce logiciel afin d'étendre son utilisation pour une meilleure prise en charge des patients strabiques divergents ou convergents, lors des bilans orthoptiques ou ophtalmologiques pré et post opératoires ainsi que leur suivi. Dans un second temps, nous vous présentons aussi la concordance entre le bilan orthoptique aux prismes et la mesure Strabochek®.