



UNIVERSITÉ DE NANTES



Ecole d'orthoptie de Nantes

Mémoire de fin d'études, en vue de l'obtention du Certificat
de Capacité d'Orthoptiste

Possibilité d'une déviométrie normée, Méthode photographique

Sous la direction du Dr.Couret,

Années Universitaires 2017-2020

FOURREAU Charline

TREBON Amandine

Remerciements

Nous souhaitons adresser nos remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidés pour la réalisation de ce mémoire.

En premier lieu, nous remercions Docteur Couret, ophtalmologue et strabologue au service ophtalmologique du CHU de Nantes. Directrice de ce mémoire, elle nous a guidé tout au long de notre travail. Nous la remercions également pour les connaissances qu'elle nous a apportées durant ces années d'études et pour le temps qu'elle nous a consacré.

Nous remercions les étudiants orthoptistes qui nous ont aidés en acceptant d'être patients témoins, nous permettant ainsi de constituer notre base de données.

Nous adressons nos remerciements au Docteur Lebranchu, directeur de l'école, ophtalmologue et strabologue au CHU de Nantes, et à l'ensemble de nos professeurs ainsi qu'à nos maîtres de stage pour nous avoir transmis leur savoir au cours de ces trois années d'études.

Table des Matières

INTRODUCTION	1
RAPPELS	2
a. Angle Kappa.....	2
b. Méthode par l'étude du reflet cornéen ou méthode d'Hirschberg.....	3
c. Méthode photographique pour un strabisme horizontal	4
MATERIELS ET METHODES	6
a. Premier axe de recherche : un repère en haut du front et un repère sur le nez	8
b. Second axe de recherche : une seule gommette	9
c. Troisième axe de recherche : en soulevant les paupières	10
d. Quatrième axe de recherche : repères sur l'iris	11
e. Cinquième axe de recherche : tracé de cercle sur l'iris	12
RESULTATS ET DISCUSSION.....	13
a. Premier axe de recherche : un repère en haut du front et un repère sur le nez ...	13
b. Second axe de recherche : une seule gommette	16
c. Troisième axe de recherche : en soulevant les paupières	19
d. Quatrième axe de recherche : repères sur l'iris	21
e. Cinquième axe de recherche : tracé de cercle sur l'iris	24
CONCLUSION	34
BIBLIOGRAPHIE.....	35

Introduction

Le strabisme est un trouble oculomoteur présent lorsque l'axe visuel d'un œil n'est pas orienté vers l'objet d'attention. Sa prévalence, comprise entre 0.99% et 2.6%, est plutôt stable dans le temps. Une déviation strabique peut être étudiée de manière qualitative et quantitative.

L'étude qualitative repose sur le type et sur le sens de la déviation. Deux types de déviation peuvent être rencontrés:

- Hétérotropie : strabisme manifeste (les 2 yeux ne sont pas dirigés vers le même point d'observation, la déviation est donc présente en permanence)
- Hétérophorie : strabisme latent (la déviation est compensée par des efforts accommodatifs et fusionnels, elle est constatée lorsque les 2 yeux sont au repos).

Quatre sens de déviation sont possibles :

- Exotropie/phorie (= strabisme divergent) : l'œil est dévié vers l'extérieur
- Esotropie/phorie (= strabisme convergent) : l'œil est dévié vers l'intérieur
- Hypertropie/phorie : l'œil est dévié vers le haut
- Hypotropie/phorie : l'œil est dévié vers le bas.

Pour étudier quantitativement une déviation oculaire, plusieurs méthodes peuvent être utilisées comme l'examen sous écran qui est, à l'heure actuelle, la méthode de référence. D'autres techniques sont employées comme la mesure aux reflets d'Hirschberg ou la mesure par la méthode de Krimsky. La méthode photographique est également utilisée pour quantifier une déviation des axes visuels de manière objective.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons de façon plus précise à cette dernière. Cette technique repose sur la comparaison des reflets cornéens. Pour un sujet orthotrope (qui ne présente pas de déviation), les reflets sont symétriques par rapport à l'arête nasale. En cas de strabisme, le reflet de l'œil dévié sera excentré par rapport à celui de l'œil fixateur. Cependant, cette méthode de plus en plus utilisée présente une limite importante. En effet, elle peut être utilisée uniquement pour un strabisme horizontal.

Le calcul de la déviation horizontale repose sur la position du reflet cornéen par rapport au limbe nasal et au limbe temporal. Par extension, lors d'une déviation verticale, les limbes supérieur et inférieur devraient être utilisés. Or, ces limbes verticaux sont masqués par les paupières rendant cette méthode non utilisable.

Ainsi, l'objectif de ce mémoire est de déterminer un procédé permettant d'adapter la méthode photographique aux strabismes verticaux.

Rappels

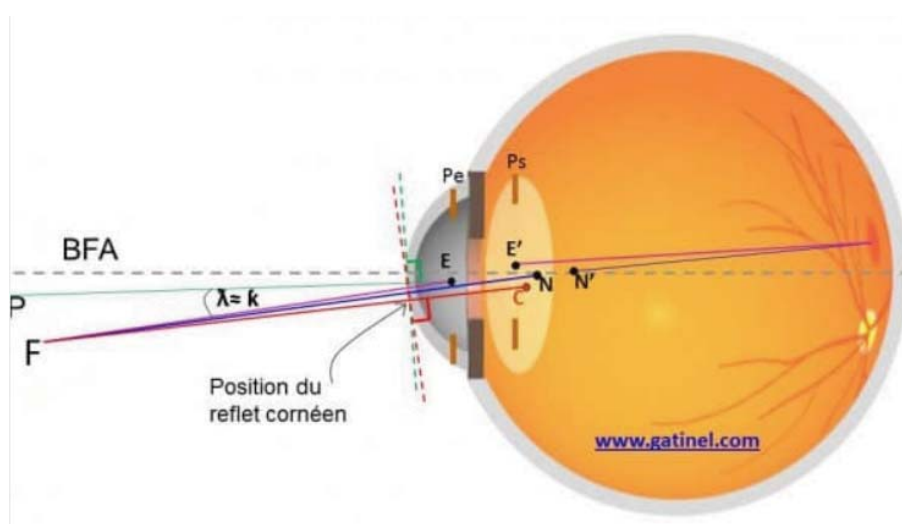
a. Angle Kappa

L'œil est un système présentant différents axes optiques. En effet, une particularité de l'œil est l'absence d'axe commun entre les différentes structures réfractives. Ici nous allons nous intéresser seulement à l'angle kappa. Il permet de comprendre la position du reflet cornéen, légèrement situé en nasal.

Classiquement, l'angle kappa correspond à l'angle formé entre l'axe pupillaire et l'axe visuel.

L'axe pupillaire (en vert sur le schéma ci-dessous) est une droite perpendiculaire passant par le centre de la pupille et par la surface cornéenne. Celui-ci permet de définir plusieurs angles notamment l'angle kappa.

L'axe visuel (en bleu) correspond, quant à lui, au trajet le plus direct vers la fovéa. Il s'agit de l'axe reliant le premier point nodal (N) au point de fixation et le deuxième point nodal (N') à la fovéa. Les points nodaux sont des points cardinaux, image l'un de l'autre. Situés sur l'axe optique, chaque rayon passant par le point N, émerge du point N' avec le même angle et parallèle à celui-ci.



Représentation schématique des principaux axes oculaires

b. Méthode par l'étude du reflet cornéen ou méthode d'Hirschberg

En 1885, l'ophtalmologiste Julius Hirschberg a développé une méthode (test de Hirschberg) permettant d'estimer l'angle du strabisme à l'aide des reflets cornéens. Cette méthode est cependant approximative et manque de précision mais reste encore utilisée à l'heure actuelle, notamment lors des dépistages visuels.

Pour réaliser la mesure, le sujet doit fixer une source lumineuse présentée à environ 30 cm, et l'examineur observe la position des reflets cornéens. Lorsque le reflet est décentré en nasal, il s'agit d'un strabisme divergent; et si celui-ci est décentré en temporal, il s'agit alors d'un strabisme convergent.

On admet alors qu'un reflet excentré d'1mm correspond à un angle d'environ 15 dioptries prismatiques (ou 8°). Un reflet situé sur le bord de la pupille correspond à un angle d'environ 30 dioptries et un reflet situé au limbe correspond à une déviation de 70 dioptries environ.

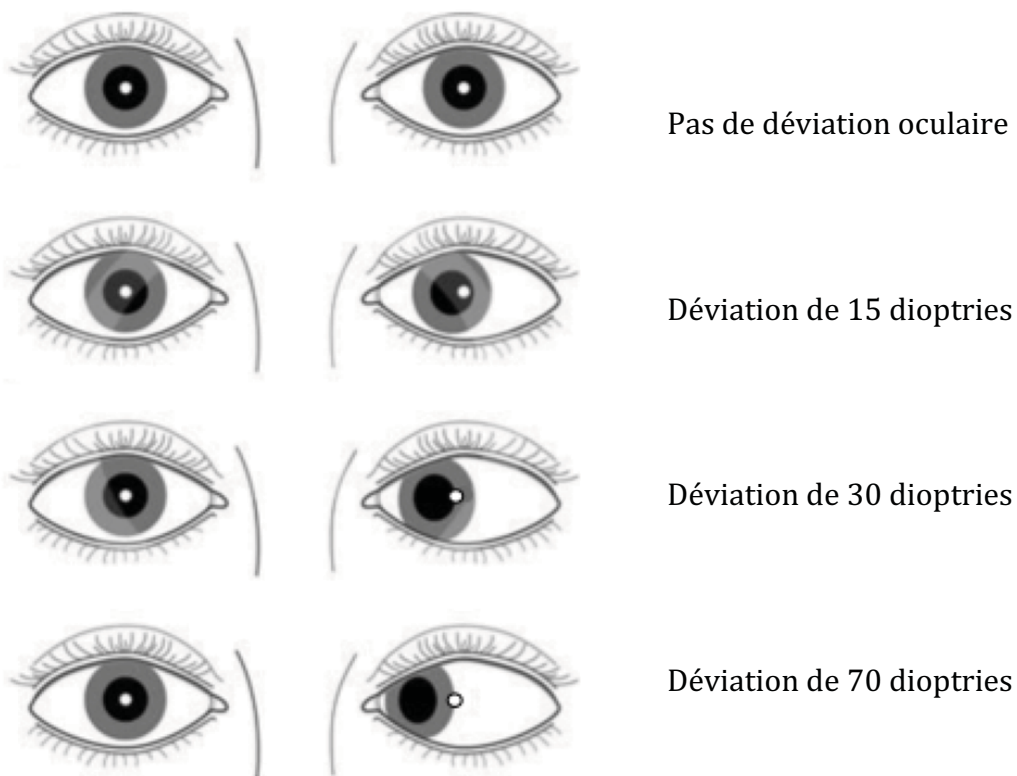


Schéma montrant la position du reflet lors d'une déviation oculaire

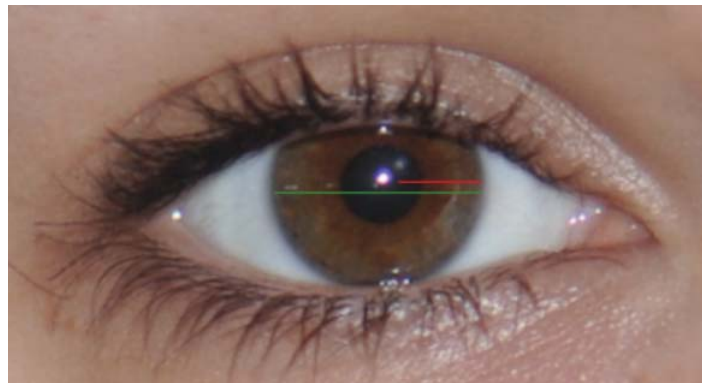
c. Méthode photographique pour un strabisme horizontal

Un strabisme présente très rarement une concomitance (angle identique quelles que soient les conditions), ainsi la variation continue de l'angle incite à rechercher des méthodes de plus en plus efficaces et plus précises pour mesurer une déviation oculaire.

La méthode photographique est une mesure objective de l'angle strabique, indépendante de l'opérateur. Elle repose sur la technique vue précédemment, c'est-à-dire la comparaison des reflets cornéens. Ici, le reflet cornéen est provoqué par le flash de l'appareil photo utilisé. Cet outil de mesure implique l'utilisation d'une formule mettant en relation les reflets cornéens et les limbes horizontaux.

La formule est la suivante :

$$\text{Ratio horizontal} = \frac{(\text{limbe nasal} - \text{reflet cornéen})}{(\text{limbe nasal} - \text{limbe temporal})}$$



Pour quantifier une déviation oculaire à l'aide de cette technique, 3 photographies doivent être réalisées :

- une photographie en monoculaire de l'œil droit fixant (occlusion de l'œil gauche)
- une photographie en monoculaire de l'œil gauche fixant (occlusion de l'œil droit)
- une photographie en binoculaire

Ces photographies vont nous permettre d'obtenir différents ratios (à l'aide de la formule précédente) :

- le ratio monoculaire de l'OD
- le ratio monoculaire de l'OG
- le ratio binoculaire de l'OD
- le ratio binoculaire de l'OG

Pour un sujet orthotropique, les reflets ne sont pas au centre de la pupille mais légèrement décentrés en nasal (angle kappa). Par conséquent, les ratios en monoculaire sont d'environ 0,45.

Les ratios obtenus en monoculaire sont ensuite comparés aux ratios obtenus en binoculaire. Cette comparaison permet d'obtenir l'angle de déviation à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Déviation} = \frac{(\text{Ratio binoOD} - \text{Ratio monoOD}) + (\text{Ratio binoOG} - \text{Ratio monoOG})}{100}$$

Ce calcul nous permet d'obtenir la déviation en degrés. Pour la conversion en dioptrie, il suffit de multiplier ce résultat par 1,96 (démontré dans le mémoire : Déviation horizontale par la méthode photographique).

Matériels et méthodes

Afin que cette méthode photographique puisse être utilisée sur des déviations verticales, il est essentiel que cet outil de mesure soit testé et validé sur des patients sains, ne présentant aucune déviation oculaire. Nous avons mené notre étude sur une population de 19 patients orthotropiques.

Installation du matériel et du patient

Pour réaliser ces photographies, nous nous sommes appuyées sur une paroi de Harms. La configuration de la pièce ne nous permettant pas d'utiliser les repères inscrits sur cette paroi, nous avons dû déterminer les nouveaux repères en fonction des angles de déviation souhaités et de la distance patient-paroi de Harms.

Pour cela, nous avons utilisé une formule trigonométrique donnant une relation entre un angle et une longueur au sein d'un triangle rectangle. La formule est la suivante :

$$\text{côté opposé de } \alpha = \text{Tan } \alpha \times \text{côté adjacent de } \alpha$$

Pour notre étude:

- le côté opposé équivaut à la distance entre le repère et la position primaire
- le côté adjacent correspond à la distance patient-paroi de Harms, soit 2 mètre 65
- l'angle α correspond à l'angle de déviation souhaité.

Ce calcul nous permet donc de déterminer l'emplacement des repères qui seront placés sur la paroi de Harms, assurant une fixation stable.

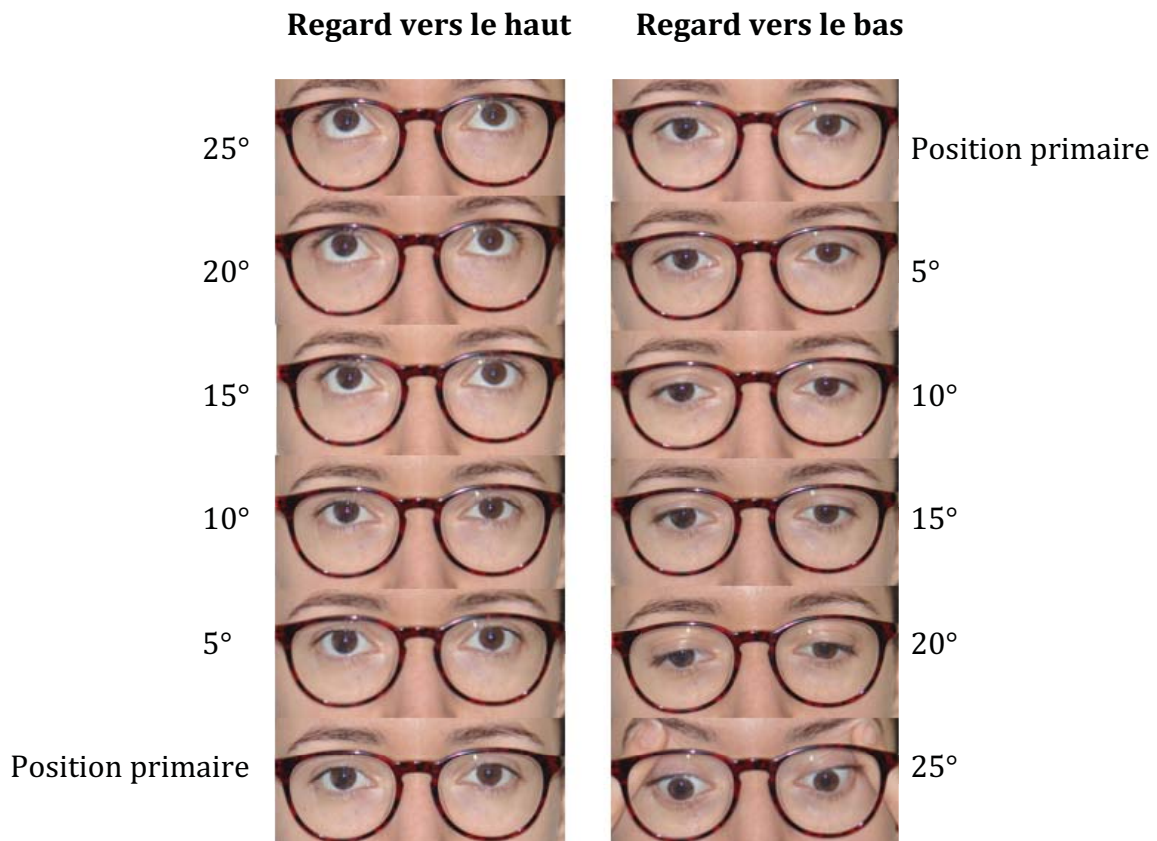
Devant cette paroi est installé l'appareil photo Nikon D90 équipé d'un flash. Cet appareil repose sur un trépied afin d'assurer sa stabilité lors de la prise des photographies (photographie montrant la configuration de la pièce ci-dessous).

Le patient est quant à lui installé, sur une chaise, à 2 mètre 65 de la paroi de Harms. La personne doit être dans l'alignement de l'appareil photo et la hauteur de la chaise doit être ajustée de sorte que les yeux du patient soient à la même hauteur que l'appareil photo.



Photographie montrant la configuration de la pièce

Nous avons décidé de réaliser notre mémoire pour les angles de 5°, 10°, 15°, 20° et 25° (regard vers le haut et regard vers le bas).



a. Premier axe de recherche: un repère en haut du front et un repère sur le nez

Installation du patient

Pour notre premier axe de recherche, nous avons décidé de placer deux gommettes sur le visage de nos patients afin de les utiliser comme repère. Les gommettes sont placées à des endroits du visage le plus immobile possible, afin d'éviter tout déplacement dû aux mouvements des yeux lors de la réalisation des photographies.

Pour cela, nous en avons placé une au-dessus de l'œil (au haut du front) qui sera utilisée comme repère supérieur; et une autre au-dessous de l'œil (sur le bout du nez) qui nous servira de repère inférieur. Au centre de chaque gommette, un point nous permettra d'avoir une plus grande précision lors de l'analyse photographique.



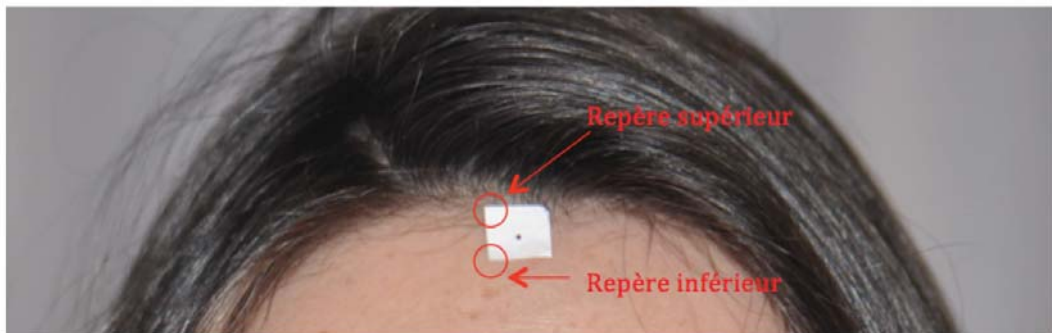
Dès l'installation effectuée, une première photographie en position primaire est réalisée puis dans chaque angle souhaité (5°, 10°, 15°, 20° et 25° regard vers haut et regard vers le bas). Toutes nos photographies sont réalisées en binoculaire.

Nous avons réalisé ce premier essai sur 7 personnes orthotropiques.

b. Second axe de recherche: une seule gommette

Installation du patient

Afin de diminuer la distance entre les 2 repères, nous avons décidé d'utiliser une seule gommette, celle positionnée sur le front. Le repère supérieur est ainsi représenté par l'angle supérieur de la gommette et le repère inférieur par l'angle inférieur.



Pour ce second essai, nous avons ré-exploité 5 séries de photographies réalisées lors du premier essai.

c. Troisième axe de recherche: en soulevant les paupières

Installation du patient

Pour ce troisième essai, nous avons décidé d'utiliser des repères propres à l'œil. Nous avons alors essayé de tenir les paupières afin de libérer les limbes supérieur et inférieur, et ainsi les utiliser comme repères.

Nous réalisons dans un premier temps deux séries de photographies afin de nous assurer de la visibilité des limbes verticaux.



Exemple de photographie réalisée pour un angle de 20°. Les limbes supérieur et inférieur sont visibles.



Exemple de photographie réalisée pour un angle de 25°. Le limbe supérieur reste masqué malgré la tenue de la paupière supérieure.

Cette méthode est possible mais devient problématique pour les déviations supérieures à 20°, comme nous pouvons l'observer sur les exemples ci-dessus.

d. Quatrième axe de recherche: repères sur l'iris

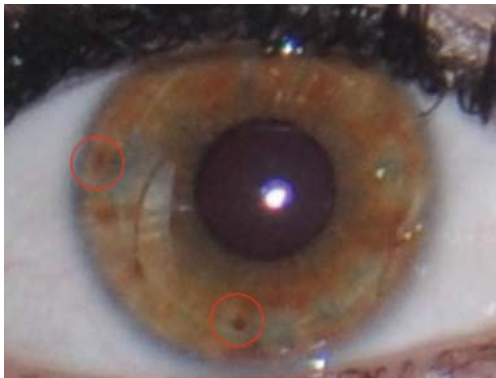
Chez l'homme, la couleur de l'iris n'est pas uniforme, il existe des variations de couleur. Certaines de ces variations forment des petites cryptes plus marquées que le reste de l'iris. Nous allons alors utiliser ces cryptes pour ce nouvel axe de recherche.

Installation du patient

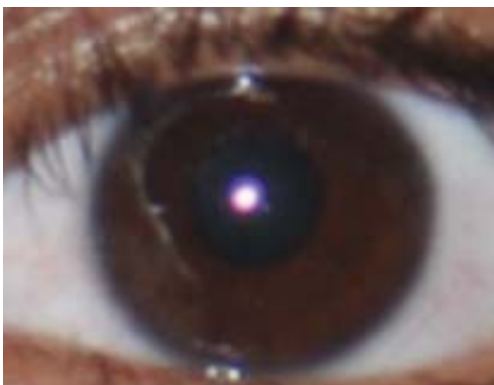
Pour ce nouvel essai, 2 conditions sont nécessaires :

- les cryptes doivent être situées près du limbe pour qu'elles ne soient pas impactées par le réflexe photomoteur lors de la réalisation des photographies.
- la crypte supérieure doit être au maximum éloignée de la crypte inférieure.

Pour cet essai, 4 séries de photographies déjà réalisées lors de notre premier axe de recherche sont ré-exploitées.



Exemple de photographie pour un iris de couleur claire. Plusieurs cryptes sont visibles, les 2 cryptes à l'intérieur des cercles rouges seront utilisées comme repères.



Exemple de photographie prise pour un iris de couleur foncée. Il est plus difficile de localiser les cryptes sur cet iris.

e. Cinquième axe de recherche: tracé de cercle sur l'iris

Pour ce cinquième essai nous avons décidé de reproduire artificiellement les bords externes de l'iris par un tracé circulaire. Ce cercle nous permet ainsi d'obtenir les limbes supérieur et inférieur non visibles par les paupières tout en respectant les repères propres à l'œil.



Installation du patient

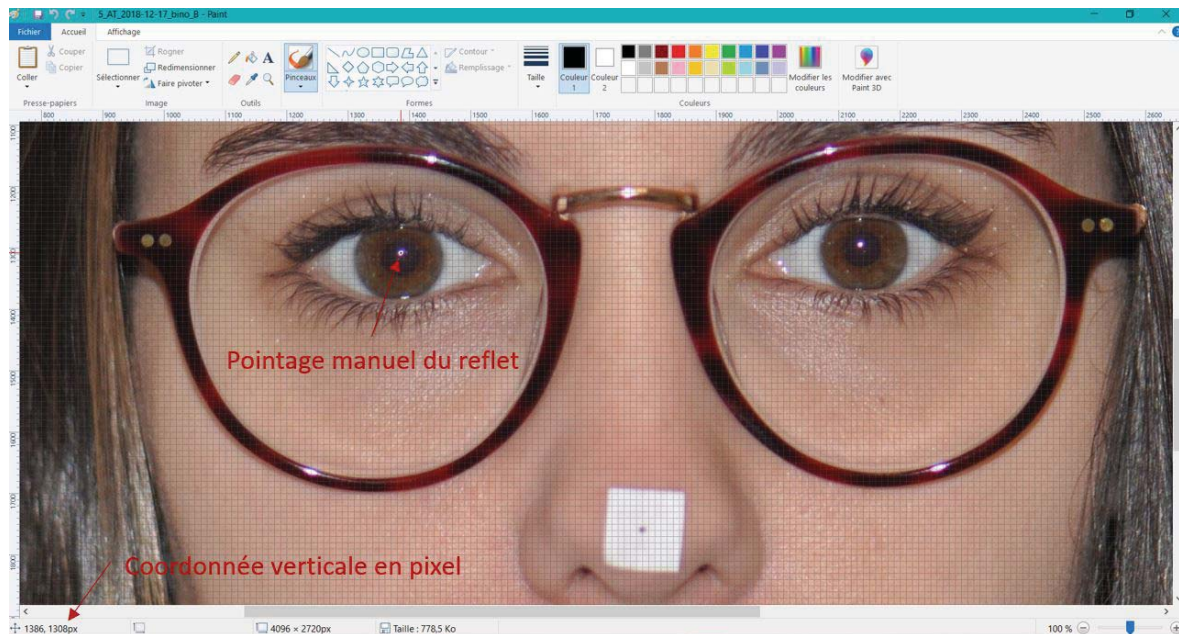
Nous avons réalisé cet essai sur 10 patients orthotropiques positionnés sur une mentonnière pour plus de précision et dans chaque déviation souhaitée comme précédemment. Pour chacune de ces 10 personnes nous avons réalisé 2 séries de photographies.

Résultats et discussion

a. Premier axe de recherche: un repère en haut du front et un repère sur le nez

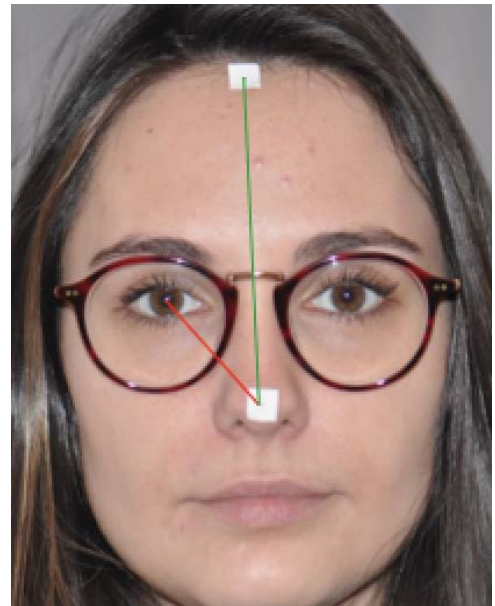
Analyse des photographies

Les photographies sont analysées à l'aide du Logiciel Paint en pointant manuellement les coordonnées verticales (en pixel) du reflet cornéen ainsi que celles du centre de chaque gomme (soit 3 données par patient). Afin d'assurer une plus grande précision et une meilleure exploitation, la taille de chaque cliché est agrandie.



Toutes ces données sont ensuite regroupées dans un tableau. Elles nous permettent de calculer les ratios pour chaque angle de déviation, à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Ratio} = \frac{(\text{gommette inférieure} - \text{reflet cornéen})}{(\text{gommette supérieure} - \text{gommette inférieure})}$$



Pour chaque angle de déviation, une variation de ce ratio doit être calculée en fonction du ratio obtenu en position primaire, à l'aide de la formule suivante :

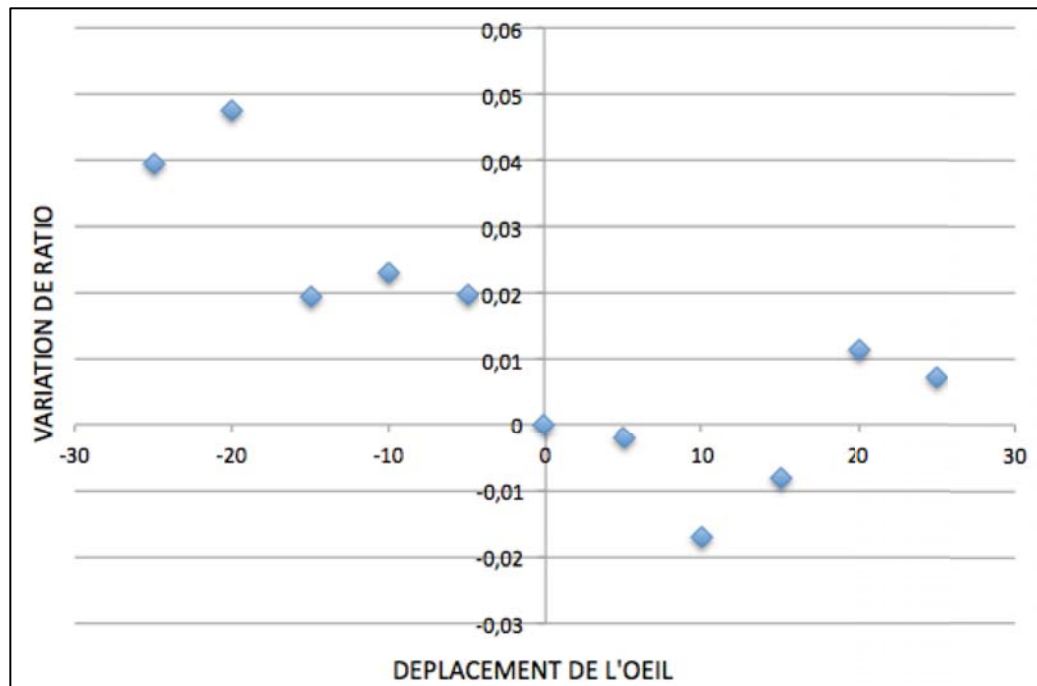
$$\text{Variation du ratio} = \text{Ratio de X} - \text{Ratio de 0}$$

Voici un exemple obtenu lors de notre étude:

Déplacements	Coordonnées			Ratio	Variation du ratio
	Gommette supérieure	Reflets	Gommette inférieure		
25	493	1271	1797	-0,403374233	0,007288591
20	524	1318	1846	-0,399394856	0,011267968
15	496	1301	1881	-0,418772563	-0,008109739
10	532	1321	1911	-0,427846265	-0,017183441
5	522	1316	1874	-0,412721893	-0,002059069
0	517	1335	1905	-0,410662824	0
-5	445	1257	1778	-0,390847712	0,019815112
-10	448	1284	1813	-0,387545788	0,023117037
-15	477	1320	1862	-0,39133574	0,019327084
-20	497	1328	1802	-0,363218391	0,047444433
-25	562	1392	1882	-0,371212121	0,039450703

Tableau représentant les coordonnées, les ratios et les variations de ratio

Ces différentes valeurs obtenues nous ont permis d'établir un graphique montrant la variation du ratio en fonction du déplacement de l'œil. Voici l'exemple obtenu avec les valeurs ci-dessus :



Graphique représentant l'évolution de la variation du ratio en fonction du déplacement de l'œil

Interprétation des résultats

Le graphique ci-dessus représente la variation du ratio vertical en fonction du déplacement du globe oculaire pour des déviations allant de "25° regard en haut" à "25° regard en bas". On peut constater que les points ne sont pas alignés et ne présentent aucune relation entre eux. Cette technique ne nous permet donc pas d'obtenir de relation linéaire entre le déplacement vertical de l'œil et la variation du ratio nécessaire pour prouver le lien et la fiabilité des mesures.

Ce type de graphique a été obtenu sur les 7 séries de photographies effectuées.

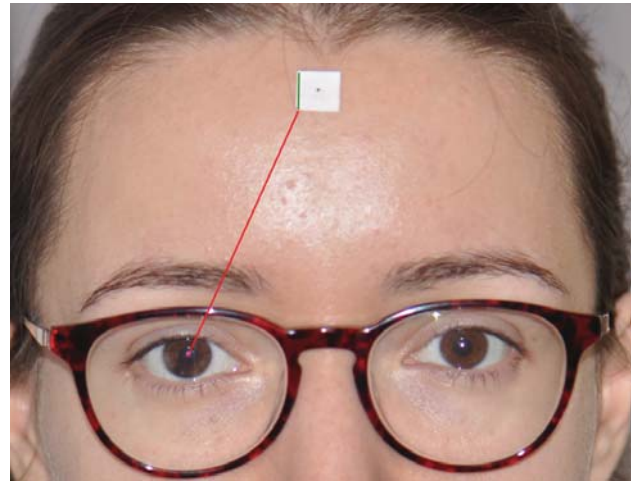
Ceci est dû à une distance trop importante entre les 2 repères. Ainsi la valeur de la déviométrie est trop faible pour calculer de manière fiable chaque ratio. Cette méthode ne peut donc pas être utilisée pour la mesure d'un ratio vertical.

b. Second axe de recherche: une seule gommette

Analyse des photographies

Les nouvelles coordonnées déterminées (de manière identique que précédemment), nous avons calculé les nouveaux ratios avec la formule suivante :

$$\text{Ratio} = \frac{(\text{bord inférieur} - \text{reflet cornéen})}{(\text{bord supérieur} - \text{bord inférieur})}$$

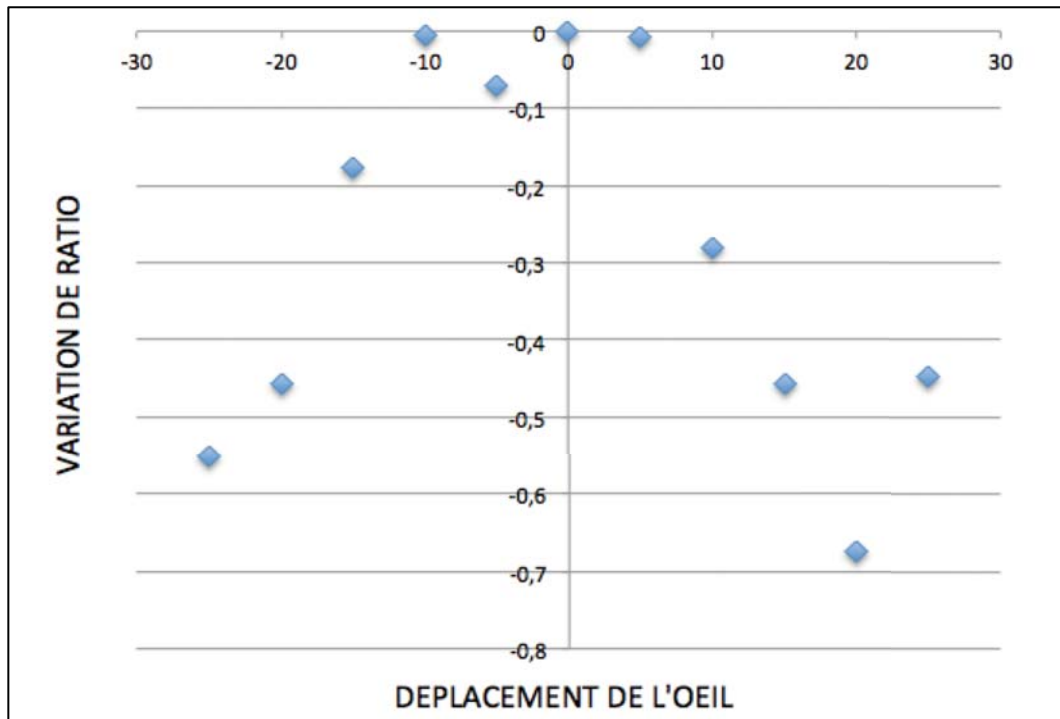


Les variations de ratios sont de nouveaux calculées avec la formule précédente. Les différentes données sont regroupées dans un tableau, puis un graphique montrant les déplacements en fonction de la variation du ratio est établi.

Voici un exemple obtenu:

Déplacements	Coordonnées			Ratio	Variation du ratio
	Bord supérieur	Reflets	Bord inférieur		
25	388	1438	516	7,2031	-0,447281
20	401	1454	533	6,977272	-0,6731337
15	368	1425	497	7,19379	-0,456608
10	364	1427	491	7,37007	-0,280327
5	301	1364	424	7,642276	-0,00813
0	338	1402	461	7,659406	0
-5	330	1394	454	7,58064	-0,069761
-10	293	1365	417	7,64516	-0,00524
-15	306	1382	433	7,4724409	-0,177965
-20	359	1424	489	7,192307	-0,458098
-25	353	1422	485	7,098484	-0,55192

Tableau représentant les coordonnées, les ratios et les variations de ratio



*Graphique représentant l'évolution de la variation du ratio
en fonction du déplacement de l'œil*

Interprétation des résultats

L'analyse du tableau nous permet d'observer que les valeurs des ratios et des variations de ratio sont plus élevées que sur l'essai précédent. Ceci est provoqué par une distance importante entre la gommette et le reflet cornéen.

L'analyse du graphique représentant la variation du ratio vertical en fonction du déplacement du globe oculaire pour des déviations allant de "25° regard en haut" à "25° regard en bas", révèle quant à lui, qu'aucune relation linéaire n'est présente.

Aucune relation linéaire n'a été obtenu avec les 7 séries de photographies.

La distance entre les repères et le reflet cornéen est toujours trop importante, malgré le rapprochement entre les deux repères.

Conclusion partielle pour le premier et le second axe de recherche

Les deux premiers essais nous ont permis de conclure que la méthode photographique était impossible avec des repères externes à l'œil. Pour que cet outil de mesure puisse être utilisé, il est essentiel que les repères ne soient pas éloignés du reflet cornéen.

Pour nos prochaines recherches, nous avons donc utilisé des repères propres à l'œil afin de réduire au maximum la distance reflet cornéen-repères.

c. Troisième axe de recherche: en soulevant les paupières

Analyse des photographies



Déviations de 20 degrés



Déviations de 25 degrés

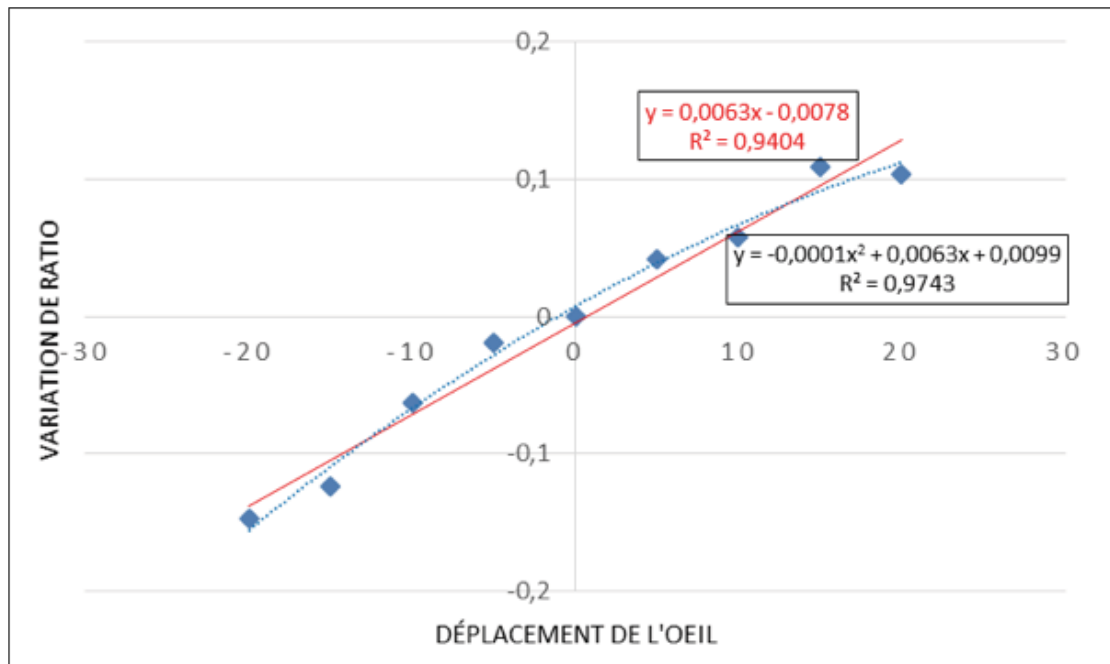
Comme nous pouvons l'observer ci-dessus, les limbes peuvent être visibles à la tenue des paupières. Cependant, au-delà d'un certain degré de déviation (exemple de la photo de droite), un seul limbe reste visible. Cette technique se limite à un angle de déviation inférieur ou égal à 20°.

Nous avons analysé les photographies allant de "20° regard en haut" à "20° regard en bas". Comme pour les essais précédents, nous avons déterminé les coordonnées, calculé les ratios et les variations de ratios, et réalisé les graphiques.

Voici un exemple obtenu :

Déplacements	Coordonnées			Ratio	Variation de ratio
	Limbe supérieur	Reflets	Limbe inférieur		
20	1146	1232	1300	-0,4415844	0,10331335
15	1181	1269	1337	-0,43589744	0,10897436
10	1152	1232	1308	-0,48717949	0,05769231
5	1061	1137	1214	-0,50326797	0,04160382
0	1138	1209	1294	-0,54487179	0
-5	1094	1162	1250	-0,56410256	-0,01923077
-10	1078	1136	1226	-0,60810811	-0,06323631
-15	1139	1187	1284	-0,66896552	-0,12409372
-20	1163	1207	1306	-0,69230769	-0,1474359

Tableau représentant les coordonnées, les ratios et les variations de ratio



*Graphique représentant l'évolution de la variation du ratio
en fonction du déplacement de l'œil*

Interprétation des résultats

Cet essai peut nous permettre d'obtenir un ratio vertical avec une relation linéaire entre le mouvement du globe oculaire et la variation des ratios. En effet, cette technique repose sur le processus utilisé pour les strabismes horizontaux (déjà démontré), c'est à dire en utilisant comme repères deux limbes opposés.

Cependant, les limbes ne sont rapidement plus visibles malgré la tenue des paupières. Cette méthode reste alors limitée à une faible déviométrie (inférieure ou égale à 20°), du fait d'une ouverture palpébrale plus faible en vertical qu'en horizontal.

De plus, lors d'une déviation strabique importante la tenue des paupières peut être très inconfortable pour le patient.

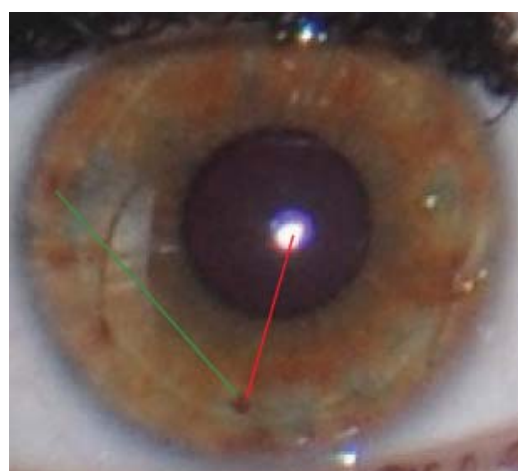
d. Quatrième axe de recherche: repères sur l'iris

Analyse des photographies

Les photographies sont analysées avec le Logiciel Paint. Seuls les clichés des iris de couleur claire sont exploités, car il nous est impossible de localiser des cryptes pour les personnes aux iris pigmentés.

Les ratios sont calculés avec la formule suivante :

$$\text{Ratio} = \frac{(\text{crypte inférieure} - \text{reflet cornéen})}{(\text{crypte supérieure} - \text{crypte inférieure})}$$

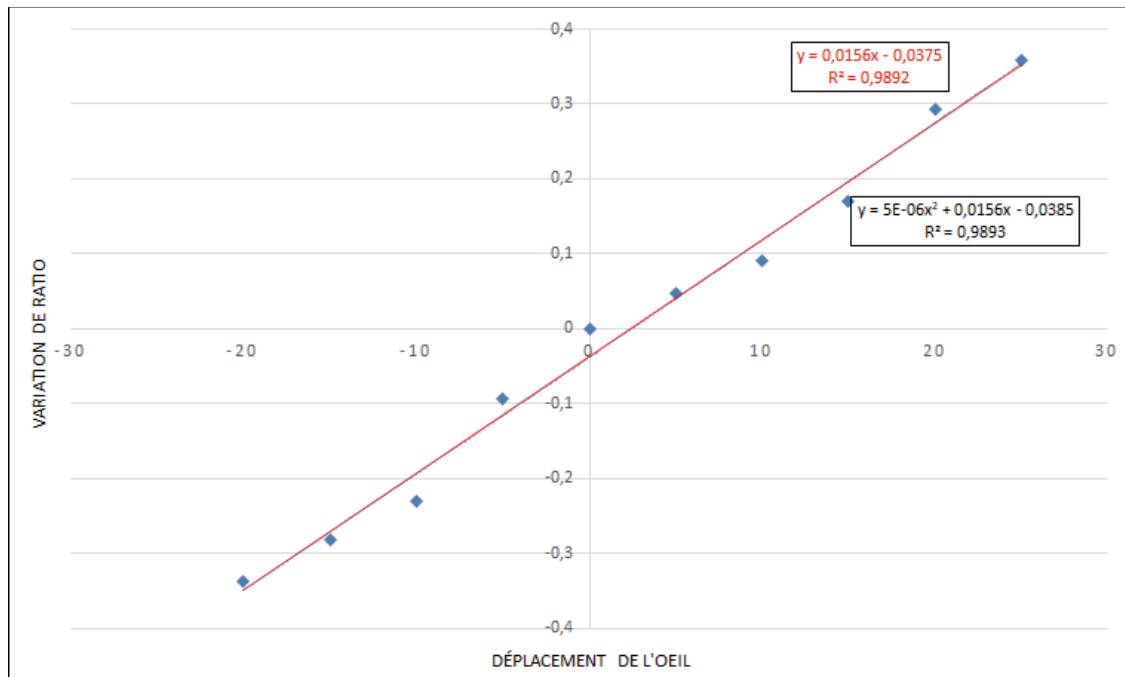


Les variations de ratio sont ensuite calculées (avec la même formule vue précédemment), et les graphiques sont réalisés.

Voici un exemple obtenu :

Déplacement	Coordonnées			Ratio	Variation du ratio
	Crypte inférieure	Refllet	Crypte supérieure		
25	1440	1407	1364	-0,434210526	0,358892922
20	1411	1373	1335	-0,5	0,293103448
15	1439	1391	1362	-0,623376623	0,169726825
10	1459	1400	1375	-0,702380952	0,090722496
5	1437	1378	1358	-0,746835443	0,046268005
0	1412	1343	1325	-0,793103448	0
-5	1551	1481	1472	-0,886075949	-0,092972501
-10	1495	1411	1413	-1,024390244	-0,231286796
-15	1525	1438	1444	-1,074074074	-0,280970626
-20	1545	1450	1461	-1,130952381	-0,337848933

Tableau représentant les coordonnées, les ratios et les variations de ratio



*Graphique représentant l'évolution de la variation du ratio
en fonction du déplacement de l'œil*

Interprétation des résultats

Sur le graphique ci-dessus, représentant la variation du ratio en fonction du déplacement de l'œil, nous pouvons observer que les différents points sont alignés et forment une droite croissante. Cet exemple nous démontre un lien entre la variation du ratio et le déplacement de l'œil.

Ce graphique a été retrouvé pour chaque personne ayant des iris clairs.

Cependant, cette méthode reste limitée. En effet, elle ne peut être utilisée du fait de la difficulté voire de l'impossibilité à localiser des cryptes sur les iris de couleur foncée.

Conclusion partielle pour le troisième et le quatrième axe de recherche

Ces essais, utilisant des repères propres à l'œil, nous démontrent que la variation de la position du reflet est proportionnelle au déplacement du globe oculaire. Cependant, ces deux techniques présentent des critères restrictifs (déviation limitée, couleur des iris), limitant la méthode photographique à certains patients.

Nous avons alors essayé de déterminer une méthode unique utilisable chez tout patient.

Afin d'augmenter la précision de notre étude, une mentonnière est utilisée permettant une meilleure stabilité de la tête de nos patients.

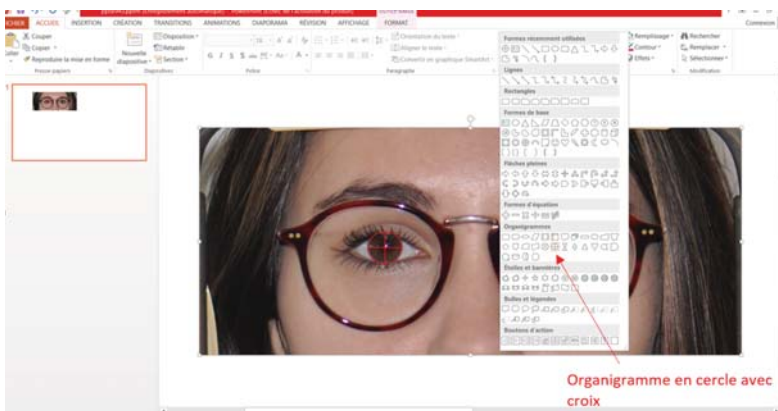
e. Cinquième axe de recherche: tracé de cercle sur l'iris

Analyse des photographies

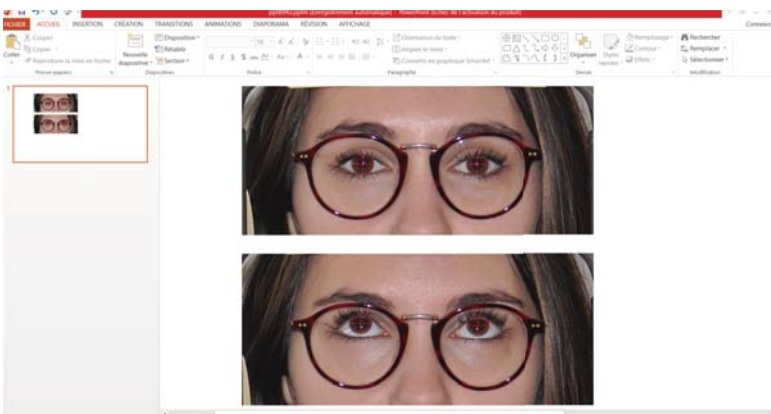
Sur chaque photographie en position primaire (photographie où l'iris est visible quasiment en sa totalité) est tracé manuellement un cercle à l'aide du logiciel PowerPoint.



Dans un premier temps nous rognons la photographie, afin de se focaliser sur les yeux.



Ensuite, nous sélectionnons l'organigramme en cercle avec la croix intégrée (cette croix nous permet d'avoir comme repère le point le plus haut et le point le plus bas pour le relevé des coordonnées). Puis nous traçons le cercle sur les limites de l'iris.

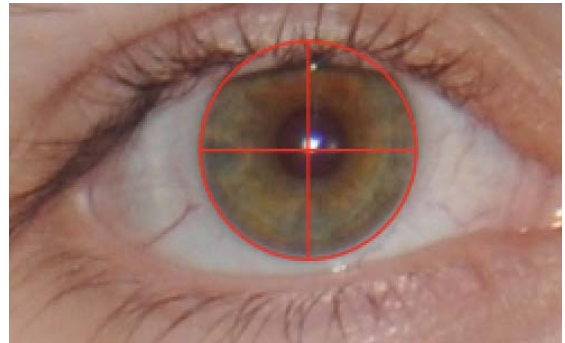


Pour finir, nous copions le tracé pour le transposer manuellement sur chaque photographie, pour chaque angle souhaité.

Les photographies sont ensuite analysées avec le logiciel Paint. Le repère supérieur est ainsi représenté par le point le plus haut du cercle et le repère inférieur par le point le plus bas.

Après avoir transmis les coordonnées dans un tableau, les ratios sont calculés avec la formule suivante :

$$\text{Ratio} = \frac{(\text{limbe inférieur} - \text{reflet cornéen})}{(\text{limbe supérieur} - \text{limbe inférieur})}$$

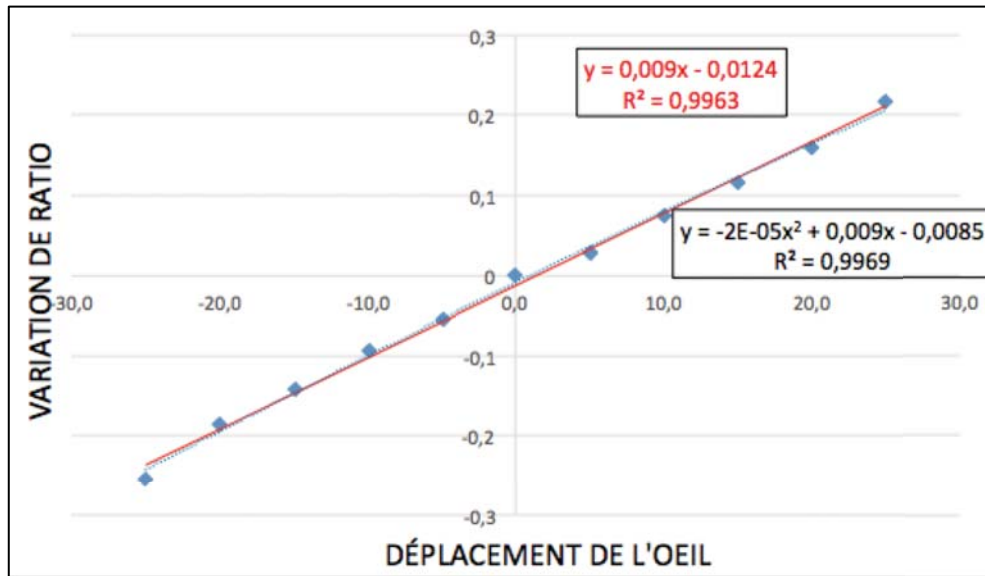


Les variations de ratio sont ensuite calculées (avec la même formule vue précédemment), et les graphiques sont réalisés.

Voici un exemple obtenu lors de cet essai :

Déplacements	Coordonnées			Ratio	Variation du ratio
	Limbe supérieur	Reflets	Limbe inférieur		
25	55	92	108	-0,30188	0,216631
20	54	88	107	-0,358490	0,1600279
15	65	96	117	-0,403846	0,114672
10	66	96	120	-0,44444	0,0740740
5	83	110	136	-0,490566	0,027952
0	81	107	135	-0,518518	0
-5	81	104	135	-0,57407	-0,055555
-10	83	104	137	-0,611111	-0,092592
-15	90	108	143	-0,660377	-0,14185
-20	91	107	145	-0,703703	-0,185185
-25	92	104	145	-0,77358	-0,255066

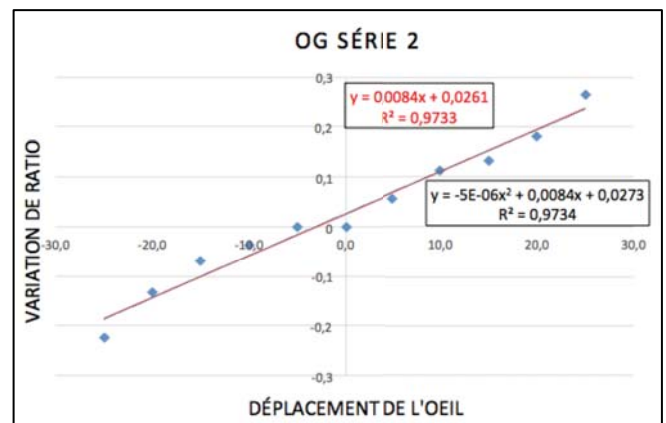
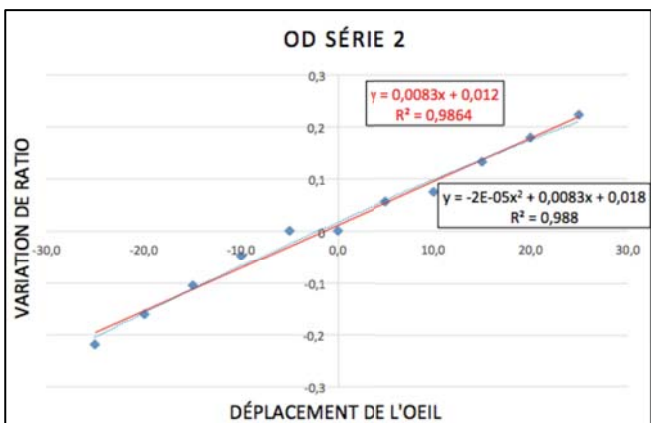
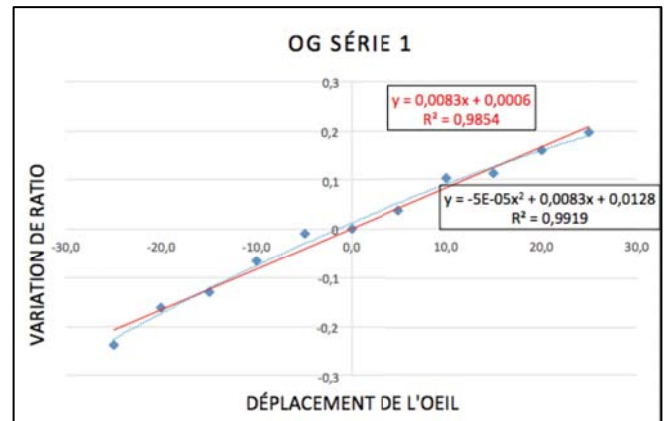
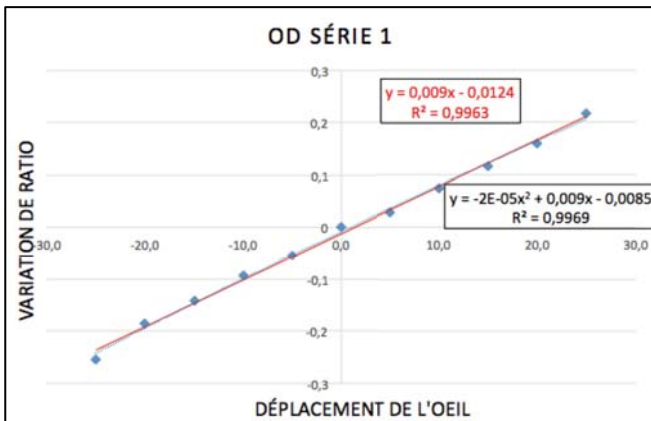
Tableau représentant les coordonnées, les ratios et les variations de ratio



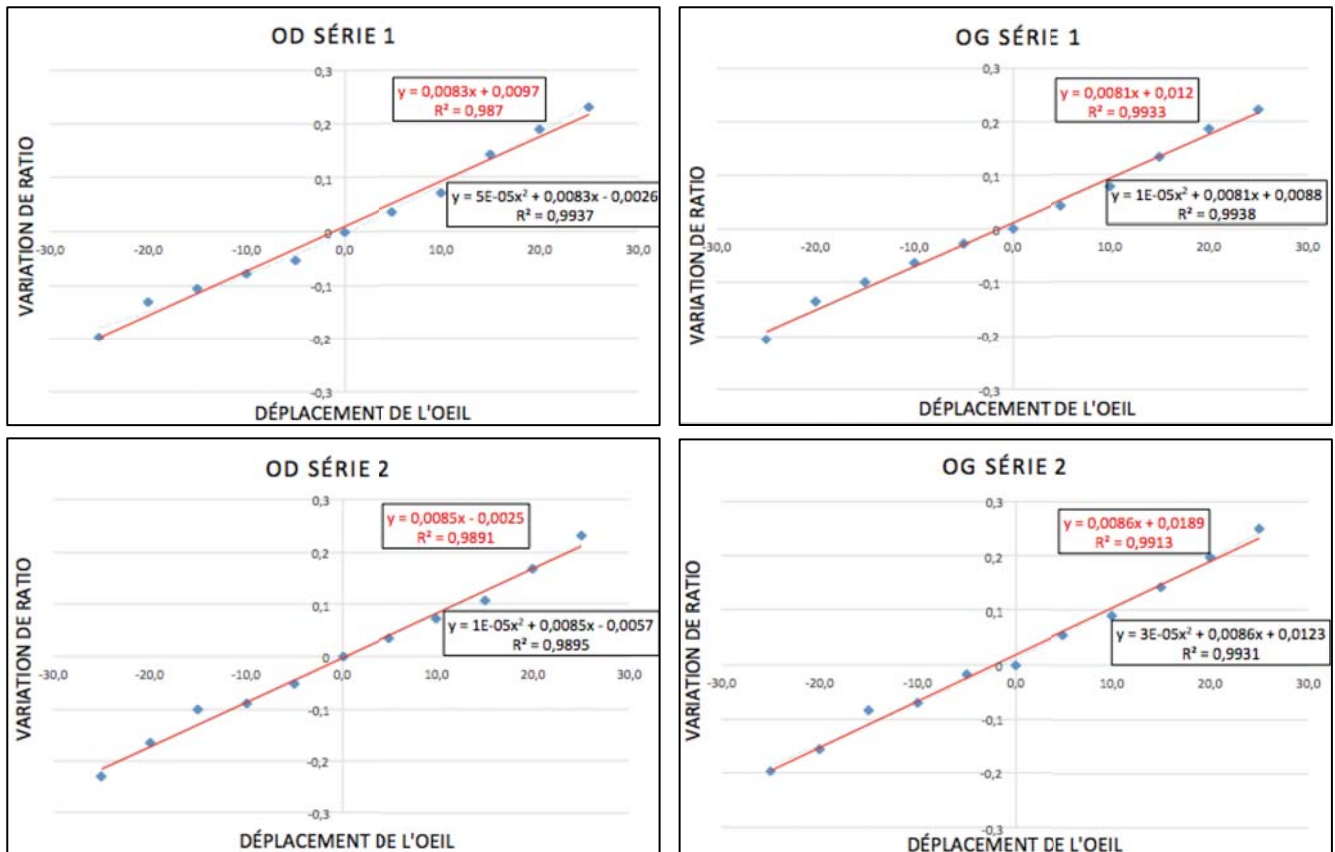
*Graphique représentant l'évolution de la variation du ratio
en fonction du déplacement de l'œil*

Voici la totalité des graphiques que nous avons retrouvé pour chaque patient :

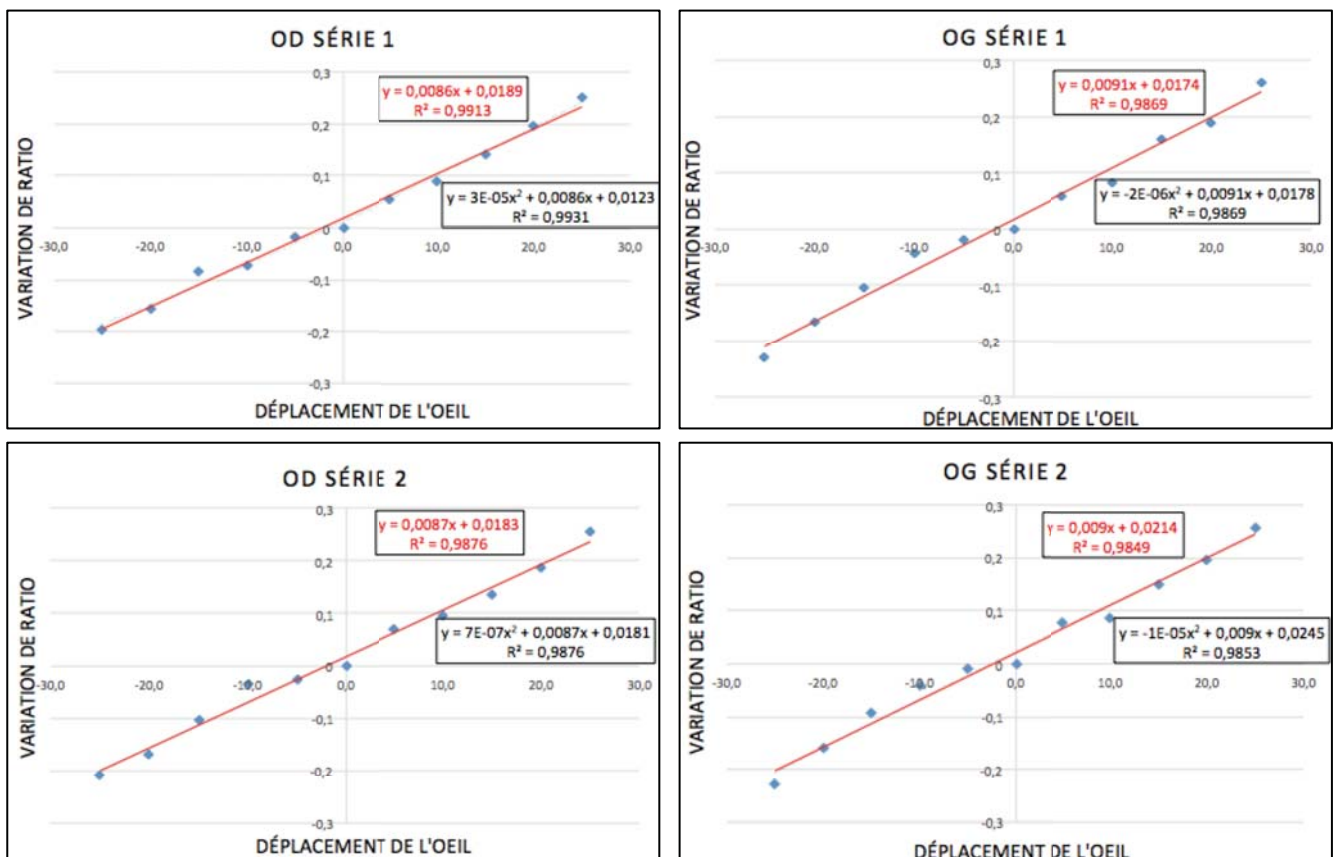
Patient n°1 :



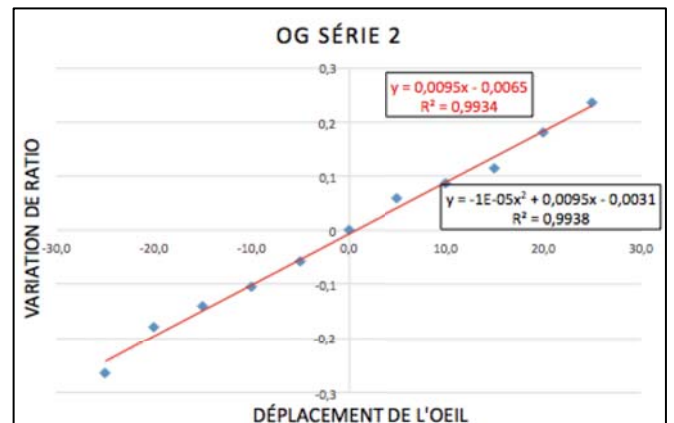
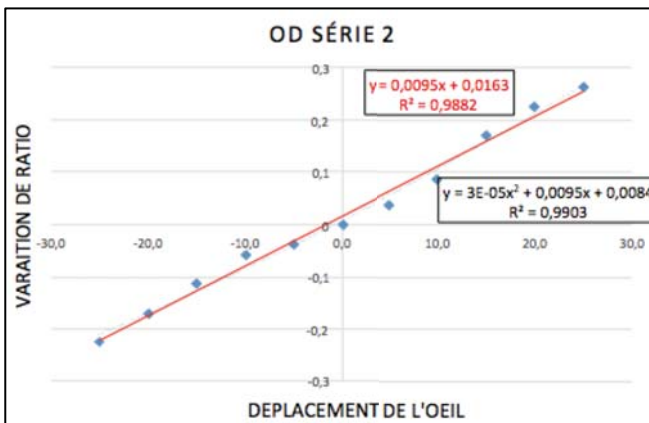
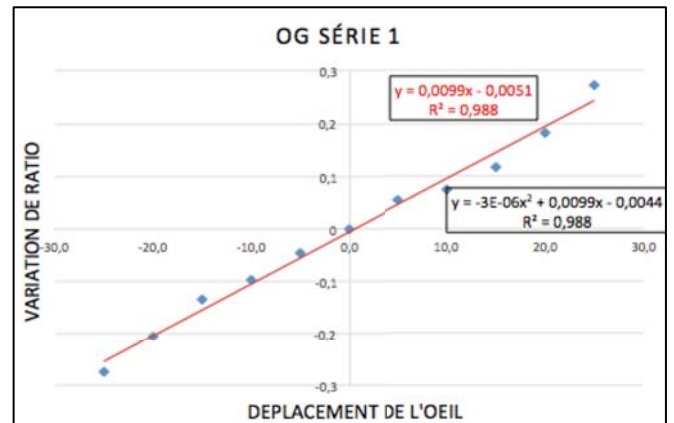
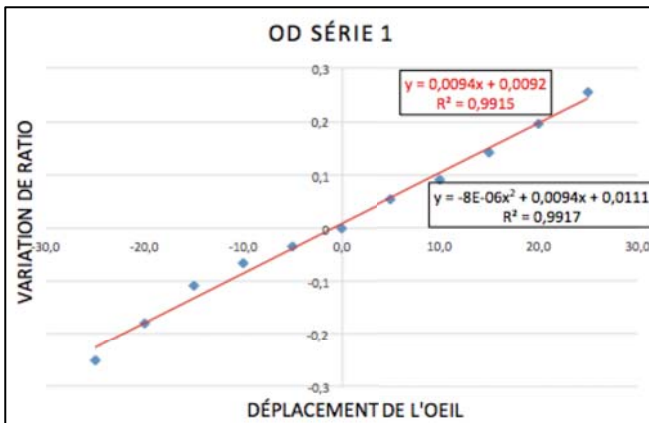
Patient n°2 :



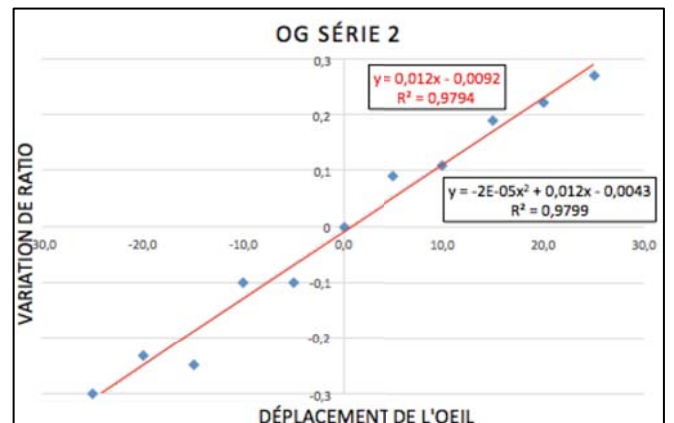
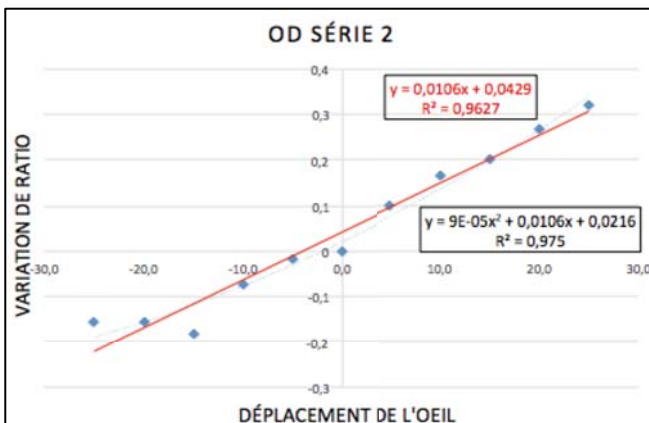
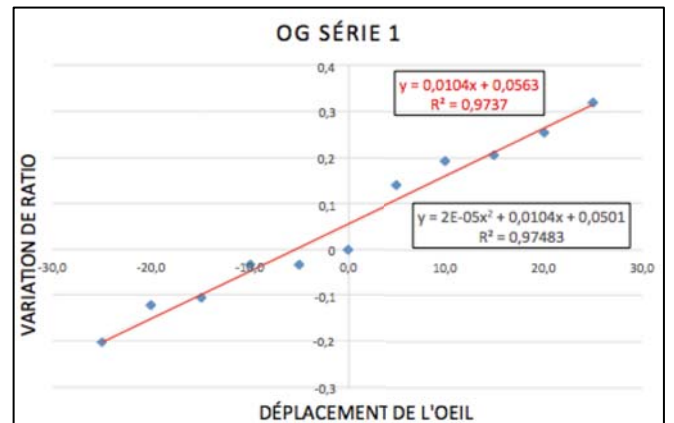
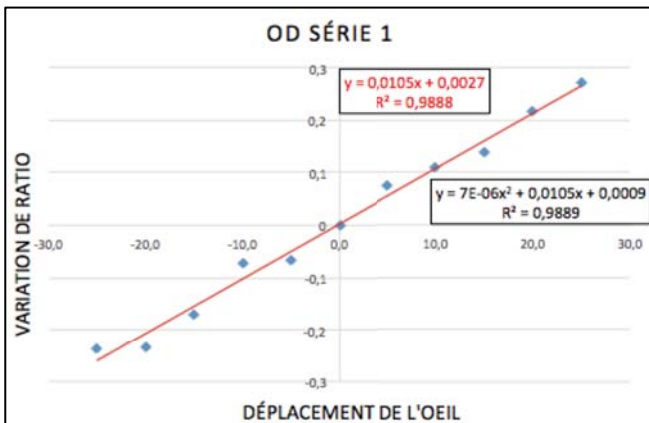
Patient n°3 :



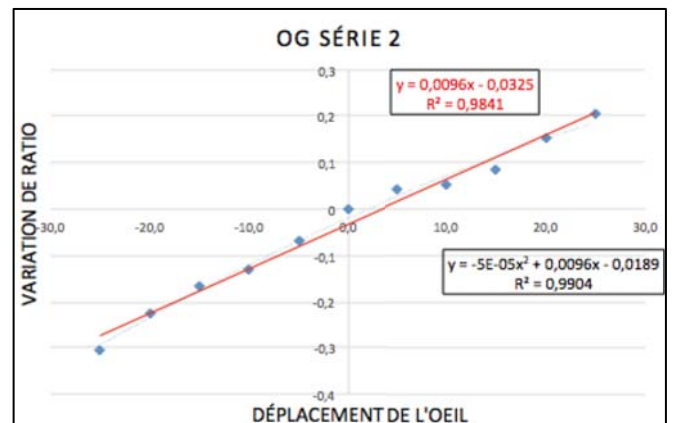
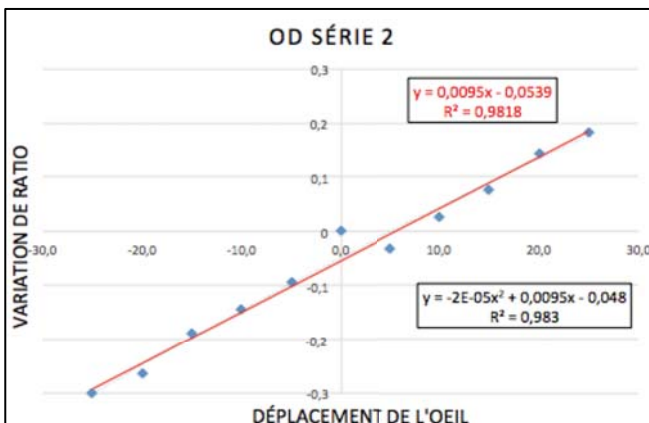
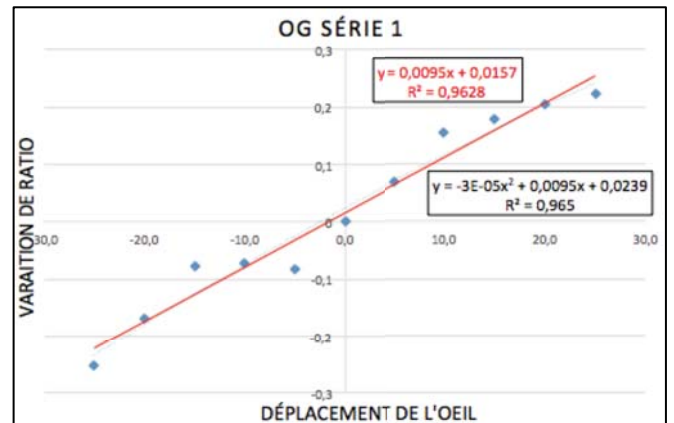
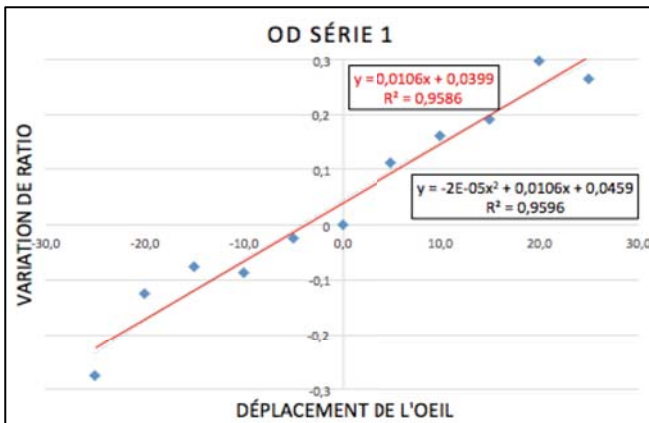
Patient n°4 :



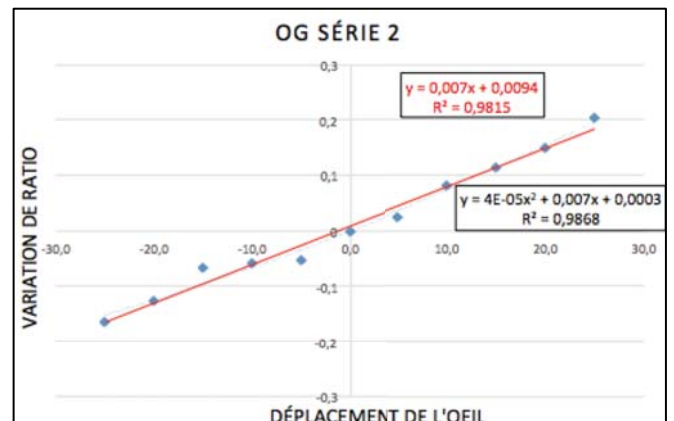
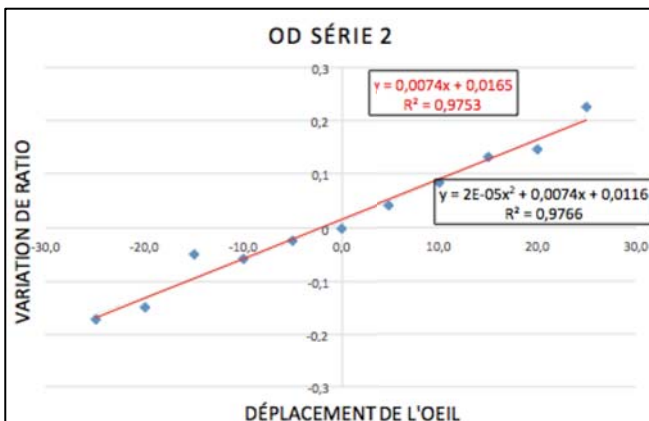
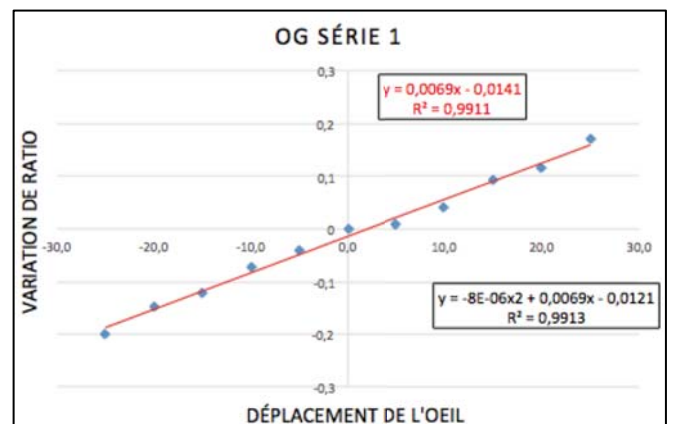
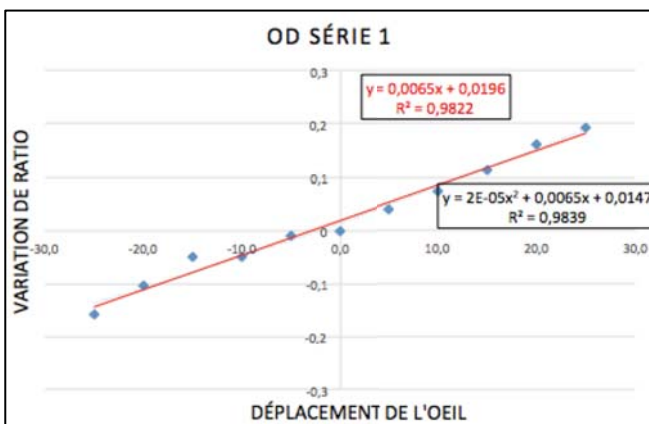
Patient n°5 :



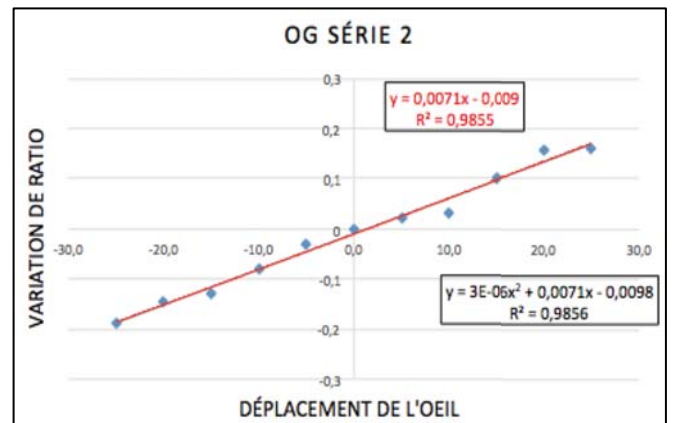
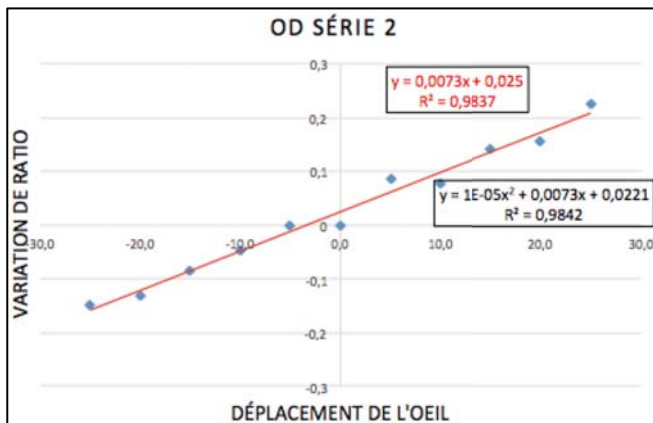
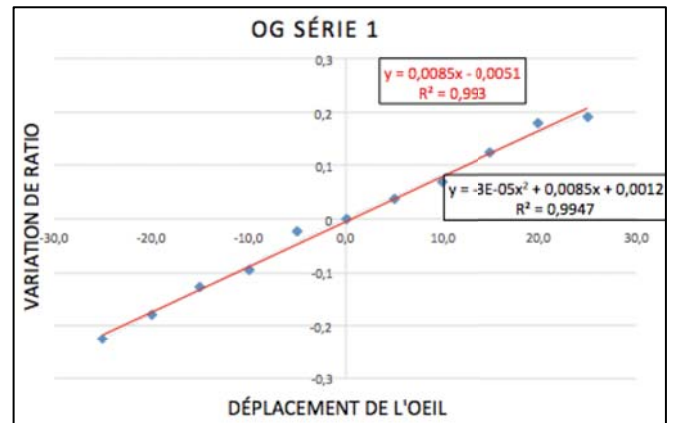
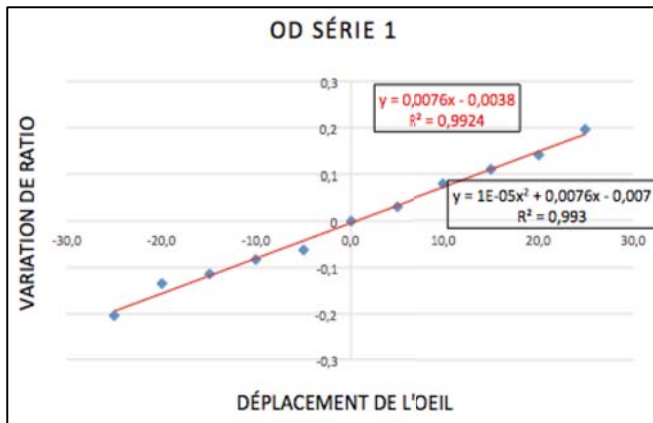
Patient n°6 :



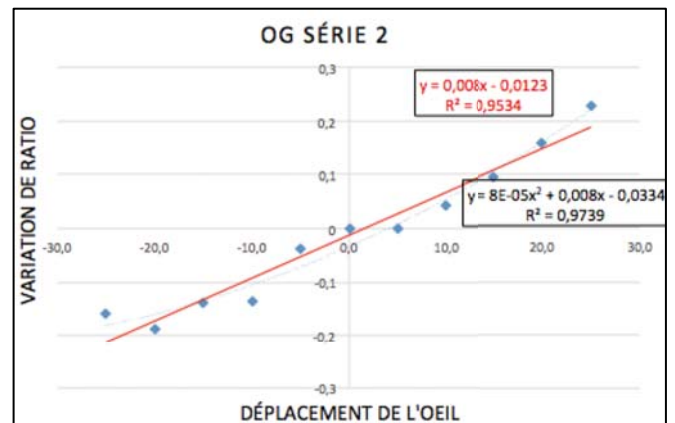
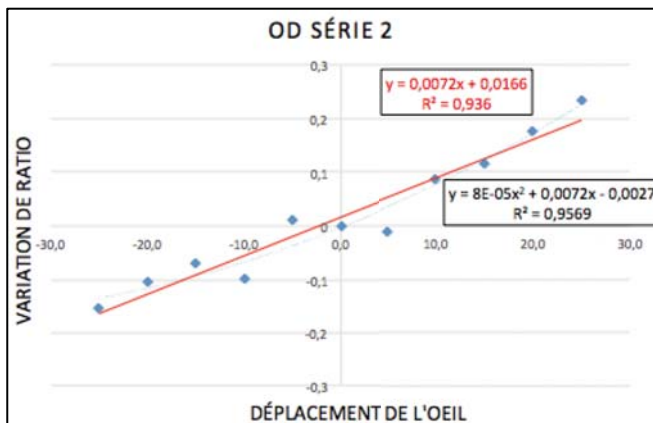
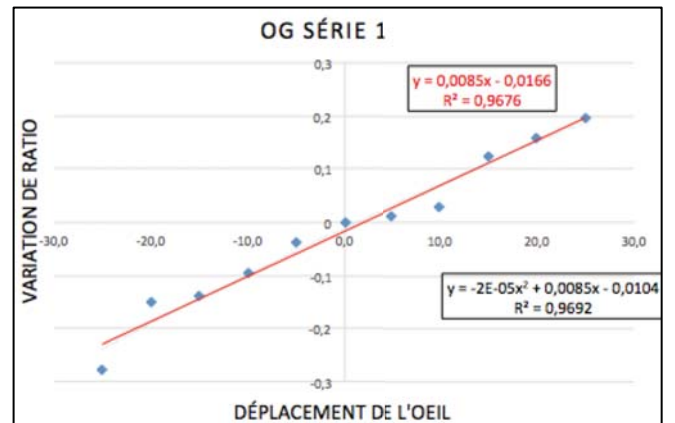
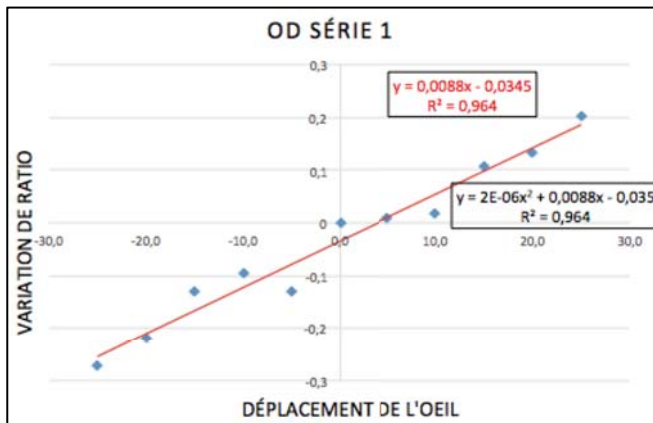
Patient n°7 :



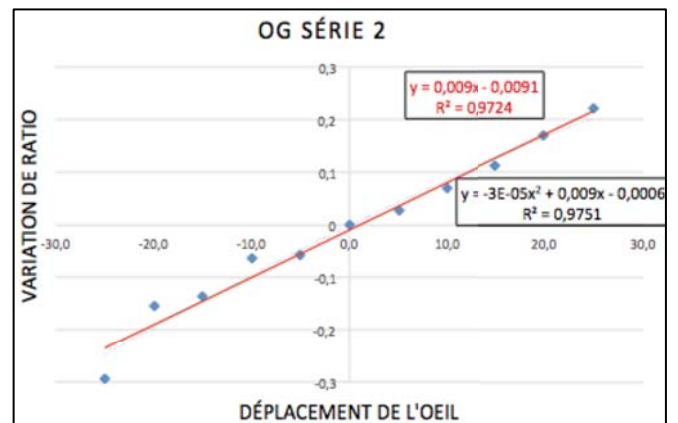
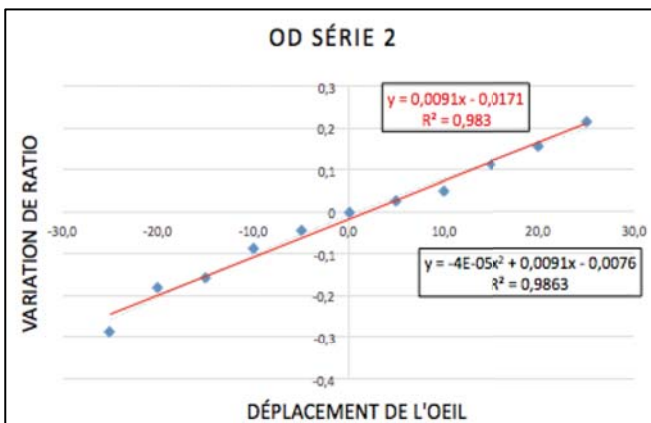
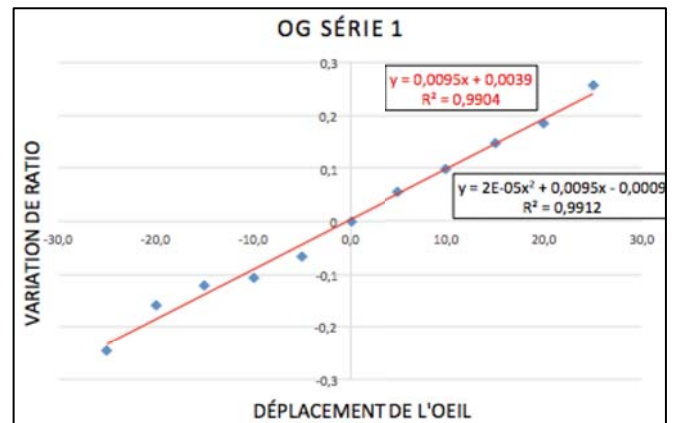
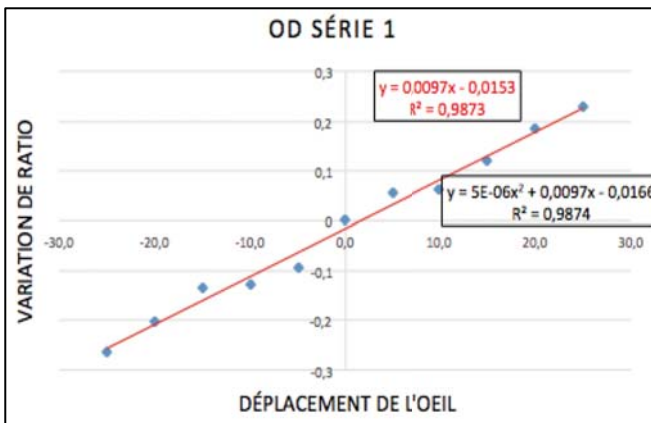
Patient n°8 :



Patient n°9 :



Patient n°10 :



*Graphiques représentant l'évolution de la variation du ratio
en fonction du déplacement de l'œil*

	Equation de droite	R ²	Equation polynomiale	R ²
Patient 1 OD	$y = 0,009x - 0,0124$	0,99633	$y = -2E-05x^2 + 0,009x - 0,0085$	0,99694
Patient 1 OG	$y = 0,0083x + 0,0006$	0,9854	$y = -5E-05x^2 + 0,0083x + 0,0128$	0,99194
Patient 1 OD série 2	$y = 0,0083x + 0,012$	0,98641	$y = -2E-05x^2 + 0,0083x + 0,018$	0,988
Patient 1 OG série 2	$y = 0,0084x + 0,0261$	0,9733	$y = -5E-06x^2 + 0,0084x + 0,0273$	0,97336
Patient 2 OD	$y = 0,0083x + 0,0097$	0,98695	$y = 5E-05x^2 + 0,0083x - 0,0026$	0,99373
Patient 2 OG	$y = 0,0081x + 0,012$	0,99331	$y = 1E-05x^2 + 0,0081x + 0,0088$	0,99378
Patient 2 OD série 2	$y = 0,0085x - 0,0025$	0,98905	$y = 1E-05x^2 + 0,0085x - 0,0057$	0,98948
Patient 2 OG série 2	$y = 0,0086x + 0,0189$	0,99128	$y = 3E-05x^2 + 0,0086x + 0,0123$	0,99306
Patient 3 OD	$y = 0,0096x + 0,016$	0,99294	$y = 6E-06x^2 + 0,0096x + 0,0146$	0,99301
Patient 3 OG	$y = 0,0091x + 0,0174$	0,98687	$y = -2E-06x^2 + 0,0091x + 0,0178$	0,98688
Patient 3 OD série 2	$y = 0,0087x + 0,0183$	0,98757	$y = 7E-07x^2 + 0,0087x + 0,0181$	0,98757
Patient 3 OD série 2	$y = 0,009x + 0,0214$	0,98494	$y = -1E-05x^2 + 0,009x + 0,0245$	0,9853
Patient 4 OD	$y = 0,0094x + 0,0092$	0,99154	$y = -8E-06x^2 + 0,0094x + 0,0111$	0,99166
Patient 4 OG	$y = 0,0099x - 0,0051$	0,98801	$y = -3E-06x^2 + 0,0099x - 0,0044$	0,98803
Patient 4 OD série 2	$y = 0,0095x + 0,0163$	0,98818	$y = 3E-05x^2 + 0,0095x + 0,0084$	0,99029
Patient 4 OG série 2	$y = 0,0095x - 0,0065$	0,99343	$y = -1E-05x^2 + 0,0095x - 0,0031$	0,99383
Patient 5 OD	$y = 0,0105x + 0,0027$	0,98881	$y = 7E-06x^2 + 0,0105x + 0,0009$	0,9889
Patient 5 OG	$y = 0,0104x + 0,0563$	0,97374	$y = 2E-05x^2 + 0,0104x + 0,0501$	0,97483
Patient 5 OD série 2	$y = 0,0106x + 0,0429$	0,96267	$y = 9E-05x^2 + 0,0106x + 0,0216$	0,97497
Patient 5 OG série 2	$y = 0,012x - 0,0092$	0,97945	$y = -2E-05x^2 + 0,012x - 0,0043$	0,97995
Patient 6 OD	$y = 0,0106x + 0,0399$	0,9586	$y = -2E-05x^2 + 0,0106 + 0,0459$	0,9596
Patient 6 OG	$y = 0,0095x + 0,0157$	0,97945	$y = -3E-05x^2 + 0,0095x + 0,0239$	0,965
Patient 6 OD série 2	$y = 0,0095x - 0,0539$	0,9818	$y = -2E-05x^2 + 0,0095x - 0,048$	0,983
Patient 6 OG série 2	$y = 0,0096x - 0,0325$	0,9841	$y = -5E-05x^2 + 0,0096x - 0,0189$	0,9904
Patient 7 OD	$y = 0,0065x + 0,0196$	0,9822	$y = 2E-05x^2 + 0,0065x + 0,0147$	0,9839
Patient 7 OG	$y = 0,0069x - 0,0141$	0,9911	$y = -8E-06x^2 + 0,0069x - 0,0121$	0,9913
Patient 7 OD série 2	$y = 0,0074x + 0,0165$	0,9753	$y = 2E-05x^2 + 0,0074x + 0,0116$	0,9766
Patient 7 OG série 2	$y = 0,007x + 0,0094$	0,9815	$y = 4E-05x^2 + 0,007x + 0,0003$	0,9868
Patient 8 OD	$y = 0,0076x - 0,0038$	0,9924	$y = 1E-05x^2 + 0,0076x - 0,007$	0,993
Patient 8 OG	$y = 0,0085x - 0,0051$	0,993	$y = -3E-05x^2 + 0,0085x + 0,0012$	0,9947
Patient 8 OD série 2	$y = 0,0073x + 0,025$	0,9837	$y = 1E-05x^2 + 0,0073x + 0,0221$	0,9842
Patient 8 OG série 2	$y = 0,0071x - 0,009$	0,9855	$y = 3E-06x^2 + 0,0071x - 0,0098$	0,9856
Patient 9 OD	$y = 0,0088x - 0,0345$	0,964	$y = 2E-06x^2 + 0,0088x - 0,035$	0,964
Patient 9 OG	$y = 0,0085x - 0,0166$	0,9676	$y = -2E-05x^2 + 0,0085x - 0,0104$	0,9692
Patient 9 OD série 2	$y = 0,0072x + 0,0166$	0,936	$y = 8E-05x^2 + 0,0072x - 0,0027$	0,9569
Patient 9 OG série 2	$y = 0,008x - 0,0123$	0,9534	$y = 8E-05x^2 + 0,008x - 0,0334$	0,9739
Patient 10 OD	$y = 0,0097x - 0,0153$	0,9873	$y = 5E-06x^2 + 0,0097x - 0,0166$	0,9874
Patient 10 OG	$y = 0,0095x + 0,0039$	0,9904	$y = 2E-05x^2 + 0,0095x - 0,0009$	0,9912
Patient 10 OD série 2	$y = 0,0091x - 0,0171$	0,983	$y = -4E-05x^2 + 0,0091x - 0,0076$	0,9863
Patient 10 OG série 2	$y = 0,009x - 0,0091$	0,9724	$y = -3E-05x^2 + 0,009x - 0,0006$	0,9751

Tableau récapitulatif des équations (de droite et polynomiale) de chaque graphique

Suite au tableau récapitulatif des équations de droite ci-dessus, nous avons décidé de calculer la moyenne des éléments "a" et "b" afin de réaliser une équation moyenne, ainsi que la moyenne des coefficients de détermination. Les écarts-types de chaque élément sont également calculés.

Moyenne des valeurs de a = 0,008825 (+/-0,00118)

Moyenne des valeurs de b = 0,004185 (+/-0,0213)

Moyenne des équations de droite : $y = 0,008825x + 0,004185$
Moyenne des coefficients de détermination (R^2) : $R^2 = 0,9816 (+/-0,0126)$

Interprétation des résultats

Les graphiques ci-dessus nous montrent la variation du ratio en fonction de la déviométrie comme précédemment. Nous avons appliqué cette méthode sur 10 patients orthotropiques, en analysant l'œil gauche et l'œil droit. Pour chaque patient, nous avons effectué deux séries de photographies, nous donnant ainsi une base de données de 40 patients.

Pour les équations de droite (équation de type $y = ax+b$), nous pouvons constater que tous les coefficients directeurs "a" sont proches les uns des autres. Il en est de même pour les origines à l'ordonnée "b". Concernant les équations polynomiales (équation de type $y = ax^2+bx+c$), nous constatons que tous les coefficients "a" sont proches de 0, ce qui signifie que les formules sont presque linéaires.

Ces graphiques nous montrent qu'il existe une relation proportionnelle entre la variation du ratio et le déplacement de l'œil. Cette méthode pourrait alors être envisagée afin de mesurer un angle de déviation en cas de strabisme vertical, et ce quelle que soit la déviation.

Conclusion

Pour rappel, l'objectif de notre mémoire était de déterminer une méthode afin que la photographie devienne un outil de mesure pour les angles strabiques verticaux. Pour répondre à notre problématique, plusieurs essais ont été nécessaires avant d'obtenir un axe de recherche concluant.

Nos premiers essais, utilisant des repères externes à l'œil, nous ont permis de conclure que la méthode photographique nécessitait une distance réduite entre le reflet cornéen et les repères utilisés. Une distance trop éloignée induit une variation de ratio trop faible et donc imprécise, ne provoquant pas de relation linéaire entre cette variation et le déplacement du globe oculaire.

Pour nos essais suivants, nous nous sommes donc concentrées sur des repères propres au globe oculaire. Cependant, nous avons rencontré des limites lors de notre 3^{ème} essai (en tenant les paupières) et notre 4^{ème} essai (repères sur l'iris). En effet, l'essai 3 se limite à des déviations moyennes (inférieur ou égal à 20°) ; l'essai 4 est, quant à lui, restreint aux personnes ayant des iris de couleur claire. Ces problématiques se sont révélées trop contraignantes et non applicables à tout patient. Nous avons donc exclus ces méthodes.

Pour finir, nous avons décidé de représenter artificiellement les limbes supérieur et inférieur. Les relations linéaires obtenues entre la variation de la position du reflet cornéen et le déplacement du globe oculaire semblent être la méthode la plus adéquate pour notre étude. De plus, celle-ci reste utilisable quel que soit l'angle de déviation et quelle que soit la couleur de l'iris.

Lors de notre étude, nous avons réalisé manuellement chaque cercle. Par la suite, il serait envisageable d'automatiser cette méthode à l'aide d'un logiciel de reconnaissance d'iris et de reflet cornéen afin que cela soit réalisable plus simplement. Après cette étape, il serait intéressant de reconstituer ces données sur un échantillon plus large afin de prouver statistiquement l'efficacité de cette méthode pour mesurer une déviation strabique verticale.

Bibliographie

Mémoire :

- ✓ A. Coupel et F. Lodey. Déviation horizontale par la méthode photographique. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthoptie. Nantes, 2014, 28 pages.

Sites internet :

- ✓ Formation Nantaise et Recherche en Ophtalmologie [en ligne]. Disponible sur : <http://www.fnro.net>
- ✓ Société Française d'Ophtalmologie [en ligne]. Disponible sur : <http://www.sfo.asso.fr>
- ✓ Le Strabisme pour Tous [en ligne]. Disponible sur : <http://www.strabisme.net>
- ✓ Dr.Damien Gatinel [en ligne]. Disponible sur : <https://www.gatinel.com>

Titre

Possibilité d'une déviométrie normée, méthode photographique

Résumé

Le strabisme est un trouble oculomoteur pouvant être étudié de manière qualitative et quantitative. La méthode photographique est un procédé permettant de quantifier une déviation oculaire de manière objective. Cette technique est déjà employée pour une déviation horizontale en comparant la position du reflet cornéen par rapport au limbe nasal et temporal. Cependant, elle ne peut être utilisée pour une déviation verticale car les limbes supérieur et inférieur sont masqués par les paupières.

Ainsi, l'objectif de ce mémoire est de déterminer un procédé permettant d'adapter la méthode photographique aux strabismes verticaux. Nous avons réalisé différents essais avant d'obtenir un axe de recherche satisfaisant. Tout d'abord, nous avons utilisé des repères externes à l'œil, mais cette méthode s'est révélée imprécise. Nous nous sommes donc concentrées sur des repères internes au globe oculaire. Dans un premier temps, nous avons essayé de tenir les paupières (afin de libérer les limbes supérieur et inférieur), et dans un second temps, nous nous sommes basées sur des cryptes de l'iris. Nous avons dû exclure ces deux méthodes car ces essais se sont révélés trop contraignants. Pour finir, nous avons reproduit artificiellement les limbes supérieur et inférieur grâce à un tracé circulaire. Cette méthode nous a permis d'obtenir des résultats satisfaisants et semble la plus adéquate pour notre étude.

Mots clés

Déviométrie, méthode photographique, limbe/reflet cornéen, strabisme vertical, hypertropie.