

PLAN

• INTRODUCTION	3
• RAPPELS ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES	6
I. Anatomie du segment antérieur	7
II. Physiologie de la cornée.....	17
III. Géométrie de la cornée	21
• MATERIELS ET METHODES	25
• RESULTATS.....	34
I. Epidémiologie	35
II. Analyse des données de la face antérieure de la cornée	36
III. Analyse des données de la face postérieure de la cornée	36
IV. Etude de l'asphéricité cornéenne.....	37
V. Etude de la pachymétrie.....	37
VI. Etude de la kératométrie maximale	38
VII. Facteur KPD	38
VIII. Etude de la chambre antérieure.....	38
IX. Analyse des cartes topographiques	40
X. Indices topographiques.....	46
XI. Analyse de Zernike	47
XII. Enantiomorphisme	47
• Discussion	48
I. Historique.....	49
II. Les principes	52
III. Réalisation.....	55
IV. Interprétation.....	57
• CONCLUSION.....	134
• RESUME.....	136
• BIBLIOGRAPHIE	138

INTRODUCTION

La topographie est un terme de géographie qui vient du grec « topos » (le lieu) et « graphein » (décrire), définit par Larousse comme une Technique de représentation sur un plan des formes du terrain avec les détails naturels ou artificiels qu'il porte.

La topographie cornéenne correspond à la représentation graphique des propriétés géométriques de la surface cornéenne. La cornée est un organe unique dont la fonction dépend étroitement de la forme ; une variation de l'ordre du micron peut modifier ses propriétés optiques de manière significative. Ainsi, les mesures de la forme, de la puissance réfractive et de l'épaisseur de la cornée sont des étapes cruciales dans le diagnostic des maladies cornéennes et la mise au point de méthodes de correction de la vision.

Les instruments qui mesurent et décrivent les propriétés topographiques de la surface cornéenne peuvent être classés en deux grands types : le disque de Placido (qui utilise des mires réfléchives concentriques) et des enregistreurs de l'élévation/dépression (à l'aide soit d'un appareil à balayage d'une fente lumineuse, soit d'une caméra rotative Scheimpflug, soit d'une stéréographie par trame [raster-topography]). Les systèmes topographiques de courbure basés sur le disque de Placido sont des outils précieux dans l'évaluation de la courbure et de la réfraction cornéenne, mais ils ne décrivent pas directement la forme spatiale réelle de la cornée. Les topographes d'élévation fournissent une estimation directe de l'élévation de la cornée, établissant ainsi une « vraie » carte en trois dimensions de la forme de la surface cornéenne antérieure et postérieure. La topographie de courbure et d'élévation combinée a un grand potentiel dans la détection des anomalies cornéennes, l'adaptation des lentilles de contact et la planification de la chirurgie réfractive.

Pentacam est le produit le plus récent de la gamme Oculus. C'est un tomographe fréquemment utilisé en chirurgie réfractive, non invasif analysant le segment antérieur en utilisant une caméra rotative de Scheimpflug. Il permet d'obtenir des informations précises sur la géométrie du segment antérieur de l'œil comprenant la cornée, la chambre antérieure, l'iris et le cristallin, fournissant une pléthore de mesures à travers le segment antérieure.

Le tomographe Pentacam HR a été lancé en 2005, avec une résolution d'image cinq fois plus importante que celle du modèle de base. Il a une conception optique améliorée avec un appareil photo de 1,45 mégapixels. Il surajoute la capacité d'offrir des coupes plus fines de la cornée, avec un scanner multirotatoire (50 images 2 secondes), une fonction dynamique améliorée (pour une représentation précise des implants intraoculaires phaqes) et plus d'options de fixation.

Le but de ce travail est de présenter le profil épidémiologique et statistique des données recueillies par le Pentacam, de décrire les différents renseignements apportés par celui-ci et de faire une revue de littérature.

RAPPEL ANATOMO- PHYSIOLOGIQUE

I. ANATOMIE DU SEGMENT ANTERIEUR :

Comportant d'avant en arrière la cornée, l'humeur aqueuse, l'iris, l'angle iridocornéen, le corps ciliaire et le cristallin. [1] (Figure 1)

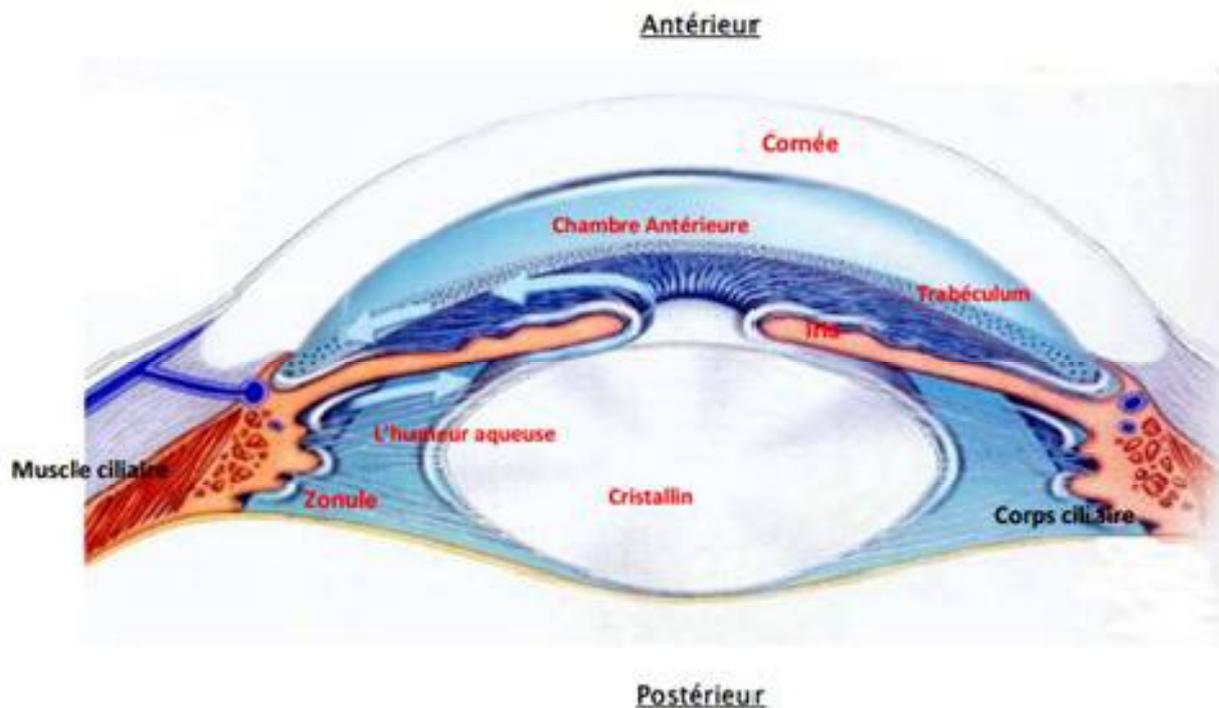


Figure 1 : Coupe sagittale du segment antérieur de l'œil

A. Cornée :

1) Embryologie de la cornée : [2]

La cornée est la première structure de l'appareil visuel à s'individualiser au cours de la vie embryonnaire. Elle a une double origine, ectodermique et mésodermique.

A la quatrième semaine de gestation (embryon 8mm), apparaît la vésicule optique primaire ayant pour origine une évagination du tube neural.

Entre la quatrième et la cinquième semaine (stade 10-12 mm), se détache la vésicule cristallinienne. Celle-ci induit la différenciation de l'ectoderme cornéen en épithélium. Le mésenchyme sera à l'origine du stroma et de l'endothélium.

A la cinquième semaine (stade 15mm), la cornée primitive sera constituée de deux couches cellulaires formant l'épithélium, reposant sur un étroit stroma acellulaire, le mésostroma.

À la fin de la sixième semaine (18 mm), l'épithélium cornéen forme les premières villosités caractéristiques à sa surface. En même temps, des fibroblastes migrent pour former une couche monocellulaire à la face postérieure du mésostroma : l'endothélium.

A la huitième semaine (24mm), l'épithélium va se stratifier et la membrane de Bowman apparaît à la partie antérieure du stroma. La membrane de Descemet est présente dès la dixième semaine.

2) Anatomie de la cornée :

✓ Rapports : [2] [3]

- La face antérieure : Elle est convexe et recouverte par le film lacrymal précornéen puis par les conjonctives palpébrales et les paupières lors de l'occlusion ou du clignement.
- La face postérieure : Elle est concave et circulaire. Elle constitue la limite externe de la chambre antérieure et le toit de l'angle iridocornéen. Elle est directement en rapport avec l'humeur aqueuse.
- Par sa circonférence : Elle est en rapport avec la conjonctive, l'épisclère, la sclère et les voies de drainage de l'humeur aqueuse au niveau de la zone de transition limbique.

▼ Anatomie macroscopique : [4]

La cornée est le principal élément réfractif de l'œil. Elle couvre environ un cinquième de sa circonférence. Elle est avasculaire, transparente et enchâssée dans l'orifice antérieur de la sclérotique. Son diamètre moyen est de 11,5mm. En revanche, en arrière, elle est à peu près circulaire et son diamètre est de 13mm dans toutes les directions. Le diamètre varie selon les individus, le sexe et l'âge.

L'épaisseur de la cornée augmente du centre (0,52mm en moyenne) vers la périphérie pour atteindre 0,7 mm au limbe.

La cornée répond en avant au film lacrymal et aux paupières, en arrière à la chambre antérieure. En périphérie, elle répond au limbe cornéoscléral (Figure 2).

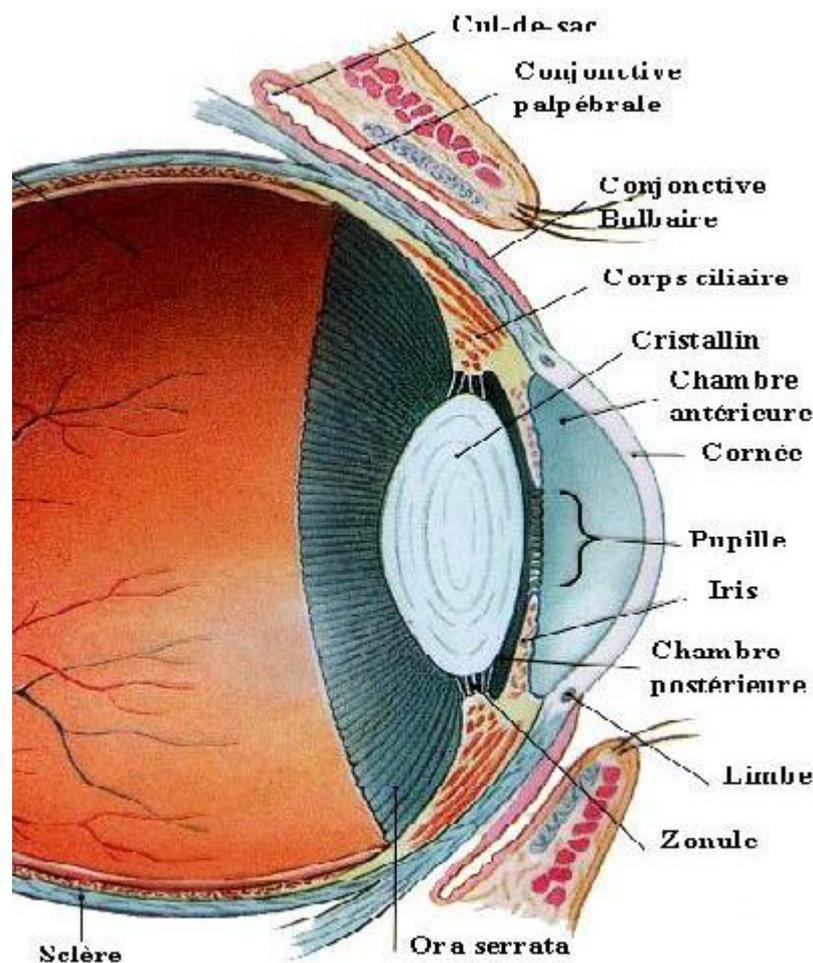


Figure 2 : Coupe sagittale schématique de l'œil montrant les différents rapports de la cornée.

✓ Microscopique : [4] [5] [6]

La cornée est classiquement décrite en cinq couches, alors que son rôle réfractif impose d'inclure le film lacrymal dans sa structure normale (Figure 3).

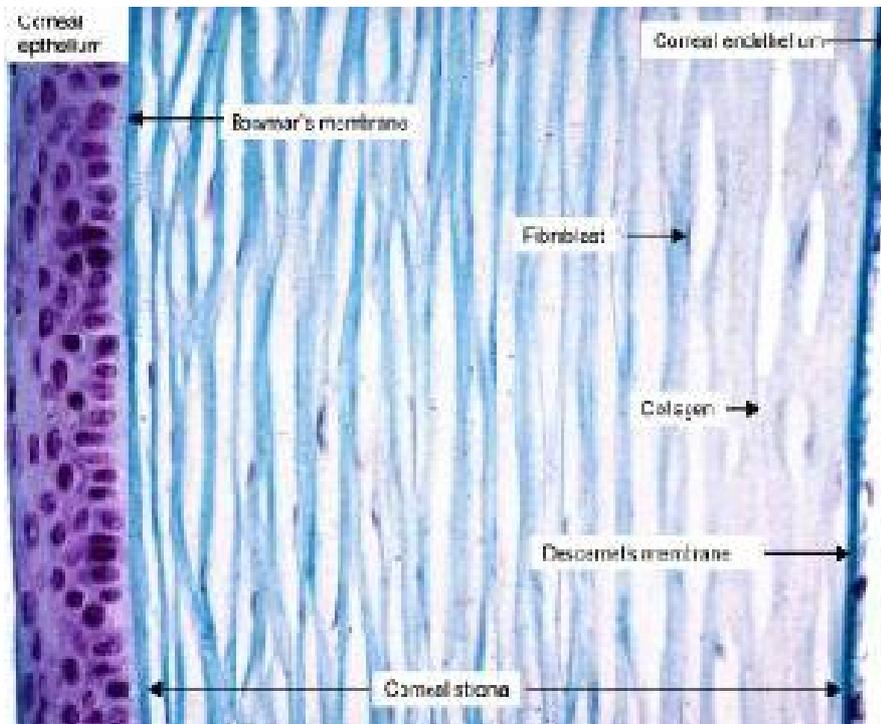


Figure 3 : Anatomie microscopique de la cornée

a) Le film lacrymal pré-cornéen :

La surface cornéenne est recouverte par un film lacrymal qui protège la cornée de la déshydratation et maintient la régularité de la surface épithéliale. Le film lacrymal participe au pouvoir réfractif de l'œil en formant une première interface traversée par les rayons lumineux : l'interface air/film lacrymal.

Il s'agit d'un gel comprenant :

-Une phase muqueuse, profonde qui dépend des cellules caliciformes conjonctivales.

-Une phase intermédiaire aqueuse sous la dépendance des glandes lacrymales.

-Une phase superficielle réalisant un film lipidique, qui permet de retarder l'évaporation du film lacrymal, et qui est sécrétée par les glandes débouchant au niveau de la marge palpébrale : glandes de Meibomius.

b) L'épithélium cornéen :

C'est un épithélium pavimenteux stratifié, ayant une épaisseur de 50 à 60µm, soit 10% de l'épaisseur cornéenne totale.

Il comprend 7 à 8 assises cellulaires, réparties en 3 couches :

- Une assise superficielle : faite de 2 à 4 couches de cellules dont la membrane cytoplasmique est hérissée de microvillosités, qui permettent d'augmenter la surface d'échange avec le film lacrymal. L'extrémité de ces microvillosités présente une substance : Le glycocalyx qui adhère fortement à la phase muqueuse du film lacrymal.
- Une assise intermédiaire : constituée de 2 ou 3 couches de cellules arrondies. Elles sont réunies entre elles et avec les cellules basales ou superficielles par des desmosomes.
- L'assise basale : est monostratifiée, faite de longues cellules cylindriques disposées sur une fine membrane basale. Les mitoses y sont fréquentes.

c) La couche de Bowman :

C'est une couche acellulaire (excepté quelques expansions des cellules de Schwann entourant des terminaisons nerveuses qui rejoignent l'épithélium), de 8 à 14 µm d'épaisseur, située entre la membrane basale de l'épithélium et le stroma. Elle est constituée essentiellement de fibres de collagène ayant un agencement anarchique et réparties dans la substance fondamentale.

d) Le stroma cornéen :

Il constitue environ 90% de l'épaisseur cornéenne et se compose de :

- Fibrilles de collagène : Empilées les unes sur les autres de façon parallèle, avec une distance inter-fibrillaire constante. Cet arrangement régulier permet une bonne transparence de la cornée et une bonne résistance mécanique à la pression intraoculaire. Les fibrilles de collagène s'unissent en faisceaux qui s'étendent du limbe au limbe opposé.
- Les kératocytes ou fibroblastes: Cellules étoilées, peu nombreuses, s'étendant parallèlement aux lamelles de collagène et synthétisant les molécules de collagène à un taux très lent.
- Les protéoglycanes : Essentiellement le kératane sulfate. Elles occupent tout l'espace compris entre les fibrilles de collagènes et sont responsables de leur espacement strictement ordonné : Elles ont une nature polyanionique qui attire l'eau et tend à écarter ces fibrilles entre elles.

e) La membrane de Descemet :

C'est une membrane amorphe, élastique et résistante, faite de fibrilles de collagène (IV et VIII) de petit diamètre (environ 10 μm) réparties au sein d'une matrice glycoprotéique.

f) L'endothélium cornéen :

Il se situe sur la face postérieure de la cornée. Il est constitué d'une monocouche de 5 μm d'épaisseur.

Les cellules endothéliales sont hexagonales et reposent sur la membrane de

Descemet. Elles sont unies entre elles par des jonctions serrées à la partie apicale de l'espace intercellulaire et par des jonctions communicantes au niveau des membranes latérales.

✓ Limbe sclérocornéen : [7]

Le limbe est un anneau qui fait la jonction entre la périphérie cornéenne transparente et la sclère opaque. Il représente la zone charnière de plusieurs tissus : l'uvée, la conjonctive, la sclérotique et la cornée périphérique. Il a la forme d'un anneau elliptique à grand axe horizontal.

Il joue un rôle fondamental dans la nutrition et le métabolisme de la cornée périphérique grâce à la richesse de sa vascularisation.

✓ Innervation de la cornée : [8]

- **Sensitive** : La cornée est le tissu le plus richement innervé. Elle reçoit une innervation sensitive à partir des nerfs ciliaires, branches terminales de la division ophtalmique de la cinquième paire crânienne. Les plexi nerveux sous épithéliaux se situent sous la membrane de Bowman puis la traversent et perdent leur gaine de Schwann. Leurs terminaisons atteignent toutes les couches de l'épithélium mais aussi le stroma au contact des kératocytes.
- **Sympathique et adrénérgerique** : Elle est moins bien connue. Elle se fait à partir du ganglion cervical supérieur homolatéral. Les fibres s'intègrent aux nerfs ciliaires courts et longs.

B. L'angle irido-cornéen : [1]

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

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

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

La pression intra oculaire normale est de 10 à 20 mm Hg. Elle est maintenue stable grâce à un mouvement équilibré de sécrétion et d'excrétion de l'humeur aqueuse. (Figure 4)

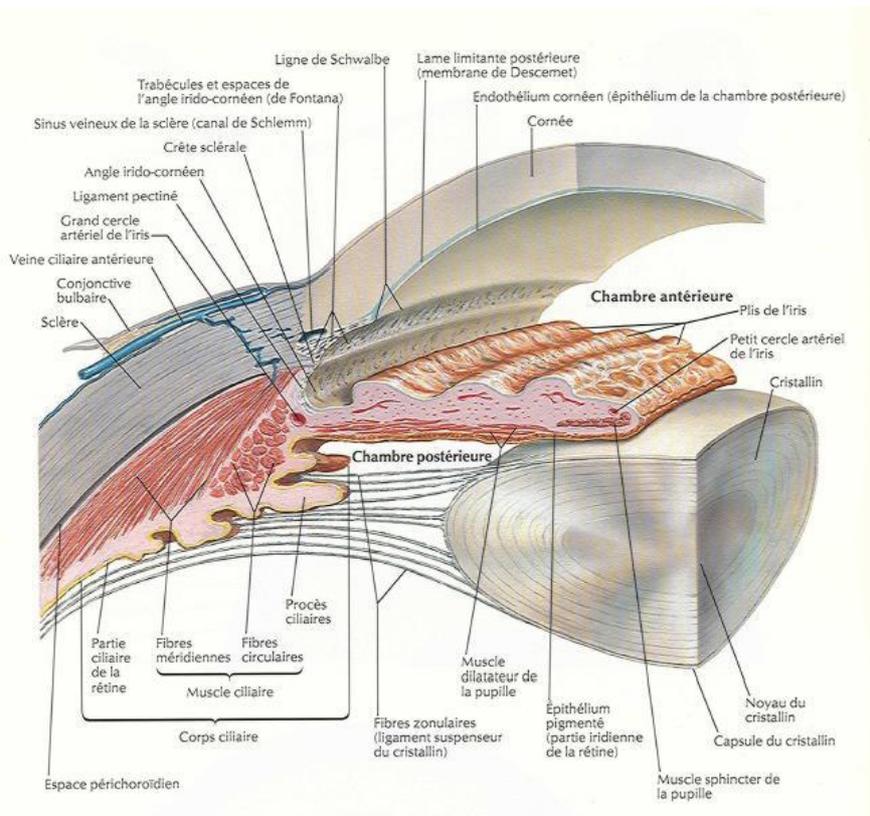


Figure 4 : Vue schématique de l'angle irido-cornéen

C. Le cristallin : [1]

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

Le cristallin est constitué de fibres transparentes, disposées en lamelles concentriques en bulbe d'oignon autour d'un noyau central. Il est entouré d'une capsule fine et transparente (13um en avant et 4mm en arrière) étanche à l'humeur aqueuse, qui assure son métabolisme. (Figure 5) (Figure 6)

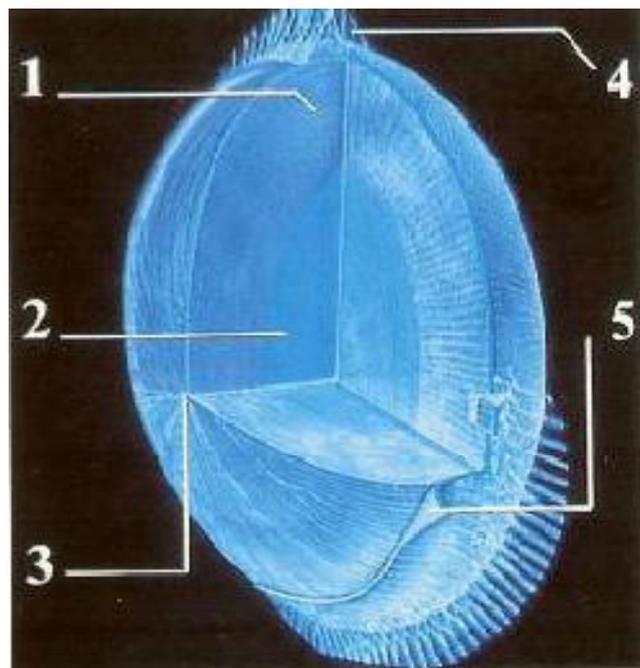


Figure 5 : coupe schématique du cristallin

- 1-Cortex
- 2-Noyau
- 3-Pole antérieur
- 4-Fibres zonulaires
- 5-Capsule

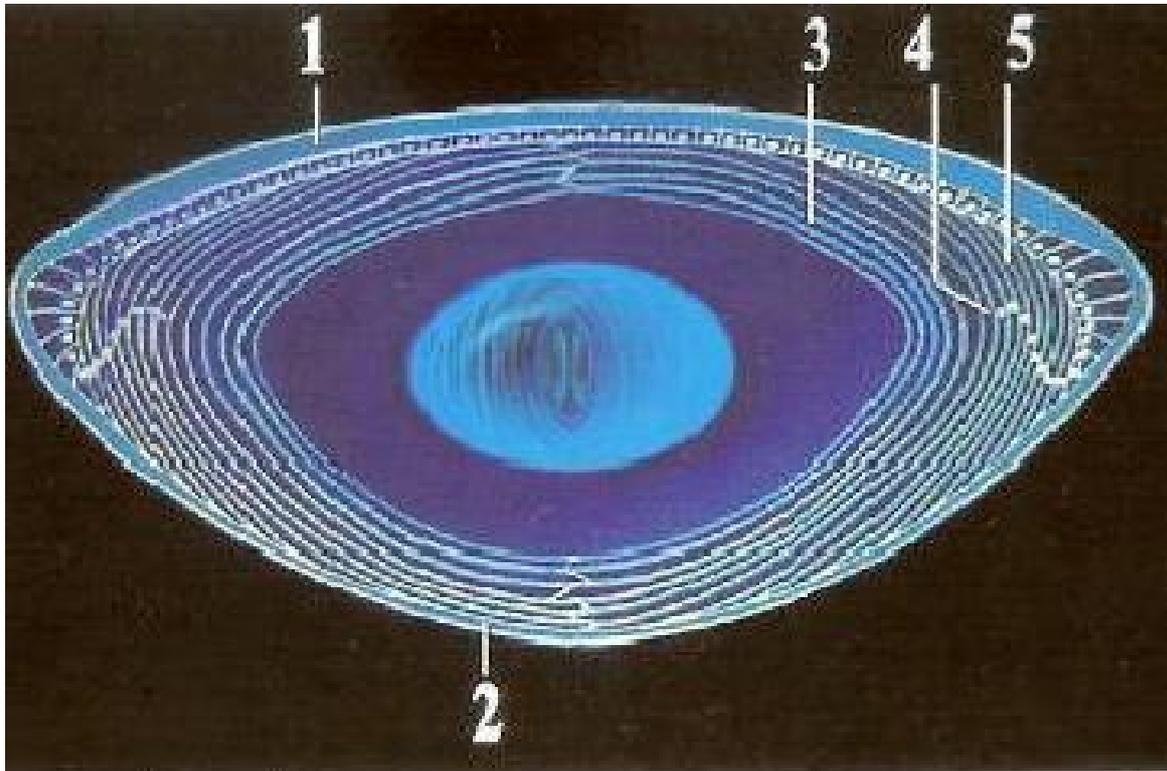


Figure 6 : coupe horizontale du cristallin adulte

- 1-Capsule antérieure
- 2- Capsule postérieure
- 3-Fibres cristallines
- 4-Zone de l'arc cristallinien
- 6-Cortex

II. PHYSIOLOGIE DE LA CORNEE : [2] [4] [9]

A. Propriétés physiques :

a) Rôle mécanique :

La cornée protège l'œil contre les agents extérieurs et intervient dans la résistance à la pression intraoculaire.

b) Fonction optique :

- Transmission de la lumière : La cornée transmet les radiations de longueur d'onde comprise entre 310nm (ultra violet) et 2500nm (infra rouge).

Cette transmission, à travers le stroma est due à l'uniformité du diamètre des fibrilles de collagène et de la distance inter-fibrillaire.

- Réfraction de la lumière : La cornée joue le rôle d'une lentille convergente qui forme l'élément principal du dioptré oculaire, sa puissance est fonction de :

- Ø La valeur des rayons de courbure qui sont en moyenne pour la face antérieure de 7,8mm en horizontal et de 7,7mm en vertical; et pour la face postérieure, de 6,6mm.

- Ø L'indice de réfraction qui est d'environ 1,376

- Ø L'interface antérieure air-cornée avec un pouvoir réfractif de 47D.

- Ø L'interface postérieure avec un pouvoir réfractif de -5D

- Ø Le pouvoir réfractif total de la cornée est de 42D en moyenne.

- La réflexion de la lumière : La cornée se comporte comme un miroir convexe. Une source lumineuse placée à 50 cm de la cornée donne une première image réfléchie par la face antérieure de la cornée, située à 6mm en arrière de celle-ci, et une deuxième de plus petite taille, réfléchie par la face postérieure (image de Purkinje).

c) La transparence cornéenne :

Les facteurs de transparence :

- Anatomiques :

- Ø La régularité de la disposition des cellules épithéliales.

- Ø La finesse et le parallélisme des fibres de collagène.

- Ø L'absence de vaisseaux sanguins.

- Biochimiques :

A l'état normal, la cornée maintient une hydratation constante et lutte contre l'imbibition hydrique. On dit qu'elle est en état de déturgescence :

- Ø L'action de l'épithélium est minime, il réduit l'évaporation et diminue l'absorption des fluides à partir des larmes.

- Ø L'endothélium, par contre, joue un rôle très important. Il fonctionne comme une pompe active grâce à la pompe Na^+/K^+ ATPase qui expulse le Na^+ dans l'humeur aqueuse et libère le K^+ dans la cellule endothéliale, ce qui crée un gradient osmotique assurant la déturgescence du stroma puisque l'eau suit les mouvements du Na^+ .

- Ø Les mouvements ioniques génèrent aussi une différence de potentiel entre le milieu intra et extracellulaire endothélial.

B. Composition biochimique de la cornée : [11]

La cornée est caractérisée par sa forte hydrophilie. Elle est composée de :

- Eau : 75 à 80% du poids total du stroma
- Protéines : 20% du poids du stroma. Essentiellement du collagène.
- Enzymes : Acétylcholine qui intervient dans la sensibilité cornéenne comme médiateur au niveau de l'innervation cornéenne.
- Ions : Le stroma est surtout riche en Na⁺ alors que l'épithélium est riche en K⁺.
- Glucose : L'épithélium est riche en glucose et en glycogène (4%)
- Les lipides : Présents surtout dans l'épithélium (1%).

C. Métabolisme cornéen : [11] [12]

1. Métabolisme glucidique :

La cornée puise l'énergie indispensable à son activité métabolique dans le catabolisme du glucose et du glycogène par les voies aérobies et anaérobies à partir de l'oxygène atmosphérique. Seulement 5 à 10% du glucose nécessaire provient des larmes ou de la vascularisation limbique, l'humeur aqueuse apportant la majorité du glucose.

2. Cornée et oxygène :

La cornée puise ses besoins en oxygène essentiellement à partir de l'air atmosphérique, par diffusion à travers le film lacrymal, lorsque l'oeil est ouvert. Lors de la fermeture palpébrale, la vascularisation limbique et la conjonctive palpébrale ainsi que l'humeur aqueuse participent à l'apport de l'oxygène [16]. Pour les couches cornéennes profondes, l'oxygène est apporté par l'humeur aqueuse.

D. Nutrition de la cornée : [13]

La cornée est avasculaire. Elle reçoit son apport nutritif du limbe, des larmes et de l'humeur aqueuse.

La vascularisation limbique assure la nutrition de la périphérie de la cornée.

Les échanges se font avec les larmes à travers les cellules épithéliales qui réalisent une barrière imperméable aux substances hydrosolubles et perméable aux substances liposolubles.

La voie trans-endothéliale assure le passage des éléments à partir de l'humeur aqueuse selon un mode passif ou actif.

III. GEOMETRIE DE LA CORNEE : [14] [15]

La cornée est un puissant dioptré de l'œil car elle détient les 2/3 de son pouvoir réfractif. Elle doit cette propriété à l'importance des différences d'indice de réfraction entre l'air ($n=1$) et le film lacrymal ($n=1,336$) au niveau de sa face antérieure. La cornée constitue le support anatomique de la lentille de contact. Sa géométrie influence une grande partie des règles de l'adaptation.

A. Quelques définitions :

-Le méridien cornéen est une ligne courbe formée à l'intersection de la surface de la cornée par un plan antéro-postérieur passant par son apex et perpendiculaire à son équateur (Figure 7).

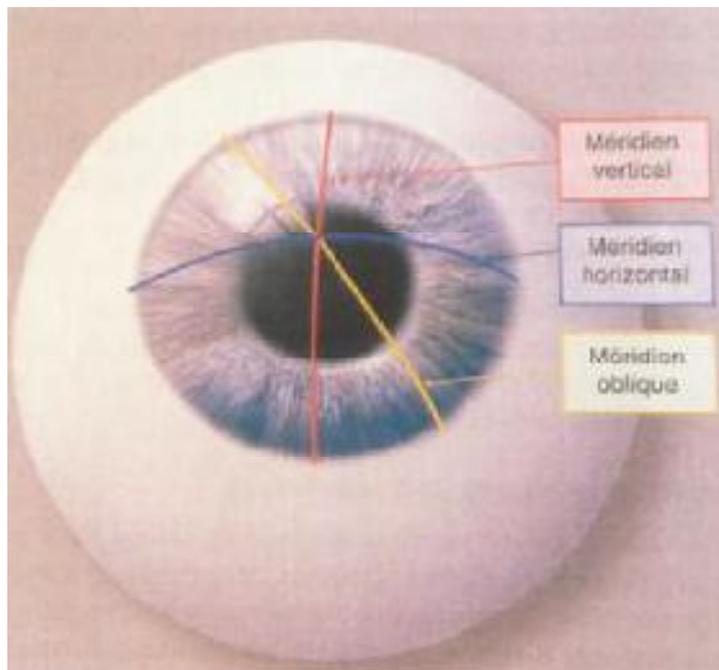


Figure 7: Représentation schématique des méridiens cornéens

-La courbure d'un méridien cornéen en un point, est inversement proportionnelle au rayon du cercle « tangent » à ce méridien au point considéré (Figure 8).

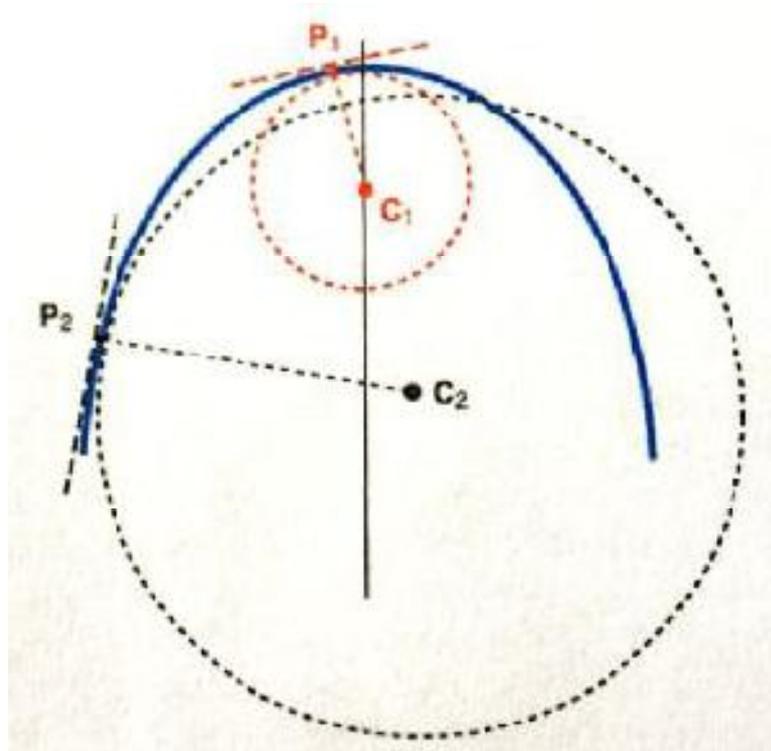


Figure 8 : Courbure. La courbure en P1 et en P2 est égale à l'inverse du rayon des cercles tangents à ces deux points (respectivement centrés en C1 et en C2).

B. Propriétés géométriques de la cornée antérieure :

Globalement, trois éléments définissent la surface cornéenne :

1. L'asphéricité :

La cornée est une surface asphérique: sa courbure varie en chaque point d'un méridien considéré (du sommet vers la périphérie).

Il existe 2 types de cornée :

- Une cornée prolate: où la courbure est plus plate en périphérie (R) qu'au centre (r) ($R > r$). C'est le cas des cornées régulières non opérées ainsi que celui des cornées hyperprolates (exemple du kératocône) (Figure 9).

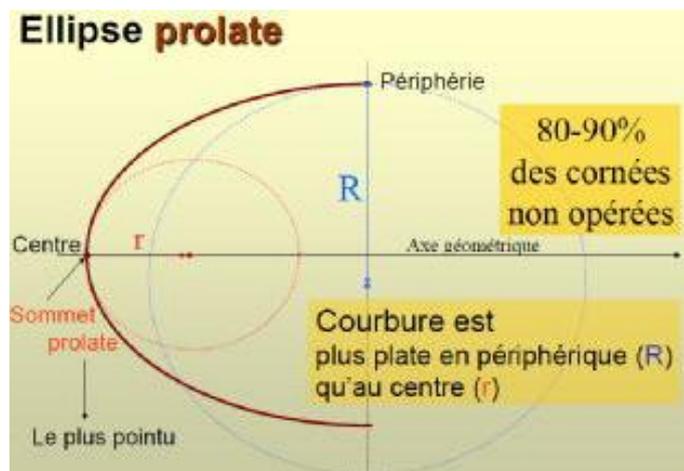


Figure 9: Ellipse prolate

- Une cornée oblate: où la courbure est plus plate au centre (R) qu'en périphérie (r). C'est le cas des cornées ayant subi des chirurgies ablatives (Figure 10).



Figure 10: Ellipse oblate

2. La toricité apicale :

La surface cornéenne est plus au moins torique.

La toricité du sommet cornéen traduit la variation de la courbure apicale de chacun des méridiens cornéens. Il existe une toricité régulière cornéenne physiologique : Le plus souvent le rayon de courbure vertical est légèrement inférieur au rayon de courbure horizontal.

3. L'asymétrie :

En plus d'être plus ou moins torique et asphérique, la cornée est légèrement asymétrique.

Cette asymétrie est caractérisée par un axe particulier qui délimite les hémiméridiens opposés dont la différence de courbure est la plus importante.

La présence d'une asymétrie marquée doit faire suspecter une pathologie dégénérative de type kératocône ou dégénérescence marginale pellucide (Figure 11).

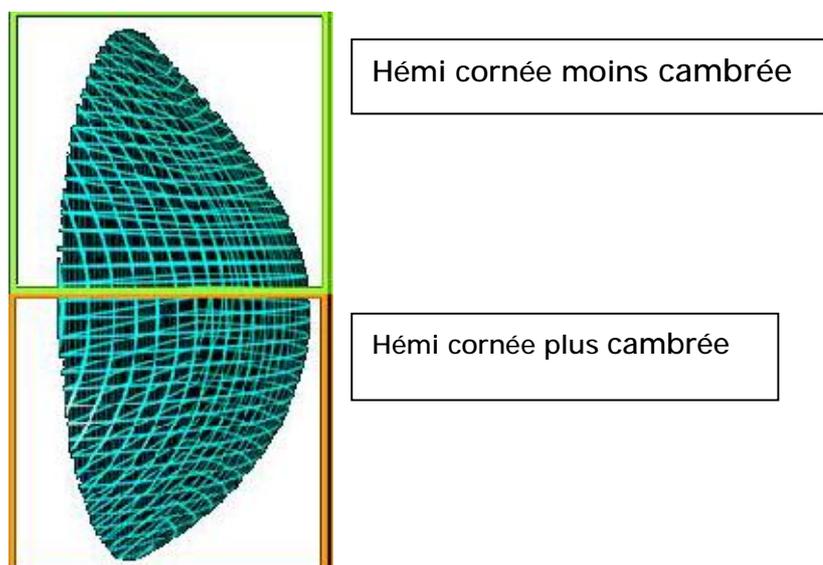


Figure 11 : Asymétrie cornéenne

MATERIEL

ET METHODES

A. Sélection des patients :

Nous avons réalisé une étude rétrospective portant sur 343 patients (15 malades monophthalmes), soit 671 yeux, ayant consulté au service d'ophtalmologie du CHU Hassan II de Fès, entre Décembre 2015 et Décembre 2017.

On a inclus dans cette étude tous les patients qui présentaient une suspicion clinique d'une cornée anormale (suspicion de kératocône, astigmatisme important, astigmatisme irrégulier). Les patients n'ont jamais bénéficié d'une topographie cornéenne ultérieure par Pentacam.

De cette étude, ont été exclus tous les patients ayant des antécédents de maladie oculaire connue, de pathologie de surface oculaire, de chirurgie ou de traumatisme oculaire. On a exclu également les patients ayant bénéficié d'une chirurgie réfractive, d'anneaux intracornéens, de cross linking ou de greffe de cornée pour kératocône, ainsi que les patients porteurs de lentilles de contact au cours des trois dernières semaines.

B. Méthodes de travail :

Pour chaque patient nous avons relevé : L'âge, le sexe, l'œil examiné.

La topographie cornéenne chez tous nos patients a été effectuée par Pentacam (PENTACAM HR de chez Oculus).



L'œil droit et gauche de chaque patient ont été sélectionnés pour la mesure avec l'appareil photo Scheimpflug (Pentacam, logiciel version 1.12) avec le mode 50 images. Les images ont été obtenues en utilisant le mode automatique lorsque l'alignement correct avec l'apex cornéen et la focalisation ont été obtenus. Pour éviter les erreurs de calcul dues à une mauvaise qualité d'image, seules les mesures avec des énoncés de qualité "OK" ont été sélectionnées pour l'étude.

Les données de la face antérieure et postérieure de la cornée ont été évaluées : la valeur Q, la kératométrie le plus plat (K1) et à 90° du plus plat (K2), la kératométrie moyenne (Km), l'astigmatisme et son axe, le rayon de courbure moyen

calculé sur la zone comprise entre les anneaux de 5 et 7mm (R péri) et le rayon de courbure le plus cambré de l'ensemble de la cornée (R min).

Les données de la pachymétrie ont été analysées : pachymétrie au centre pupillaire, de l'apex et pachymétrie minimale. La kératométrie maximale (Kmax) dans un cercle central de 4 mm et le facteur KPD (keratometric power deviation) ont été enregistrés.

Les données de l'étude de la chambre antérieure fournies automatiquement par le logiciel ont été enregistrées : volume de la cornée, volume et profondeur de la chambre antérieure, pression intra-oculaire corrigée, degré de l'angle irido-cornéen et diamètre pupillaire. La mesure de l'épaisseur cornéenne n'a pas été réalisée car tous nos patients étaient myopes.

L'analyse des différentes cartes a été réalisée : carte de courbure sagittale de la face antérieure, cartes d'élévation antérieure et postérieure, carte pachymétrique et carte topométrique.

Les indices (de progression, ISV, IVA, KI, CKI, Rmin, IHA et IHD), les aberrations (totales, de faible et de haut degré) ainsi que l'enantiomorphisme ont été étudiés.

Les données ont été saisies et gérées à l'aide de Microsoft Office Excel 2010 et du logiciel SPSS (version 20). Les analyses ont été effectuées avec le test de corrélation. Une valeur P inférieure à 0,05 a été considérée comme statistiquement significative.

Une fiche de collecte de données a été utilisée pour recueillir les informations ciblées par l'étude.

Le but de ce travail est de présenter le profil épidémiologique et statistique des données recueillies par le Pentacam, de décrire les différents renseignements apportés par celui-ci et de faire une revue de littérature.

Fiche d'exploitation

Nom et prénom : Age: Sexe : Masculin Féminin Œil : OD

OG

Face antérieure de la cornée	Q (8mm)	Valeur		
		Type	Prolate	
			Oblate	
	Sphérique			
	K1 (dpt)			
	K2 (dpt)			
	Km (dpt)			
	Astigmatisme	Valeur (dpt)		
		Axe (degré°)		
	R péri (mm)			
R min (mm)				

Face postérieure de la cornée	Q (8mm)	Valeur		
		Type	Prolate	
			Oblate	
	Sphérique			
	K1 (dpt)			
	K2 (dpt)			
	Km (dpt)			
	Astigmatisme	Valeur (dpt)		
		Axe (degré°)		
	R péri (mm)			
R min (mm)				

Pachymétrie	Centre pupillaire	Valeur (μm)			
		Coordonnées (mm)	X ...	Y ...	
	Apex	Valeur (μm)			
		Coordonnées (mm)	X ...	Y ...	
	minimale	Valeur (μm)			
		Coordonnées (mm)	X ...	Y ...	
	Différence pachy apex - pachymétrie min		< 10 μ > 10 μ		
	Différence en y pachy apex/pachy min		<0.5mm 0.5-1mm \geq 1mm		
	Pachymétrie au niveau du cercle de 4mm		Sup		
			Inf		
			Diff	<30 μ \geq 30 μ	
	K max (front)	Valeur (dpt)			
Coordonnées (mm)		X ...	Y ...		

Volume de la cornée (mm ³)		
Volume CA (mm ³)	Valeur	
	≥ 100	
	< 100	
Profondeur de la CA (mm)	Valeur	
	≥ 2.8	
	< 2.8	
PIO corrigé (mmHg)		
KPD (dpt)	Valeur	
	< +0.75	
	+0.75 - +1.50	
	> +1.50	
AIC (degré)	Valeur	
	≥ 25	
	< 25	
Diamètre pupillaire		

Carte d'élévation postérieure

Valeur (en μ)		
Normale (< 18 μ)		
Suspecte (18 - 20 μ)		
Risque élevé (> 20 μ)		
Présence d'îlots	Oui	Non

Différence d'élévation antéro-postérieure

Valeur (en μ)	
Normale ($\leq 5 \mu$)	
Anormale ($> 5 \mu$)	

Carte pachymétrique

Indice de progression	Min	
	Max	
	Moy	

Carte topométrique

	Zone cornéen du 8 mm		
Q nasal			
Q temporal			
Q inférieur			
Q supérieur			
Q moyen horizontal			
Q moyen vertical		Normal (< 0.50)	
		Limite (0.50-0.55)	
		Anormal (>0.55)	
Q moyen			

Incides kératocône

Indice	Normal	Valeur anormale	Valeur pathologique
ISV		≥ 37	≥ 41
IVA		≥ 0.28	≥ 0.32
KI		≥ 1.07	≥ 1.07
CKI		≥ 1.03	≥ 1.03
Rmin		≥ 6.71	≥ 6.71
IHA		≥ 19	≥ 21
IHD		≥ 0.014	≥ 0.016

Analyse de Zernike

Aberrations totales	Aberrations haut degré	Aberrations de faible degré

RESULTATS

343 patients ont bénéficié d'une topographie cornéenne par Pentacam entre le mois de Décembre 2015 et Décembre 2017.

1. Epidémiologie :

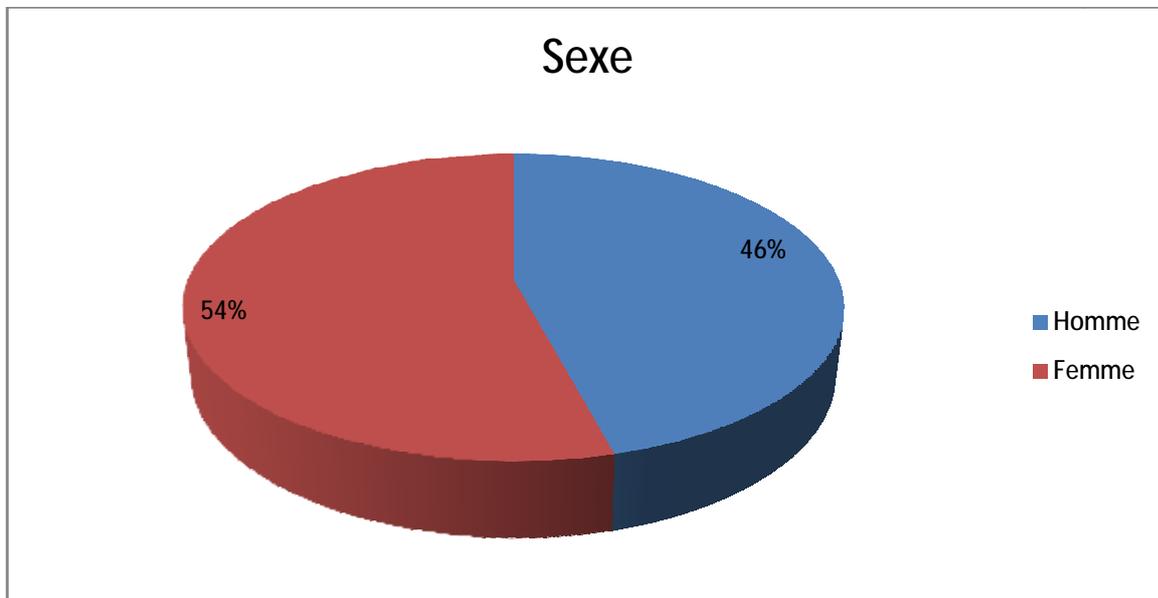
343 patients (15 malades monophthalmes), soit 671 yeux (328 yeux gauches et 343 yeux droits).

A. L'âge :

L'âge moyen de nos patients est de 28,3 ans, avec des extrêmes entre 7 ans et 62 ans.

B. Le sexe :

On note une légère prédominance féminine, avec un sexe ratio H/F de 0.85.



2. Analyse des données de la face antérieure de la cornée:

Le tableau ci-dessous regroupe les moyens des différents paramètres de la face antérieure de la cornée :

	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart type
Valeur Q (30°)	-0,36	-2,11	1,48	0,53574
K1(Dpt)	43,76	35,00	69,70	4,0553
K2 (Dpt)	46,47	38,53	73,20	4,6347
Km (Dpt)	45,05	36,68	71,41	4,2292
Astigmatisme	2,71	0,12	10,84	1,9182
Axe de l'astigmatisme (degré)	88,74	0,00	177,38	72,7926
R périphérique (mm)	7,43	3,61	9,26	0,86297
R minimale (mm)	7,40	4,28	9,74	0,82956

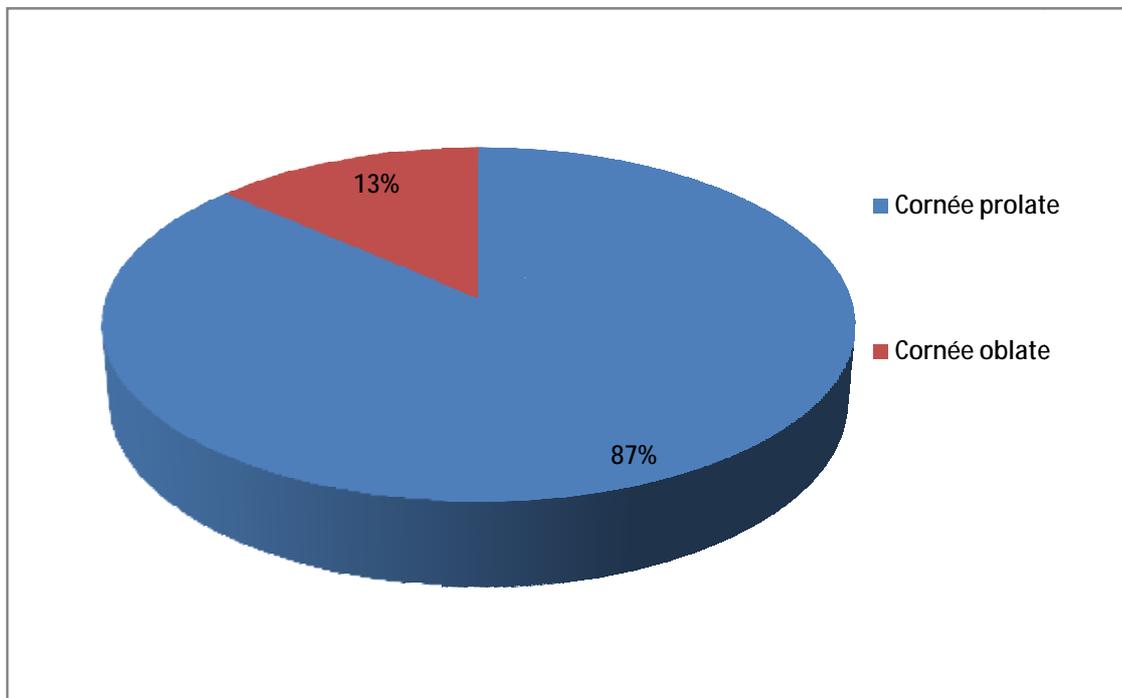
3. Analyse des données de la face postérieure de la cornée:

Le tableau ci-dessous regroupe les moyens des différents paramètres de la face postérieure de la cornée :

	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart type
Valeur Q (30°)	-0,36	-6,50	1,51	0,68268
K1(Dpt)	-6,25	-11,65	-4,61	0,7456
K2 (Dpt)	-6,87	-13,41	-5,60	0,8869
Km (Dpt)	-6,54	-12,46	-5,00	0,7863
Astigmatisme	0,63	0,00	3,32	0,4070
Axe de l'astigmatisme (degré)	94,11	0,00	179,93	74,0158
R périphérique (mm)	6,21	2,20	8,08	0,85890
R minimale (mm)	5,97	2,76	8,12	0,84335

4. L'étude de l'asphéricité cornéenne :

La plupart des cornées, soit 87 %, était des cornées prolates.



5. Etude de la pachymétrie :

Le tableau ci-dessous regroupe les moyens des différents paramètres de la pachymétrie cornéenne :

	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart type
Pachymétrie au centre pupillaire (Dpt)	508,96	190,00	646,00	55,3913
Axe X (mm)	-0,02	-0,92	0,62	0,23292
Axe Y (mm)	0,10	-0,54	1,02	0,24406
Pachymétrie de l'apex (Dpt)	507,84	174,00	647,00	57,5506
Pachymétrie minimale (Dpt)	494,25	6,17	640,00	79,26809
Axe X (mm)	0,47	-1,09	2,02	0,79612
Axe Y (mm)	-0,37	-2,17	2,26	0,44846

6. Etude de la kératométrie maximale :

La kératométrie maximale était de 49,03 Dpt.

	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart type
Kératométrie maximale (Dpt)	49,034	38,9	93,4	7,9802
Axe X (mm)	0,0596	-1,41	3,03	0,46188
Axe Y (mm)	0,0078	-4,61	4,84	1,42975

7. Le facteur KPD (keratometric power deviation):

	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart type
KPD (Dpt)	1,41	0,71	6,43	0,6596

Si le facteur KPD supérieur à +1,5 Dpt la cornée est considérée comme pathologique.

	Cornée normale < +0,75 Dpt	Cornée suspecte +0,75 - +1,5 Dpt	Cornée pathologique > +1,5 Dpt
Pourcentage (%)	1,3	78,7	20,0

8. Etude de la chambre antérieure :

A. Volume de la cornée :

La moyenne du volume de la cornée était de 58,72 mm³ avec des extrêmes de 48,9 – 74,9 mm³.

B. Volume de la chambre antérieure :

La moyenne du volume de la chambre était de 188,82 mm³ avec des extrêmes de 79,0 – 349,0 mm³.

Le volume de la chambre antérieure est normal lorsqu'il excède 100 mm³.

	Normal \geq 100 mm ³	Anormal < 100 mm ³
Pourcentage (%)	98,7	1,3

C. Profondeur de la chambre antérieure :

La moyenne du volume de la chambre était de 3,70 mm³ avec des extrêmes de 2,29 – 6,34 mm³.

La profondeur de la chambre antérieure est normal lorsqu'il supérieure ou égale à 2,8 mm.

	Normale $\geq 2,8$ mm	Anormale $< 2,8$ mm
Pourcentage (%)	94,2	5,8

D. Pression intra-oculaire corrigée :

La moyenne des pressions intra-oculaires qui doit être ajoutées à la pression intra-oculaire mesurée était de +1,65 mmHg avec des extrêmes entre -3,90 et +8,10 mmHg

E. Degré de l'angle irido-cornéen :

La moyenne des mesures de l'angle irido-cornéen était de 39,79° avec des extrêmes entre 16,8° et 57,0°.

Un angle irido-cornéen normal doit être supérieure ou égal à 25°.

	Normal $\geq 25^\circ$	Anormal $< 25^\circ$
Pourcentage (%)	91,9	8,1

F. Diamètre pupillaire (mm):

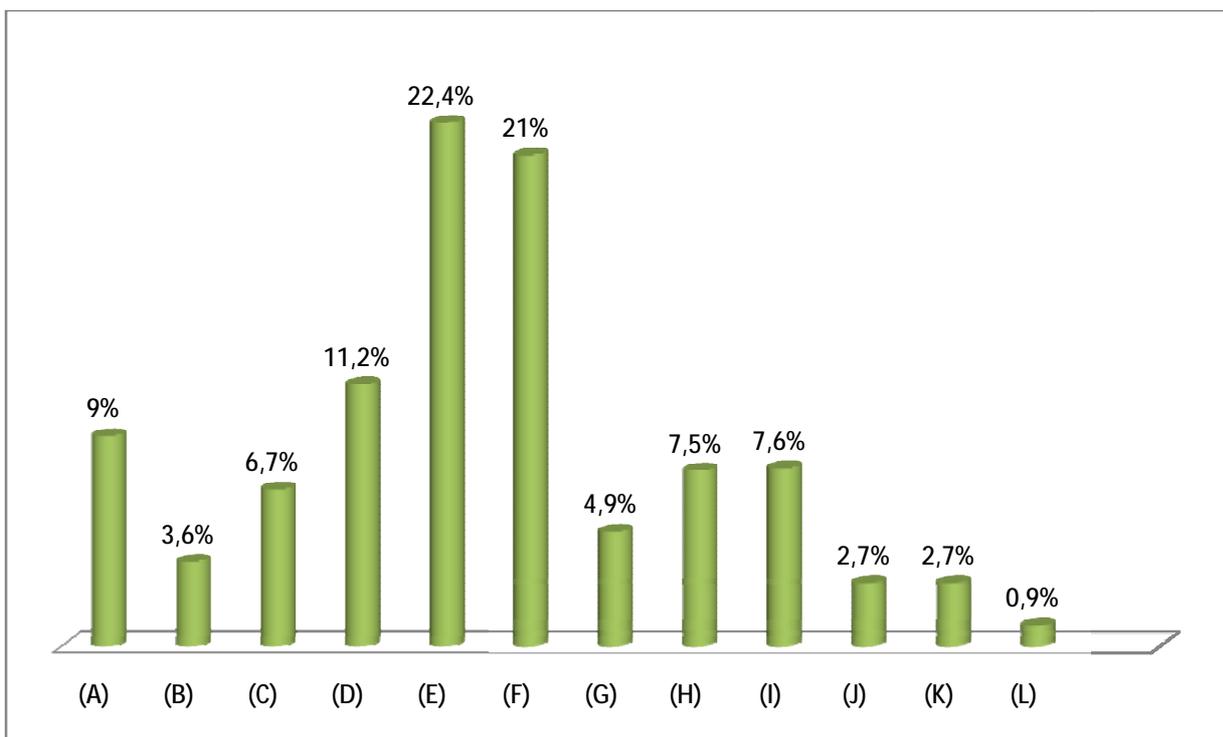
	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart type
Diamètre pupillaire (mm)	3,3076	1,63	7,22	1,06966

9. Analyse des cartes topographiques :

A. la carte de courbure sagittale de la face antérieure :

Ø Les types :

Les types des cartes de courbure sagittale de la face antérieure de la cornée, étaient dominés par irrégulier suivi par nœud de papillon symétrique, respectivement 22,4% et 21%. La dégénérescence marginale pellucide était la moins fréquemment retrouvée (0,9%).

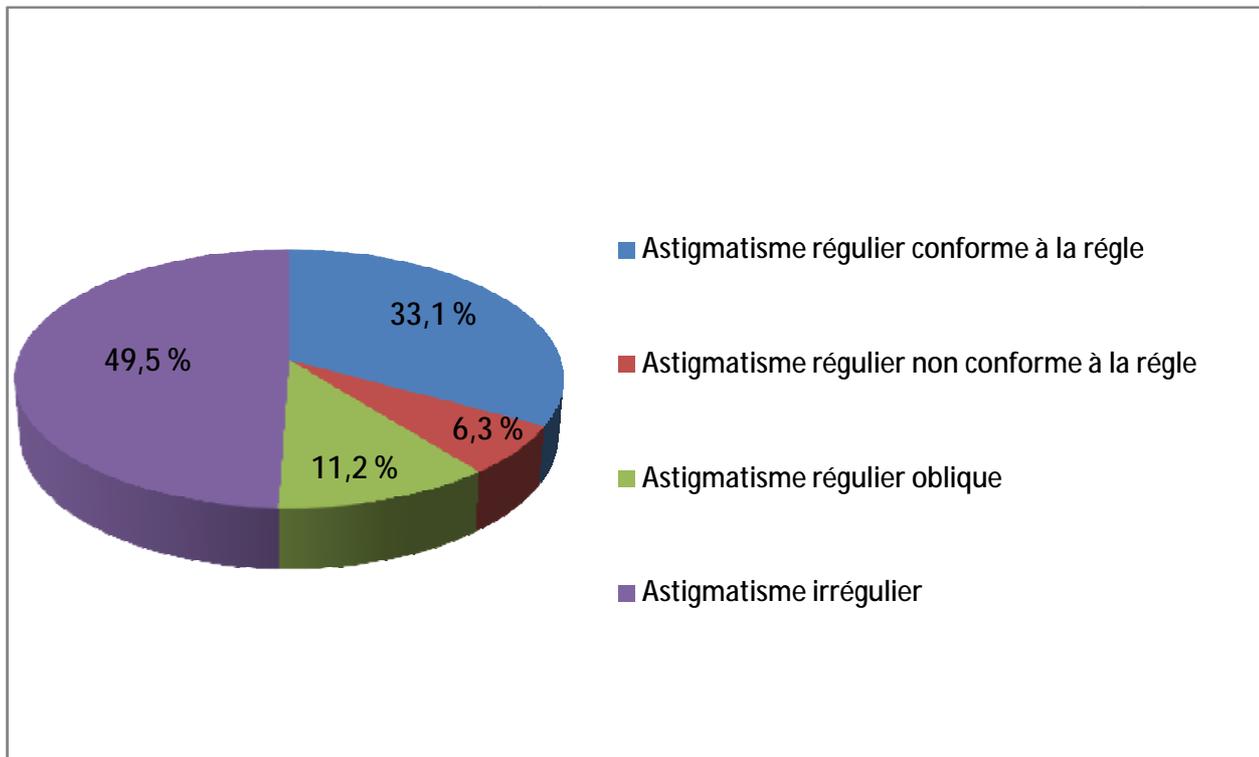


- (A) Rond
- (B) Ovale
- (C) Inclinaison supérieure
- (D) Inclinaison inférieure
- (E) Irrégulier
- (F) Nœud de papillon symétrique
- (G) Nœud de papillon symétrique + Axes radiaux obliques (SRAX)
- (H) Nœud de papillon asymétrique + Inclinaison inférieure
- (I) Nœud de papillon asymétrique + Inclinaison supérieure
- (J) Nœud de papillon asymétrique + SRAX
- (K) Nœud de papillon asymétrique + SRAX inversé
- (L) Dégénérescence marginale pellucide (DMP)

Ø L'astigmatisme :

L'astigmatisme régulier est retrouvé dans 50,5 % des yeux, dont le plus dominant (soit 33,1 % des yeux) est l'astigmatisme régulier conforme à la règle.

L'astigmatisme irrégulier est retrouvé dans 49,5 % des yeux.

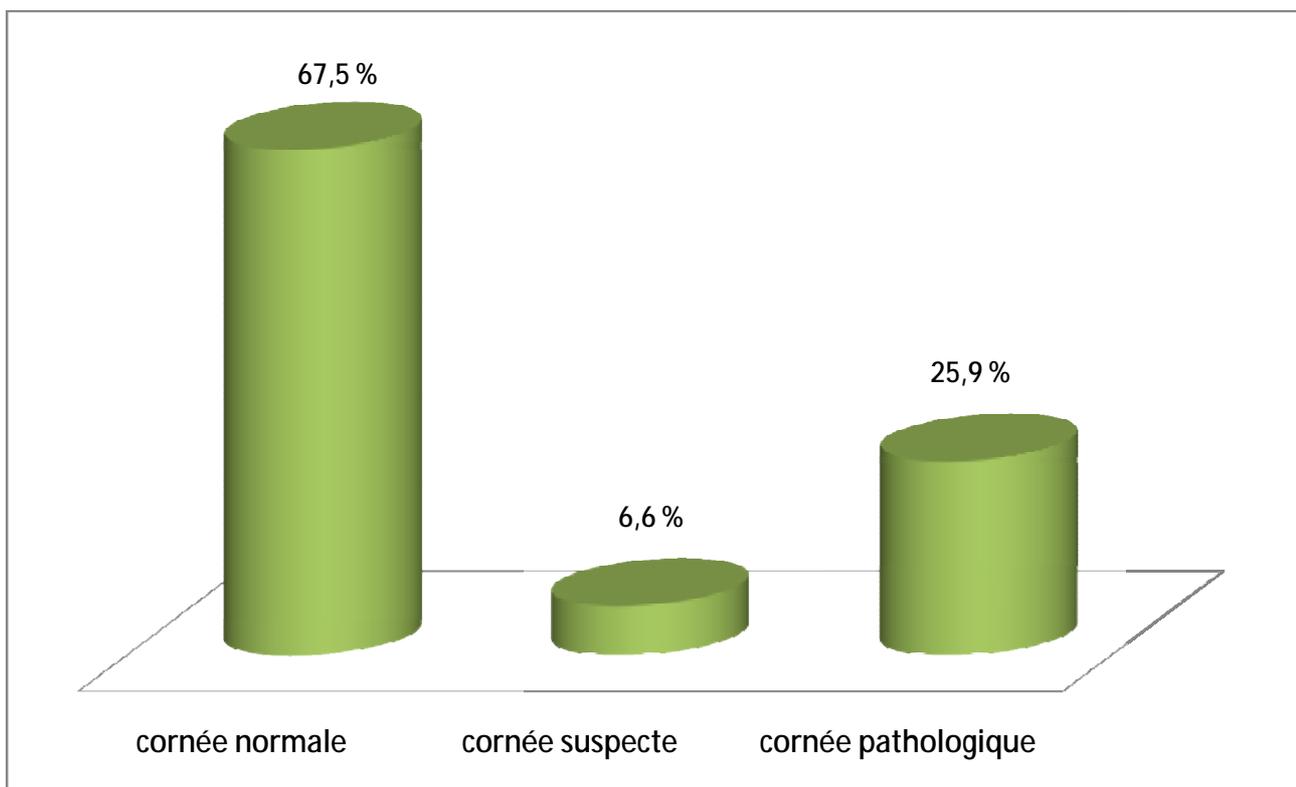


B. Carte d'élévation antérieure :

La moyenne de l'élévation antérieure dans les 4 mm centraux était de 13,07 μ (1 – 71 μ).

Présence d'ilots sur la carte d'élévation antérieure était constatée dans 18,3 % des yeux.

L'élévation antérieure était normale dans 67,5 % des yeux.

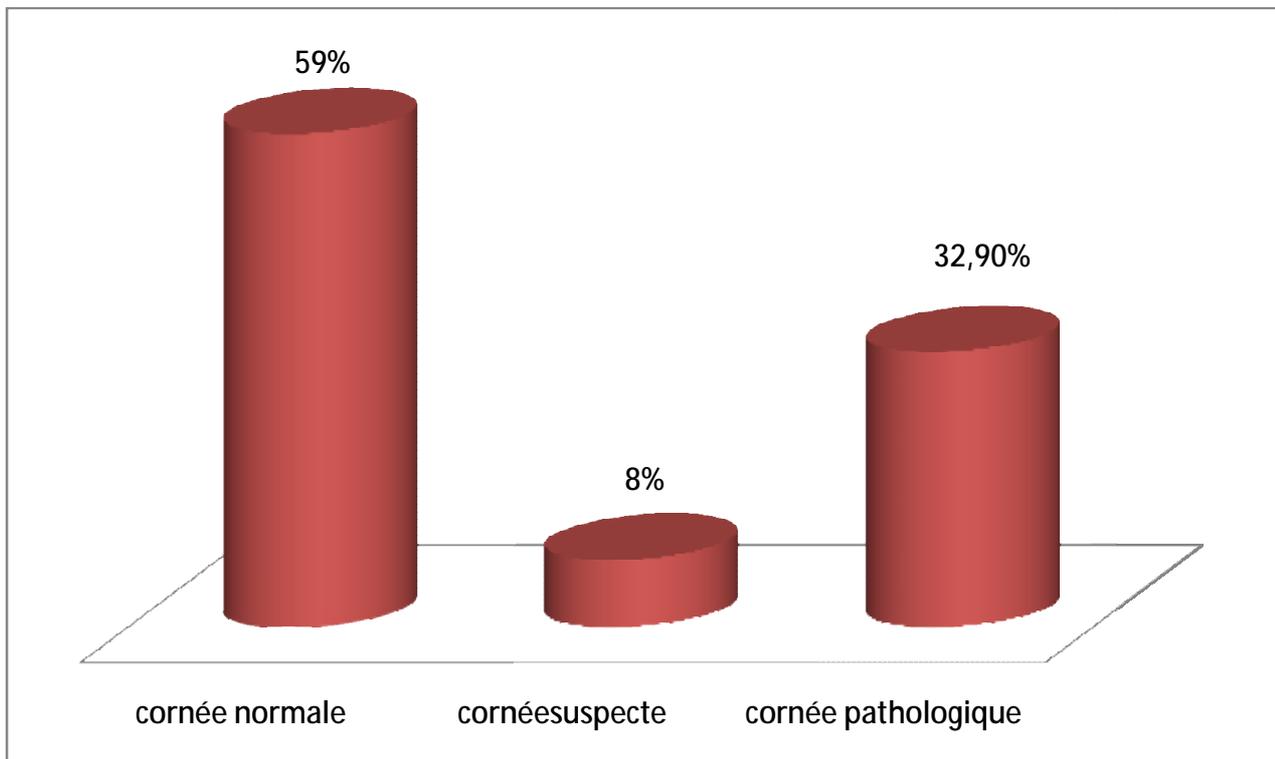


C. Carte d'élévation postérieure :

La moyenne de l'élévation antérieure dans les 4 mm centraux était de 24,3 μ avec des extrêmes entre -3 et 154 μ .

Présence d'ilots sur la carte d'élévation postérieure était constatée dans 23,2 % des yeux.

L'élévation antérieure était normale dans 59 % des yeux.



La différence d'élévation antéro-postérieure :

La moyenne de la différence d'élévation antéro-postérieure dans les 4 mm centraux était de 11,2 μ avec des extrêmes entre -17 et 112 μ .

La différence d'élévation antéro-postérieure était normale dans 46,5 % des yeux. Plus de la moitié des yeux (soit 53,5 %) avait une cornée suspecte ou pathologique.

D. Carte pachymétrique :

Ø La relation entre l'apex de la cornée et le point le plus fin :

L'épaisseur : La différence de la pachymétrie de l'apex et celle du point le plus fin ne doit pas dépasser 10 µ. 152 (soit 22,7%) yeux étaient suspects.

	Cornée normale <10 µ	Cornée suspecte ≥10 µ
Pourcentage (%)	77,3	22,7

Les coordonnées : Quand la différence entre la valeur du Y de l'apex et celle du Y du point le plus fin ne doit pas dépasser 0,5 mm. 206 (soit 30,7 %) yeux étaient suspects alors que 39 (5,8 %) étaient pathologiques.

	Cornée normale <0,5mm	Cornée suspecte 0,5- 1 mm	Cornée pathologique > 1 mm
Pourcentage (%)	63,5	30,7	5,8

Ø Pachymétrie au niveau du cercle de 4mm :

	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart type
Pachymétrie supérieure (Dpt)	567,1	248,0	737,0	54,0232
Pachymétrie inférieure (Dpt)	542,039	345,0	678,0	51,0065

La différence de pachymétrie entre le supérieur et l'inférieur ne doit pas dépasser 30 µ. 272 (soit 40,5 %) yeux étaient suspects.

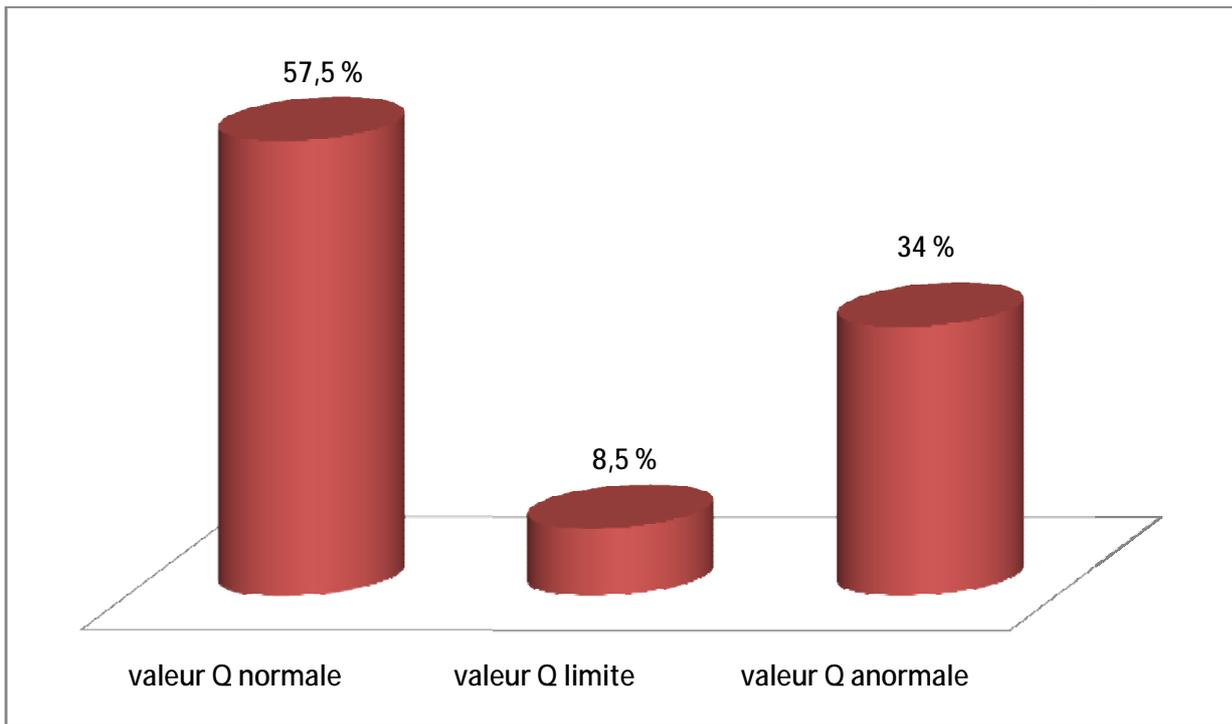
	Cornée normale < 30 µ	Cornée suspecte ≥ 30 µ
Pourcentage (%)	59,5	40,5

E. Carte topométrique :

Données de la valeur Q au niveau de la zone de 6 mm :

	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart type
Q nasal	-0,41	-2,40	1,54	0,63150
Q temporal	-0,25	-1,74	1,47	0,48399
Q inférieur	-0,44	-4,71	1,44	0,68813
Q supérieur	-0,34	-2,46	1,68	0,64501
Q moyen horizontal	-0,49	-3,30	2,21	2,26162
Q moyen vertical	-0,41	-5,00	1,46	0,68757
Q moyen	-0,36	-2,11	1,48	0,53570

La valeur Q était normale dans 57,5 % des yeux, le un tiers des yeux avec une valeur Q anormale

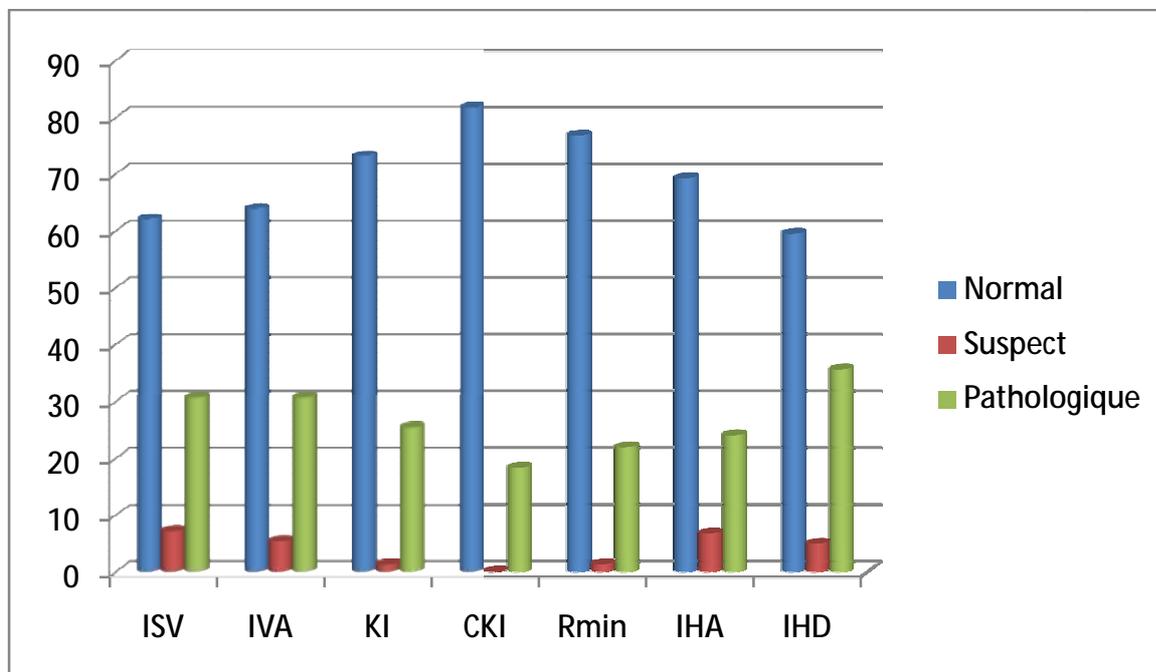


10. Les indices topographiques :

Ø Indices de progression :

	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart type
Indice de progression minimal	1,16	-3,4	17,61	1,8775
Indice de progression maximal	2,17	0,00	42,70	4,3056
Indice de progression moyen	2,00	0,6	33,36	3,2711

Ø Autres indices :



Indice	Normal	Valeur anormale	Valeur pathologique
ISV	<37	≥ 37	≥ 41
IVA	<0.28	≥ 0.28	≥ 0.32
KI	<1.07	≥ 1.07	≥ 1.07
CKI	<1.03	≥ 1.03	≥ 1.03
Rmin	<6.71	≥ 6.71	≥ 6.71
IHA	<19	≥ 19	≥ 21
IHD	<0.014	≥ 0.014	≥ 0.016

11. L'analyse de Zernike :

	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart type
Aberrations totales	1,505	0,512	8,912	1,272275
Aberrations de faible degré	1,488	0,492	8,593	1,291733
Aberrations de haut degré	0,374	0,123	2,365	0,361568

12. Enantiomorphisme :

Les deux cornées se ressemblent chez 220 patients (soit 64,1 %), 108 de patients (31,5 %) n'avaient pas d'enantiomorphisme, 15 malades étaient des monophthalmes.

DISCUSSION

I. HISTORIQUE :

La vidéokératographie d'aujourd'hui a été précédée du développement et de la fusion de deux techniques qui étaient utilisées au siècle passé : la kératométrie et la kératoscopie. Les premières traces d'intérêt connues pour la topographie cornéenne remontent au début du XVIIe siècle lorsque Scheiner étudia les images formées par la réflexion de billes sur la cornée [17].

En 1880, Placido réalisa un disque plat avec une série de cercles concentriques noirs et blancs (Figure. 1). Les réflexions cornéennes des cercles pouvaient être observées par une petite ouverture centrale tandis que le disque était maintenu le long de la ligne de visée [18].

Le kératomètre clinique a été conçu à la fin du XIXe siècle par Javal et Schiotz et développé à l'échelle commerciale par Haag-Streit. Il utilisait la valeur du rayon de courbure le long des deux principaux méridiens à des points opposés et situés entre 3 et 4 mm de distance sur la cornée paracentrale, et supposait que la cornée était parfaitement sphérocyindrique.

Pour accroître la qualité et la quantité des informations de courbure obtenues avec les kératomètres cliniques, des photokératoscopes ont été développés. Ils ont permis la capture de la réflexion des mires du disque de Placido projetées sur le dôme cornéen. Les déformations propres à chaque forme de cornée pouvaient être appréciées sur une base qualitative par simple inspection des mires du kératoscope (Figure. 2). Un profil ovale régulier indiquait un astigmatisme régulier. Les mires plus grosses, plus larges et plus écartées les unes des autres que la normale indiquaient une surface cornéenne sous-jacente plus plate. En 1899, Javal a placé des disques de Placido dans son ophtalmomètre, à l'arrière du segment courbé portant les mires ophtalmométriques, pour tenter de fournir des mesures

quantitatives de la forme de la cornée. Gullstrand a toutefois été le premier à photographier l'image cornéenne formée par la réflexion d'un disque de Placido[19].

Il a publié un article en 1896, dans lequel il décrivait une méthode pour déterminer la distance entre deux points sur une photographie kératoscopique, ouvrant ainsi la voie à la mesure du rayon de courbure instantané grâce à un algorithme de tracé d'arc de cercle [20]. Une partie de ses travaux lui a valu le prix Nobel en 1911. Les travaux ultérieurs importants dans l'étude de la topographie cornéenne ont été réalisés par Mandell, qui a modélisé le profil cornéen à l'aide de sections coniques [21,22], et Bonnet, qui a développé des méthodes pour représenter l'élévation cornéenne à l'aide de mesures stéréophotographiques [23].

Nés à l'âge moderne, les vidéokératoscopes ont par la suite été développés afin d'utiliser des méthodes informatisées de capture des informations des images kératoscopiques et de permettre la détection d'une quantité de déformations plus faibles que celles détectées par les photokératomètres. Le degré d'analyse d'une cornée individuelle est basé sur l'analyse de plusieurs milliers de points et la représentation de la courbure de la cornée prend généralement la forme d'une carte colorée du rayon de courbure local de la surface cornéenne. La généralisation rapide de cette technique a permis d'évaluer les détails topographiques de la cornée normale, qui apparaissent souvent chez un même individu comme des images en miroir (énantiomorphisme) avec une topographie asphérique souvent légèrement asymétrique.

Même si des algorithmes basés sur la technique de Placido ont été développés pour calculer l'élévation cornéenne, l'acquisition directe du relief cornéen a été rendue possible par la technologie du balayage d'une fente lumineuse introduite dans les années 1990 par Orbtek [24].

La technique d'imagerie de Scheimpflug a ensuite été proposée afin de générer des données d'élévation et de pachymétrie.

Une troisième technique d'élévation topographique destinée à être utilisée pour la chirurgie réfractive est la stéréographie par trame, qui est basée sur les principes de la stéréophotographie [25,26].

La surface cornéenne est reconstruite en trois dimensions sur la base d'une triangulation de l'image capturée d'une grille projetée à un angle connu sur la surface cornéenne colorée à la fluorescéine. Les couleurs sur la carte d'élévation représentent la hauteur de la cornée par rapport à une surface de référence, qui est généralement choisie comme étant une sphère.



Figure 1. Exemple d'un profil obtenu à l'aide d'un disque de Placido.

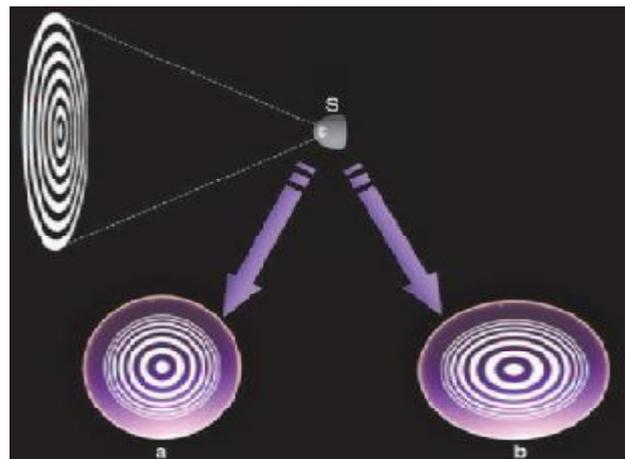


Figure 2. Déformation des images des mires de Placido réfléchies sur une surface S ayant une géométrie de surface sphérique (a) et toroïdale (b).

II. PRINCIPES : [27] [28] [29]

La topographie cornéenne permet de recueillir des informations relatives à la courbure ou au relief (élévation) de la cornée, grâce à la projection et l'analyse du reflet d'un motif lumineux éclairant ou balayant la cornée. Les images recueillies sont analysées de façon automatisée par un logiciel, et des cartes en couleur sont fournies au praticien pour interprétation.

Il existe actuellement de nombreuses méthodes d'évaluation pour la topographie cornéenne, qui peuvent essentiellement être considérées comme autant de développements autour du même thème fondamental : fournir au clinicien une image en deux dimensions pertinente et représentant avec fidélité une propriété de la surface tridimensionnelle de la cornée.

Les instruments qui mesurent et décrivent avec le plus de précision les propriétés topographiques de la surface cornéenne peuvent être classés en trois grands types : Topographie cornéenne par réflexion spéculaire, par balayage par fentes lumineuses et par camera rotative Scheimpflug (dont le Pentacam fait partie)

A. Topographie cornéenne par réflexion spéculaire :

Une photographie numérique de l'image du reflet cornéen des mires est ensuite effectuée et l'appareil calcul la courbure en chaque point de l'appareil selon la déformation des mires (cette déformation est induite par la géométrie de la cornée explorée). L'utilisation du topographe « OPD scan III » (Nidek) (Figure. 3) permet par exemple une analyse fine des variations de courbure de la face antérieure de la cornée (ce topographe permet également le recueil de données aberrométriques). Il est équipé d'un logiciel bâti autour d'un réseau neuronal capable de réaliser un diagnostic automatisé (logiciel corneal navigator, indices de

Klyce & Maeda). Le calcul des cartes de courbure est accompli à partir de l'image numérisée du reflet cornéen du disque de Placido.

B. Topographie par balayage par fentes lumineuses :

Le topographe Orbscan (Bausch and Lomb/Technolas perfect vision) (Figure. 4) permet également d'étudier les variations de la courbure de la cornée. Il réalise un balayage optique grâce à des fentes lumineuses qui « scannent » la cornée, ce qui permet de reconstruire tridimensionnellement le volume cornéen, et d'étudier les variations du relief cornéen non seulement antérieur mais également postérieur.

L'épaisseur « point par point » de la cornée (pachymétrie optique) peut être calculée. Cette épaisseur correspond simplement à la « distance » entre les faces antérieure et postérieure de la cornée. Il est également muni d'un disque de Placido qui permet un recueil direct de données de la courbure antérieure de la cornée.

C. Topographie par camera rotative Scheimpflug :

Les topographes Pentacam (Oculus) (Figure. 5), TMS 5 (Tomey) et Galilei (Ziemer) disposent d'un système de camera Scheimpflug pour l'étude de l'épaisseur et de l'élévation de la cornée. Ils sont également munis d'un disque de Placido (sauf le Pentacam).

Comme avec l'Orbscan, le balayage (rotatif) par une fente lumineuse permet d'établir des relevés de tomographie cornéenne, qui s'intéresse aux cartes de l'épaisseur cornéenne en chaque point, et l'étude de ses variations. Le dépistage précoce des formes infra cliniques de kératocône repose en partie sur le recueil de ces données.



Figure 3. OPD SCAN III : Disque de Placido



Figure 4. Fente lumineuse (coupe cornéenne, Orbscan)

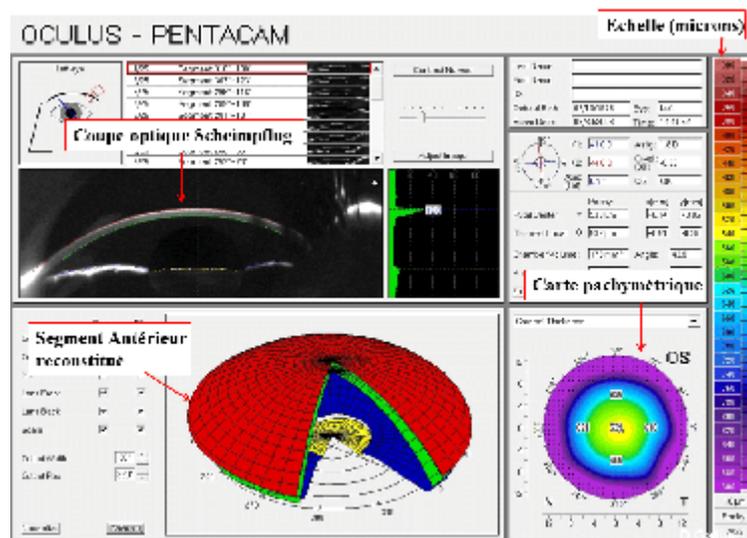


Figure 5. Interface de la Pentacam

III. DESCRIPTION DE L'APPAREIL : [30]

Le Pentacam d'Oculus est principalement composé d'une caméra rotative Scheimpflug (Figure 6 et 7). Le processus d'acquisition par rotation génère des images Scheimpflug tridimensionnelles et un tableau matriciel possédant un maillage fin au centre, en raison de l'acquisition par rotation.

Il suffit de deux secondes au maximum pour générer une acquisition complète du segment antérieur de l'œil. Tout mouvement de l'œil en cours d'acquisition est détecté et corrigé grâce à une seconde caméra. Le Pentacam calcule un modèle tridimensionnel du segment antérieur composé de 25.000 points d'élévation réelle.

La topographie et la pachymétrie des surfaces antérieure et postérieure de la cornée, du limbe au limbe, sont déduites de ces données. L'analyse du segment antérieur est caractérisée par le calcul de l'angle irido-cornéen, le volume de la chambre antérieure et la profondeur de cette chambre.

Enfin, une fonction de densitométrie permet une évaluation quantitative du cristallin.

Les images Scheimpflug générées au cours d'une acquisition sont compilées par l'appareil de façon à être transmises sous format numérique et compressé au computer.

Lorsque le computer reçoit les informations de l'appareil, le programme calcule le modèle 3D de la chambre antérieure et l'ensemble des informations caractéristiques qui en découlent. Les mesures sont alors affichées à l'écran sous forme de cartes colorées, de diagrammes ou de représentations 3D.

Les figures 8 et 9 permettent de comprendre le principe de Scheimpflug. La Figure 8. illustre l'image dans la caméra normale; remarquez que les trois plans (Le plan de l'image, le plan de l'objectif et le plan du film) sont parallèles. La Figure 9. illustre la caméra Scheimpflug. La loi de Scheimpflug dit que pour obtenir une plus

grande profondeur du focus , déplacez les trois plans, à condition que le plan de l'image, le plan de l'objectif et le plan du film se coupent sur une ligne ou un point d'intersection. Les avantages de la caméra Scheimpflug sont: une plus grande profondeur de champ et une image nette, mais déformée.



Figure 6. Le système Pentacam. Fente centrale avec caméra Scheimpflug rotative concentrique latérale

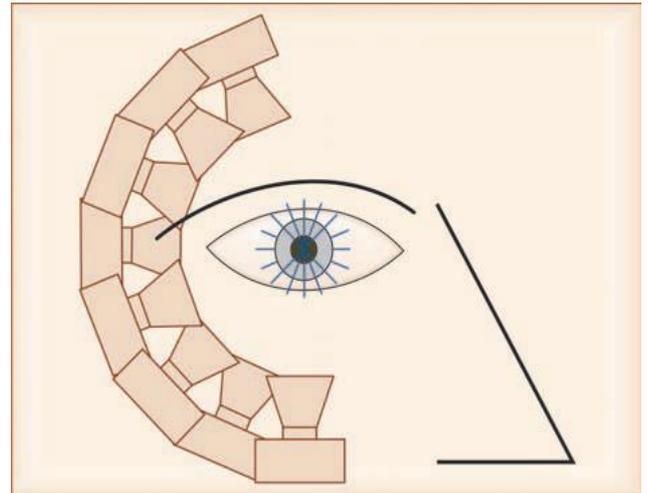


Figure 7. Image capturée par la caméra rotative du Pentacam.

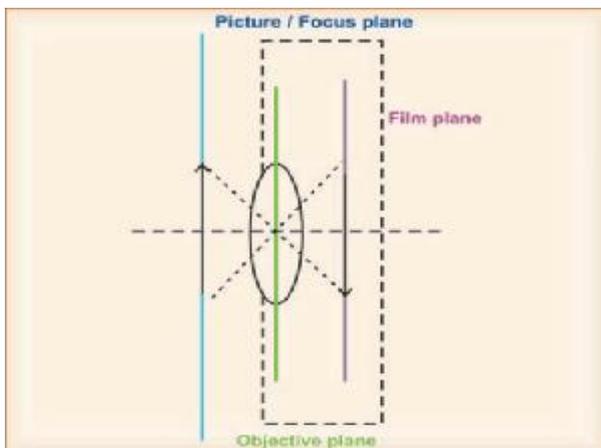


Figure 8. L'image dans l'appareil photo ordinaire. Le principal inconvénient est la profondeur de champ limitée, car le plan de l'image, le plan de l'objectif et le plan du film sont parallèles.

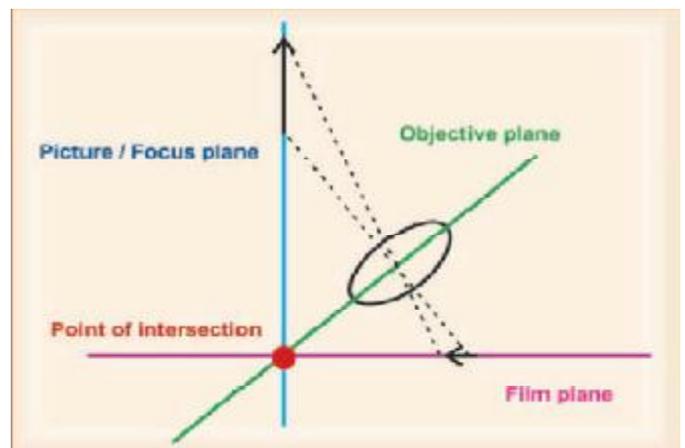


Figure 9. L'appareil photo Scheimpflug. Profondeur de mise au point plus élevée, image nette mais déformée. Le plan de l'image, le plan de l'objectif et le plan du film se coupent en une ligne ou un point d'intersection.

IV. Réalisation de l'examen : [30]

A. Comment effectuer un examen :

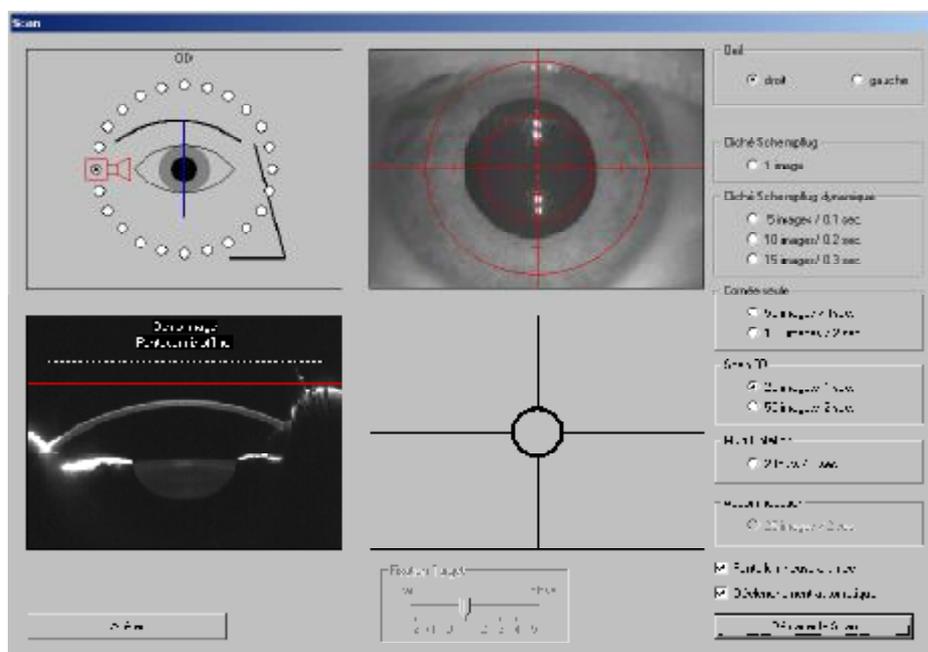
- Lancez le programme d'acquisition en cliquant sur "Examen / Scan".
- Dans le champ "*Œil*", l'œil étudié est automatiquement renseigné par l'appareil suivant sa position.
- Le schéma qui apparaît en haut à gauche de l'écran s'appelle "*Vue d'orientation*". Il indique l'œil examiné et la position occupée par la caméra.
- Si l'option "*Cliché Scheimpflug*" est sélectionnée, une seule image Scheimpflug sera acquise. La position de la caméra aura été choisie préalablement sur le schéma d'orientation en cliquant sur les cercles blancs de ce schéma.
- Si l'une des options du type "*Cliché Scheimpflug Dynamique*" est sélectionnée, 5, 10 ou 15 images Scheimpflug seront acquises avec une même position de la caméra. La moyenne de ces images sera faite et représentée sous forme d'une unique image. Là encore, la position de la caméra sera choisie sur le schéma d'orientation en cliquant sur les cercles blancs de sélection. Ce genre d'acquisition est utile pour une étude purement densitométrique du cristallin ou une bonne visualisation d'un implant.
- En mode "*Cornée seule*", l'acquisition est focalisée sur la cornée qui sera uniquement acquise. Il est possible d'acquérir 50 images en 1s ou bien 100 images en 2s. Toutes les autres interfaces du segment antérieur ne seront pas acquises. Ce mode permet d'augmenter le nombre de points acquis sur les faces de la cornée et ainsi d'augmenter la précision des mesures. L'acquisition démarre toujours avec la caméra en position supérieure et donc la coupe à 180°.

- Si l'une des options du type "*Scan 3D*" est sélectionnée, 25 ou 50 images Scheimpflug seront prises lors d'une acquisition en rotation. L'unique différence entre les possibilités du "*3D Scan*" est le nombre de points de mesure acquis et la durée de l'examen. Ce type d'acquisition est nécessaire pour la mesure de la pachymétrie, de la topographie et de la modélisation 3D de la chambre antérieure. Notez que seule la portion de l'image comprise entre les deux lignes pointillées blanches sera acquise.
- Le mode "*Cliché Scheimpflug Dynamique*" utilise un temps d'exposition plus long pour chaque image Scheimpflug. Ceci permet une meilleure visualisation des implants phiques. Dans ce mode, aucune carte ni aucun indice ne sont calculés.
- Le mode "*Multi-rotation*" capture les images Scheimpflug lors de 2 rotations complètes autour de l'œil.
- Le mode "*Accommodation*" permet d'acquérir 25 images alors que le point de fixation se déplace. Cette mire se déplace de $-5D$ à $+2D$ en continu. Toutes les images sont acquises avec une même position de la caméra et peuvent donc être comparées entre elles.
- Le curseur "*Mire de fixation*" permet de déplacer manuellement le point de fixation par pas de $0,5D$, de $-5D$ à $+2D$. Ceci est particulièrement utile lors de l'examen de patients ayant une forte amétropie.
- L'option "*Déclenchement automatique*" active (resp. désactive) le déclenchement automatique de la mesure.
- L'"écran d'alignement" (en bas au centre) donne des informations sur les déplacements de l'appareil à effectuer pour centrer la tête optique. Lorsqu'une croix noire apparaît au centre du cercle ainsi que quatre traits noirs autour, l'acquisition se déclenche automatiquement.

- En plus du déclenchement automatique, il est possible de démarrer manuellement l'acquisition en pressant la pédale ou en cliquant sur le bouton "Démarrer le Scan".
- En cliquant sur le bouton "Arrêter", l'acquisition est interrompue.
- L'option "Fente lumineuse allumée" permet d'activer ou non l'illumination de l'œil. Cette option est utilisée pour effectuer des dépistages sur l'état du cristallin sans avoir à dilater le patient. En sortie d'usine, le Pentacam est configuré avec cette option activée. Si l'on décoche cette case, la fente lumineuse s'éteint et l'œil du patient se dilate. Une fois la dilatation stabilisée, on peut acquérir une image.
- L'image Scheimpflug affichée en temps réel sur la partie gauche de l'écran, renseigne sur la position de l'appareil par rapport à l'œil du patient dans la direction Z, c'est-à-dire dans le mouvement avant-arrière. L'image de la pupille en haut à droite de l'écran donne la position de l'appareil par rapport à l'œil du patient dans les directions horizontale (gauche-droite) et verticale (haut-bas).
- L'acquisition démarre automatiquement dès que l'appareil est bien centré et que l'option "*Déclenchement automatique*" est cochée. Sinon, pressez la pédale ou bien cliquez sur le bouton "Démarrer le Scan".
- Avant de lancer la mesure, demandez au patient d'ouvrir les yeux au maximum afin d'obtenir un champ de mesure de la chambre antérieure aussi large que possible.
- Une fois la mesure acquise, l'image est transférée au computer sous forme numérique puis affichée. La procédure d'analyse de l'image commence alors.

TOPOGRAPHIE CORNEENNE PAR PENTACAM Quel apport ?

- En mode "*Cliché Scheimpflug Dynamique*", les valeurs moyennes de toutes les images acquises sont calculées et l'image moyennée apparaît sur la page de visualisation.
- Si le mode "*Scan 3D*" a été sélectionné, la première image Scheimpflug acquise est affichée sur la page de visualisation. Toutes les autres images sont accessibles individuellement.
- A partir des images Scheimpflug acquises, l'appareil effectue la modélisation tridimensionnelle du segment antérieur, et en déduit les données de topographie, pachymétrie et les paramètres caractéristiques de la chambre antérieure.
- Les zones qui n'ont pas pu être mesurées et qui sont restées cachées (cils, paupières...) sont soit extrapolées et spécifiées par des points noirs, soit laissées en blanc sur les topographies et la carte de pachymétrie, suivant le paramètre choisi dans le panneau de configuration du logiciel.



B. Installation du patient et acquisition des mesures :

- Sélectionnez une fiche patient dans la base de données.
- Lancez le module "Pentacam" et la fonction "Examen / Scan".
- Choisissez la partie du segment antérieur à étudier.
- Sélectionnez les paramètres d'acquisition correspondants.
- Ajustez la mentonnière de façon à ce que les yeux du patient soient au niveau du trait noir dessiné sur l'un des montants de la mentonnière.
- Si la pièce n'est pas plongée dans le noir, placez le drap noir au-dessus de la tête du patient et du Pentacam.
- Placez la tête optique de l'instrument de façon à ce que la fente lumineuse bleue illumine la pupille.
- Ajustez la position de façon à ce que la pupille apparaisse à l'écran.
- Ajustez alors le focus de façon à voir la cornée sur l'image Scheimpflug en temps réel à l'écran.
- Avertissez le patient de regarder fixement la mire rouge ou noire située au centre de la coupole noire, au milieu de la fente lumineuse bleue.
- Ajustez la position du Pentacam à l'aide du réticule rouge qui apparaît superposé à l'image caméra située en haut à droite de façon à ce que la pupille soit centrée sur ce réticule (préajustement).
- Réglez la distance entre le Pentacam et l'œil du patient de façon à ce que l'apex de la face antérieure de la cornée, marqué d'un point rouge, se trouve sur la ligne rouge sur l'image Scheimpflug située sous le schéma d'orientation.
- L'image est automatiquement prise dès que le centrage est correct et si le déclenchement automatique a été activé. Sinon, pressez la pédale ou cliquez sur le bouton "Démarrer le Scan".

- Vérifiez la qualité de l'examen : En cliquant avec le bouton gauche de la souris sur l'item "QS", la fenêtre ci-dessus apparaît.

∅ Si certains commentaires sont inscrits sur fond jaune, les résultats de l'examen devront être vérifiés minutieusement. Si vous avez un doute, il est préférable de refaire une acquisition.

∅ Si les commentaires apparaissent sur fond rouge, des erreurs importantes se sont produites lors de l'acquisition ou de la modélisation mathématique. Dans ce cas, il est impératif d'acquérir un nouvel examen.

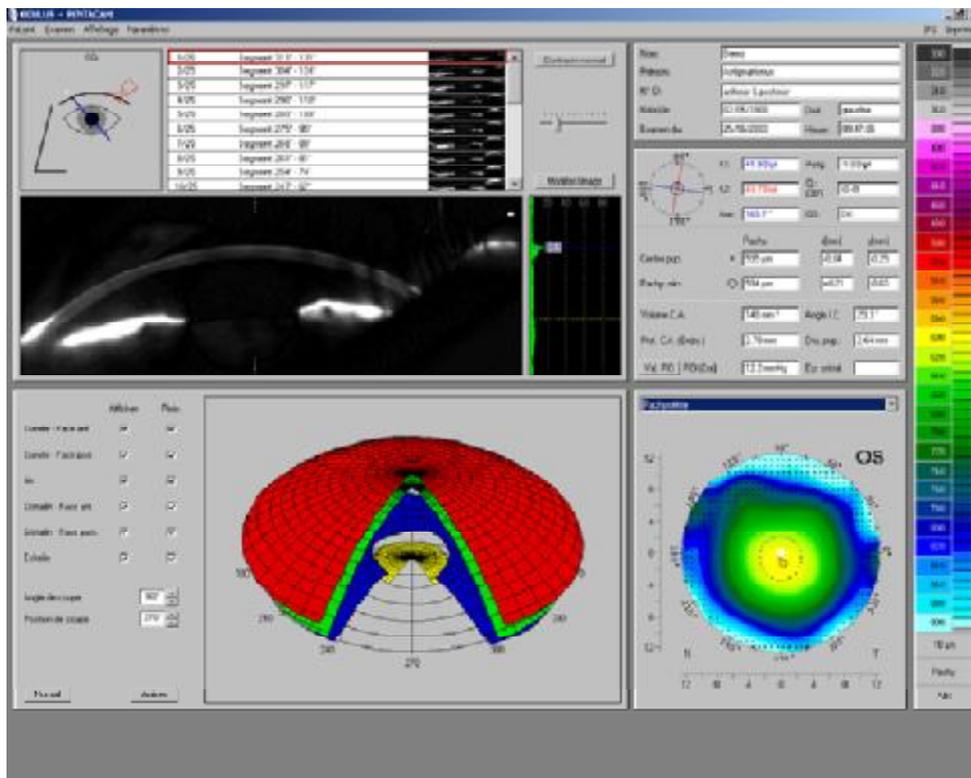
Informations nécessaires à l'acquisition des images Scheimpflug

Les informations suivantes récapitulent le paramétrage de la machine à privilégier suivant le type d'information recherché.

Zone à examiner	Mode d'examen	Images	Remarques
Topographie	3D-Scan	25 à 50	Aucune dilatation pupillaire nécessaire
Pachymétrie	3D-Scan	25 à 50	Aucune dilatation pupillaire nécessaire
Analyse de la Chambre Antérieure	3D-Scan	25 à 50	Ne pas dilater !
Implant	Dynamique	5-15	Pour une analyse du cristallin et des implants, il est nécessaire de dilater la pupille
	3D-Scan et Enh. Dyn	25-50	
Densitométrie	3D-Scan	25-50	Pour une analyse du cristallin et des implants, il est nécessaire de dilater la pupille
	Enh. Dyn		Pour effectuer un suivi dans le temps, il est nécessaire de toujours prendre le même nombre d'images.

C. Visualisation d'un examen :

1. La vue générale :



Vue générale qui combine différentes représentations des résultats et offre un aperçu rapide et complet du segment antérieur.

La vue générale d'un examen contient les informations suivantes :

- Les données du patient,
- La position de la caméra et de la fente lumineuse pour chaque image Scheimpflug,
- L'image scheimpflug et densitométrie: L'image scheimpflug est affichée. Sur cette image apparaît une ligne verticale pointillée blanche. La courbe de densitométrie le long de cette image est affichée sous forme d'un graphique vert et indique le degré d'opacité du cristallin.
- La représentation tridimensionnelle : la représentation tridimensionnelle des surfaces principales du segment antérieur est affichée, c'est-à-dire les faces antérieures et postérieures de la cornée, l'iris et la face antérieure du cristallin.

TOPOGRAPHIE CORNEENNE PAR PENTACAM Quel apport ?

- La valeur kératométrique : Les rayons de courbures centraux de la cornée, l'astigmatisme et l'axe correspondant ainsi que l'excentricité sont affichés. L'excentricité moyenne et le diamètre pupillaire moyen sont aussi indiqués.

- Les cartes de pachymétrie et de topographies : des cartes de topographie et de pachymétrie sont affichées pour une visualisation et une analyse rapide. Ces informations sur la cornée sont données sous forme de cartes colorées. Toutes ces cartes sont centrées sur l'apex cornéen. L'apex est défini comme la portion de la cornée ayant un gradient mathématique égal à zéro.

- L'échelle de couleur : l'échelle de couleur indique l'équivalence entre les couleurs de la cartographie ainsi que les valeurs numériques.

- L'analyse de la chambre antérieure : l'épaisseur cornéenne et de la chambre antérieure y sont représentées. L'analyse de la chambre antérieure comprend les données suivantes:

	Pachy:	x[mm]	y[mm]
Centre pup.	+ 595 μm	-0.04	-0.29
Pachy. min.	○ 594 μm	+0.21	-0.63
Volume C.A.	148 mm^3	Angle I.C.	29.3 °
Prof. C.A. (Endo.)	2.78 mm	Dia. pup.:	2.64 mm
Val. PIO	PIO (Cor)	12.2 mmHg	Ep. cristal.

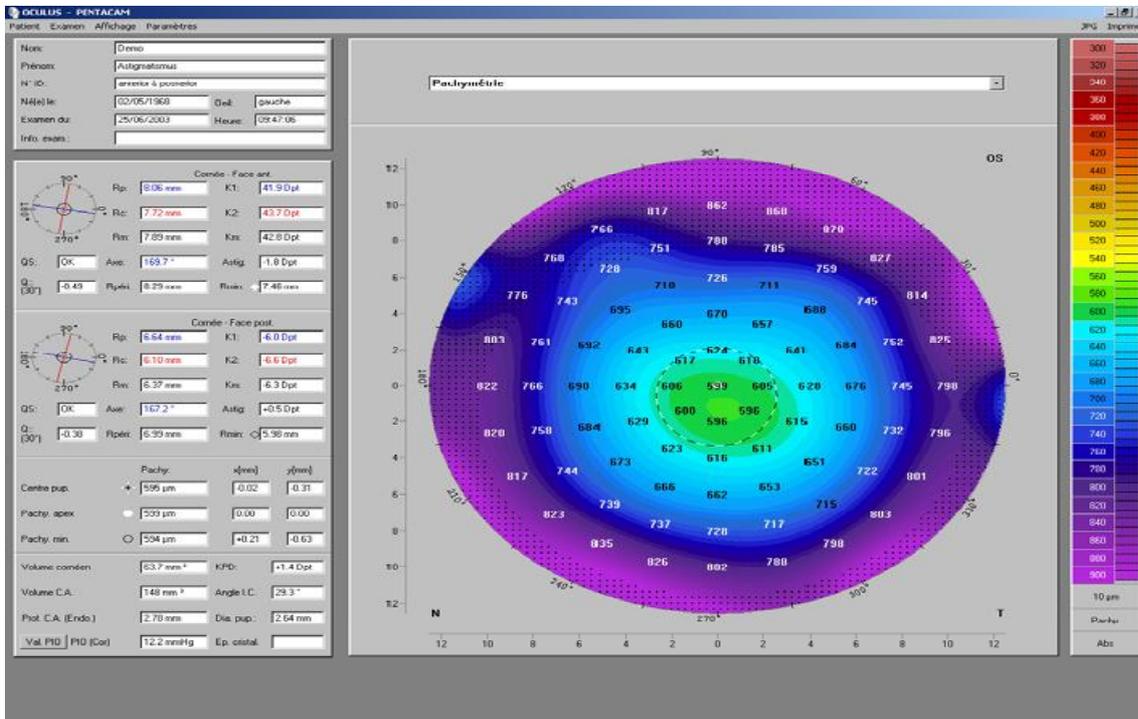
- Ø Pachymétrie de la cornée au centre de la pupille : coordonnées du centre pupillaire par rapport à l'apex cornéen.
- Ø Pachymétrie minimale: plus petite valeur de pachymétrie de toute la cornée et ses coordonnées par rapport à l'apex cornéen.
- Ø Volume de la chambre antérieure : est délimité par la face postérieure de la cornée, l'iris ainsi que le cristallin.
- Ø Profondeur de la chambre antérieure : Profondeur calculée à la verticale de l'apex, mesurée à partir de l'endothélium (resp. Epithélium, suivant le réglage choisi) jusqu'à la face antérieure du cristallin.
- Ø Pression intraoculaire corrigée : Les formules de correction de Shah et Ehlers, ainsi que celle de Dresden estiment que la valeur réelle de tonométrie dépend de la valeur de tonométrie mesurée et de la pachymétrie. La correction est obtenue en additionnant une valeur constante fonction de la pachymétrie: $PIO \text{ corrigée} = PIO \text{ mesurée} + \text{Correctif } PIO$
- Ø Facteurs KPD : Il calculé entre les anneaux de diamètre 0,8 mm et 1,6 mm autour de l'apex et donne une indication de l'influence de la face postérieure de la cornée sur la carte de puissance cornéenne. Les valeurs inférieures à 0,5 dioptries sont en général normales, une valeur supérieure à 0,5 et dioptries indique une cornée anormale, c'est-à-dire par exemple, ayant subi une chirurgie PKR ou Lasik ou bien porteuse d'un kératocône.
- Ø L'angle irido cornéen est calculé à partir du modèle 3D.
- Ø Le diamètre pupillaire : le diamètre pupillaire indiqué est la valeur moyenne obtenue pendant toute la durée de l'acquisition.
- Ø Épaisseur du cristallin : épaisseur du cristallin à la verticale de l'apex de la cornée.

- Qualité de l'examen : une fenêtre indique les paramètres d'évaluation et d'indices caractérisant la qualité de l'examen.
- La face antérieure et postérieure de la cornée : L'air est analysé. Elle indique la portion d'air analysé de la face en antérieur de la cornée par rapport à la surface totale réelle de cette face.
- Données valides : Ce facteur prend en compte l'environnement lumineux lors de l'acquisition. Si cette valeur est faible, il faut vérifier les conditions d'éclairage de la pièce.
- Les segments perdus : Cette valeur évalue le nombre d'images scheimpflug qui ne peuvent pas être analysées en raison d'un clignement du patient.
- Les segments perdus adjacents : Cette valeur évalue le nombre d'images scheimpflug successives qui ne peuvent pas être analysées en raison d'un clignement du patient
- Déviation modèle 3D : Une fois le calcul du modèle 3D de la face antérieure de la cornée effectuée, les données d'élévation du modèle sont vérifiées. S'il existe une déviation entre ces données et celles provenant du calcul lissé du modèle 3D un facteur de déviation est alors calculé.
- L'alignement:
 - ∅ Alignement XY : Ce facteur évalue le bon alignement sur l'œil du patient.
 - ∅ Alignement Z : Ce facteur considère la distance séparant le pentacam de l'œil du patient
- Les mouvements de l'œil : Les mouvements de l'œil du patient durant l'examen sont enregistrés et analysés. La valeur obtenue est élevée si le patient ne fixe pas correctement ou perd la fixation en cours d'acquisition. Cela peut être dû à une réfraction très mauvaise, un manque de coopération ou encore un nystagmus.

2. Cartes colorées :

Des cartes colorées plein écran peuvent être réalisées avec plusieurs options d'affichage.

- Pachymétrie



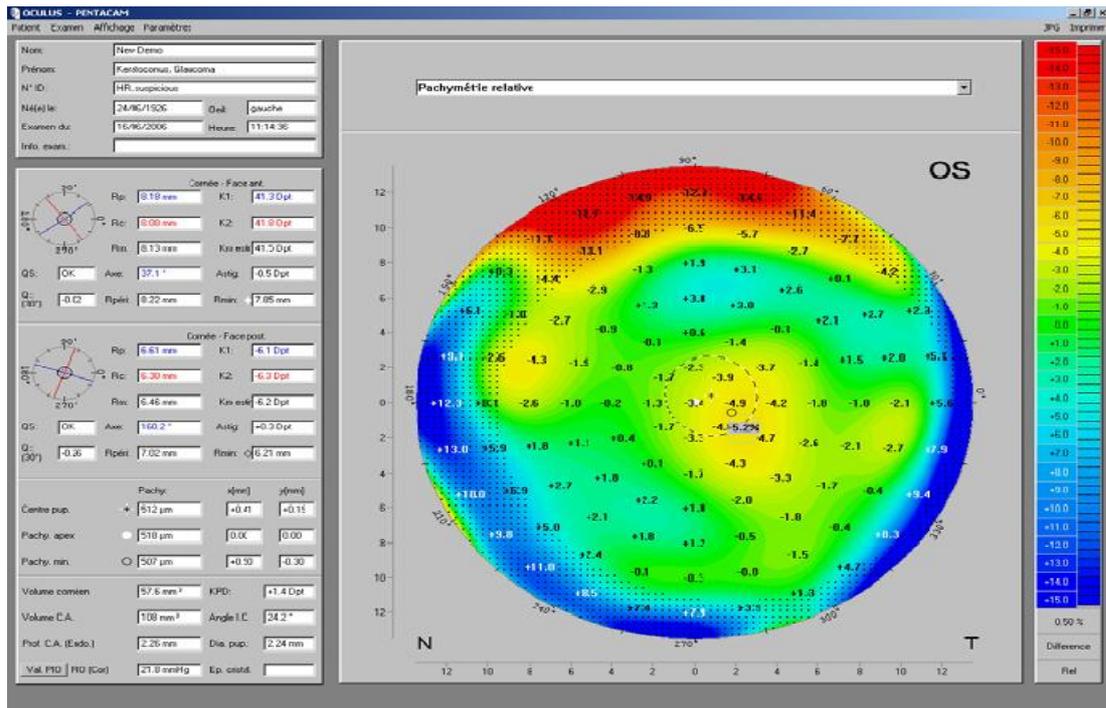
L'épaisseur de la cornée est représentée sous forme de carte colorée indiquant les variations d'épaisseur sur la surface du limbe aux limbes.

L'épaisseur en un point donné peut être affichée en cliquant avec le bouton gauche de la souris à l'endroit désiré. La valeur numérique apparaît en micromètre tandis que deux petits traits noirs indiquent sur les axes gradués, la position du point.

Le contour de la pupille apparaît sous forme d'une ligne noire et blanche. La croix blanche marque le centre de la pupille.

Une échelle colorée peut indiquer l'équivalence entre les couleurs et les valeurs numériques.

- Pachymétrie relatif



Cette cartographie fait appel à une banque de données de carte de pachymétrie des yeux considérés comme normaux. Une carte pachymétrique de référence a été calculée à partir de ces données, puis normalisée en ramenant la valeur la plus faible (correspond à la pachymétrie la plus fine) à zéro.

La carte de pachymétrie du patient et, elle aussi, normalisée mais différente. En effet, au lieu de ramener la valeur la plus faible à zéro, les valeurs de la carte sont modifiées d'une valeur constante choisie de manière à ce que la somme des différences de valeur en tout point entre la carte normalisée du patient et la carte de référence normalisée, soit la plus petite possible.

Cette « adaptation au mieux », favorise la périphérie de la cornée au détriment du centre, ce qui entraîne des déviations plus importantes au centre, permettant une détection plus précoce des anomalies.

L'étape suivante est appelée « adaptation flottante ». Elle minimise la déviation globale entre les deux cartes en les plaçant l'une par rapport à l'autre de manière optimisée.

Le contour de la pupille est marqué par une ligne pointillée noire et blanche. La croix blanche indique la position du centre pupillaire. Il est possible d'afficher un marqueur au point de pachymétrie relatif la plus petite, à partir du menu optionnel d'affichage.

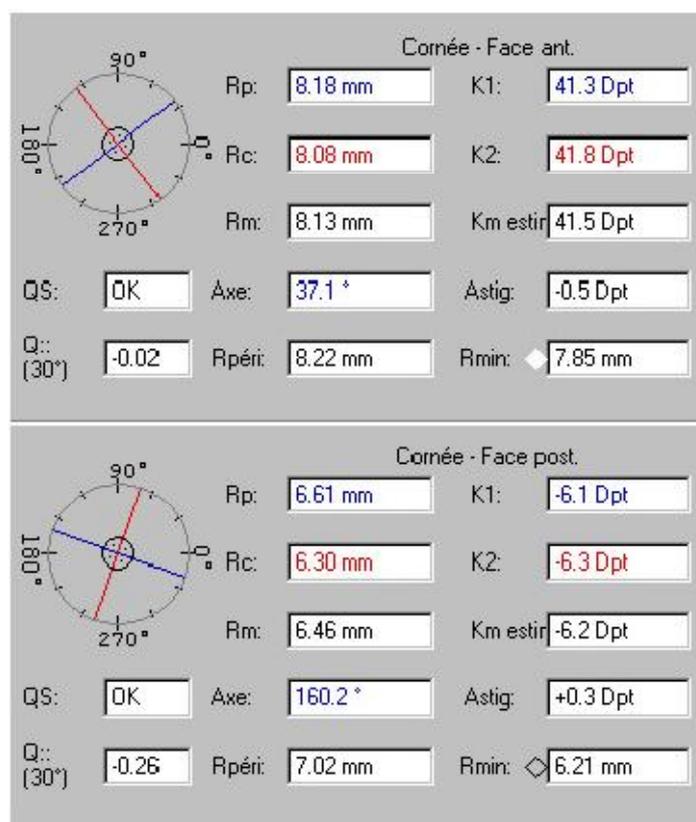
Chaque point peut être sélectionné et évalué individuellement. Sa valeur de pachymétrie relative exprimée en micron mètre, ainsi que ses coordonnées apparaissent alors.

L'échelle colorée située à droite de la carte indique la correspondance entre les valeurs absolues et les valeurs de pachymétrie relative.

- Topographie

Les topographies des faces antérieures et postérieures de la cornée, du limbe aux limbes, apparaissent sous forme de cartes colorées.

Ø Valeurs kératométriques :



Les deux méridiens principaux sont déterminés sur l'anneau de 3 mm. Par définition, les deux axes sont toujours à 90° l'un de l'autre. Leur orientation est indiquée sur un diagramme.

Les deux faces de la cornée sont analysées et décrites par les mêmes paramètres:

Rp / K1: Rayon de courbure le plus plat dans la zone des 3 mm centraux.

Rc / K2: Rayon de courbure à 90° du plus plat dans la zone des 3 mm centraux.

Rm / Km: Rayon de courbure moyen obtenu en faisant la moyenne arithmétique de Rp et Rc.

QS: Facteur de qualité de l'examen.

Axe: Axe de l'astigmatisme.

Astig.: Astigmatisme cornéen au centre de la cornée.

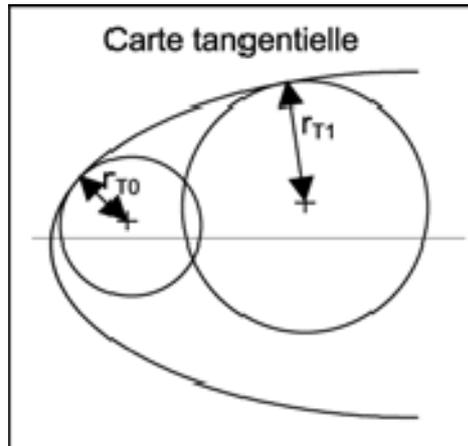
Valeur Q: Facteur de forme cornéen à 30° qui peut être modifié dans le panneau de configuration du logiciel.

Rpéri: Rayon de courbure moyen calculé sur la zone comprise entre les anneaux de 5 et 7mm.

Rmin.: Rayon de courbure le plus cambré de l'ensemble de la cornée.

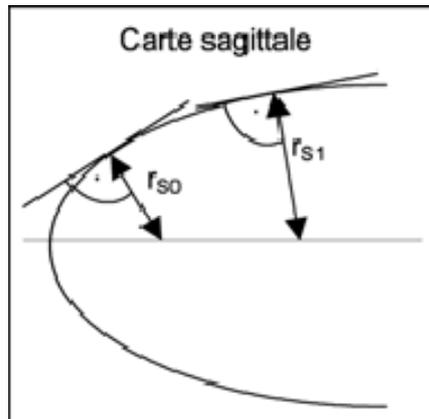
Ø Rayon de courbure :

Rayon de courbure tangentielle :



Le rayon de courbure tangentielle et le rayon de courbure réelle de la cornée au point mesuré. En mode tangentiel, les irrégularités géométriques de la cornée apparaissent de manière plus prononcée.

Rayon de courbure sagittale :

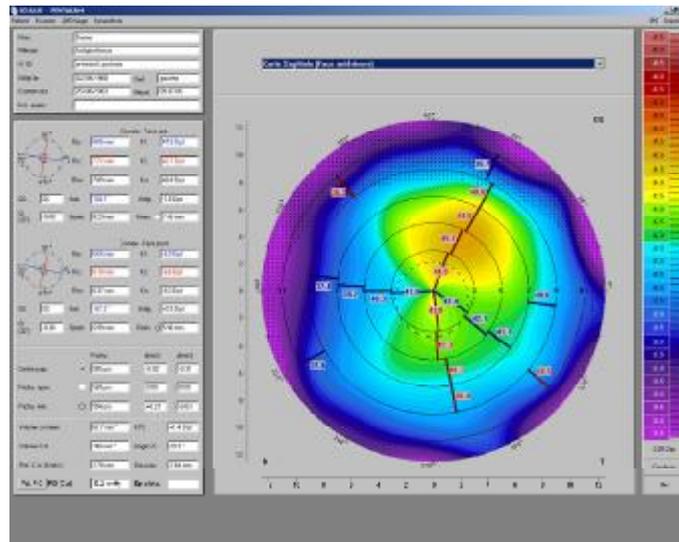


Le rayon de courbure sagittale est équivalent à la distance entre le point mesuré et le point situé à l'intersection de la perpendiculaire à la tangente à la cour avec l'axe de la cornée.

En mode sagittale, le rayon de courbure dépend de la pente du point mesuré. La position de l'axe optique entre aussi en compte. Cette visualisation est plutôt représentative de l'influence de la forme cornéenne sur l'acuité visuelle du patient.

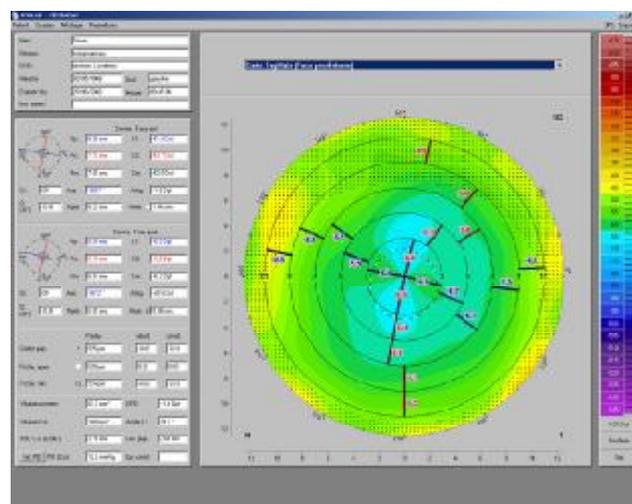
Ø Topographie de la face antérieure de la cornée :

La topographie de la face antérieure de la cornée est calculée sur la surface entière de celle-ci. Les variations de couleur donnent un aperçu de la variation du rayon de courbure de la cornée. Celle-ci est exprimée en millimètres ou en dioptries.



Ø Topographie de la face postérieure de la cornée :

La topographie de la cornée est calculée sur la surface entière, du limbe au limbe. Le calcul est basé sur le modèle oculaire de Gullstrand. Les valeurs de la face postérieure sont négatives à cause de la variation négative de l'indice de réfraction entre la cornée et l'humeur aqueuse. Suivant l'option choisie, cette carte représente le rayon sagittal ou le rayon tangentiel.



- Données d'élévation

Le pentacam mesure des données d'élévation. Il en déduit un modèle mathématique tridimensionnel. Toutes les autres informations découlent de ce modèle.

L'utilisation des données d'élévation apporte les avantages suivants :

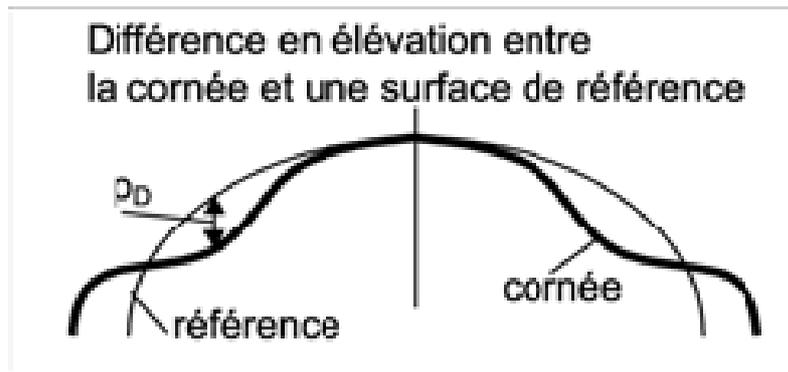
- ∅ Les données d'élévation donnent une représentation plus précise de la forme réelle de la surface cornéenne car elles sont indépendantes de toute taxe d'orientation ou de position
- ∅ Les données d'élévation donnent une représentation plus précise de la forme réelle de la surface cornéenne car en un même point, il n'existe qu'une seule valeur d'élévation.

Le pentacam offre les avantages suivants :

- Les données d'élévation, utilisées pour la localisation de l'apex d'un kératocône, donnent des résultats beaucoup plus précis que ceux obtenus à partir d'une carte sagittale ou tangentielle,
- Généralement, il existe une différence de localisation des points après un traitement de chirurgie réfractive, qui rend le comparatif des cartes pré et post opératoire traditionnelle sujette à caution,
- Les données d'élévation contiennent un grand nombre d'informations qui ne sont accessibles qu'à travers des calculs supplémentaires,
- Les données d'élévation peuvent servir à définir des standards indépendants de l'appareil utilisé,
- Les données d'élévation sont relativement insensibles aux artéfacts dues à une mauvaise fixation, source éventuelles de pseudo kératocône.
- Les données d'élévation peuvent être exprimées en valeur absolue ou relative. Le pentacam propose une représentation de ces données.

La différence en élévation entre la cornée et un corps de référence peut être soit positif soit négatif:

- Négative : le point mesuré est situé en dessous du point correspondant du corps de référence
- Positive : le point mesuré est situé au-dessus du point correspondant du corps de référence.



Ø Les surfaces de référence :

Les données d'élévation sont en général représentées en valeur relative calculée par rapport à une surface de référence. Le pentacam a donné le choix entre trois types de surfaces et de types de positionnement de la cornée par rapport à cette surface.

La représentation en mode flottant signifie que la surface de référence n'est pas fixée à la cornée en apex mais se positionne de façon à ce que la somme des distances séparant la cornée de la surface de référence soit la plus petite possible et que ces distances soient les plus homogènes possible. Cette représentation a des avantages et des inconvénients :

- L'avantage est la minimisation du décentrement,
- L'inconvénient, par exemple dans le cadre d'un kératocône débutant, et que la minimisation du décentrement rende la détection du kératocône plus difficile.

Le pentacam propose trois surfaces de référence :

Un ellipsoïde de révolution : le pentacam choisit le rayon de courbure central moyen et l'excentricité cornéenne comme paramètres par défaut. Le rayon le plus plat est noté « rp » et le rayon le plus cambré « rc ». L'avantage de cette surface et sa bonne adéquation aux cornées dites normales.

Un corps de référence torique : le pentacam choisit les rayons de courbure centraux et l'excentricité comme paramètres par défaut. L'avantage de cette surface et sa bonne adéquation aux cornées astigmatiques.

Une sphère best fit : le Pentacam choisit un rayon de courbure de manière à ce que la sphère coïncide au mieux avec la cornée.

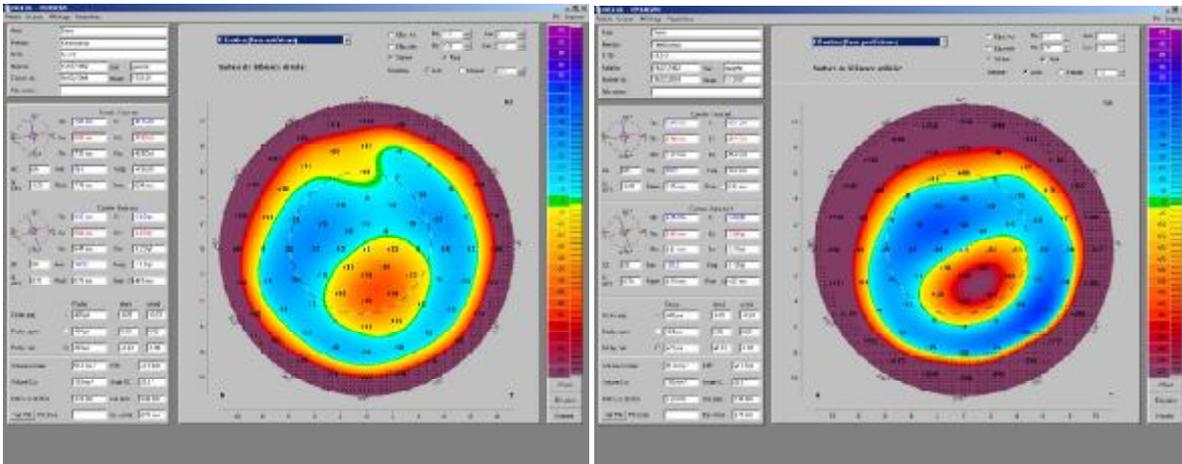
Les paramètres de chaque surface peuvent être changés manuellement.

Ø Applications de la carte d'élévation :

La méthode conventionnelle de représentation d'un kératocône au moyen des rayons de courbure sagittaux et tangentiels est sujette à des distorsions artificielles. Par exemple, il n'est pas rare d'obtenir un positionnement inexact de l'apex du cône. Des résultats cliniques comparés à des images fluos montrent que les images basées sur les données d'élévation sont plus précises. L'apex du cône est toujours localisé au sommet du bombement de la ligne de contours.

Ø Carte d'élévation de la face antérieure et postérieure :

Elle est représentée par rapport à une sphère de référence. L'excentricité et le rayon de courbure de la surface de référence peuvent être modifiés manuellement.



Ø Carte de puissance cornéenne réelle :

La carte de puissance cornéenne réelle tient compte des conditions optiques réelles de la totalité de la cornée. Les topographes à mire de Placido utilisent un indice de réfraction moyen de 1,3375 pour calculer la puissance réfractive de la cornée. Cet indice de réfraction est une valeur approximative qui ne tient pas compte de la face postérieure de la cornée.

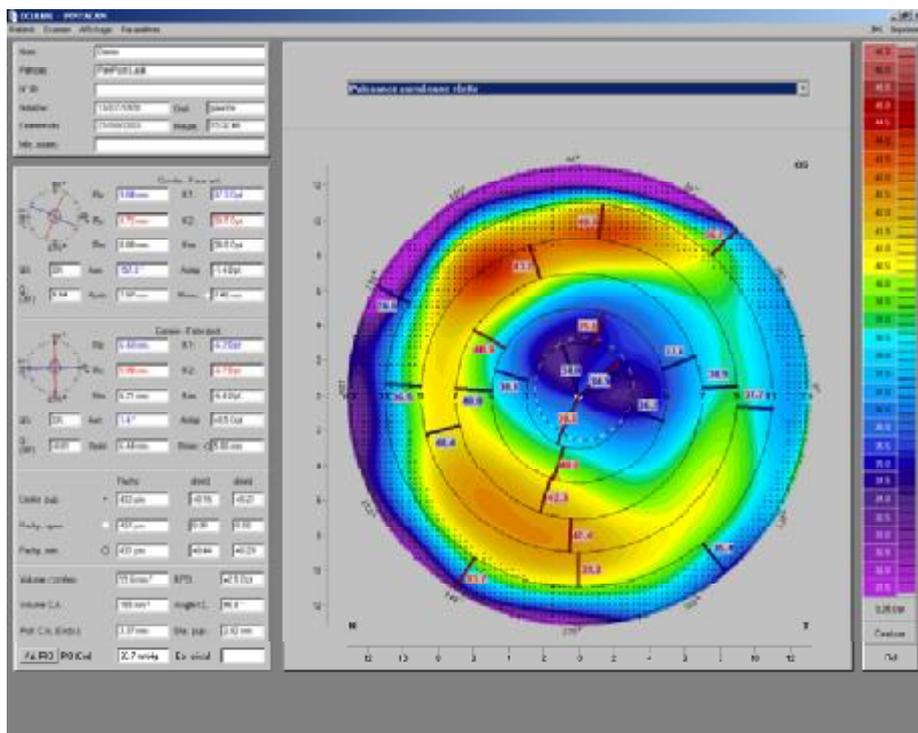
Tant que la cornée est régulière, cette approximation donne de bons résultats de puissance réfractive de la face antérieure. Dans le cas de cornée hors normes comme après une chirurgie réfractive, ou bien dans le cadre d'un kératocône ou d'un fort astigmatisme, le calcul n'est plus valable.

Tout d'abord, les valeurs respectives de la face antérieure sont calculées en utilisant la différence d'indice entre l'indice de l'air et l'indice de réfraction du tissu cornéen. Puis, les valeurs respectives de la face postérieure sont calculées en

TOPOGRAPHIE CORNEENNE PAR PENTACAM Quel apport ?

utilisant la différence d'indice entre l'indice de réfraction du tissu cornéen et l'indice des milieux aqueux.

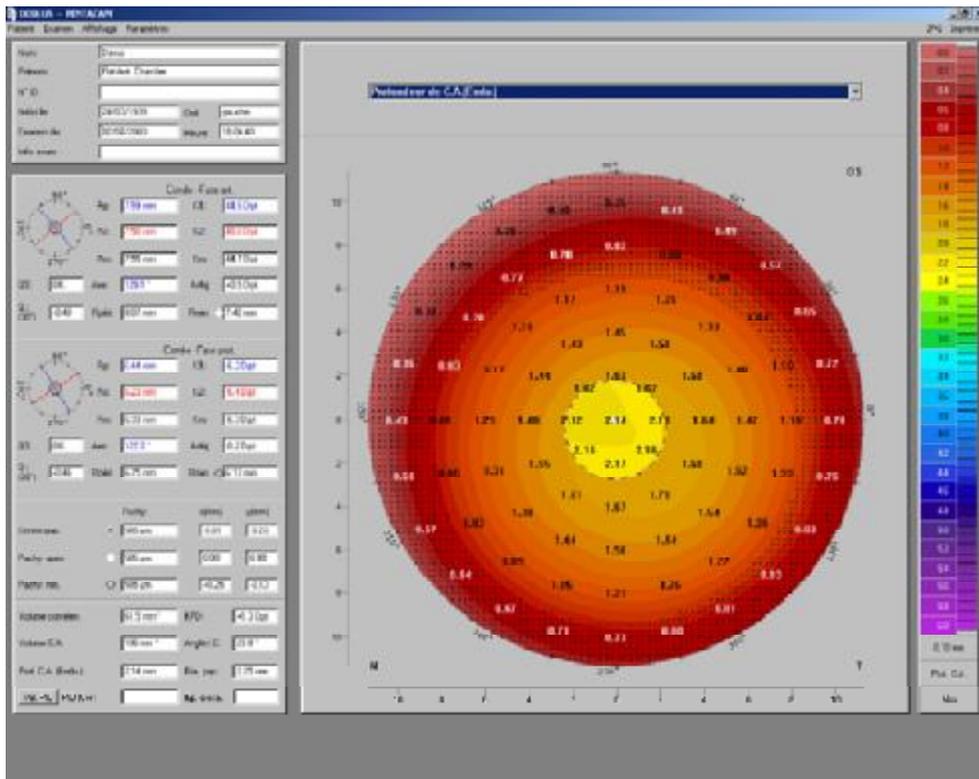
Les valeurs affichées sur la carte de puissance cornéenne réelle sont la somme des valeurs respectives de surface. Ceci permet d'obtenir un calcul correct de la puissance réfractive réelle de la cornée et donc de la carte de puissance réelle. Les rayons de courbure sont entièrement indépendants des valeurs réfractives.



Ø Profondeur de chambre antérieure :

La distance entre la face postérieure de la cornée et l'iris est exprimée en millimètres. Il est possible de connaître la valeur en un point particulier.

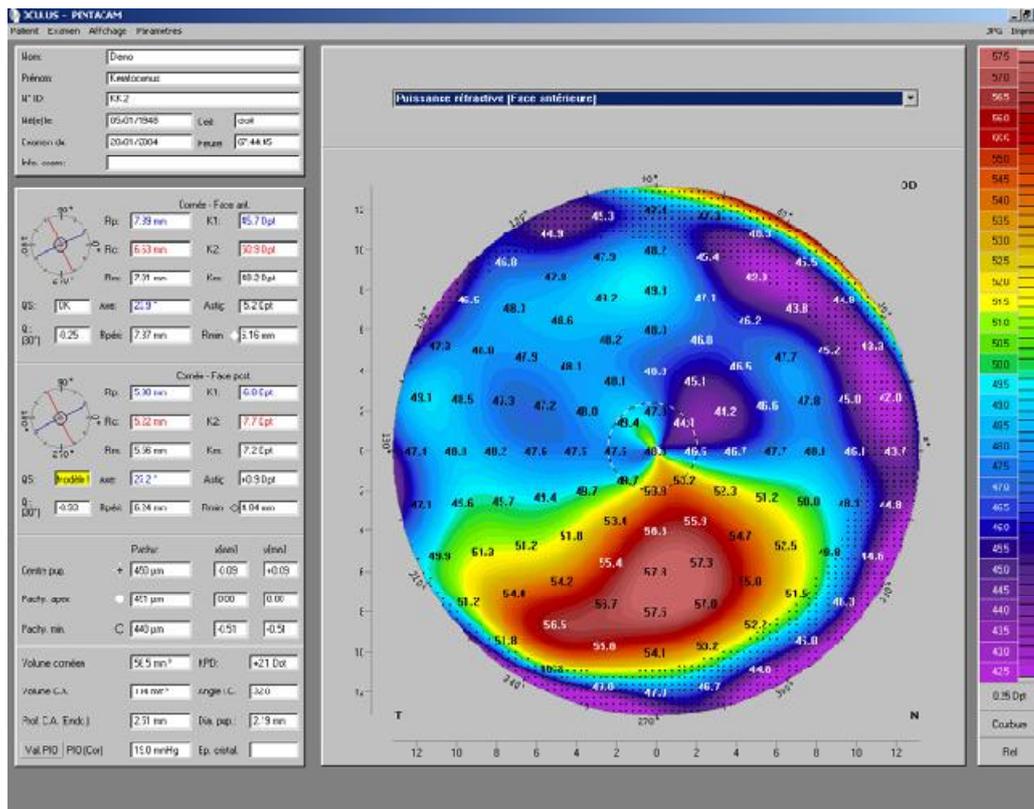
La représentation du contour de la pupille et de son centre est systématiquement activée afin de faciliter la lecture de cette carte.



Ø Puissance réfractive de la face antérieure :

La carte de puissance réfractive représente l'effet optique de la face antérieure de la cornée. Pour cela, elle utilise les distances focales plus que les rayons de courbure pour calculer la puissance réfractive. Ces distances focales sont calculées suivant la loi de Snell, et les aberrations sphériques sont déjà prises en compte. Les distances focales sont toujours données en terme de puissance, c'est-à-dire en dioptrie.

La différence entre la carte de puissance réfractive et la carte des rayons de courbure exprimée en dioptrie, devient évidente lorsque l'on considère le résultat obtenu dans le cas d'une sphère.

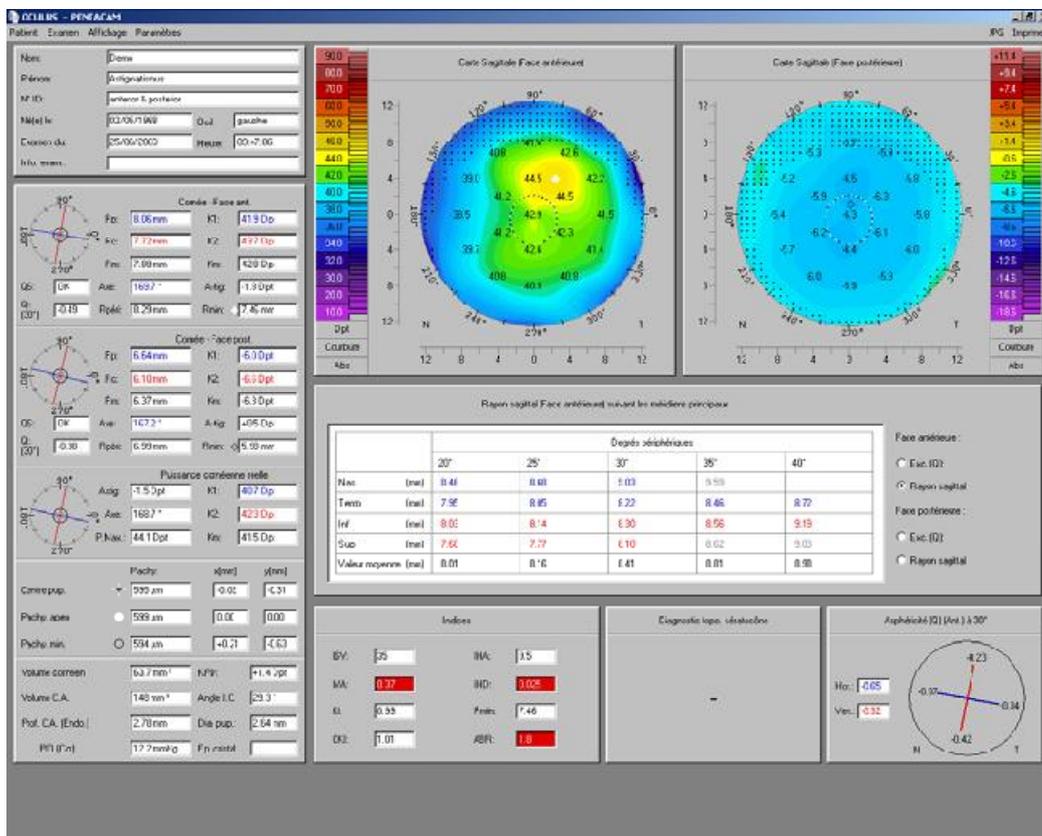


3. Les différentes cartes de représentation :

- Topométrie

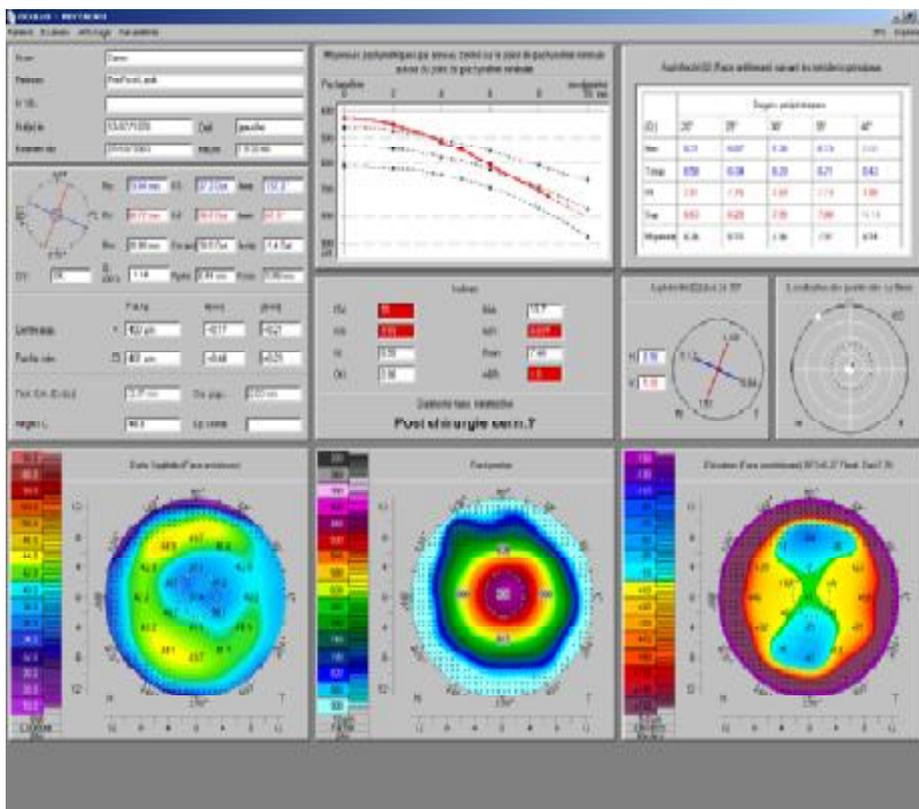
Les cartes colorées représentent les rayons de courbure antérieurs et postérieurs de la cornée.

Un tableau regroupe les valeurs du facteur de forme cornéen suivant les quatre méridiens principaux, valeur moyenne des faces antérieures et postérieures calculées suivant le paramétrage choisi.



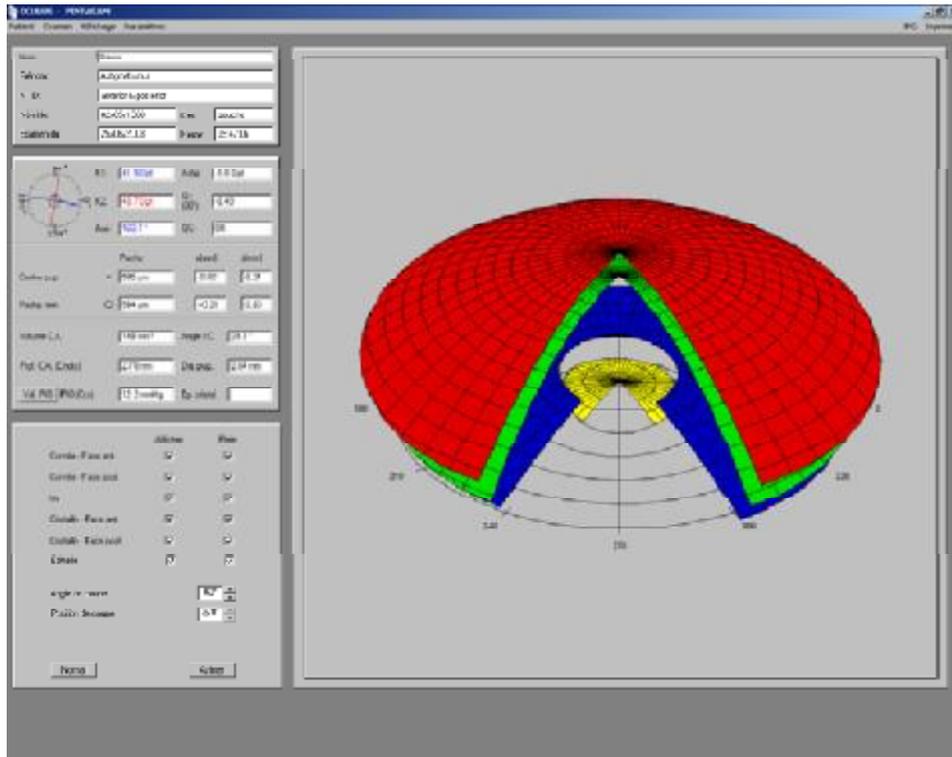
- Bilan réfractif

Les cartes colorées représentent la topographie de la face antérieure de la cornée, la pachymétrie, et l'élévation de la face postérieure de la cornée. La progression de la pachymétrie, de l'algorithme de détection du kératocône, le facteur de forme de la face antérieure de la cornée suivant les quatre méridiens principaux, ainsi que sa moyenne y sont représentés.



- Modèle 3D plein écran

Il contient les représentations tridimensionnelles des surfaces principales du segment antérieur, c'est-à-dire des faces antérieures et postérieures de la cornée, l'iris et la face antérieure du cristallin. Il est conçu dans un but didactique pour le patient



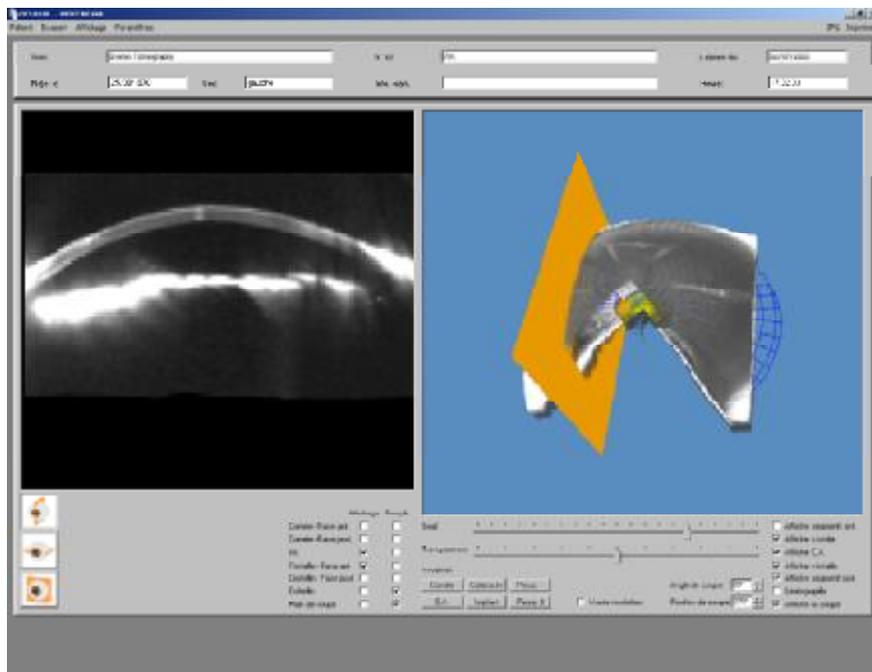
- Tomographie

Une modélisation virtuelle de la chambre antérieure peut être représentée.

Les avantages de la tomographie sont les suivants :

- la visualisation du segment antérieur de l'œil pour expliquer aux patients certaines pathologies ou dispositions.
- la visualisation par le médecin de défauts mineurs ou de dispositions particulières de la cornée ou de la chambre comme l'opacification d'un cristallin.

Cette représentation peut être déplacée dans toutes les directions.



- Cartes de comparaison

Le pentacam offre la possibilité de visualiser simultanément plusieurs examens d'un même patient afin de les comparer par exemple en pré-opératoire et post-opératoire.

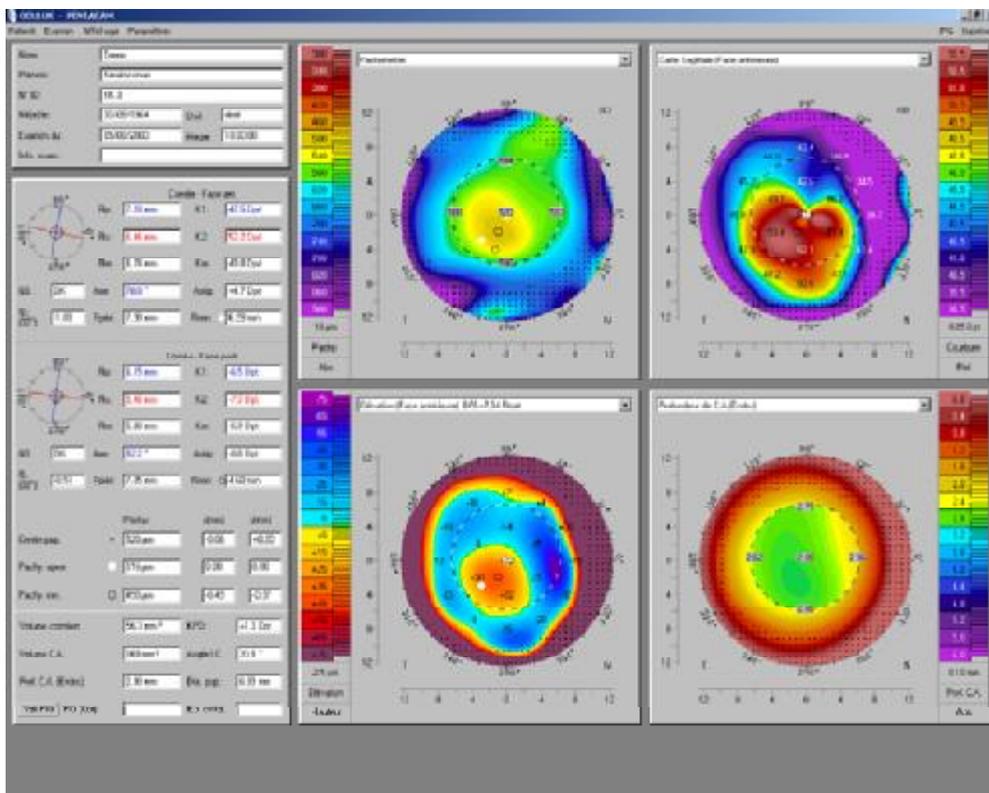
Le logiciel calcule la différence entre deux représentations de même type choisi parmi toutes les représentations proposées.

4. Cartes multiples de représentation :

L'utilisateur a le choix entre chacune des cartes entre les différentes représentations proposées. Cette représentation donne la possibilité de créer une impression personnalisée des résultats.

- 4 cartes au choix :

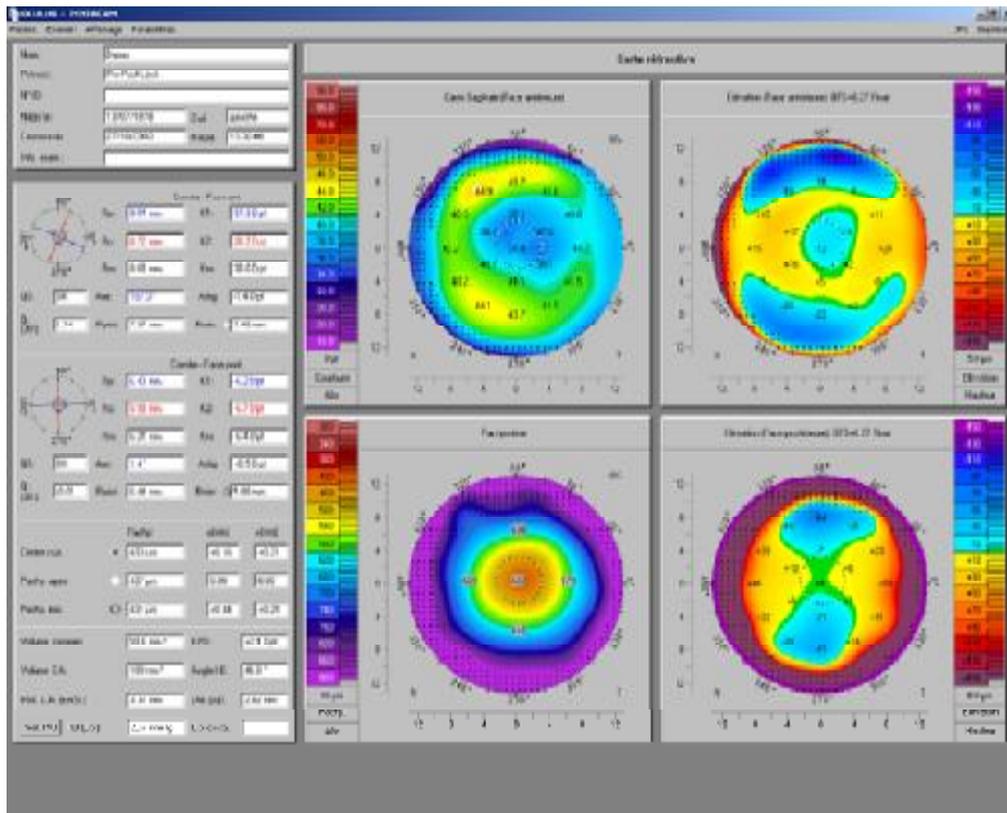
Dans la barre de menu, cliquez sur "Affichage", puis "4 cartes au choix". La fenêtre suivante apparaît:



L'utilisateur a le choix pour chacune des cartes entre les différentes représentations proposées (pachymétrie, topographie, élévation...), avec une possibilité de créer une impression personnalisée des résultats.

- Quatre cartes réfractives :

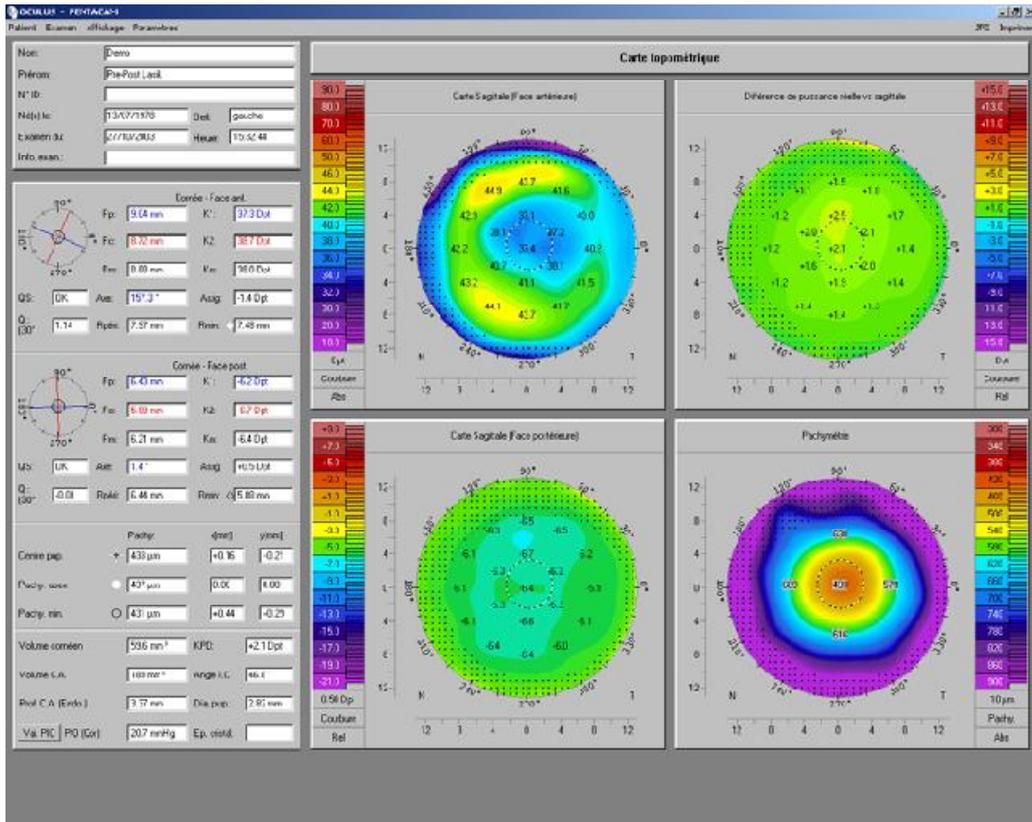
Elles ont été choisies afin d'obtenir un récapitulatif pratique des informations concernant la structure cornéenne. La carte reprend les informations du patient et de l'examen, les données kératométriques ainsi que les caractéristiques principales des deux faces de la cornée.



TOPOGRAPHIE CORNEENNE PAR PENTACAM Quel apport ?

- Quatre cartes topométrique :

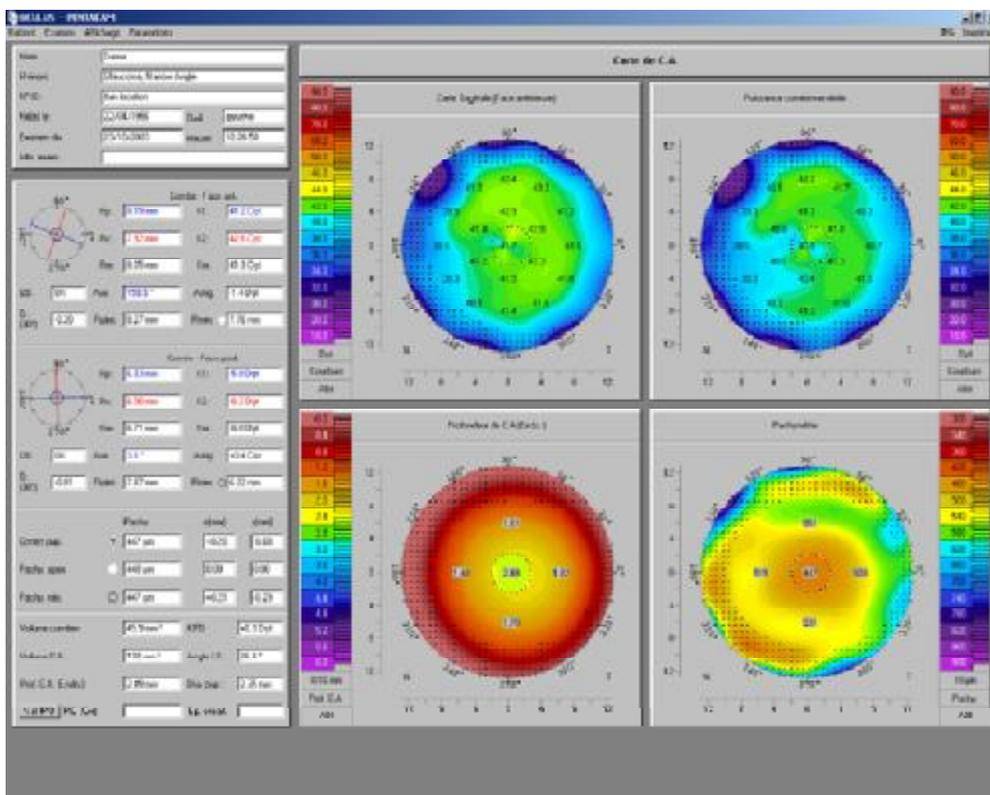
Les quatre cartes affichées sont fixées. Elles ont été choisies afin d'obtenir un récapitulatif pratique pour une consultation d'ordre général. Elle donne les informations nécessaires à un aperçu général de la cornée. Cette représentation est aussi pratique pour la surveillance d'anomalies cornéennes.



- Quatre cartes de chambre antérieure :

Elles ont été choisies afin d'obtenir un récapitulatif pratique des informations nécessaires à une chirurgie par implant de chambre antérieure ou à une chirurgie de glaucome.

La carte de profondeur de chambre antérieure facilite l'étude pré-opératoire et apporte une plus grande sécurité lors de la pose d'implants phaqes. La carte de puissance cornéennes réelles et la topographie de la face antérieure de la cornée facilitent quant à elle la détection d'anomalies de forme de la cornée.

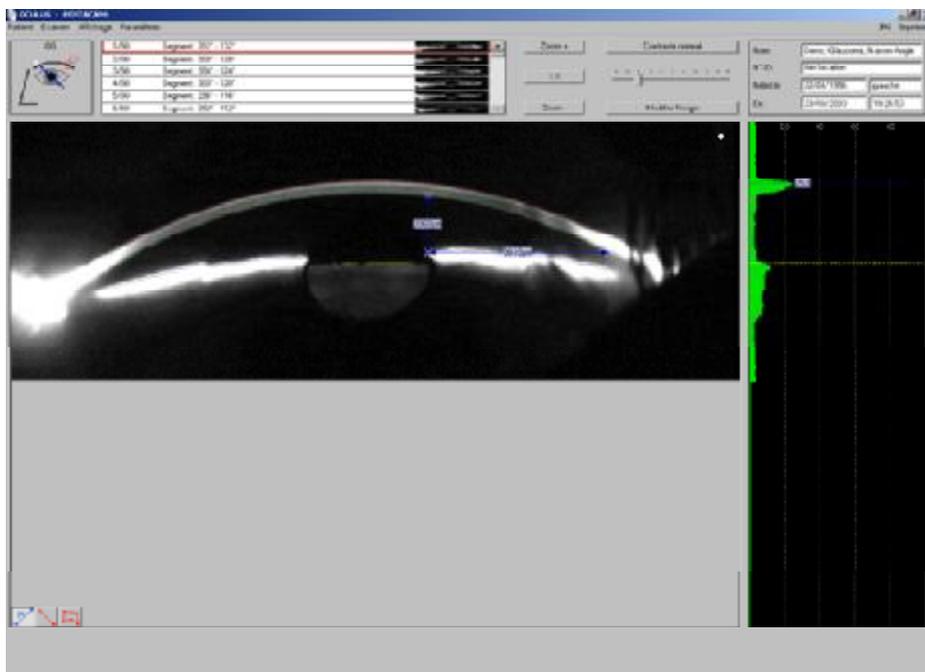


5. Les images scheimpflug plein écran :

- Image Scheimpflug d'un examen 3D scan :

Toutes les images Scheimpflug générées peuvent être visualisées individuellement. Elles sont numérotées et repérées par leur angle de coupe.

Une courbe de densitométrie peut être affichée. En cliquant en un point de cette ligne en pointillée avec le bouton gauche de la souris, la valeur densitométrie au point cliqué, s'affiche sur le graphique vert et indique le degré d'opacification du cristallin.



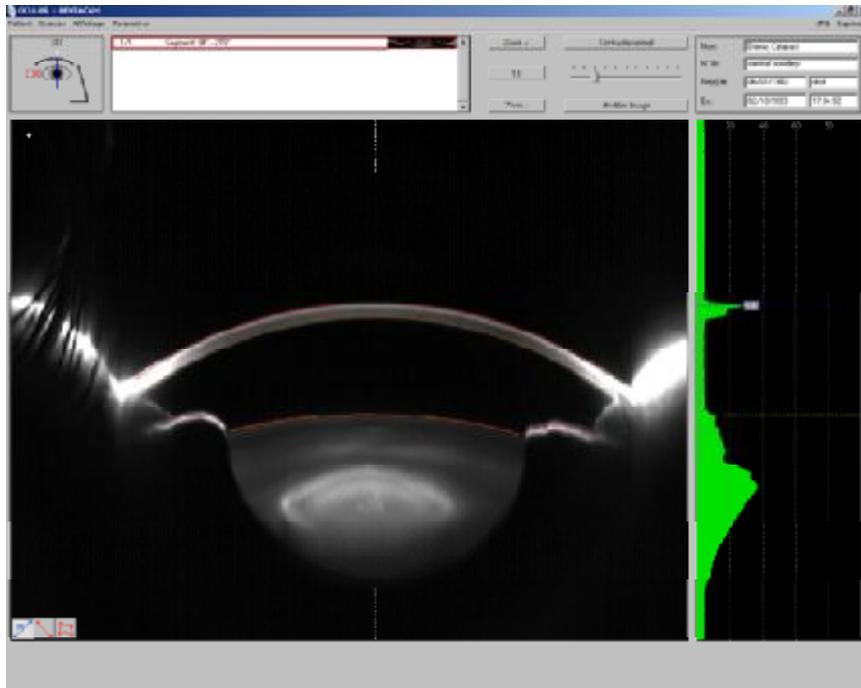
- En voici les principales caractéristiques :

Ø Évaluation densitométrique en un point donné :

Chaque image Scheimpflug peut être visualisée en plein écran. La densitométrie du cristallin est évaluée sur une échelle allant de zéro à 100. La quantification de la densitométrie commence automatiquement à l'apex cornéen. La courbe de densitométrie est affichée sur un diagramme. Les valeurs d'opacité du cristallin sont des valeurs objectives basées sur les niveaux de gris de l'image et

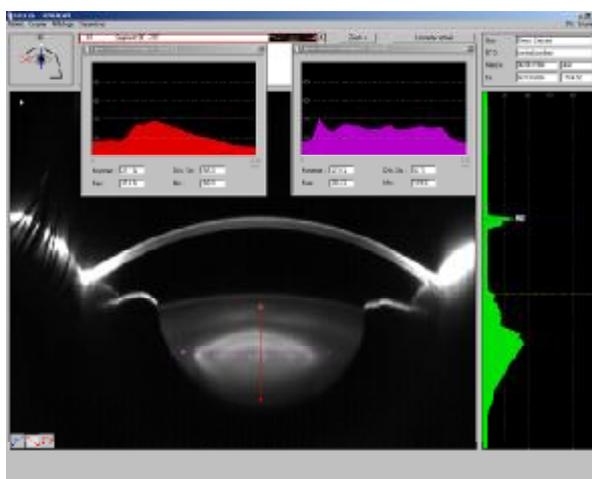
TOPOGRAPHIE CORNEENNE PAR PENTACAM Quel apport ?

représentées sous forme de pourcentage. 0 correspond à un cristallin sans aucune opacification, 100 correspond à un cristallin complètement opaque.

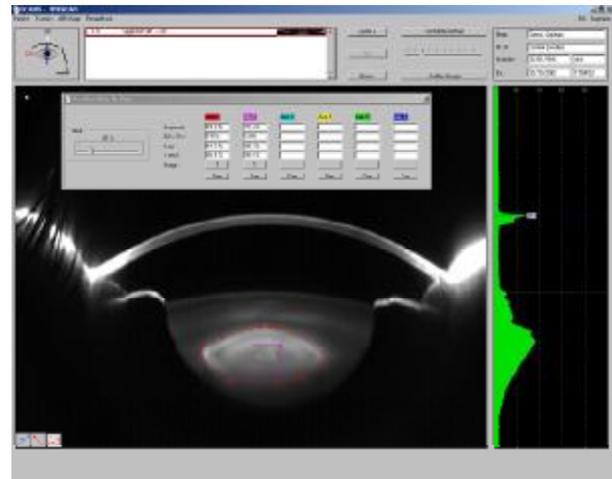


Ø Analyse densitométrique approfondie :

Une analyse densitométrique approfondie de la densité du cristallin ou d'un implant peut être réalisée. La densitométrie peut être réalisée selon un segment ou selon une aire.



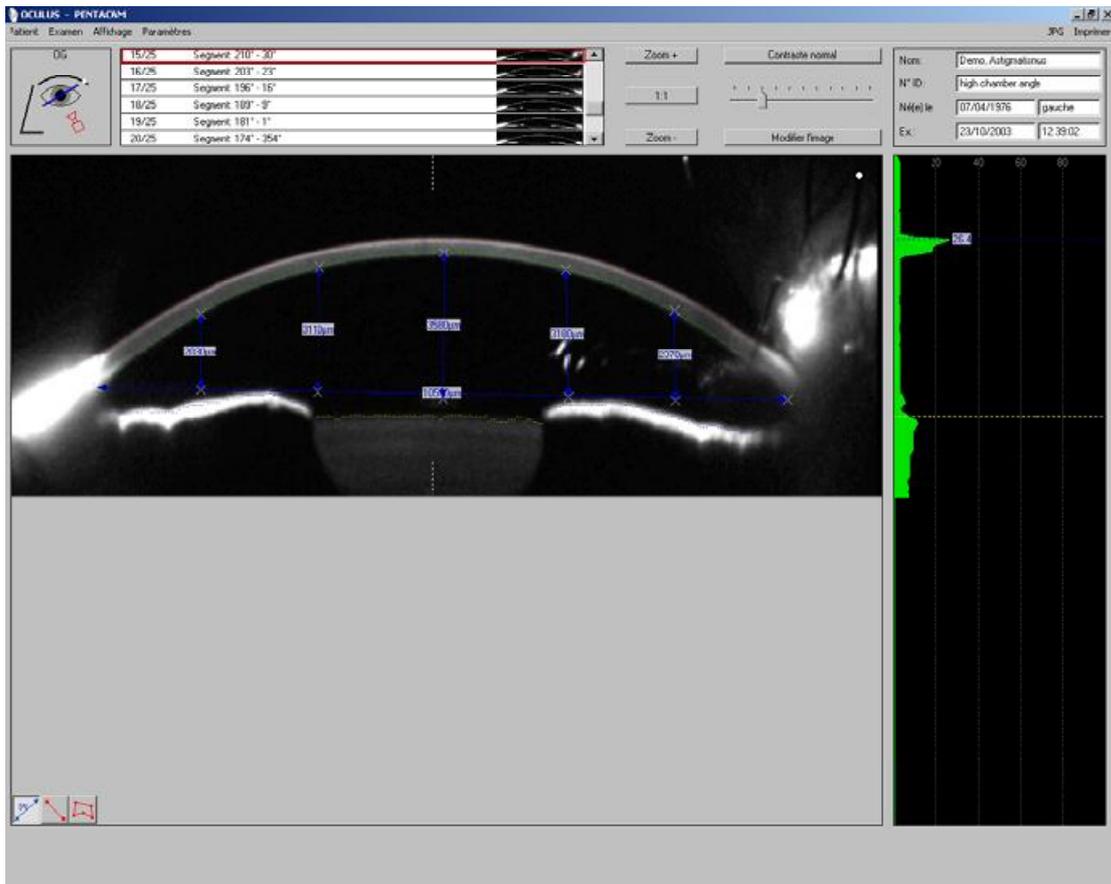
La densitométrie selon un segment



La densitométrie selon une aire

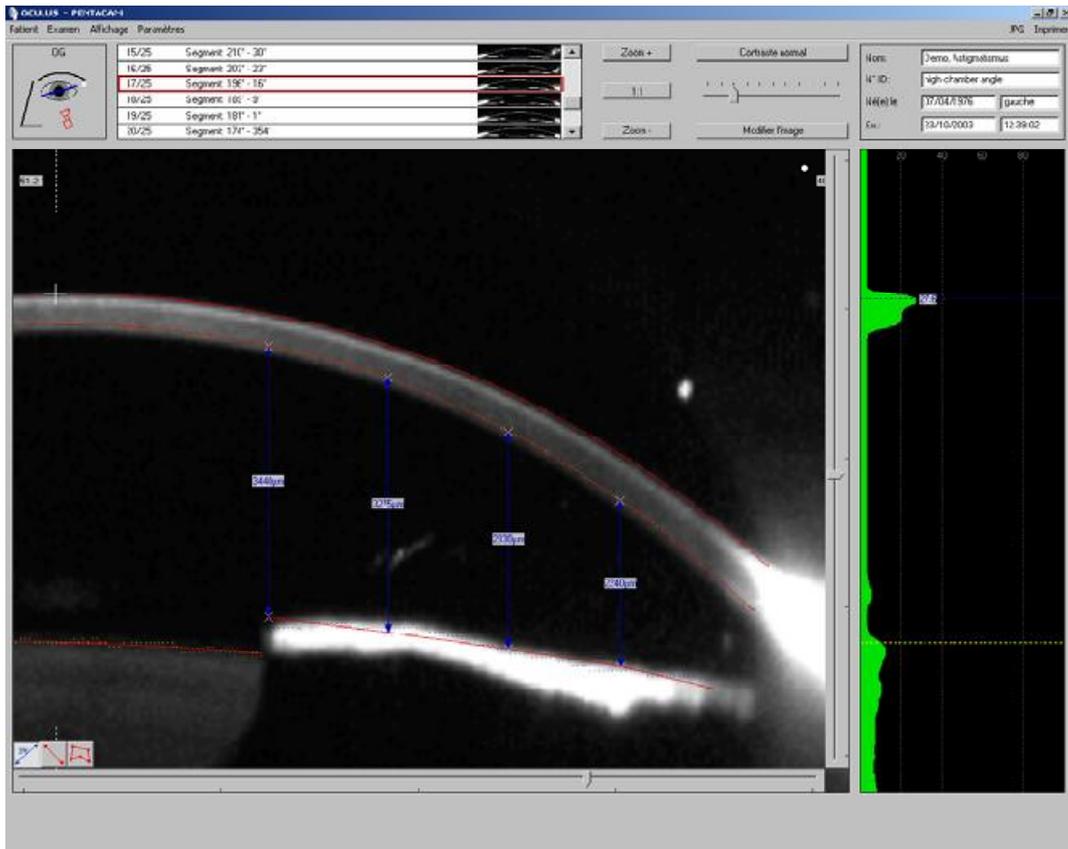
Ø Mesure manuelle :

Le pentacam a une fonction de mesure manuelle de distance. Cette fonction tient compte de la distorsion optique due à la cornée et aux fluides contenus dans la chambre antérieure. Ces mesures peuvent être comparées relativement entre elles mais ne peuvent pas être considérées comme des mesures très précises en valeur absolue.



Ø Fonction zoom :

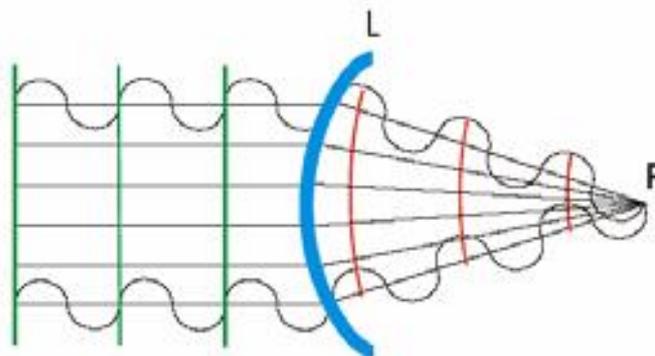
La fonction zoom s'applique à l'image Scheimpflug sélectionnée. La partie grossie est affichée en tenant compte des conditions de visualisation afin d'améliorer l'évaluation de l'image.



6. Analyse de Zernike :

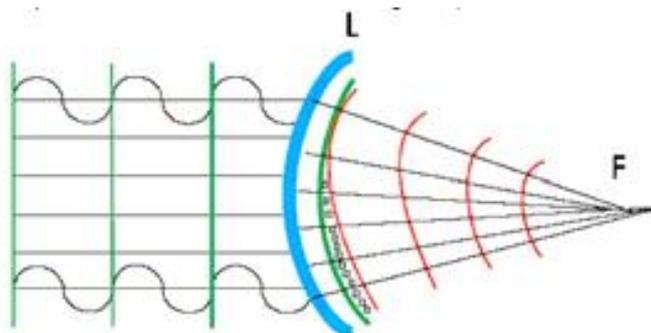
• Généralités :

Les polynômes de Zernike sont normalement utilisés pour décrire des fronts d'onde. Le diagramme ci-dessous décrit un front d'onde parallèle passant au travers d'une surface réfractive L.



Chaque rayon lumineux consiste en une oscillation sinusoïdale. Les points de même phase contenus dans l'ensemble des oscillations sinusoïdales forment un front d'onde plan, perpendiculaire à la direction de propagation de la surface réfractive (en vert).

Ici, les fronts d'onde incidents, qui sont parallèles les uns aux autres, sont déformés et, dans le cas idéal, deviennent des fronts d'onde sphériques qui se dirigent vers le point focus F (dans le diagramme ci-dessus, les fronts d'onde sont des arcs de cercle circulaires centrés sur le point F). Ce cas idéal n'est en réalité jamais rencontré car les fronts d'onde réels présentent toujours une déviation par rapport aux ondes sphériques parfaites après avoir traversé une surface réfractive (La différence est indiquée sur le diagramme ci-dessous par des petits carrés noirs).



Plus la déviation ou aberration est petite, plus la qualité du système réfractif est élevée, que ce soit pour un télescope, un microscope, une cornée ou tout autre média réfractif intégré dans l'oeil humain. Le physicien danois et prix Nobel Frits Zernike (1888-1966, inventeur du microscope à contraste de phase) a réussi à représenter mathématiquement la déviation d'un front d'onde réel par rapport à un front idéal aux moyens de sommes de polynômes.

Chaque polynôme est nommé suivant le défaut d'image qu'il crée (comme par exemple astigmatisme, effet comatique ou aberration sphérique).

Les Polynômes de Zernike sont aussi appelés Polynômes Circulaires parce qu'ils se réfèrent à un cercle de rayon 1 et sont exprimés en coordonnées polaires.

Mathématiquement parlant, chaque polynôme de Zernike est caractérisé par:

Ø Une série de puissance pour la variable radiale ρ ,

Ø Une série de type Fourier pour la variable angulaire θ .

Dans sa forme générale, $Z_{n,\pm m}$,

Ø n donne le degré du polynôme dans la variable radiale ρ ,

Ø m donne la fréquence de l'angle θ sur 360° .

Les polynômes avec un " n " pair et " $m=0$ " sont toujours symétriques par rotation, tandis que les autres dépendent de l'angle.

Les premiers polynômes de Zernike sont désignés de la manière suivante:

Ø $Z_{0,0}$ Constante d'élévation

Ø $Z_{1,\pm 1}$ Tilt ou basculement (+1 en direction x , -1 en direction y)

Ø $Z_{2,0}$ Focus, section conique

Ø $Z_{2,\pm 2}$ Astigmatisme

Ø $Z_{3,\pm 1}$ Coma

Ø $Z_{3,\pm 3}$ Trefoil

Ø $Z_{4,0}$ Aberration sphérique

Ø Z4, ± 2 Astigmatisme du 4ème ordre

Ø Z4, ± 4 Défaut à quatre lobes

Ø Z5, ± 1 Coma du 5ème ordre

Ø Z5, ± 3 Trefoil du 5ème ordre

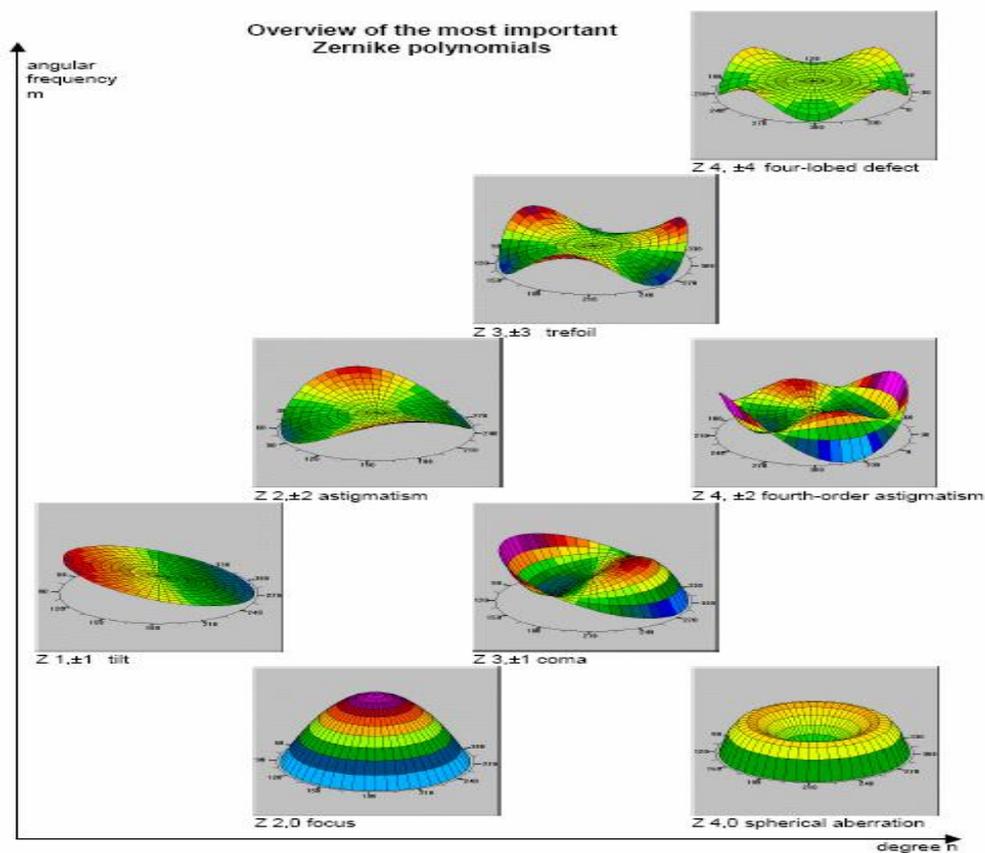
Ø Z5, ± 5 Défaut à 5 lobes

Ø Z6, 0 Aberration sphérique du 6ème ordre

Ø Z6, ± 2 Astigmatisme du 6ème ordre

Ø Z6, ± 4 Défaut à quatre lobes du 6ème ordre

Ø Z6, ± 6 Défaut à 6 lobes



- Représentation pyramidale de Zernike

Les deux boutons "Liste" et "Pyramide" situés en haut à gauche de l'écran permettent de choisir de représenter les coefficients de Zernike sous forme d'une liste ou sous forme d'une pyramide. Cette dernière donne une représentation plus intuitive des différents polynômes.

Les polynômes de Zernike peuvent être activés ou désactivés de différentes manières:

- Ø Pour activer/désactiver un unique polynôme, cliquez avec le bouton gauche de la souris sur l'icône représentant le polynôme en question.
- Ø Pour activer/désactiver tous les polynômes ayant le même ordre " n ", cliquez avec le bouton gauche sur le bouton " $n=x$ " correspondant.
- Ø Pour activer/désactiver tous les polynômes ayant la même fréquence angulaire " m ", cliquez avec le bouton gauche sur le bouton " $m=x$ " correspondant. Les valeurs négatives correspondent aux termes en sinus et les valeurs positives aux termes en cosinus.
- Ø Cliquez sur "Tous" et "Aucun" pour activer/désactiver tous les polynômes.
- Ø Cliquez sur "ABD" et "AHD" pour activer/désactiver les polynômes de bas degrés (ABD) ou de hauts degrés (AHD).

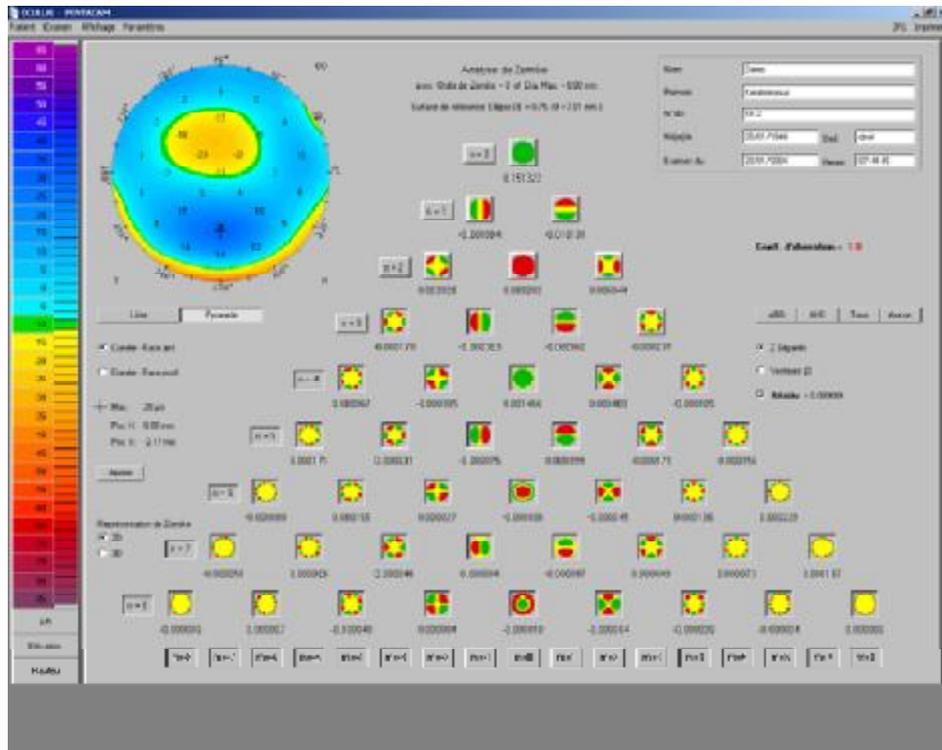
L'activation ou la désactivation d'un polynôme entraîne le rafraîchissement immédiat de la représentation de Zernike. Par contre, l'échelle colorée n'est pas automatiquement réajustée et reste comme précédemment. Ceci permet de mieux visualiser l'impact de chaque polynôme sur la totalité de la forme.

Cliquez sur "Ajuster", pour optimiser l'échelle colorée pour la nouvelle présentation.

Le champ "*Carte de Zernike*" situé en bas à gauche de l'écran permet de choisir entre les représentations "2D" et "3D". L'affichage "2D" permet de déterminer

l'élévation en un point précis de la cornée par un simple clic du bouton gauche sur la localisation désirée.

Placez la souris sur l'icône d'un polynôme pour faire apparaître son nom.



7. Kératocône :

Cliquez sur "Affichage", puis "Indices de Kératocône" pour accéder à la fenêtre de détection et de classification du kératocône, qui contient deux programmes différents.

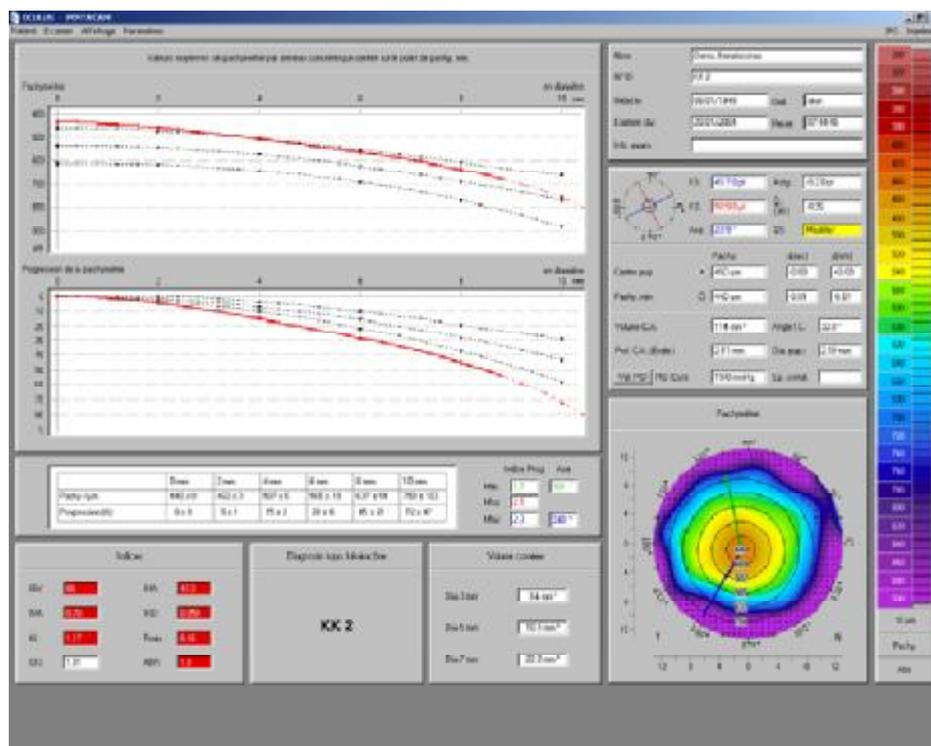
- ∅ La détection du kératocône effectuée à partir de l'analyse des données de la face antérieure de la cornée. La classification est basée sur un certain nombre d'indices qui décrivent la surface cornéenne. Les résultats sont affichés dans le champ situé en bas à gauche de l'écran et nommé "*Diagnostic Topo. Kératocône*".

Ø L'analyse de la stabilité cornéenne effectuée à partir de l'analyse des données de pachymétrie sur des anneaux concentriques centrés autour de la localisation d'épaisseur minimale. Celle-ci est basée sur l'étude de la progression de la pachymétrie de la localisation la plus fine vers la périphérie. Les résultats sont indiqués dans les deux diagrammes, le tableau de chiffres et les indices situés à droite du tableau.

Ces deux programmes sont inclus dans un même écran car ils sont complémentaires.

- Progression de l'épaisseur cornéenne :

Cette fonction analyse l'évolution de l'épaisseur cornéenne et la compare à une base de données statistique d'yeux non traités. La pachymétrie est analysée sur des anneaux de 1mm, 2mm, 3mm, 4mm et 5mm de rayon, centrés sur la localisation la plus fine comme indiqué sur la carte de pachymétrie située en bas à droite de l'écran.



- Les diagrammes :

Les deux diagrammes situés en haut à gauche de l'écran représentent l'évolution de la pachymétrie:

- Ø En données absolues pour le diagramme du haut.
- Ø En pourcentages pour le diagramme du bas.

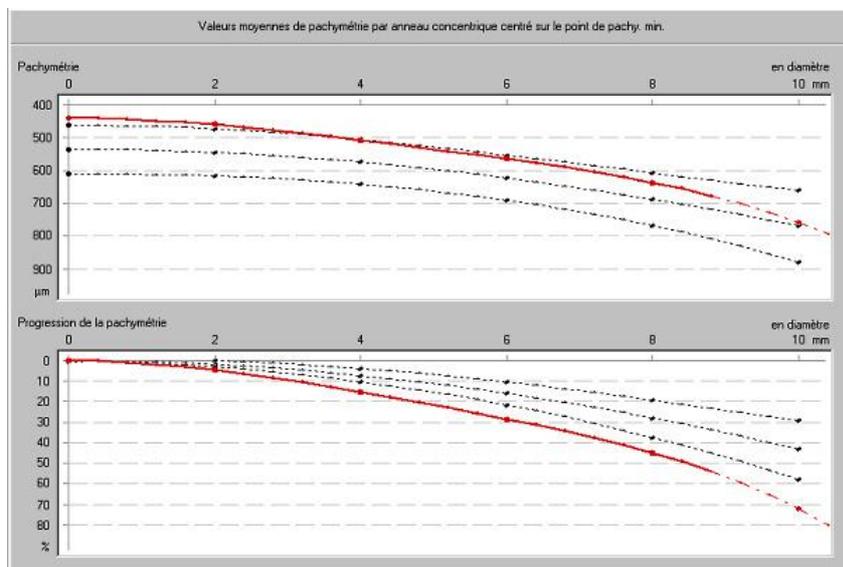
Dans les deux diagrammes, l'axe x représente la distance séparant le point de mesure de la localisation la plus fine.

Dans le diagramme du haut, l'axe y représente la pachymétrie.

Dans le diagramme du bas, l'axe y représente la progression de la pachymétrie.

Les lignes pointillées dessinées sur les deux diagrammes représentent la plage des valeurs normales dont la largeur est égale à deux fois la déviation standard et la courbe centrale représente la moyenne des valeurs de pachymétrie ou de progression de la pachymétrie.

La progression de la pachymétrie du patient est représentée par une courbe rouge qui représente l'évolution de la pachymétrie sur des anneaux concentriques centrés sur la localisation de la pachymétrie la plus fine. L'analyse est effectuée avec un pas entre chaque anneau de 0.4mm.



- Indice de progression :

A droite du tableau sont affichés les indices de progression et leurs axes. Par définition, l'indice normal de progression est 1.0.

Les valeurs de progression par anneau du diagramme sont indiquées en pourcentage par rapport à la progression normale.

La moyenne arithmétique de chacune de ces valeurs est considérée comme l'indice de progression.

De manière générale, plus l'indice est élevé, plus la probabilité de présence d'un kératocône ou d'un risque d'instabilité de la cornée est élevé.

Les valeurs d'axe donnent respectivement les orientations des méridiens correspondant à la progression la plus fine et à la progression la plus épaisse et sont matérialisées sur la carte de pachymétrie située en bas à droite de l'écran.

- ∅ L'indice de progression suivant le méridien le plus mince est indiqué en vert.
- ∅ La progression de la pachymétrie le long des anneaux de 1mm, 2mm, 3mm, 4mm et 5mm de rayon est indiquée en rouge.
- ∅ L'indice de progression suivant le méridien le plus épais est indiqué en bleu.

	Indice Prog	Axe
Min:	1.7	101°
Moy:	2.1	
Max:	2.3	240°

- Indices et stades de kératocône :

Les deux champs situés en bas à gauche comprennent des indices statistiques et une détection du kératocône qui se basent uniquement sur la face antérieure de la cornée.

Pour calculer ces indices, le Pentacam utilise les données suivantes: les rayons de courbure, les données d'élévation, l'analyse de Fourier et l'analyse de Zernike.

Ces indices ne considèrent que la face antérieure de la cornée.

Chaque indice est affiché séparément en bas à gauche de l'écran. Ils sont désignés comme suit:

ISV: (Index of Surface Variance)

Déviations individuelles des rayons de courbure par rapport au rayon moyen. Valeur élevée pour tous les types d'irrégularités de la cornée (cicatrices, astigmatisme, corneal warpage, kératocône...)

IVA: (Index of Vertical Asymmetry)

Degré de symétrie des rayons de courbure de la cornée autour du méridien horizontal.

Valeur élevée en cas d'astigmatisme oblique, de kératocône ou d'ectasie limbique.

KI: (Keratoconus Index)

Augmente avec la sévérité d'un kératocône.

CKI: (Center Keratoconus Index)

Augmente avec la sévérité d'un kératocône central.

Rmin: (Minimum Sagittal Curvature)

Plus petit rayon de courbure sagittal mesuré sur la totalité de la cornée.

IHA: (Index of Height Asymmetry)

Degré de symétrie des données d'élévation autour du méridien horizontal.

Analogue au

IVA, cependant parfois plus sensible.

IHD: (Index of Height Decentration)

Calculé à partir de l'analyse de Fourier des données d'élévation, cet indice donne le degré de décentrement dans la direction verticale. Valeur élevée en cas de kératocône.

ABR: (Aberration coefficient)

Calculé à partir de la décomposition de Zernike. S'il n'y a pas d'aberrations cornéennes anormales, $ABR = 0$ sinon $ABR \geq 1.0$, suivant le degré d'aberration.

En cliquant avec le bouton gauche ou droit de la souris sur l'un des paramètres, un tableau récapitulatif de la signification de chaque paramètre apparaît une déviation standard pour une population normale.

Lorsqu'une valeur mesurée est décalée de plus de 2.5 fois la déviation standard, celle-ci est inscrite sur fond jaune.

Les valeurs pathologiques, c'est-à-dire décalées de plus de 3 fois la déviation standard, sont inscrites sur fond rouge.

Valeurs limites des indices:

Indice	Valeur anormale (jaune)	Valeur pathologique (rouge)
ISV	≥ 37	≥ 41
IVA	≥ 0.28	≥ 0.32
KI	≥ 1.07	≥ 1.07
CKI	≥ 1.03	≥ 1.03
Rmin	≥ 6.71	≥ 6.71
IHA	≥ 19	≥ 21
IHD	≥ 0.014	≥ 0.016
ABR	≥ 1	≥ 1

Basé sur une combinaison de plusieurs indices, le champ "*Diagnostic topo. Kératocône*" donne un diagnostic et évalue l'importance d'un kératocône. En plus des classifications de 1 à 4, il peut aussi proposer le diagnostic "*possible*" dans certains cas de suspicion de kératocône. La présente classification a été adaptée à partir de celle d'Amsler et Muckenhirn.



A noter qu'il est nécessaire de toujours garder à l'esprit que l'évaluation donnée par le Pentacam est basée uniquement sur la topographie et ne doit pas être considérée comme étant un diagnostic clinique.

Hormis les différents stades d'évolution, le logiciel peut aussi afficher des commentaires du type "*Cornée sévèrement déformée*", "*chirurgie réfractive*" ou encore "*Dégénérescence*

Pellucide Marginale" en cas de topographie présentant le même aspect spécifique.

En cliquant sur cette partie de l'écran, un tableau récapitulant les signes cliniques associés à chaque stade d'évolution d'un kératocône apparaît.

Il est à nouveau souligné qu'un diagnostic de kératocône émis sans prendre en considération les informations cliniques correspondantes peut être faux car des topographies similaires peuvent être obtenues en cas d'irrégularités du film lacrymal ou de la surface cornéenne, ou bien encore en cas de problème de fixation.

Classification des stades de Kératocônes utilisée en topographie cornéenne.								
	AV avec Lunettes	AV avec Lent. cont.	Indices ISV	KI	Essentielle à 30°	Réfrim	Réfrinoscopie	Cornée
Stade (signes précoces)	20/20 à 20/15	20/20 à 20/15	<30	1.04 à 1.07	Les 4 valeurs sont normales	7.8 à 6.7	Fine de lumière claire ou de mouvement d'ombre, soupçon d'effet ciseaux.	Cornée claire, discrète. Umbes horizontales, ovales ou rondes centrées ou légèrement décentrées, lors de l'observation à l'ophthalmoscope direct.
Niveau 1	20/25 à 20/15	20/20	30 à 55	1.07 à 1.15	Parfois une valeur est anormale	7.5 à 6.5	Réflexe réfrinoscopique distordu. Effet ciseaux.	Cornée claire. Anneau de Fleischer à la base de l'apex. Le cône et la base du cône sont clairement visibles en ophtalmoscopie directe. La diminution de la pachymétrie en l'apex n'est pas visible mais mesurable.
Niveau 2	20/80 à 20/20	20/30 à 20/20	55 à 90	1.10 à 1.25	Souvent une valeur est anormale	6.8 à 5.3	Effet ciseaux clair, réfrinoscopie difficile à réaliser.	Souvent la cornée est encore claire, l'apex s'est légèrement aminci et éventuellement décentré. Anneau de Fleischer partiel ou oculaire. Des stries parallèles (Vogt-Stälar) peuvent être visibles.
Niveau 3	20/125 à 20/30	20/40 à 20/20	90 à 150	1.15 à 1.45	Au moins une valeur est anormale	5.6 à 4.8	Effet ciseaux évident, réfrinoscopie quasiment impossible à réaliser.	L'apex s'est aminci, décentré et est souvent légèrement opaque. Anneau de Fleischer visible, clair et principalement circulaire. Le signe de Munson peut éventuellement apparaître.
Niveau 4	<20/400 à 20/100	20/100 à 20/40	>150	>1.50	Au moins une valeur est anormale	<5 ou non mesuré	Impossible d'effectuer une réfrinoscopie.	La cornée est souvent tourmentée et opaque dans la zone autour de l'apex. Signe de Munson évident. C'est éventuellement un stade final de Kératocône.

Remarques:

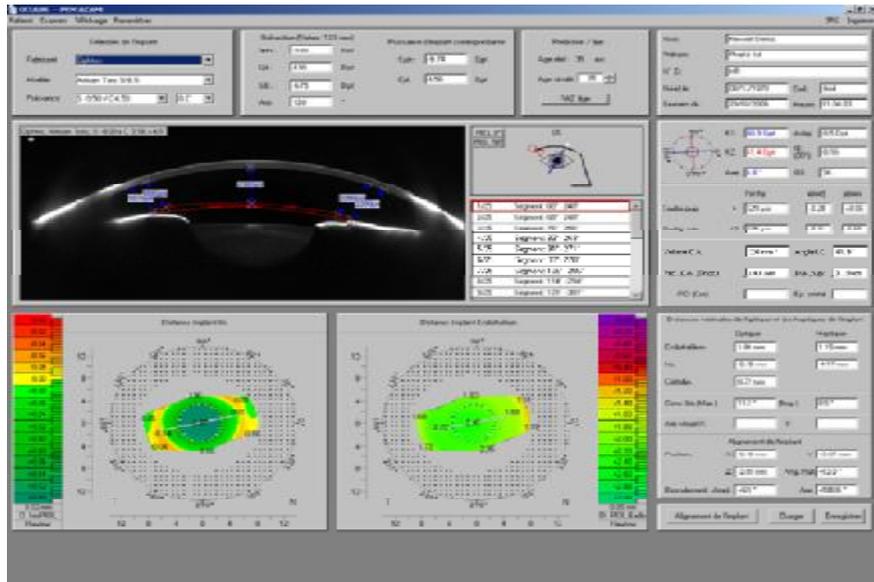
- Frustrer (signes précoces): Le diagnostic de kératocône frustré est toujours basé sur des critères cliniques comme une modification de la puissance et de l'axe de l'astigmatisme, des valeurs de réfraction fluctuantes, des modifications visibles en réfrinoscopie et des opacités cornéennes lors de l'observation à l'ophthalmoscope direct. Une topographie cornéenne apporte une information supplémentaire mais le diagnostic ne peut pas être basé sur ces seuls résultats. Des irrégularités du film lacrymal et des problèmes de fixation peuvent engendrer des images similaires sans pour autant qu'il y ait de kératocône.
- Cette classification est adaptée à partir des standards de Amller et Muckelshin. Cette classification est basée sur les topographies et non sur les signes cliniques.
- ISV = Indice de variance de surface KI = Indice de Kératocône Réfrim = Rayon de courbure minimale de la cornée. L'essentiel à 30° se réfère aux quatre valeurs mesurées en nasal, temporal, inférieur et supérieur.
- Si une acuité visuelle entre 20/25 et 20/20 est obtenue avec une correction lunettes, les lentilles de contact ne sont pas nécessairement indiquées.
- Signe de Munson: La cornée se bombe en avant. La fosse conique est aisément reconnaissable de profil, particulièrement par le bombement aigu observé au niveau de la paupière inférieure lorsque le patient regarde vers le bas.

8. Pentacam et implants : programme de simulation d'implants phaqes :

Le programme de simulation de lentilles phaqes intraoculaires est conçu pour assister les chirurgiens dans le bilan préopératoire à l'implantation d'un implant phaue de chambre antérieure.

Ce logiciel effectue un calcul automatique de la puissance respective de l'implant en fonction des données de réfraction subjective du patient.

L'implant sélectionné est placé automatiquement sur l'iris. La distance entre l'implant et l'endothélium est calculée automatiquement en tout point et affichée sous forme de cartes colorées.

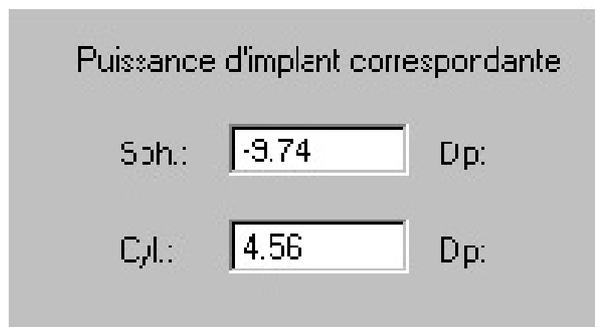


- Sélection de l'implant

Le logiciel a besoin de connaître les données de réfraction subjective pour les distances au vertex de 12 mm.



La puissance réfractive de l'implant est calculée automatiquement en fonction de la réfraction subjective du patient.



Puissance d'implant correspondante

Sph.: Dp:

Cyl.: Dp:

La sélection de l'implant est effectuée à l'aide du champ "Sélection de l'implant" situé en haut à gauche de l'écran. Pour cela, choisissez un fabricant puis un modèle d'implant



Sélection de l'implant

Fabricant

Modèle

Puissance

- Artisan Myopia 5/8.5
- Artisan Myopia 6/8.5
- Artisan Hyperopia 5/8.5
- Artiflex Myopia 6/8.5
- Artisan Toric 5/8.5

Lorsque vous cliquez dans le champ "Puissance", la liste de toutes les puissances réfractives disponibles chez le fabricant pour le modèle sélectionné apparaît. Une fois la puissance désirée sélectionnée, l'implant est simulé dans la chambre antérieure.

La position pour les implants toriques dépend souvent de la forme de l'iris. Le logiciel permet de choisir l'axe de l'implant entre 0° et 90° dans le champ situé à droite de la puissance.

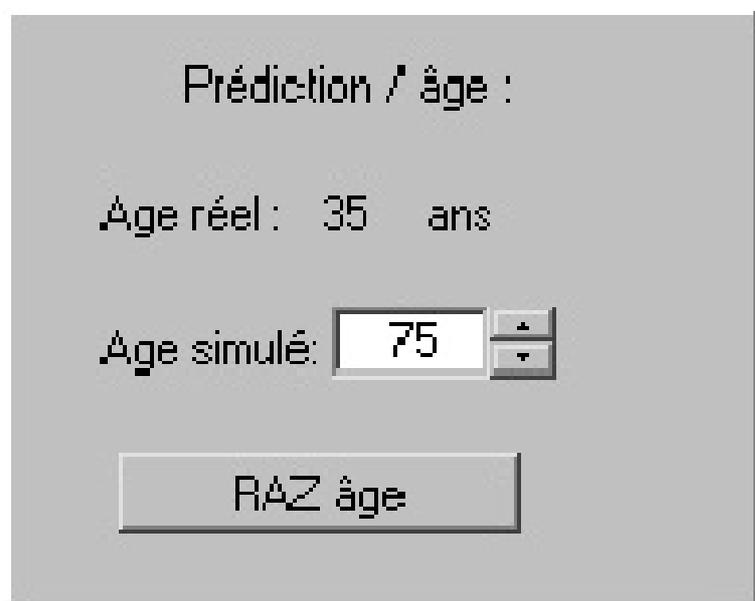


Puissance

- Prédiction de la puissance de l'implant par rapport à l'âge

Comme la distance minimale entre l'implant et l'endothélium doit être étroitement surveillée, un module de simulation suivant l'âge a été ajouté.

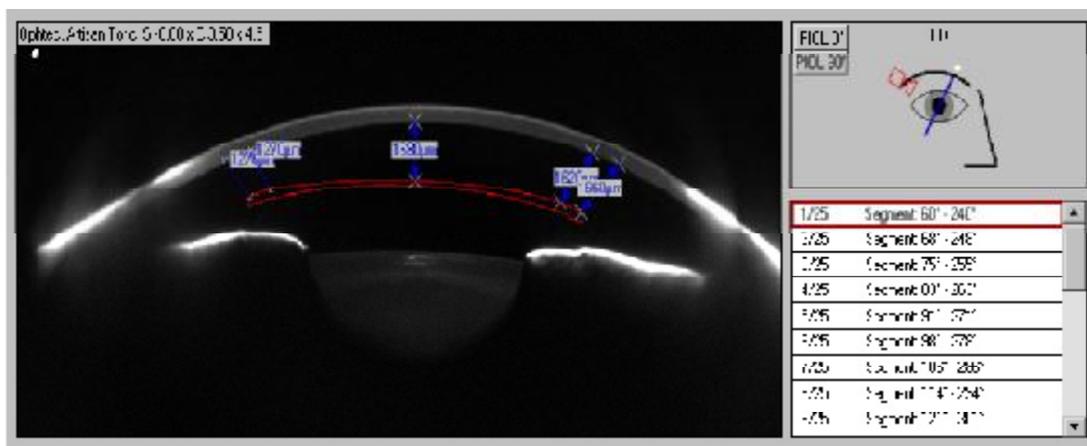
Le logiciel suppose un déplacement de 18 μm par an du cristallin vers l'endothélium. Il s'ensuit donc un déplacement de l'iris de la cornée. L'âge du patient peut être changé. Suivant l'âge simulé le logiciel recalcule les distances sur l'image scheimpflug.



- Simulation de l'implant sur les images scheimpflug

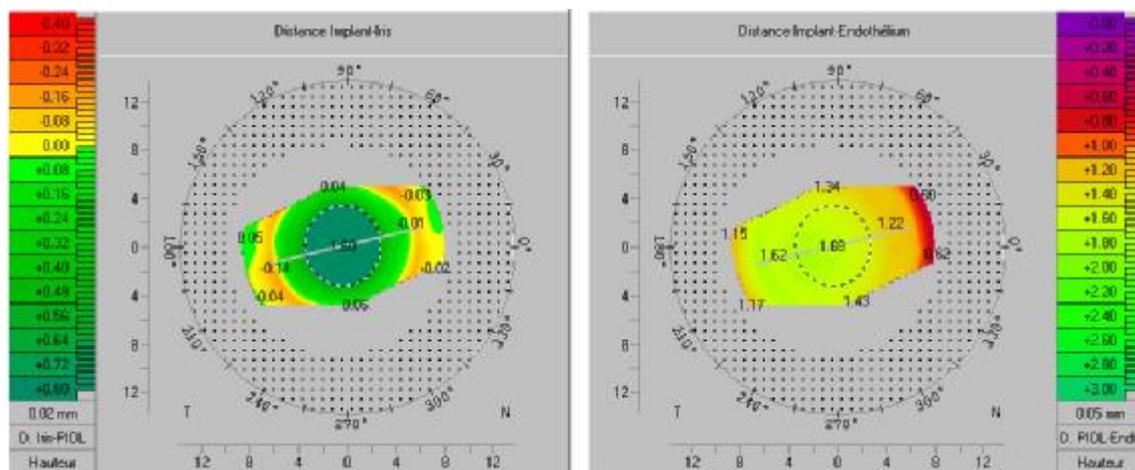
L'image scheimpflug avec la simulation de l'implant est affichée au milieu de l'écran. Le fabricant, le modèle et la puissance de l'implant sélectionné sont affichés en commentaire. La position de l'implant est simulée sur chaque image scheimpflug. Les distances minimales critiques affichées sont définies de la manière suivante :

- Ø centre de l'optique antérieur de l'implant/ endothélium.
- Ø bord optique gauche et droit de l'implant/ endothélium
- Ø bord extérieur des haptiques gauches et droit/ endothélium.



- Simulation colorée de l'implant

Des crtes colorées affichent la position de l'implant ainsi que les distances de l'implant et de l'iris par rapport au cristallin et la distance de l'implant par rapport à l'endothélium.



- Distance minimale

Les distances minimales entre l'implant et les structures alentours sont calculées à partir du modèle 3D. C'est pourquoi, elles sont indépendantes de l'image scheimpflug visualisée et peuvent différer des mesures manuelles.

Les distances entre l'optique de l'implant, l'haptique, l'endothélium, l'iris, le cristallin peuvent être indiqués.

La direction de la convexité de l'iris est affichée sous deux formes :

Ø Une direction correspondant à la valeur maximale de la convexité et exprimée sous forme d'un angle.

Ø Une direction correspondant à la valeur moyenne de la convexité de l'iris et exprimée sous forme d'un angle.

L'axe visuel peut être indiqué manuellement si nécessaire. En cas d'excentricité importante, il peut être utile de centrer l'implant sur l'axe visuel.

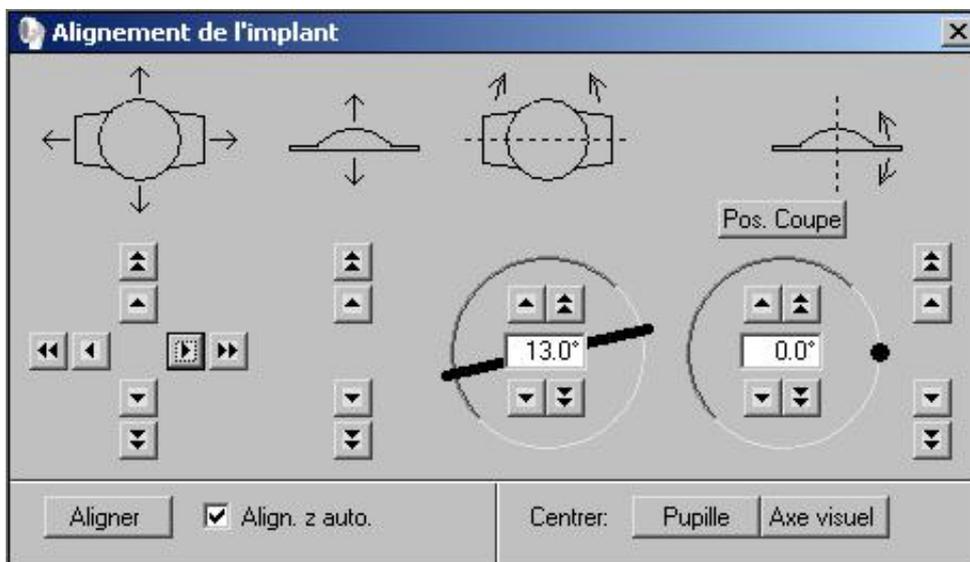
Distances minimales de l'optique et des haptiques de l'implant			
	Optique		Haptique
Endothélium	<input type="text" value="1.22 mm"/>		<input type="text" value="0.74 mm"/>
Iris	<input type="text" value="-0.30 mm"/>		<input type="text" value="-0.28 mm"/>
Cristallin	<input type="text" value="0.51 mm"/>		
Conv. Iris (Max.)	<input type="text" value="15.0 °"/>	(Moy.)	<input type="text" value="12.9 °"/>
Axe visuel X	<input type="text"/>	Y	<input type="text"/>
Alignement de l'implant			
Position:	X <input type="text" value="+0.07 mm"/>	Y	<input type="text" value="-0.01 mm"/>
	Z <input type="text" value="-2.59 mm"/>	Ang. Rot.	<input type="text" value="0.0 °"/>
Basculement:	Ampl. <input type="text" value="+2.0 °"/>	Axe	<input type="text" value="+233.9 °"/>
<input type="button" value="Alignement de l'implant"/> <input type="button" value="Charger"/> <input type="button" value="Enregistrer"/>			

- Alignement manuel de l'implant

L'alignement manuel de l'implant permet de simuler différentes situations.

Plusieurs types de déplacements 3D sont possibles, soit à l'aide des boutons de déplacement, soit en entrant directement des valeurs numériques.

La rotation manuelle de l'implant autour de son axe optique peut être réalisée de même que le basculement manuel pour lequel l'axe et l'amplitude peut être choisie.



9. PENTACAM et lentilles :

- Module d'adaptation de lentilles de contact

La mesure de la géométrie cornéenne est utile en cas d'adaptation de lentilles de contact. Sans contrainte, elle permet la pose d'une lentille et l'étude de son adaptation par simulation.

Les données obtenues sont la suivante :

- Rayon de courbure le plus plat au centre
- Rayon de courbure le plus cambré au centre
- Moyenne arithmétique des deux rayons de courbure précédents

TOPOGRAPHIE CORNEENNE PAR PENTACAM Quel apport ?

- Astigmatisme cornéen au centre
- Axes : direction du méridien le plus plat
- Excentricité moyenne de la cornée
- Différence de fixation : distance entre le centre de la pupille et le centre la topographie cornéenne.

Les valeurs de la sphéricité cornéenne suivant les méridiens principaux sont affichées dans un tableau sous forme de valeurs du centre de la périphérie. La sphéricité moyenne est calculée et affichée pour chaque angle périphérique.

L'écran suivant apparaît :

Partie gauche: Données cornéennes

Partie droite: Données lentilles

The screenshot displays the PENTACAM software interface, divided into two main sections: 'Données cornéennes' (left) and 'Données lentilles' (right).

Données cornéennes (Left Panel):

At the top, patient information is entered: Nom: Ném Dénic, Keatocorn; V° II: ruspocous; Examen de: 29/08/2005; N°(e) s: 13/001935; Dist: droit; info. exam: ruspocous Keatocorn; Heure: 12:33:11.

The main section is titled 'Asphéricité (Q) (Face antérieure) suivant les méridiens principaux'. It contains a table of 'Degrés périphériques' with columns for 20°, 25°, 30°, 35°, and 40°. The rows represent different astigmatism components: K_{max}, K_{temp}, K_{fl}, and K_{sup}, along with their 'Valeur moyenne (Q)'. A 'K_{mo}' value is also shown at the bottom.

	20°	25°	30°	35°	40°
K _{max} [Q]	-0.51	-1.15	1.13	-1.93	-1.63
K _{temp} [Q]	-0.43	-0.25	0.37	-1.39	-1.39
K _{fl} [Q]	-0.58	-0.65	0.70	-1.76	-1.95
K _{sup} [Q]	-0.03	-0.46	0.71	-1.04	-1.03
Valeur moyenne [Q]	-0.43	-0.65	0.73	-1.72	-1.70

Below the table, corneal parameters are listed: R₀: 7.67 mm; R₁: 7.75 mm; R₂: 7.51 mm; Avig: 1.90 pt; Ax: 1.3°; Q₁ (39°): 0.73; D₁ Fix: 4.30 mm. A diagram shows the corneal axes and angles.

Données lentilles (Right Panel):

This panel is titled 'Adaptation détaillée de contact' and shows a list of 'Suggestions' for contact lenses. The table below lists various lens models with their parameters.

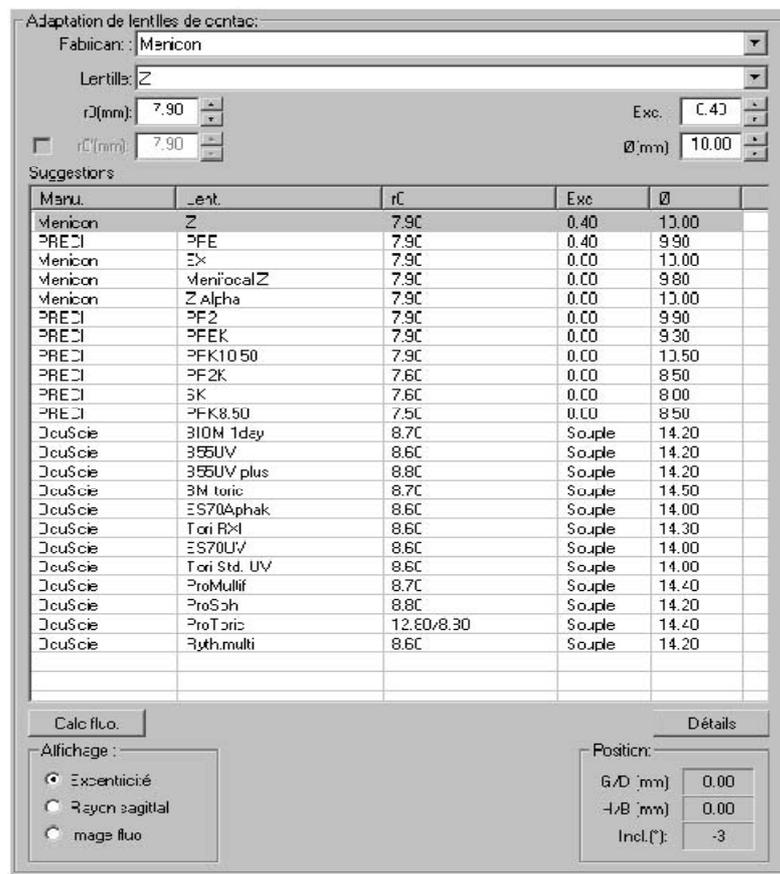
Marque	Lent	r0	Ecc	Ø
Mercon	Z	7.50	0.40	10.00
PFE CI	PFE	7.50	0.40	9.30
Mercon	DC	7.50	0.00	10.00
Mercon	Mérical Z	7.50	0.00	9.30
Mercon	Z Alpha	7.50	0.00	10.00
PFE CI	PHZ	7.50	0.00	9.30
PFE CI	PFE	7.50	0.00	9.30
PFE CI	PRC 0.58	7.50	0.00	10.50
PFE CI	PRZ	7.53	0.00	8.30
PFE CI	SK	7.53	0.00	8.30
PFE CI	PRC 50	7.50	0.00	8.30
OcuSce	BDN 1day	8.73	Suppl	14.20
OcuSce	ISSUV	8.63	Suppl	14.20
OcuSce	ISSUV plus	8.60	Suppl	14.20
OcuSce	BM base	8.73	Suppl	14.50
OcuSce	ESTOiprek	8.63	Suppl	14.00
OcuSce	1 on BD	8.63	Suppl	14.30
OcuSce	ISSUV	8.63	Suppl	14.00
OcuSce	Top lid IM	8.63	Suppl	14.00
OcuSce	PRM 88	8.73	Suppl	14.40
OcuSce	ProDsh	8.60	Suppl	14.20
OcuSce	ProTinc	12.30/8.00	Suppl	14.40
OcuSce	Rythmalt	8.63	Suppl	14.20

Additional controls include 'Calc. Iuo', 'Aftichage' (with options for Excentricité, Rayon sagittal, and Image Iuo), and 'Position' (with G/D [mm], F/B [mm], and Inc [°]).

• Sélection d'une lentille de contact

Les données géométriques de la cornée sont utilisées par le logiciel pour émettre des suggestions pour tous les types de lentille possible. Celles-ci sont ensuite affichées dans une liste de suggestions.

La liste est triée de façon à ce que les lentilles dont la géométrie s'adapte le mieux à la forme de la cornée soient situées en haut. Les suggestions concernant les lentilles souples sont toujours placées en fin de liste. Les paramètres de la première lentille sont automatiquement affichés dans les champs correspondants : Fabricant, lentille, rayon central, excentricité, toricité, diamètre.



Chaque paramètre peut être modifié individuellement ou une autre lentille peut être essayée dans la liste des suggestions. Cependant il est possible de modifier les paramètres d'une lentille que si les paramètres désirés sont disponibles chez le fabricant.

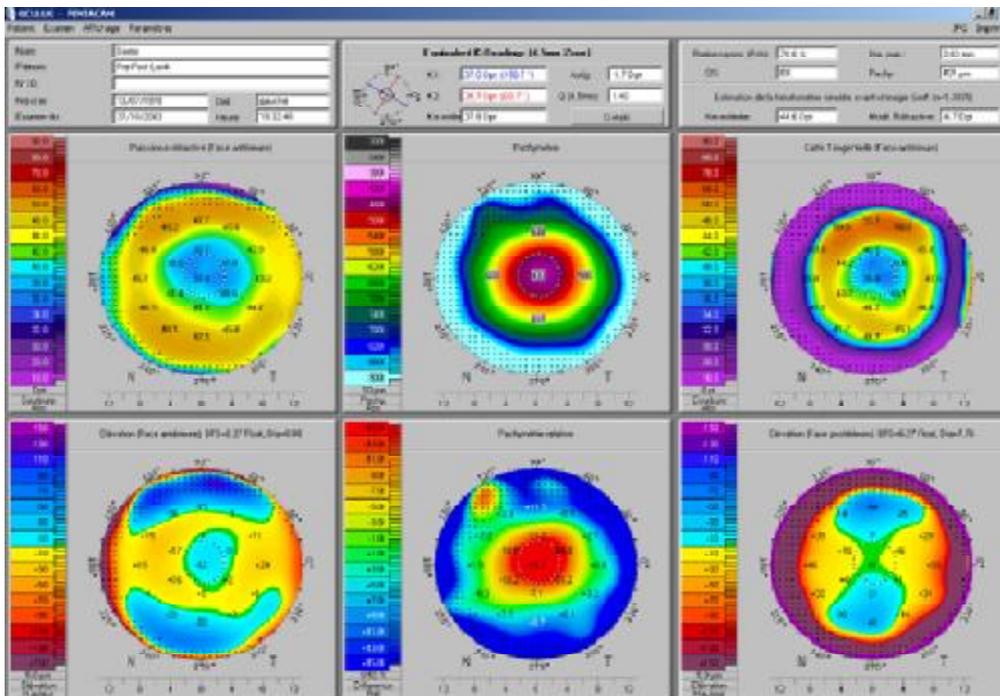
TOPOGRAPHIE CORNEENNE PAR PENTACAM Quel apport ?

Le calcul du rayon de courbure équivalente est effectué à partir du centre pupillaire et non de l'apex cornéen, et de la carte de puissance réfractive.

Le rapport de Holiday comprend cinq cartes colorées et un champ numérique.

Les cartes colorées donnent un aperçu simple et rapide des conditions cornéennes :

- Puissance cornéenne
- épaisseur cornéenne
- carte tangentielle
- pachymétrie relative
- carte d'élévation de la face antérieure
- carte d'élévation de la face postérieure
- données du patient.



Rayon de courbure équivalent :

Ils sont calculés dans la zone des 4,5 mm autour du centre pupillaire ainsi que leur orientation. La kéatométrie moyenne K_m est la moyenne arithmétique des rayons de courbure équivalente, K_1 et K_2 . Ils peuvent être utilisés pour calculer la puissance réfractive d'un implant pour les patients ayant subi une chirurgie réfractive par le passé. Le calcul des rayons de courbure équivalent est basé sur le ratio entre les rayons des faces antérieures et postérieures de la cornée dans la zone des 4,5 mm.

Cette fonction est unique car le pentacam est le seul système actuellement disponible pour calculer avec une grande précision le centre de la cornée grâce à son principe d'acquisition par rotation.

L'asphéricité de la cornée dans la zone des 4,5 mm est aussi affichée.

V. LECTURE ET INTERPRETATION : [30] [31]

A. Introduction :

La lecture de la topographie cornéenne est une étape très importante pour prendre la bonne décision avant d'effectuer une chirurgie réfractive. La décision est parfois complètement changée dans une autre modalité thérapeutique (comme le passage aux implants phaqes au lieu du Lasik en raison de l'amincissement cornéen), ou nous pouvons avoir besoin de changer certains paramètres au sein de la même modalité (comme la réduction de la zone de traitement en 0,1 mm pour obtenir plus de correction lorsque l'épaisseur de la cornée est critique).

D'autre part, la lecture de la topographie cornéenne devrait être régularisé et organisé de manière logique pour régner tous les facteurs de risque possibles, tels que les lectures K, l'épaisseur cornéenne, l'indice Q et l'indice de kératocône.

B. Etapes de lecture de la topographie :

1. Affichage des quatre cartes réfractives :

Cette option consiste en 4 cartes principales: la carte sagittale antérieure, les cartes d'élévation antérieure et postérieure et la carte d'épaisseur cornéenne. Ces cartes nous donnent un aperçu général, mais nous devrions alors afficher chaque carte séparément.

2. Exécution de l'analyse de la page principale :

Nous devons regarder le front de la cornée et la cornée paramètres, alors nous devons suivre les règles suivantes:

- Spécification de qualité (QS): Cette icône spécifie la qualité de la capture topographique et devrait être affiché "D'ACCORD". Sinon, il y a des informations manquantes a été pratiquement produite par l'ordinateur et la capture devrait de préférence être répété.

- K-lectures: Nous devons considérer le plus plat K (habituellement K1) lors du traitement de la myopie. Chaque correction de -1 dpt aplatit le Ks de 0,75 dpt en moyenne. Nous ne devrions pas finir avec moins de 34 dpt après le traitement de la myopie afin d'avoir une bonne qualité de vision. Finissant avec moins de 34 dpt signifie que la surface antérieure de la cornée est devenu très plate (oblate) et le patient souffre d'aberrations sphériques positives (Figure 1.).

D'autre part, nous devons considérer le Ks le plus raide (habituellement K2) lors du traitement de l'hypermétropie. Nous ne devrions pas finir avec plus de 48 dpt après le traitement de l'hypermétropie afin d'avoir une bonne qualité de vision.

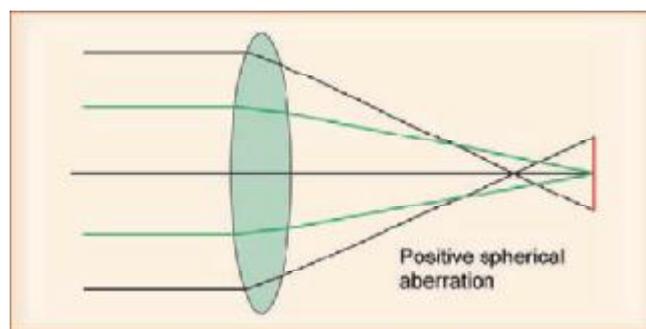


Figure 1. Aberration sphérique positive. Cela se produit lorsque la partie périphérique de la surface de réfraction a un pouvoir de réfraction plus élevé que sa partie centrale (cornée oblate).

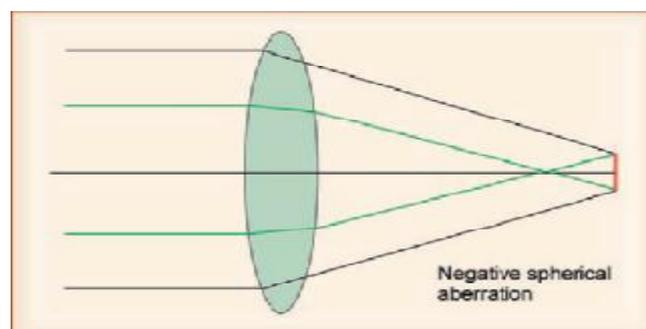
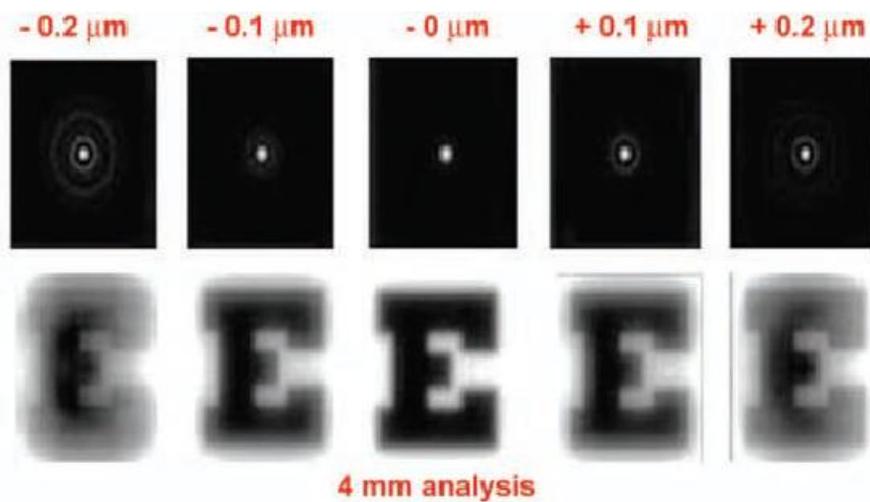


Figure 2. Aberration sphérique négative. Cela se produit lorsque la partie périphérique de la surface de réfraction a une plus faible puissance de réfraction que sa partie centrale (cornée prolate).

- Astigmatisme cornéen: Nous devons calculer la somme algébrique de l'astigmatisme des faces antérieure et postérieure de la cornée, puis nous devons la comparer avec la réfraction manifeste pour exclure les causes d'incongruence, telles que astigmatisme lenticulaire, la cataracte sous-capsulaire postérieure, la perturbation du film lacrymal, ... etc.
- Q-value: Cette valeur décrit la pente de la cornée. Il est une valeur moyenne, nous devons nous référer à la carte topométrique pour estimer cette valeur avec ses nombreuses interprétations et applications cliniques.



- Le point le plus fin : cette catégorie nous donne une idée sur l'épaisseur de la cornée, mais nous devons nous référer à la carte de l'épaisseur pour avoir une image complète du cas. C'est très important d'étudier la relation entre le point le plus fin et la pachymétrie de l'apex, en fonction de l'épaisseur et en fonction de l'emplacement.
- Localisation du centre pupillaire : Il est important à étudier surtout lors du traitement de l'hypermétropie.
- Volume de la cornée: Certaines études sont réalisées pour établir la relation entre le volume de la cornée et changements ectasique, afin de conclure un nouvel indicateur de kératocône.

- Volume de la chambre antérieure : Volume inférieur à 100 mm³ devrait nous alerter pour rechercher un glaucome à angle fermé.
- Profondeur de la chambre antérieure : Profondeur de la chambre antérieure centrale, mesurée de la face interne de l'endothélium cornéen à l'iris. Son étude a un grand intérêt en matière des IOL phaqes. Ça ne devrait pas être inférieur à 2,8 mm pour maintenir l'endothélium cornéen intact.
- Pression intra-oculaire IOP: Cliquez sur l'icône et entrez le IOP pour avoir le calculer la pression intra-oculaire corrigée en fonction de l'épaisseur de la cornée. Dans le même but, la case à proximité affiche la valeur qui devrait être ajouté algébriquement à la pression à corriger.
- KPD: La valeur moyenne de l'écart de puissance kératométrique des points cornéens situés dans un cercle de diamètre entre 0,8 mm et 1,6 mm et centré sur l'apex de la cornée. La valeur normale est inférieure à +0,75. Lorsque la valeur est supérieur à +1,5, elle est anormale évoquant une cornée anormale, tels que: post-lasik, post-PRK, kératocône ou après une greffe de cornée.
- Angle irido-cornéen: Un angle inférieur à 25 ° devrait nous avertir pour vérifier la présence ou non d'un glaucome à angle fermé.
- Diamètre de la pupille: Il est important de mesurer le diamètre pupillaire en éclairage moyen (pupille mésopique), en dehors de toute forte illumination (pupille photopique) ou une obscurité (pupille scotopique).
- Épaisseur du cristallin : Si la pupille n'est pas assez dilatée, la lumière de la fente de la caméra ne peut pas atteindre la surface postérieure du cristallin, de sorte que l'ordinateur ne peut pas mesurer son épaisseur.

3. Étudier les cartes :

a) La carte de la courbure sagittale antérieure :

La cornée normale: En considérant la topographie d'une cornée normale, il est important de se rappeler qu'il y a un large spectre de normalité. Aucune cornée humaine ne démontre les types de régularité trouvés dans l'étalonnage sphères du topographe: l'œil n'est pas fait de verre moulé.

Topographie cornéenne normale peut avoir:

Astigmatisme régulier: Chaque être humain a un certain degré d'astigmatisme, même minime. La règle est que le méridien vertical de la cornée est légèrement plus incliné que l'horizontal. Ceci est appelé "un astigmatisme conforme à la règle ". Figure 4. montre la symétrie entre les segments "a" et "b". Ils sont également égaux en taille. C'est le type normal, et connu comme "nœud papillon symétrique" (Figure 5.).

Si le nœud papillon symétrique est horizontal, il représente un astigmatisme non conforme à la règle, en rotation de 90 ° si on le compare à "l'astigmatisme conforme à la règle " (figure 6.).

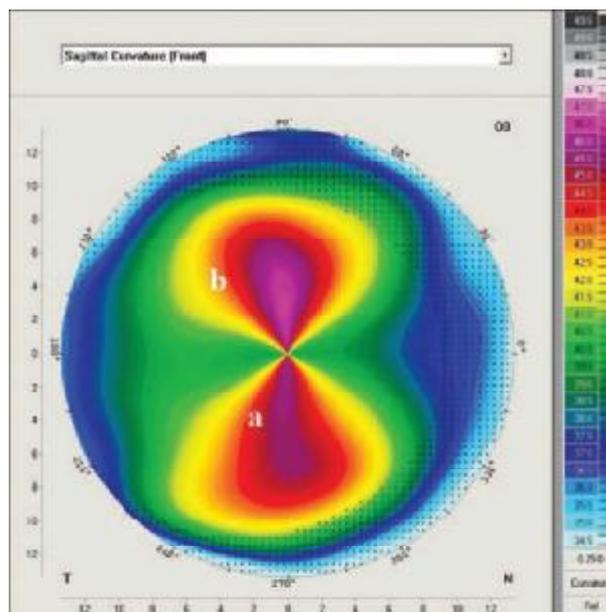


Figure 4. Nœud papillon symétrique. Ceci est le modèle cornéen normal de la courbure de la surface antérieure, appelée astigmatisme conforme à la règle.

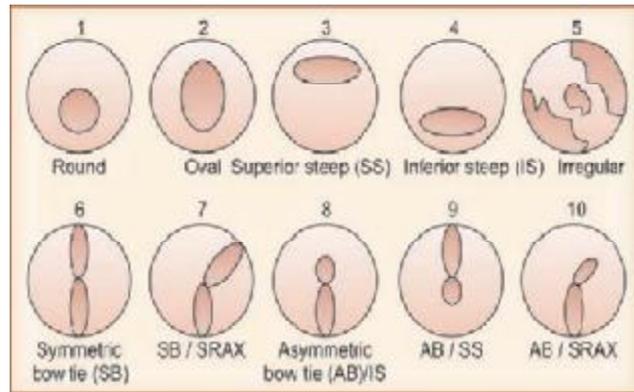


Figure 5. Schémas de formes topographiques caractérisant l'irrégularité.

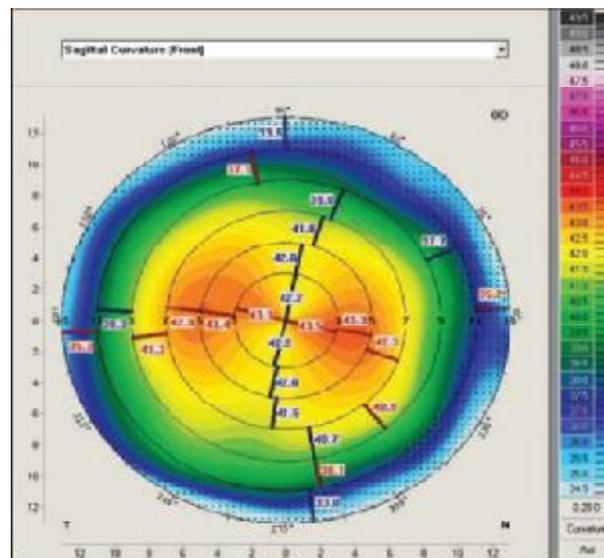


Figure 6. Nœud papillon symétrique avec astigmatisme non conforme à la règle, ce qui est normal mais moins commun.

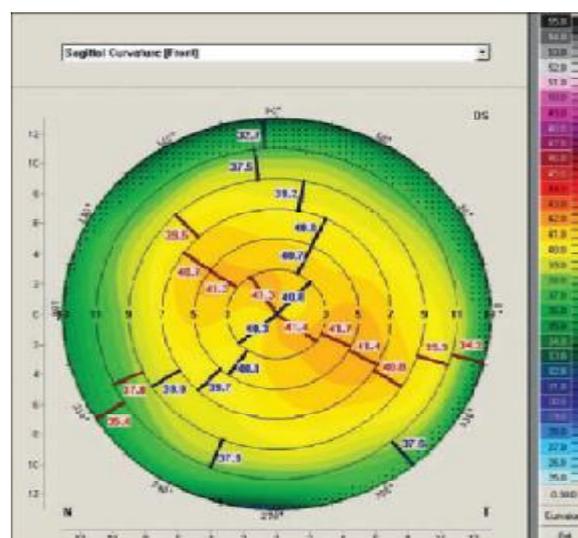


Figure 7. Nœud papillon symétrique avec astigmatisme oblique, toujours normal mais moins commun.

TOPOGRAPHIE CORNEENNE PAR PENTACAM Quel apport ?

Lorsque le nœud papillon est diagonal, il représente une cornée ayant un astigmatisme oblique (figure 7.).

Le côté nasal d'une carte cornéenne saine devient bleu plus rapidement, indiquant que la cornée nasale est plus plate que la temporale.

Généralement, les deux yeux du même sujet normal sont très similaires, et présentent deux images en miroir (Figure 8.). Ce phénomène est appelé énantiomorphisme. La connaissance de ce fait est utile pour décider si une cornée est normale ou non, en comparant les deux cartes du même patient.

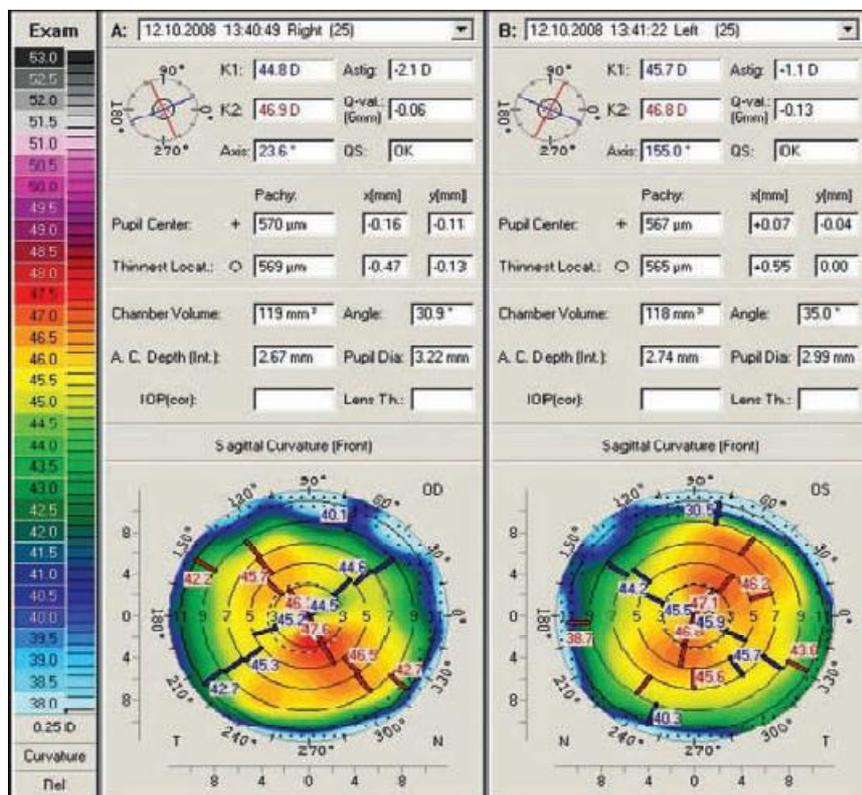


Figure 8. Enantiomorphisme

A noter qu'en étudiant le modèle de courbure cornéenne, il est important d'étudier la seule carte agrandie en choisissant l'option de cercles projetés et les deux principaux axes de courbure, afin de comparer facilement les valeurs dans le même œil et entre les deux yeux (Figure 9.).

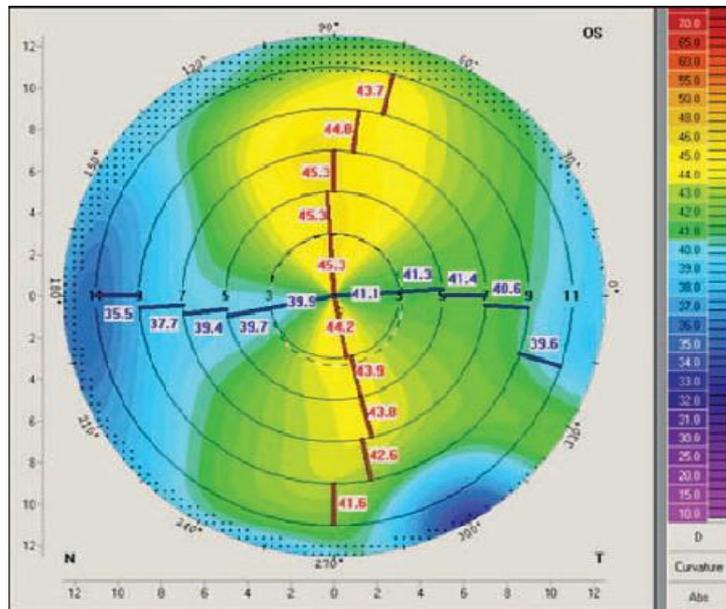


Figure 9. Cercles projetés et les deux grands axes de courbure sur la carte de courbure.

b) Motifs de formes topographiques Caractériser l'irrégularité : (Figure 5.)

Au niveau du cercle central de 4 mm :

- On peut calculer le rapport I-S Rabinovich, qui doit être $< +2$.
- Il faut se méfier de la règle des 2 de Rowsey.
- La puissance de courbure du point le plus bas du cercle ne doit pas dépasser $1,5 D$ par rapport du point supérieur et pas plus de $2,5D$ et vice versa.

Voici des points importants:

- Auparavant, il était recommandé que les K reading antérieures ne doivent pas être plus de $47D$ sur la carte de courbure sagittale antérieure. Récemment, avec

la disponibilité de la technologie de volet mince, la puissance 49D est devenue acceptable.

- L'astigmatisme cornéen sur les deux surfaces ne doit pas être plus élevé que 6D; sinon c'est un facteur de risque.

- L'astigmatisme non conforme à la règle est considéré comme suspect.

c) Les cartes d'élévation :

Nous regardons les valeurs dans le cercle central de 4 mm en utilisant la sphère de référence (Best Fit Sphere : BFS). C'est parce que les données normatives suivantes dépendent de cette dernière :

1. Les valeurs d'élévation sur la carte de surface antérieure ne doivent pas dépasser +12 μ . Des valeurs comprises entre +13 μ et +15 μ sont suspectes, et toute valeur > +15 μ est considérée comme un facteur de risque.

2. Les valeurs d'altitude sur la carte de surface postérieure ne doivent pas dépasser +17 μ . Les valeurs comprises entre +18 μ et +20 μ sont suspectes, et toute valeur > +20 μ est considérée comme un risque facteur.

3. La différence entre les surfaces postérieure et antérieure (arrière-avant) ne doit pas dépasser +5 μ au même point. Par exemple: si la valeur postérieure est +12 μ et celle antérieure est +4 μ au niveau du même point, c'est un cas suspect, bien que les deux valeurs sont dans les limites normales.

4. S'il y a une île isolée aux surfaces antérieure ou postérieure, ceci est suspect, même avec des valeurs dans les limites normales (Figure 10.).

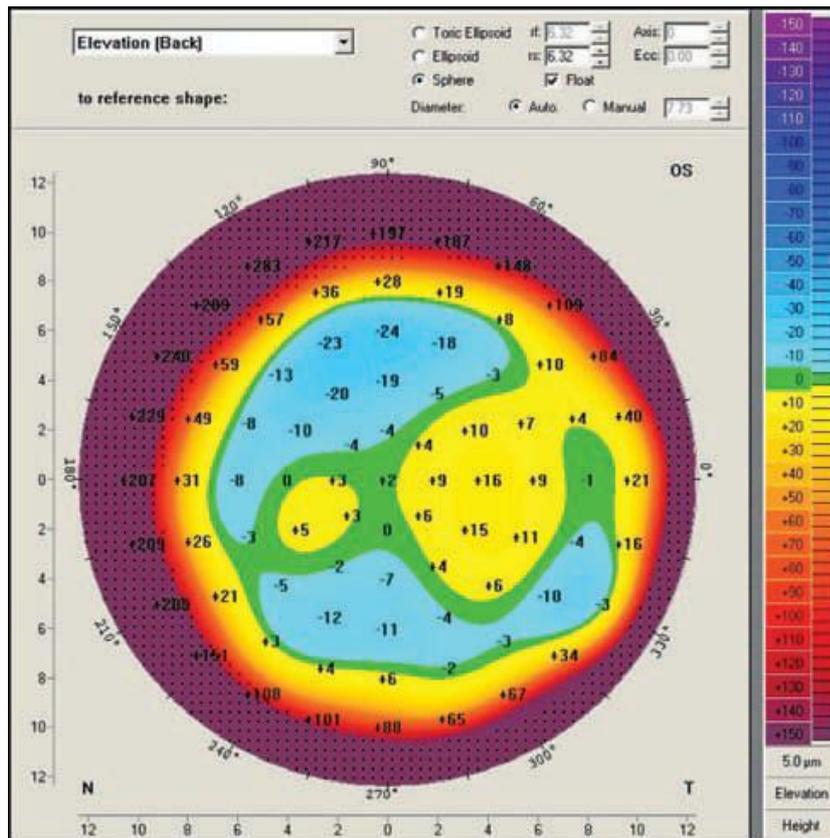


Figure 10. Ile presque isolée sur la face postérieure de la cornée.

Nous devrions faire attention à ce signe et le quantifier soigneusement pour exclure tout facteur de risque.

A noter qu'on doit être prudent :

- Lorsqu'il existe, dans le cercle central de 4 mm des cartes d'altitude, une valeur supérieure à +15 μ pour la surface antérieure, et plus de +20 μ pour la surface postérieure.

- Lorsque la différence "arrière-avant" est plus de + 5 μ au même point.

- Lorsqu'il y a une île isolée sur l'une des surfaces.

d) Carte d'épaisseur cornéenne :

La forme de la carte d'épaisseur donne une idée sur la forme de la cornée (figure 11.).

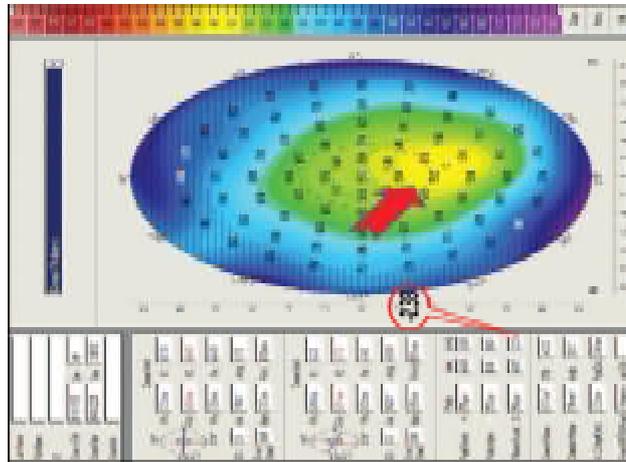


Figure 11. Le point le plus fin est sévèrement déplacé donnant à la carte d'épaisseur la forme d'un cône.

La relation entre le sommet de la cornée et le centre de pupillaire : il est important dans le cas de "décentration" ou "pupille décalée".

La relation entre le sommet de la cornée et le point le plus fin: Cette relation pourrait être selon l'épaisseur ou aux coordonnées.

- La relation selon l'épaisseur (Figure 13.) : La différence ne doit pas être plus de 10 μ
- La relation selon les coordonnées (Figure 12.): Lorsque la valeur dépasse - 500 μ , c'est un facteur de risque. Quand cette valeur dépasse -1000 μ , c'est un signe important d'un kératocône avancé (Figure 13.).

On cherche l'épaisseur sur le cercle de 4 mm: La différence entre les points supérieur et inférieur ne doit pas dépasser 30 μ (La différence supérieure-inférieure).

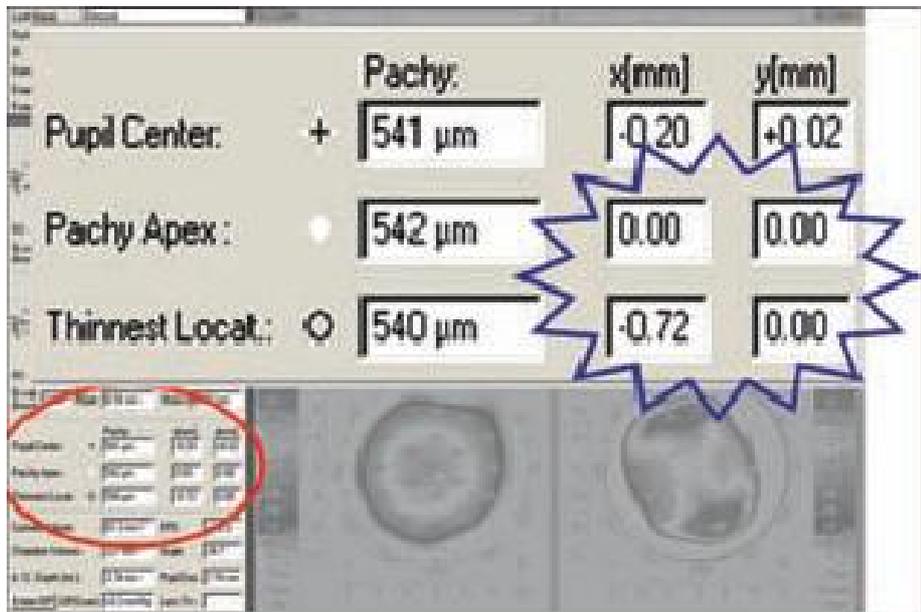


Figure 12. La relation entre la pachymétrie de l'apex et le point le plus fin selon les coordonnées.

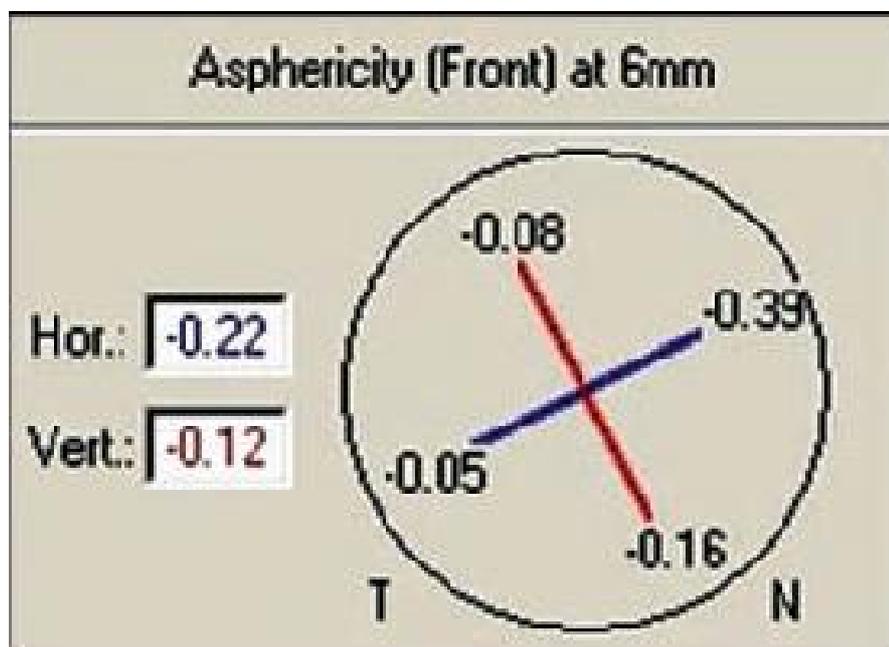


Figure 13. La carte topométrique. Q-valeur mesurée et affiché dans les quatre principaux secteurs de la cornée.

e) Carte topométrique :

La figure 13. illustre la valeur de Q dans quatre secteurs de la cornée: les secteurs nasal, temporal, supérieur et inférieur. Il montre aussi les valeurs moyennes verticales et horizontales. La figure 14. montre la valeur Q dans les quatre secteurs de la cornée dans les cercles centré sur l'apex de la cornée avec 6, 7, 8 et 9 mm diamètres (ou dans les angles de 20 °, 25 °, 30 ° et 35 ° respectivement).

Les valeurs les plus importantes sont la verticale en général et l'inférieur en particulier, comme sur la figure 15.

		Degrees peripheral				
		20°	25°	30°	35°	40°
Nas	(Q-val)	-0.69	-0.62	-0.62	-0.60	
Temp	(Q-val)	1.02	0.23	-0.23	-0.55	0.67
Inf	(Q-val)	2.24	1.45	0.81	0.18	
Sup	(Q-val)	-1.90	-1.13	-1.19	-1.18	
Mean Value	(Q-val)	0.17	-0.02	-0.31	-0.54	0.67

Figure 14. Valeurs Q selon différents anneaux concentriques et dans les quatre principaux secteurs.

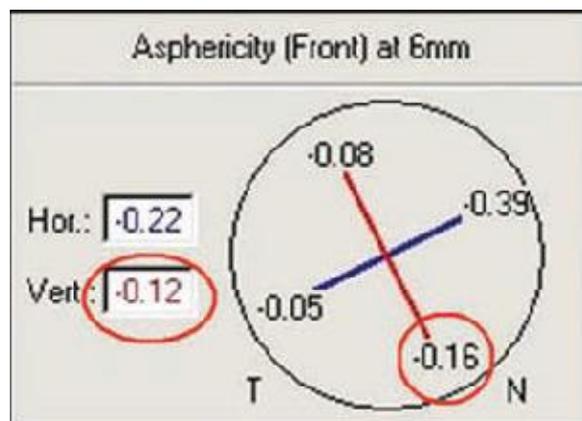


Figure 15. Les valeurs Q importantes dans la carte topométrique.

La valeur normale est $< -0,5$ (en valeur absolue). C'est une valeur limite quand elle se situe entre $-0,5$ et $-0,55$. Si la valeur est $> -0,55$ (en tant que valeur absolue), nous devons hésiter beaucoup avant de procéder au traitement Lasik standard. Le secteur le plus important est le secteur de 6 mm ou 20 °.

f) La page des indices de kératocône :

Il est important que la courbe rouge soit parallèle à la courbe normale. Dans certains cas, la courbe rouge dévie après quelques millimètres (figure 18.). Si la courbe rouge dévie au cercle de 6 mm ou après, c'est normal, sinon c'est un facteur de risque parce que la déviation rapide signifie que le centre de la cornée est relativement fin par rapport à la périphérie, ce qui s'est avéré être risqué soit avec Lasik, ou dans une certaine mesure avec PRK, soit chez le patient hypermétrope ou myope.

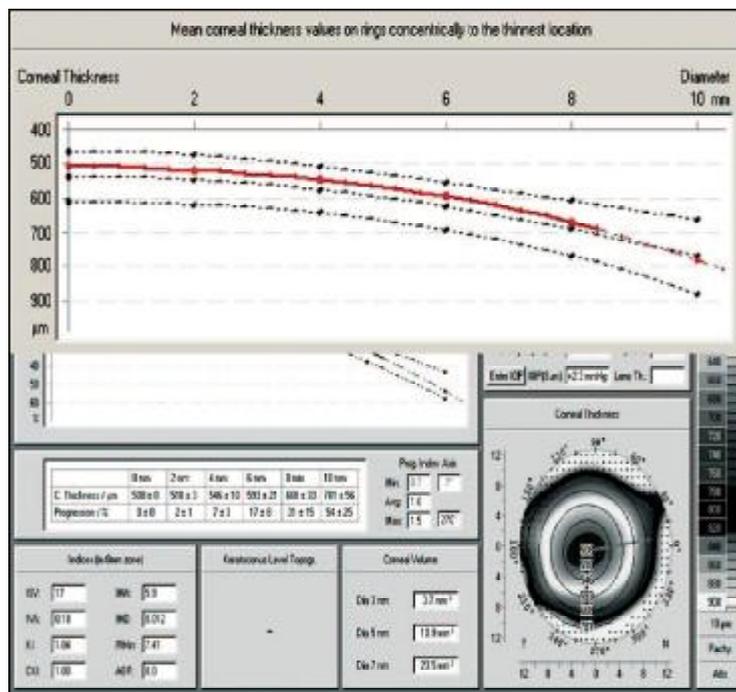


Figure 16. Valeurs moyennes de l'épaisseur de la cornée sur les anneaux concentriques par rapport au point le plus fin. Les lignes en pointillées noires sont l'intervalle normal. La ligne rouge est pour la cornée étudiée.

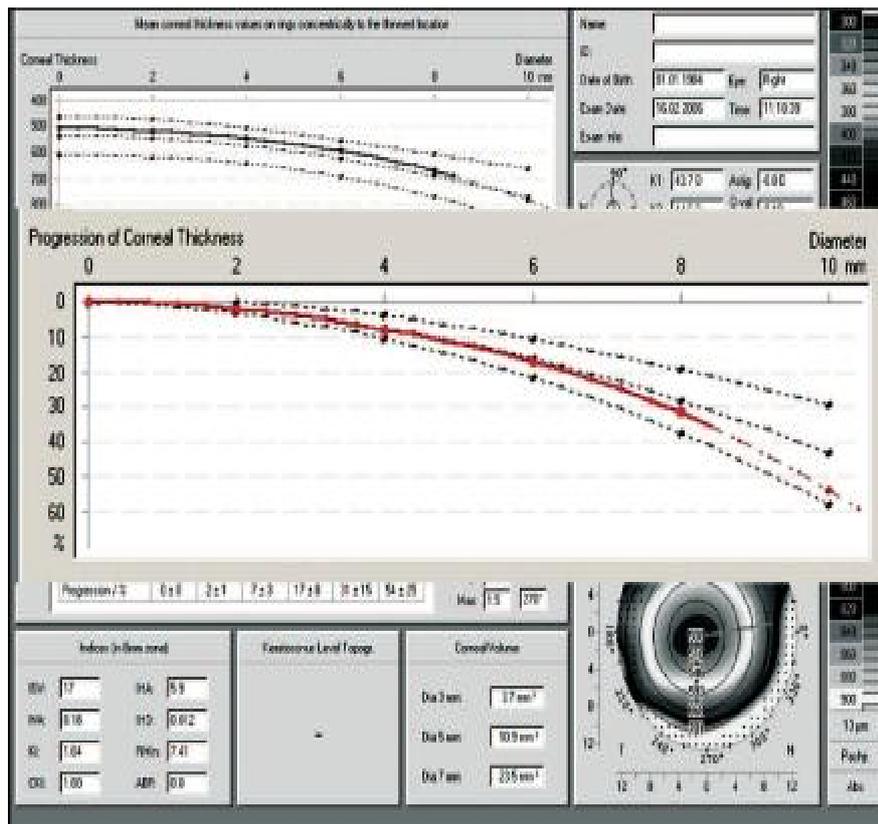


Figure 17. Progression de l'épaisseur de la cornée. Les lignes en pointillées noires sont l'intervalle normal. La ligne rouge est pour la cornée étudiée.

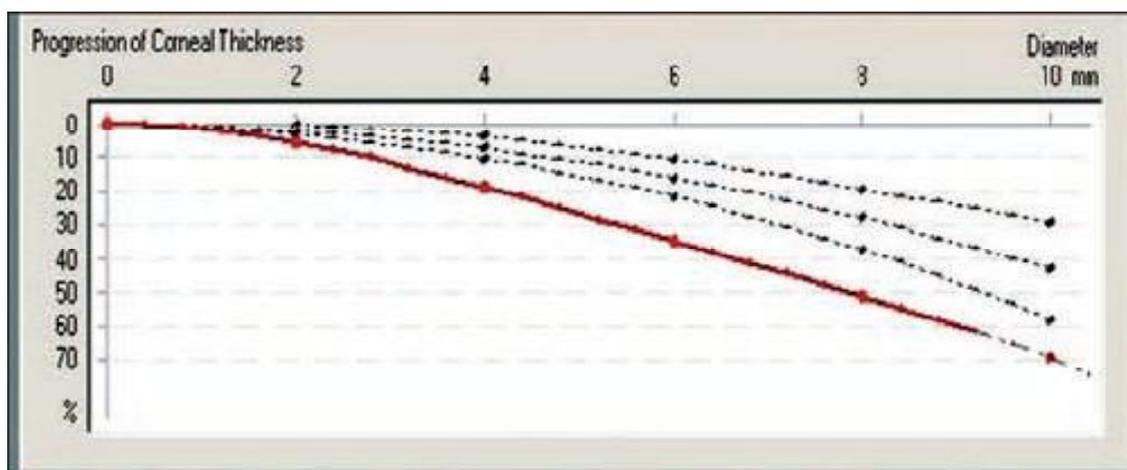


Figure 18. La progression de l'épaisseur cornéenne d'un kératocône. La ligne rouge mesurée est hors de l'intervalle normal, et dévie avant 6 mm.

g) La lecture des indices de kératocône :

Ø ISV : Index Surface Variance

Mesure la Courbure moyenne / moyenne des courbures.

Augmente en cas d'asymétrie (warepage, keratocone, ortho-K...).

Ø IVA : Index Vertical Asymetry

Comparaison des rayons des hémi-méridiens verticaux.

Augmente en cas d'asymétrie (warepage, keratocone, ortho-K...).

Ø KI : Keratoconus Index

Probabilité de présence d'un kératocône.

Augmente en fonction de l'évolution du kératocône.

Ø CKI : Central Keratoconus Index

Information sur le centre du cône.

Augmente avec le stade du kératocône.

Ø IHA : Index Height Asymetry

Comparaison des hauteurs par hémi-méridiens verticaux.

Similaire IVA mais plus sensible.

Ø IHD : Index Height Decentration

Décentrement du point le plus haut par rapport au centre de la cornée.

Ø Rmin :

Mesure du rayon sagittal le plus cambré.

Diminue quand le stade du kératocône augmente.

Les tableaux suivants résumant les résultats normaux, suspects et anormaux dans la topographie :

TOPOGRAPHIE CORNEENNE PAR PENTACAM Quel apport ?

Tableau 1. montrant les valeurs normales, suspectes, et anormales dans la topographie cornéenne

	Normal value(s)	Suspected value(s)	Abnormal value(s)
Quality specification (QS)	white	yellow	red
K-readings:	look at flat K for myopic treatment, look at steep K for hyperopic treatment		>48
Corneal astigmatism	compare with manifest astigmatism		> 6
Average Q-value	0 to -1		0,-1
Topometric map (vertical and inferior Q-values)		-0.5 to -0.55	>-0.55
Thinnest location			
Thickness	> 500	470 – 500	< 470
Difference in thickness between patchy apex and thinnest location	< 5 μ	5 – 10 μ	>10 μ
Coordinates	< 500 μ	500 – 1000 μ	>1000 μ
Pupil center coordinates	important for treating hyperopia and >3D astigmatism		

Tableau 2. montrant les valeurs normales, suspectes, et anormale dans la topographie cornéenne

	Normal value(s)	Suspected value(s)	Abnormal value(s)
KPD	<+0.75	+0.75 to +1.5	>+1.5
Anterior curvature map			
Maximal K	important when treating hyperopia		
Pattern	refer to topographical patterns		
I-S Rabinovich ratio			>+2
Skewed Steepest Radial Axis Index (SRAX)			>22°
Superior-inferior difference on the 4 mm circle			>1.5D when the inferior is steeper >2.5 when the superior is steeper
Elevation maps (within the 4 mm central circle)			
Anterior	$\leq 12 \mu$	13 - 15 μ	>15 μ
Posterior	$\leq 17 \mu$	18 – 20 μ	>20 μ
Anterior-posterior difference	<5 μ	>5 μ	
Isolated island (or tongue like extension)	might be an indicator for FFKC or subclinical keratoconus		
Corneal thickness map			
Shape		cone like	
Superior-inferior difference	<30 μ	>30 μ	
Thinnest location difference between both eyes	<30 μ	>30 μ	
Keratoconus diagram			
Shape and location of the curve	- out of normative range - deviation before the 6 mm circle		
Average	1	1.1 – 1.2	> 1.2
Indices of irregularity	white	yellow	red

Tableau 3. montrant le Score de risque d'ectasie pour identifier les yeux à haut risque de développer une ectasie après LASIK

Pattern	Points				
	4	3	2	1	0
Topography	Abnormal topography	Inferior steepening/ skewed radial axis		Asymmetrical bow tie	Normal/ symmetrical bow tie
RSB	< 240 µm	240 – 259 µm	260 – 279 µm	280 – 299 µm	≥ 300 µm
Age		18 – 21 yrs	22 – 25 yrs	26 – 29 yrs	≥ 30 yrs
CT	< 450 µm	451 – 480 µm	481 – 510 µm		≥ 510 µm
MRSE	> -14.00	> -12.00 to -14.00	> -10.00 to -12.00	> -8.00 to -10.00	-8.00 or less

Tableau 4. montrant la Notation de risque d'ectasie selon le score de risque d'ectasie

Total risk score	Relative risk	Recommendations
0-2	Low	Proceed with Lasik or Surface
3	Moderate	Proceed with caution, special informed consent, safety of surface ablation unknown
4	High	Do not perform any

Après une bonne étude des données de la topographie, il est important de déterminer les cas à risque et de les exclure, ainsi que de préciser quelle modalité de traitement sera la meilleure.

L'évaluation de chaque cas doit dépendre du système de notation montré dans les tableaux 3. et 4. Ce système de notation dépend non seulement des données de la topographie, mais aussi du stromal résiduel proposé (RSB), l'âge du patient et l'épaisseur de la cornée (CT) au point le plus fin.

CONCLUSION

La topographie cornéenne permet de recueillir des informations directement relatives à la morphologie spatiale, c'est-à-dire au relief de la surface cornéenne. La mesure du relief cornéen permet une représentation en élévation, vis à vis d'une surface de référence, qui est le plus souvent sphérique par défaut. Elle permet également d'accéder à l'étude de la face postérieure de la cornée et fournit des informations sur l'épaisseur cornéenne (pachymétrie optique, permettant d'établir une étude de la tomographie de la cornée) qui est déduite de la distance entre les surfaces antérieures et postérieures. Sa généralisation relativement récente a été favorisée par l'essor de la chirurgie réfractive, où elle est particulièrement utile pour la planification de la chirurgie photoablatrice cornéenne, ainsi que le dépistage des contre-indications au LASIK (dépistage des formes infra clinique débutante de kératocône, comme le kératocône fruste).

La géométrie de la cornée peut être étudiée selon diverses technologies, qui fournissent généralement des données complémentaires. Les instruments qui mesurent et décrivent avec le plus de précision les propriétés topographiques de la surface cornéenne peuvent être classés en deux grands types ; le disque de Placido (qui utilise des mires réfléchives concentriques) et les enregistreurs de l'élévation/dépression (à l'aide soit d'un appareil à balayage d'une fente lumineuse, soit d'une stéréographie par trame- « raster-topography »), soit d'une caméra rotative Scheimpflug dont le Pentacam fait parti.

Pentacam est le produit le plus récent de la gamme Oculus. C'est un tomographe fréquemment utilisé en chirurgie réfractive, non invasif analysant le segment antérieur en utilisant une caméra rotative de Scheimpflug. Il permet d'obtenir des informations précises sur la géométrie du segment antérieur de l'œil comprenant la cornée, la chambre antérieure, l'iris et le cristallin, fournissant une pléthore de mesures à travers le segment antérieure

RESUME

La topographie cornéenne correspond à la représentation graphique de certaines propriétés géométriques de la surface cornéenne comme sa courbure, son relief, ou son épaisseur. En plus du dépistage et le diagnostic de certaines maladies cornéennes comme le kératocône ou la dégénérescence pellucide, la connaissance des propriétés géométriques des surfaces cornéennes est utile pour en prédire le rôle optique, ainsi que pour la mise au point de méthodes de correction de la vision.

Le topographe cornéen est un instrument de mesure qui réalise une cartographie spécialisée de la géométrie cornéenne, qui peut être étudiée selon diverses technologies : la Topographie cornéenne par réflexion spéculaire, par balayage par fentes lumineuses ou par camera rotative Scheimpflug dont l'appareil Pentacam fait partie.

Nous rapportons une étude rétrospective sur des malades vus en unité d'explorations du service d'ophtalmologie du CHU Hassan II de Fès et ayant bénéficié d'une topographie cornéenne par Pentacam sur une période de deux ans entre Decembre 2015 et Décembre 2017.

On a recruté 343patients (soit 671 yeux) dont l'âge moyen est de 28,3 ans avec une légère prédominance féminine (un sexe ratio H/F de 0.85).

La topographie de la cornée est un examen essentiel et obligatoire avant toute chirurgie réfractive. La cornée est la partie de l'œil qui va recevoir le faisceau du laser lors du traitement chirurgical du défaut optique (LASIK ou PKR).

BIBLIOGRAPHIE

1. Coupe sagittal du segment antérieur de l'œil.
<http://s2.emonsite.com/2010/01/09/04 OEil.png> (210x416- 195ko – pngs2.emonsite.com/2010/01/09/04 OEil.png)
2. Lemosson C, Renard G. Anatomie et histologie de l'oeil. Edition masson 1982 p. 102-103.
3. Martine Santallier. Anatomie de l'OEil. Ophtalmologie de FNRO équipe de strabologie et de réfraction du CHU de Nantes 2013.
4. Rocher N. Anatomie et physiologie de l'oeil humain. Soins 2010 ;744: 30-1.
5. Labbé A, Brignole-Baudouin F. Méthodes d'évaluation de la surface oculaire dans les syndromes secs. J Fr Ophtalmol 2007;30: 76-97.
6. Riga D. L'épithélium cornéen Masson 1993, p8.
7. Dighiero P, Ellies P, Renard G, Trong T. Atlas en Ophtalmologie. Paris: Elsevier Masson; 2009.
8. Rigal D, Verneil, Paul C. EMC Ophtalmologie 2005 ;2:114-115
9. Borderie V, Touzeau D, Bourcier T, Laroche L. Physiologie de la cornée EMC Ophtalmologie 2005;2:103-117.
10. Saraux H, Biliais B. Physiologie oculaire. Edition Masson, Paris 1983 2ème édition p : 70-79, 82- 101.
11. Arffa RC . La cellule, principes moléculaires des structures et des fonctions cellulaires. Flammarion, médecine-sciences, paris 1989.
12. Thoft RA, Friend J Corneal epithelial glucose utilization Arch ophtalmol 1971; 85: 467- 472.
13. Arné J.-L. EMC Ophtalmologie 2 (2005) p 104-105.
14. Gatinel D, Haouat M, Hoang-Xuan T. Etude des paramètres permettant la description mathématique de l'asphéricité cornéenne. J Fr Ophtalmol 2002; 25 : 81-90.

15. Gatinel D, Malet J Modélisation cornéenne : mathématiques du LASIK et des profils d'ablation. Le LASIK, de la théorie à la pratique. Elsevier, Paris : 18-24.
16. Naroo SA, Cervino A. Corneal topography and its role in refractive surgery. In: Narro SA, editor. Refractive surgery: a guide to assessment and management. London: Butterworth-Heinemann-Elsevier; 2004.p. 9-16.
17. Placido A. Novo instrumento per analyse immediate das irregularidades de curvatura da cornea. Periodico Oftalmol Pract 1880;6:44-9.
18. Levene JR. The true inventors of the keratoscope and photokeratoscope. Br J Hist Sci 1965;8:324-42.
19. Gullstrand A. Photographic-ophthalmometric and clinical investigations of corneal refraction. Am J Optom Arch Am Acad Optom 1966; 43:143-214.
20. Mandell RB. Corneal contour of the human infant. Arch Ophthalmol 1967;77:345-8.
21. Mandell RB. Mathematical model of the corneal contour. Br J Physiol Opt 1971;26:183-97.
22. Bonnet R, Le Grand Y, Rapilly C. La topographie cornéenne. Paris: N Desroches; 1964.
23. Snook RK. Pachymetry and true topography using the Orbscan system. In: Gills JP, Sanders DR, Thornton SP, editors. Corneal topography: the state of the art. Thorofare: Slack; 1995. p. 89-103.
24. Belin MW, Litoff D, Strods SJ, Winn SS, Smith RS. The PAR technology corneal topography system. Refract Corneal Surg 1992;8: 88-96.
25. Naufal SC, Hess JS, Friedlander MH, Granet NS. Raster stereography based classification of normal corneas. J Cataract Refract Surg 1997; 23:222-30.
26. Damien Gatinel. Topographie Cornéenne. Atlas En Ophtalmologie 2eme édition 2014. p :15-17

27. Samaphunpong S, Azar D. Placido and elevation based corneal topography: a review. *Ophthalmol Clin North Am* 1998;11:311-29.
28. Salmon TO, Horner DG. Comparison of elevation, curvature and power descriptors for corneal topographic mapping. *Optom Vis Sci* 1995;72: 800-8.
29. Analyseur de Chambre Antérieure PENTACAM HR. Oculus. Version 1.16. 70900/0707Fr
30. Mazen M. Sinjab. MD, MS, CABOphth, PhD Consultant Ophthalmologist Ophthalmology Department Medical School Damascus University Syria. Quick Guide to the Management of Keratoconus A Systematic Step-by-Step Approach. ISBN 978-3 642-21839-2 e-ISBN 978-3-642-21840-8 DOI 10.1007/978-3-642-21840-8 Springer Heidelberg Dordrecht London New York Library of Congress Control Number: 2011941189 © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012.
31. Mazen M. Sinjab. MD, MS, CABOphth, PhD Consultant Ophthalmologist Ophthalmology Department Medical School Damascus University Syria. Step by Step® Reading Pentacam Topography (Basics and Case Study Series). First Edition: 2010 ISBN 978-81-8448-804-3 Typeset at JPBMP typesetting unit Printed at. P: 29-50.