

La détection du kératocône fruste

Analyse automatisée des cartes topographiques et pachymétriques

Dr Alain Saad*, Dr Damien Gatinel*

INTRODUCTION

L'ectasie cornéenne est une complication rare mais sérieuse de la chirurgie réfractive qui met en jeu le pronostic visuel. Elle est caractérisée par un amincissement cornéen associé à une cambrure inférieure décelable topographiquement et entraînant un astigmatisme irrégulier et une perte de la meilleure acuité visuelle corrigée. Son incidence varie dans la littérature entre 0,01 et 0,9 %, mais elle est certainement sous-estimée puisqu'elle peut apparaître plusieurs années après la chirurgie. En analysant tous les cas rapportés d'ectasie dans la littérature anglaise et en les associant à leurs données personnelles, Randleman et al. (1) ont identifié plusieurs facteurs de risque d'ectasie iatrogène (aspect topographique,

âge, importance de la myopie, épaisseur du mur postérieur résiduel, et pachymétrie centrale) et ont développé l'*Ectasia Risk Score*. Binder et al. (2) ont étudié plus de 9 000 yeux ayant au moins un des facteurs de risque supposés d'ectasie (kératométrie supérieure à 47 dioptries, mur résiduel de moins que 250 microns, myopie supérieure à 8 dioptries, pachymétrie centrale de moins de 500 microns et âge inférieur à 25 ans), sans qu'aucun de ces yeux ne développe d'ectasie. Cependant, il est accepté par tous les auteurs qu'une **topographie pré-opératoire "suspecte"** et présentant des **similarités avec un kératocône suspect (KCS)** représente **le facteur de risque d'ectasie iatrogène le plus important**.

La définition du KCS reste ambiguë et il n'existe pas de critères universels pour classer une cornée comme étant KCS. Les critères topographiques initialement proposés étaient qualitatifs et reposaient sur la présence d'un aspect topographique spécifique en topographie spéculaire de Placido (Fig. 1).

Par la suite, **des critères quantitatifs** ont été proposés pour affiner la spécificité de la détection de ces cornées (indice I-S, indice KISA). Ces critères utilisaient également des données extraites de topographies cornéennes spéculaires antérieures, ne permettant pas le recueil de données relatives à la face postérieure ou à l'épaisseur cornéenne (car conçues avant la généralisation de la topographie d'élevation par Orbscan, puis Pentacam).

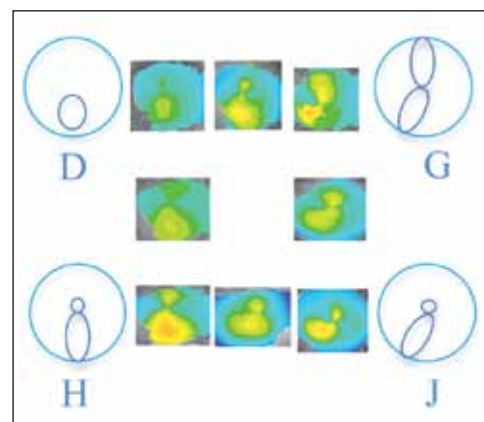


Figure 1 - Aspects topographiques spécifiques proposés par Rabinowiz et al. pour le diagnostic de KCS.

Aujourd'hui encore, il est débattu si la **topographie Placido** analysant la surface antérieure de la cornée suffit pour une détection précoce, ou si l'apport de la **tomographie cornéenne** analysant la cornée en 3 dimensions rend véritablement supérieure la détection de la forme débutante de KCS.

ASSOCIATION D'INDICES CORNÉENS POUR LA DÉTECTION DU KÉRATOCÔNE DÉBUTANT

En analysant les cartes topographiques et tomographiques apparemment normales de patients présentant un kératocône asymétrique (kératocône avéré d'un œil, kératocône fruste de l'autre), nous avons déterminé les indices cornéens les plus discriminants

* Fondation ophtalmologique A. de Rothschild, Paris. Centre d'expertise et de recherche en optique clinique (CEROC).

dans la détection du kératocône débutant. Le terme de “forme fruste” désigne les formes topographiques qui n’éveillent pas ou peu de suspicion, mais dont on sait qu’elles présentent une forme mineure de la maladie. Cette situation clinique (œil jugé “sain” d’un patient dont l’autre œil présente un kératocône indiscutable) nous offre le privilège de recueillir des yeux **assurément “faux négatifs” pour le dépistage du kératocône**. Dans ce contexte où l’on cherche à accroître le dépistage du kératocône débutant, ces yeux sont éminemment précieux. Nous avons ainsi patiemment collecté durant plusieurs années les données topographiques d’élévation (Orbscan) de patients dont un œil était positif pour le diagnostic topographique du kératocône, alors que l’autre était négatif (cela était jugé de manière objective par la réalisation systématique d’un test de Klyce et Maeda ou Rabinowitz sur chaque œil). En plus des données issues de la face antérieure de la cornée, nous avons recensé, grâce à l’Orbscan, des valeurs liées à la face postérieure (point d’élévation maximale, courbure, variation de la courbure, etc.) et à l’épaisseur cornéenne (tomographie).

Le gradient d’amincissement de la périphérie de la cornée vers le centre, l’indice d’irrégularité topographique à 3 mm, le décentrement vertical du point le plus fin, la différence entre la pachymétrie centrale, la pachymétrie la plus fine ainsi que la différence entre la kératométrie inférieure moyenne et la kératométrie moyenne supérieure mesurée à 5 mm du vertex, sont les indices ayant montré un pouvoir discriminant significatif. Cependant, l’analyse de chaque indice seul ne permet pas de différencier une

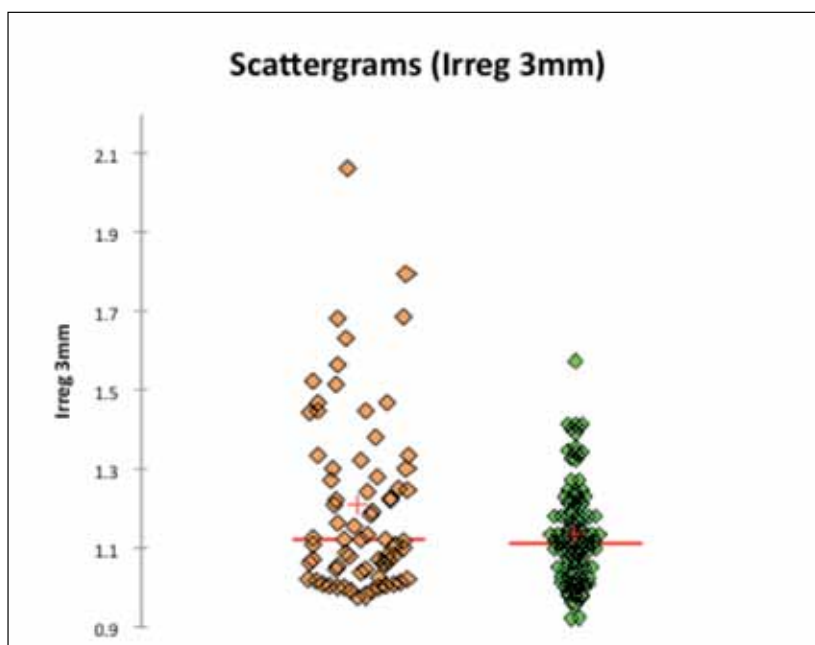


Figure 2 - Nuage de point de l’irrégularité à 3 mm dans un groupe d’yeux normaux (en vert) et un groupe de FFKC (en rouge). La seule évaluation de l’irrégularité à 3 mm ne permet pas de différenciation entre les groupes.

cornée normale d’une cornée suspecte en raison du chevauchement important des valeurs normales et suspectes (Fig. 2).

De ce fait, il est nécessaire d’associer les indices les plus discriminants ensemble pour mieux différencier les cornées suspectes et les cornées normales.

Les critères jugés intéressants pour séparer les deux populations (exemples : valeur minimale de pachymétrie, irrégularité à 3 mm), mais qui, considérés de manière individuelle, seraient trop peu sensibles et spécifiques, sont utilisés au sein d’une seule et même fonction. Cette fonction génère un **Score**, c’est-à-dire un nombre. Ce Score n’a pas d’unité précise puisqu’il est obtenu à partir d’une combinaison linéaire de variables quantitatives (exemples : kératométrie, pachymétrie, élévation postérieure centrale, etc.). Cette méthode permet à partir d’un échantillon d’yeux normaux et

d’un échantillon d’yeux étiquetés “frustes”, de générer un Score qui classe chaque cornée, et permet de calculer une valeur de sensibilité et de spécificité pour la séparation des deux échantillons. Ces valeurs sont cependant biaisées et surestimées par le fait que la fonction calculant le Score a été créée à partir des échantillons testés.

VALIDATION DE LA MÉTHODE DE DÉTECTION

Nous avons choisi d’appeler cette détection automatisée “Score”, car notre approche permet de combiner de manière linéaire différents indices en un score unique dont la capacité de discrimination est supérieure à celle des indices considérés séparément (3). Nous avons entrepris une étude de validation de cette méthode sur un échantillon d’yeux externes (n’ayant pas participé à l’élaboration de la fonction).

183 topographies de patients qui se sont présentés à la Fondation Rothschild pour un bilan préopératoire de chirurgie réfractive ont été évaluées et subjectivement classées par les auteurs comme étant à risque de chirurgie réfractive ou normales. Seules les topographies Placido et d'élevation ont été prises en compte pour la classification, l'âge du patient ou la magnitude de la myopie n'ont pas été considérés, notre but premier étant de créer une détection objective fondée sur la seule étude topographique.

Le Score est le logiciel d'intelligence artificielle qui combine les indices Placido et tomographiques obtenus à partir de l'Orbscan. Le Score de chaque cornée classée a été calculé et la concordance entre les classifications objectives et subjectives a été évaluée. **Un Score positif (> 0) reflète une cornée suspecte, tandis qu'un Score négatif (< 0) reflète une cornée normale.** 159 cornées ont été subjectivement classées comme étant normales, 6 d'entre elles avaient un Score positif. **La spécificité du système de détection automatisé est de 96 %.** 24 topographies ont été subjectivement classées comme suspectes, 2 d'entre elles avaient un Score négatif. **La sensibilité du système de détection automatisé est donc de 92 %.**

La validation à l'aveugle de ce système de détection automatisé prouve son efficacité et sa validité dans l'identification des cornées à risque de chirurgie réfractive. A titre comparatif, le **diagnostic de la toxoplasmose oculaire**, essentiellement clinique, peut également nécessiter la réalisation d'examen complémentaires tel le coefficient de Desmots (qui correspond au rapport IgG anti-*Toxoplasma gondii*/IgG totales

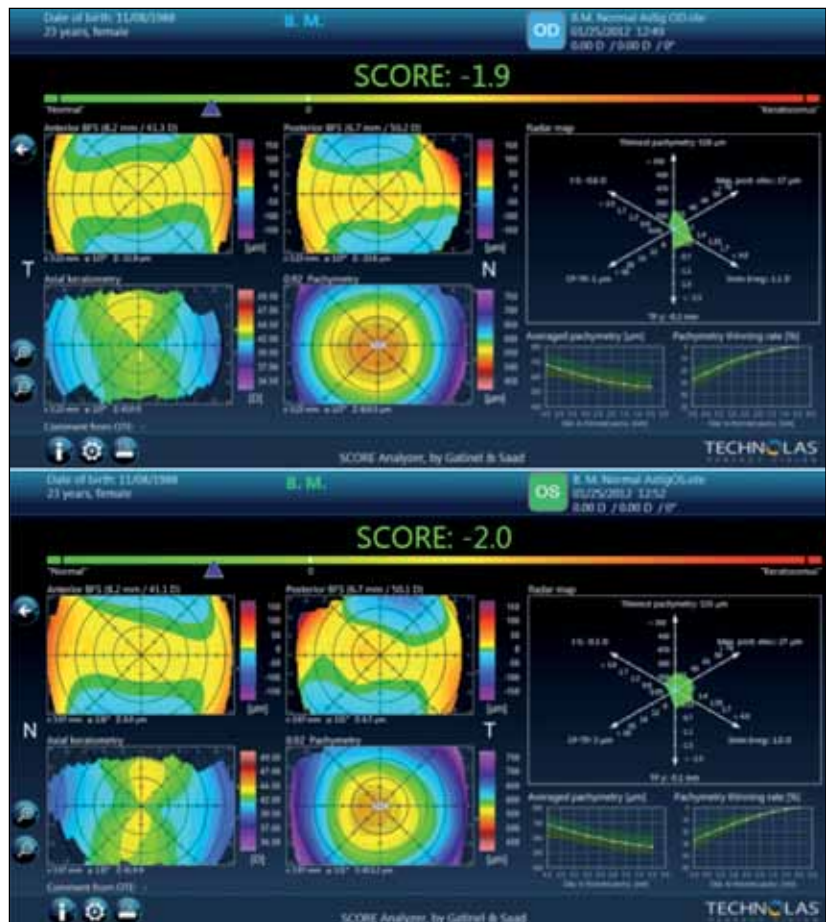


Figure 3 - Cartes topographiques Placido. Le Score est de -1.9 à l'œil droit et -2.0 à l'œil gauche, classant ces cornées comme normales. La couleur verte schématisée dans le radar signifie que les indices décrits sont tous dans les limites de la normale. La courbe pachymétrique et le gradient d'amincissement (en bas à droite) sont dans les limites des deux déviations standard d'une population normale.

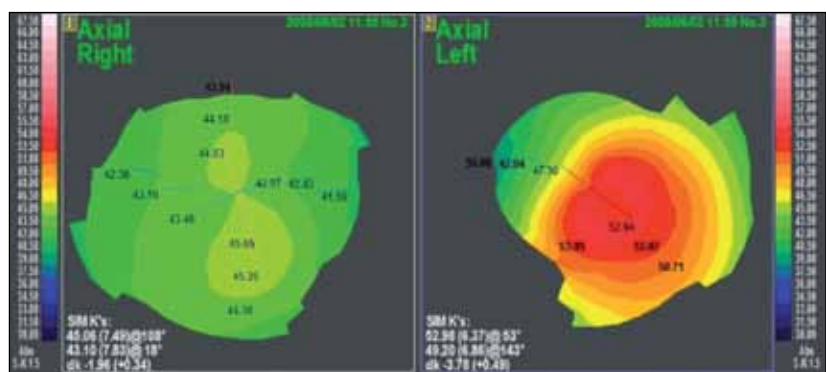


Figure 4 - Cartes topographiques d'un patient présentant un kératocône évident à l'œil gauche tandis que l'œil droit apparaît normal en topographie Placido.

dans l'humeur aqueuse sur le rapport IgG anti-*Toxoplasma gondii*/IgG totales dans le sang). Ce double rapport permet de comparer la charge immunitaire

de l'humeur aqueuse par rapport à la charge immunitaire du sang. La **sensibilité** actuelle de cette méthode est estimée à **70 %** et sa **spécificité** est proche de **99 %**.

DESCRIPTION DU SCORE

L'intérêt d'un système automatisé de détection des kératocônes débutants est multiple.

1. Il permet tout d'abord de combiner un ensemble d'indices discriminants en un seul chiffre (Score) pour une évaluation plus complète de chaque carte topographique.

2. De plus, il s'agit de la première méthode de détection automatisée qui combine des indices de topographies Placido et pachymétriques, dont l'association a prouvé sa supériorité vis-à-vis de l'usage séparé de l'une ou de l'autre des deux technologies.

3. Le Score permet également l'analyse des cartes topographiques grâce à l'affichage des courbes pachymétriques et du gradient d'amincissement de la cornée de la périphérie vers le point le plus fin. **Le radar** est une carte présentant les 6 indices les plus discriminants utilisés pour le calcul du Score. Chaque indice est représenté sur un axe, et les 6 axes reliés entre eux de manière à ce que les coordonnées reliées de chacun des indices forment un polygone. Une échelle de couleur allant du vert au rouge permet une analyse visuelle rapide des résultats. La couleur jaune correspond à la valeur limite (moyenne plus ou moins deux déviations standard d'une population normale).

Les variables utilisées pour la construction du radar sont :

- **la pachymétrie du point le plus fin** (microns), qui correspond à l'épaisseur minimale du mur cornéen (en utilisant un facteur acoustique de 0,92) ;
- **l'élévation maximale postérieure** (microns), qui correspond à la distance maximale dans les 3 mm centraux entre les données postérieures cornéennes et la sphère de

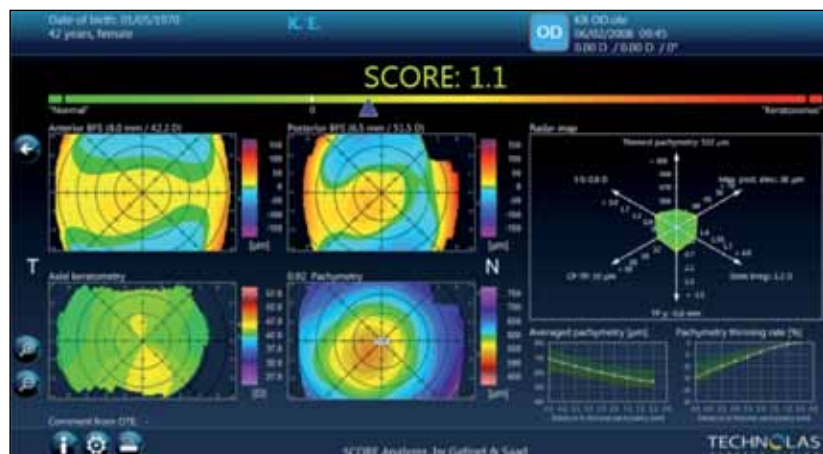


Figure 5 - Score de l'œil droit du patient présenté à la Figure 4.

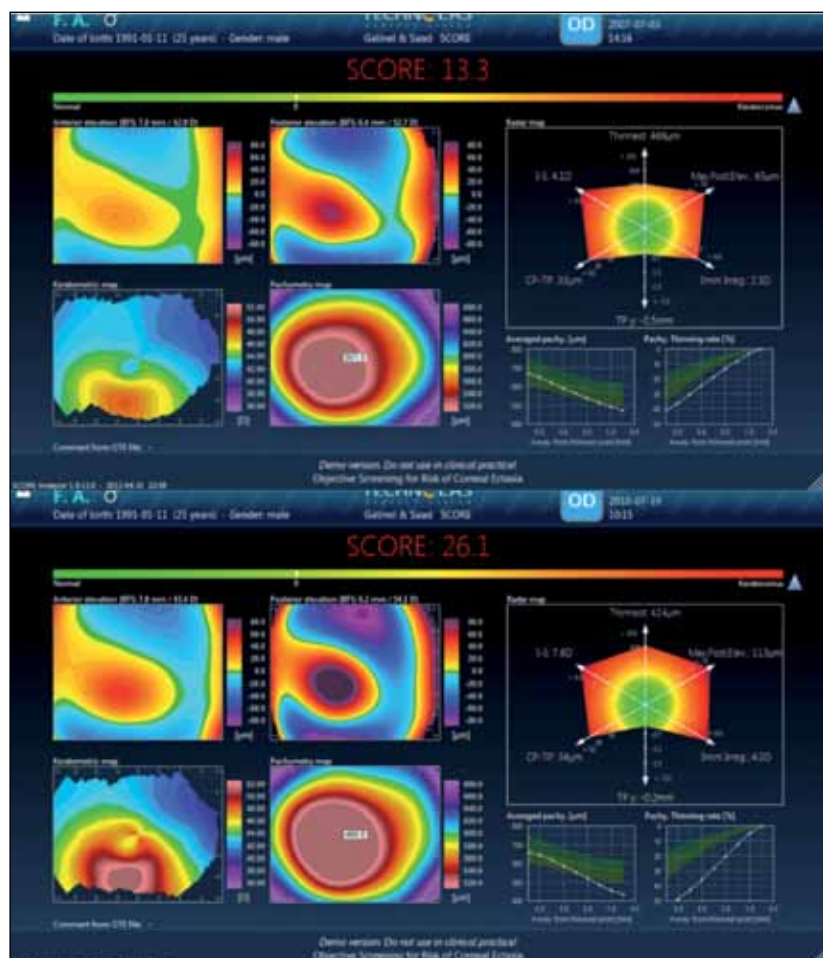


Figure 6 - Score en 2007 et 2010 d'une même cornée kératocônique évaluant l'évolution du kératocône.

- référence postérieure calculée ;
- **l'irrégularité dans les 3 mm centraux** (dioptries), qui est proportionnelle à la déviation standard de la courbure de surface ;
- **le décentrement vertical du point le plus fin** (mm), qui

- correspond au déplacement du point le plus fin du centre géométrique de la cornée ;
- **la différence entre la pachymétrie centrale et la pachymétrie la plus fine** ;
- **la valeur I-S** (dioptries), qui

correspond à la différence entre les valeurs moyennes kératométriques de 5 points équidistants localisés à 1,5 mm du vertex au niveau de la surface cornéenne antérieure supérieure (S) et inférieure (I). Elle reflète le degré d'asymétrie verticale de la surface cornéenne antérieure.

4. Dans le cadre d'une consultation préopératoire de chirurgie réfractive, le dépistage du kératocône débutant est important pour la pose des bonnes indications chirurgicales. L'utilisation d'un système objectif de mesure permet de quantifier chaque cornée avec un chiffre unique. Cette méthode est relativement concordante avec une classification subjective et permet également le suivi objectif de l'évolution (progression ou stabilité) de l'état cornéen.

EXEMPLES

CORNÉES NORMALES

Les cartes topographiques Placido et d'élévations normales (Quadmap, œil droit et œil gauche) montrent un astigmatisme direct avec une épaisseur centrale mesurée à 532 microns à l'œil droit et 542 microns à l'œil gauche (Fig. 3).

DÉTECTION DU KÉRATOCÔNE DÉBUTANT

Les cartes Placido des yeux gauche et droit d'une patiente âgée de 42 ans présentent un kératocône évident à l'œil gauche mais un aspect de courbure antérieure apparemment normal à l'œil droit. L'œil droit correspond de fait à un kératocône fruste typique (Fig. 4).

A l'œil droit, le Score calculé est positif: 1.1 (Fig. 5). De plus, le gradient d'amincissement de la cornée de la périphérie vers le centre

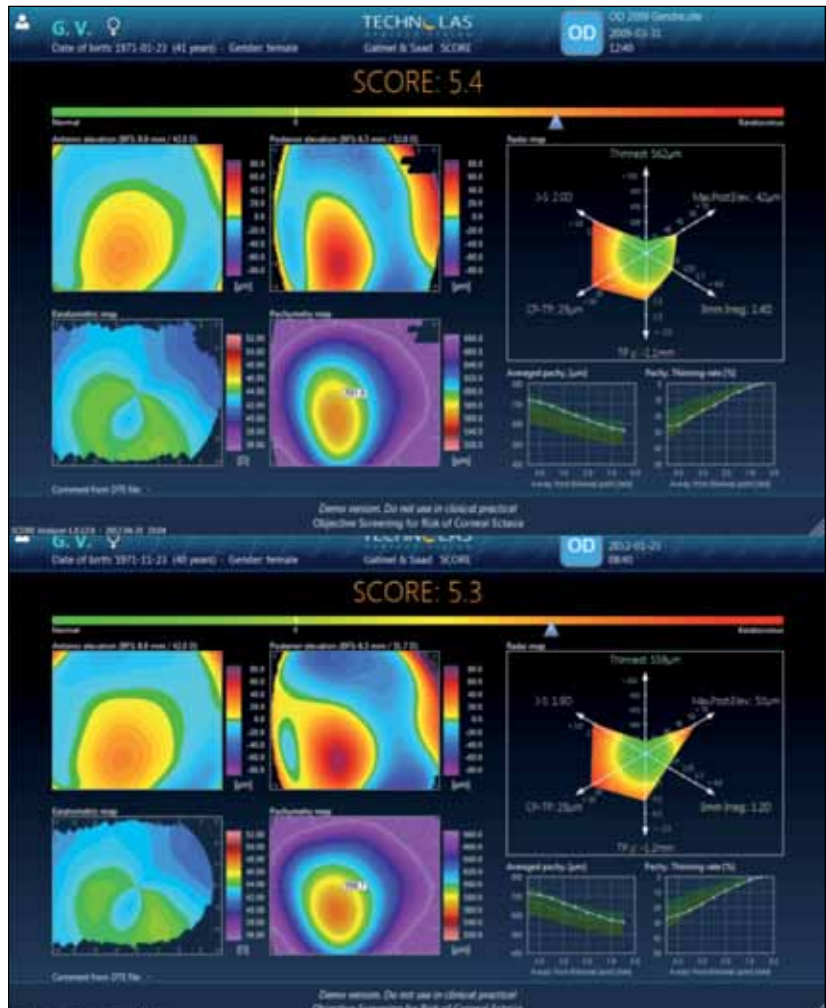


Figure 7 - Score en 2009 et 2012 d'une même cornée évaluant la stabilité de la kératectasie cornéenne.

frôle la limite inférieure des deux déviations standard d'une population normale (courbe en bas à droite).

SUIVI DU KÉRATOCÔNE

Le Score peut également être utile pour le suivi d'un kératocône et l'évaluation objective d'une progression. Des cartes Orsbcam ont été réalisées en 2007 et 2010 et les Scores ont été calculés rétrospectivement. Les valeurs du Score sont respectivement de 13.3 en 2007 et 26.1 en 2010, objectivant ainsi l'évolution du kératocône (Fig. 6).

A contrario, la figure 7 suggère un kératocône stable avec un Score de 5.4 en 2009 et 5.3 en 2012. ■

Les auteurs sont consultants pour Technolas Perfect Vision.

Mots-clés :

Kératocône fruste, Kératocône suspect, Topographie

BIBLIOGRAPHIE

1. Randleman JB, Woodward M, Lynn MJ, Stulting RD. Risk assessment for ectasia after corneal refractive surgery. *Ophthalmology* 2008 ; 115:37-50.
2. Binder BS, Trattler WB. Evaluation of a risk factor scoring system for corneal ectasia after Lasik in eyes with normal topography. *J Refract Surg* 2010 ; 26 : 241-50.
3. Saad A, Gatineau D. Topographic and tomographic properties of forme fruste keratoconus corneas. *Investigative ophthalmology & visual science* 2010 ; 51 : 5546-55.