

## Calcul d'implant

# Le calcul d'implant dans le kératocône



**R. FLAMANT, R. GUILLON-ROLF,  
C. PANTHIER, D. GATINEL**

Hôpital Fondation Adolphe de Rothschild,  
PARIS.

Le kératocône se présente comme une déformation cornéenne avec amincissement stromal générant un astigmatisme irrégulier ainsi que des aberrations optiques de haut degré. La prise en charge de la cataracte et le calcul d'implant sous-jacent peuvent s'avérer particulièrement ardues pour le chirurgien ayant à cœur la réhabilitation visuelle d'un patient atteint de kératocône [1]. Nous proposons quelques recommandations afin d'obtenir des résultats réfractifs et fonctionnels optimisés pour ces cas particuliers.

### Quel type d'implant ?

Les publications les plus récentes encouragent à l'emploi d'un implant torique dans les cas de kératocône stable de stade débutant à modéré, présentant une composante régulière significative au sein de l'astigmatisme total et n'étant pas susceptible d'être appareillé en lentille rigide perméable au gaz en post-opératoire ou de subir une kératoplastie [2]. Il a d'autre part été rapporté un taux de rotation d'implant plus élevé dans les cohortes de kératocône, proportionnellement à la longueur axiale (> 25 mm) et à la taille du sac capsulaire (suspect si WTW > 12,5 mm) [3]. Cette donnée devrait être prise en compte lors d'une implantation torique dans des yeux susceptibles de rotation et où la pose d'un anneau de tension capsulaire devrait alors être indiquée.

Par ailleurs, bien que les implants multifocaux aient longtemps été contre-indiqués dans les yeux atypiques, certaines études proposent maintenant l'implantation trifocale ou EDoF dans les cas les plus débutants et stables de kératocône [4, 5]. Cependant, leurs don-

nées restent lacunaires et demandent une plus large validation internationale.

Enfin, il est important de tenir compte de l'asphéricité de l'implant en rapport à l'asphéricité cornéenne afin d'optimiser la qualité visuelle et le résultat réfractif. En effet, les cônes avancés auront tendance, par leur nature hyperprolate, à avoir un facteur Q fortement négatif. En présence d'une élévation prononcée des aberrations sphériques négatives cornéennes, il est logique de préconiser l'implantation d'une lentille sphérique, génératrice d'aberrations sphériques positives [3].

### Quelle formule de calcul d'implant ?

Pour appréhender les limitations des formules de calcul standards, il faut connaître les différents paramètres qu'elles emploient afin de déterminer la puissance de l'implant idéal sans perdre de vue le fait qu'elles sont conçues et optimisées pour des yeux standards. La principale source d'erreur de calcul d'implant dans un œil atteint de kératocône vient de la mauvaise estimation de la puissance cornéenne, du fait d'une modification du rapport attendu entre la courbure cornéenne antérieure et postérieure [3]. De fait, les formules de calcul d'implant standards vont estimer la puissance cornéenne totale (au lieu de la calculer), en se basant sur la kératométrie antérieure et un indice réfractif cornéen minoré (ex. : 1,3375 ou 1,3315), selon la modélisation de Gullstrand. En négligeant l'impact de la puissance cornéenne postérieure (dont la courbure est altérée), la puissance cornéenne totale déduite tend à être imprécise dans les yeux atypiques. Ainsi, la

## Calcul d'implant

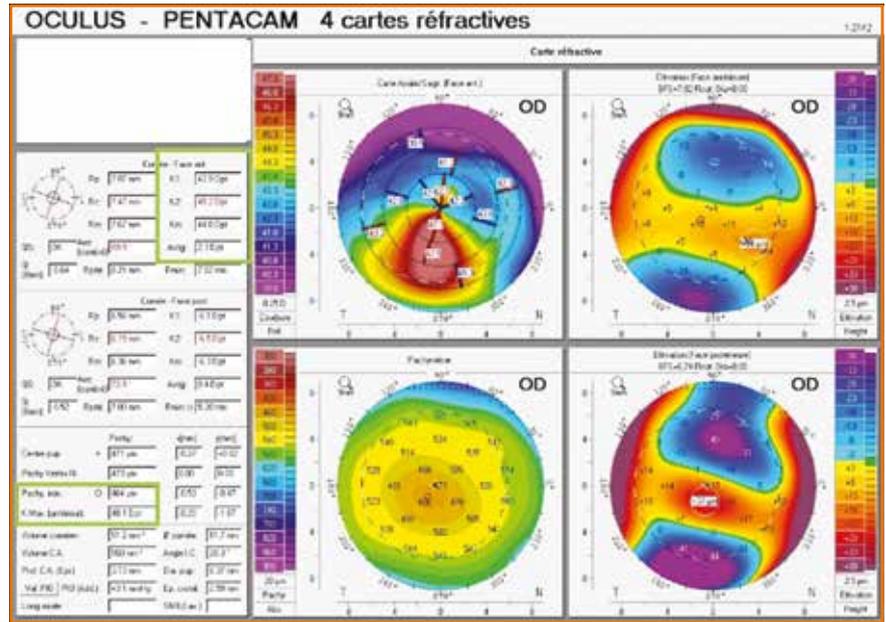
littérature conclut que les formules de calcul d'implant négligeant le calcul de la puissance cornéenne totale vont induire un *shift* hypermétropique par surestimation de cette dernière, proportionnelle à la valeur du Kmax [2, 3]. De plus, l'astigmatisme irrégulier et asymétrique inhérent au kératocône se traduit par une hétérogénéité de puissance le long d'un même méridien, cumulée à la non-orthogonalité des 2 méridiens de puissances extrêmes, rendant l'analyse kératométrique complexe. Enfin, utiliser une formule de calcul d'implant prédisant l'*Effective Lens Position* (ELP) sur la base de la puissance cornéenne se solderait par un échec réfractif, pour toutes les raisons citées ci-dessus. Il faut aussi considérer qu'un œil atteint de kératocône présente une longueur axiale et une profondeur de chambre antérieure supérieure à la normale, biaisant encore plus l'ELP prédite par les formules standards qui utilisent la kératométrie comme élément prédictif [2, 6].

Concrètement, pour des yeux à la toricité complexe comme le kératocône, il convient de calculer réellement, et non d'extrapoler, l'astigmatisme total cornéen. Plusieurs formules de calcul d'implant torique le permettent, comme la Kane spécifique au kératocône, ainsi que la Barrett True-K pour kératocône.

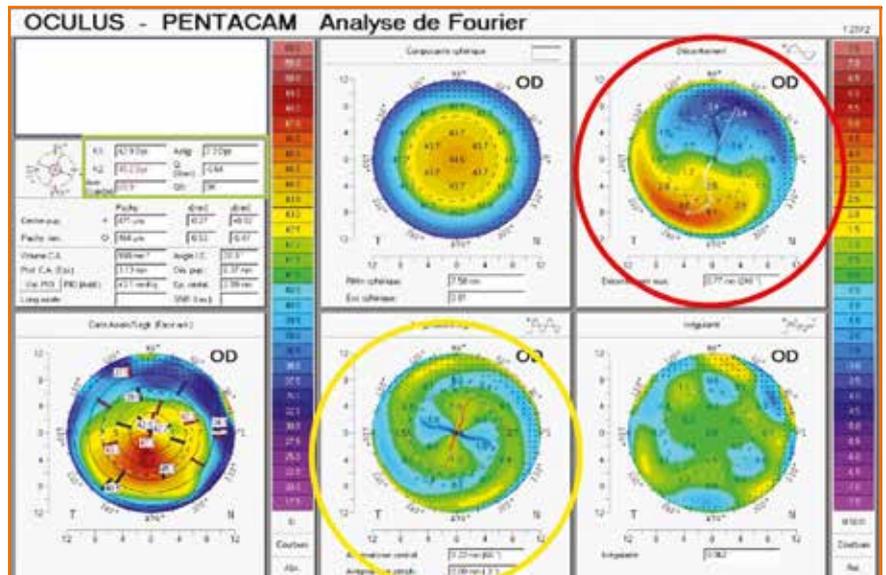
Une méta-analyse réalisée par Yahalomi *et al.* en 2021, reprenant 14 études pour un total de 456 yeux, présente la formule de Kane spécifique au kératocône comme la plus fiable pour tous les stades de la pathologie. Les auteurs recommandent en outre de viser une légère myopisation résiduelle afin d'optimiser la vision fonctionnelle du patient, ainsi que d'anticiper le *shift* hypermétropique décrit dans la littérature [2]. L'estimation de la réfraction sphéro-cylindrique en cas de kératocône est sujette à une moindre répétabilité; il convient de relativiser les comparaisons de formules qui reposent sur des données quantitatives comme l'erreur moyenne de prédiction et son écart-type.

Dans la pratique, la portion régulière de l'astigmatisme irrégulier lié au kératocône peut être corrigée à l'aide d'un

implant torique (**fig. 1**). En effet, sur la base de la carte d'analyse de Fourier du topographe (**fig. 2**), si une part de l'astig-



**Fig. 1 :** Carte réfractive issue du Pentacam d'un patient atteint de kératocône (œil droit), candidat à la chirurgie de cataracte avec implant torique. Les caractéristiques du cône sont encadrées en vert.



**Fig 2 :** Carte de Fourier du même patient. On peut quantifier la portion régulière de l'astigmatisme irrégulier du kératocône, ainsi que son axe. La carte inférieure gauche (**encadré jaune**) décrit la portion régulière de l'astigmatisme. Cette carte peut avoir comme unité des millimètres ou des dioptries, en fonction du paramétrage du logiciel. Pour cette fonction, le paramétrage idéal est en dioptries. On en extrait la valeur de l'astigmatisme régulier sur chacun des axes (ici, 1,00 D pour l'axe le plus cambré [**ligne rouge de l'encadré jaune**] et pour le plus plat [**ligne bleue de l'encadré jaune**] pour un total de 2,00 D) ainsi que celle de l'axe le plus cambré (66°, renseigné dans la **portion inférieure de l'encadré jaune**, en tant qu'axe de l'astigmatisme central). L'encadré rouge nous permet de visualiser la résultante optique une fois que la portion régulière de l'astigmatisme est corrigée, et donc par extension une fois l'implant torique inséré et aligné.

## Calcul d'implant

matisme total est régulière dans un axe et quantifiable, elle peut être répartie sur la valeur kératométrique moyenne (Km) calculée par le topographe dans le millimètre central, dans les 2 méridiens déterminés, pour calculer la portion cylindrique de l'implant (fig. 3).

Sa portion sphérique sera obtenue en employant uniquement le Km du millimètre central, issu du *Holladay EKR Detail Report* (fig. 4 et 5).

Concrètement, 2 situations se présentent, en fonction du calculateur d'implant torique employé :

**>>> Le calculateur torique calcule aussi la portion sphérique de l'implant.** On intègre directement dans le calculateur les valeurs kératométriques K1 et K2 calculés selon la formule suivante :

– K1 = EKR65 moyen du 1 mm central (fig. 4 encadré jaune) – valeur de l'astigmatisme régulier sur l'axe le plus plat (fig. 2 encadré jaune, ligne bleue) ;

– K2 = EKR65 moyen du 1 mm central (fig. 4 encadré jaune) + valeur de l'astigmatisme régulier sur l'axe le plus cambré (fig. 2 encadré jaune, ligne rouge) ;

– L'axe de K2, méridien le plus cambré, correspond à l'axe de l'astigmatisme central renseigné sur la carte de Fourier (fig. 2 portion inférieure de l'encadré jaune) ;

– L'axe de K1 = axe de K2 +/- 90°.

**>>> Le calculateur torique ne calcule pas la portion sphérique de l'implant.**

Il faut lui indiquer une puissance d'implant en équivalent sphérique. À l'aide de l'IOLMaster, il faut recalculer la puissance de l'implant en équivalent sphérique (ES). Pour ce faire, il suffit d'encoder manuellement la valeur du EKR65 moyen du 1 mm central (fig. 4) comme valeur de K1 et de K2 (fig. 5 A et B). La puissance d'implant en ES à renseigner dans le calculateur torique sera la puissance de votre implant calculée selon votre formule de prédilection, pour atteindre l'emmétropie.

## POINTS FORTS

- Adapter l'asphéricité de l'implant au degré d'asphéricité cornéenne afin d'améliorer la qualité visuelle du patient.
- Préférer une formule se basant sur une mesure de la puissance cornéenne totale : Kane keratoconus ou Barrett True-K.
- Analyser la portion régulière de l'astigmatisme du kératocône pour envisager la pose d'un implant torique à l'aide des cartes de Fourier.

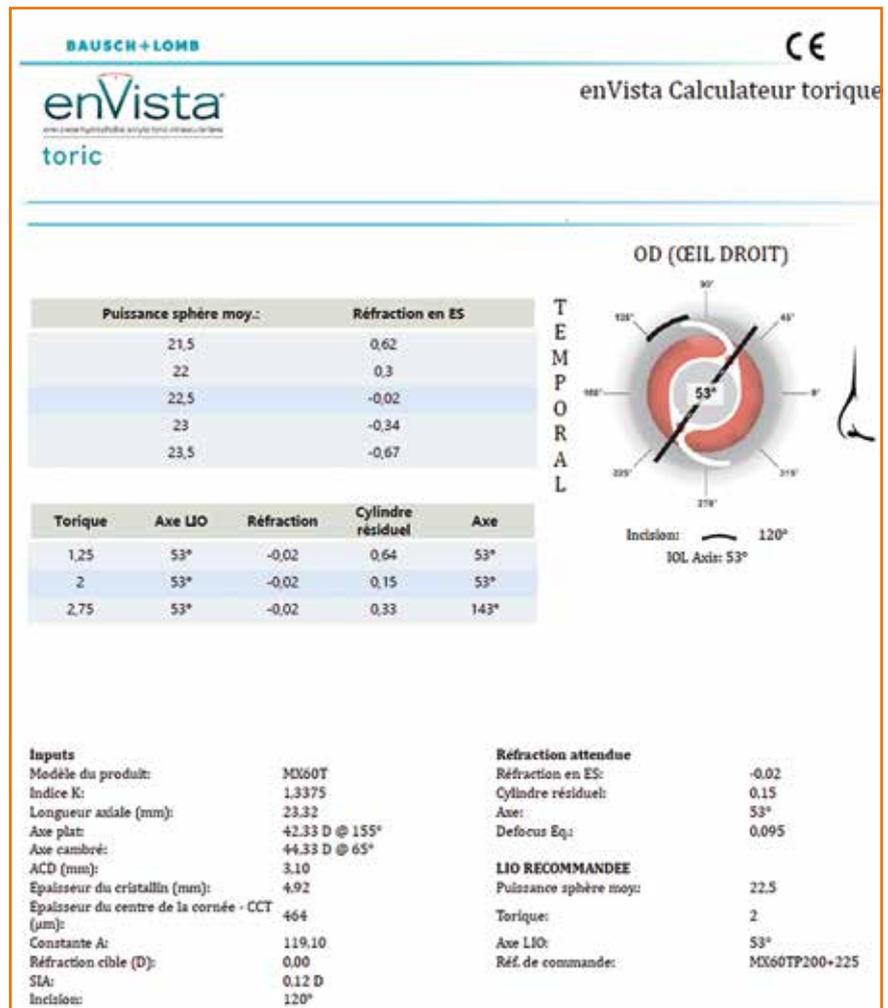
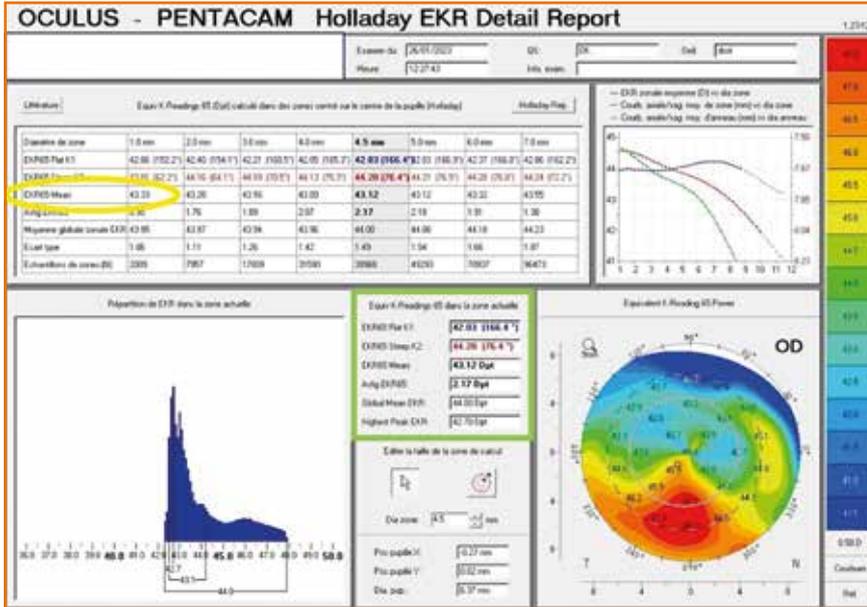


Fig. 3 : Calcul d'implant torique pour ce même patient. Notez que le K1 = EKR65 moyen du 1 mm central (fig. 4 encadré jaune) – valeur de l'astigmatisme régulier sur l'axe le plus plat (fig. 2 encadré jaune, ligne bleue) (ici, 43,33 – 1,00 = 42,33 D) et K2 = EKR65 moyen du 1 mm central (fig. 4 encadré jaune) + valeur de l'astigmatisme régulier sur l'axe le plus cambré (fig. 2 encadré jaune, ligne rouge) (ici, 43,33 + 1,00 = 44,33 D). On garde l'axe le plus cambré de la carte de Fourier (ici, 65°) et on ajuste l'axe le plus plat à 90° de ce dernier (ici, 155°). Implant sélectionné : enVista torique T2,00 + 22,50 D à 54°.

# Calcul d'implant



Le calcul de la portion torique de l'implant se fait en intégrant les valeurs de K1 et K2 calculées selon la formule proposée au point précédent, dans le calculateur de l'implant torique de votre choix (fig. 3). NB : utiliser une formule où la position effective de l'implant est la moins dépendante de la kératométrie et de la profondeur de chambre antérieure qui sont par définition altérées dans le kératocône (cf. ci-dessus).

## Conclusion

En adaptant méticuleusement le choix d'implant ainsi que sa formule de calcul de puissance aux spécificités cornéennes du patient atteint de kératocône, on peut obtenir une amélioration significative de la précision réfractive et de la qualité visuelle au décours d'une chirurgie de cataracte. L'analyse des cartes de Fourier

Fig. 4 : Carte "Holladay EKR Detail Report" du même patient. Elle décrit les valeurs kératométriques pour chaque zone de diamètre central exprimée en millimètres. On extrait la valeur EKR65 moyenne dans le 1 mm central (encadré jaune).

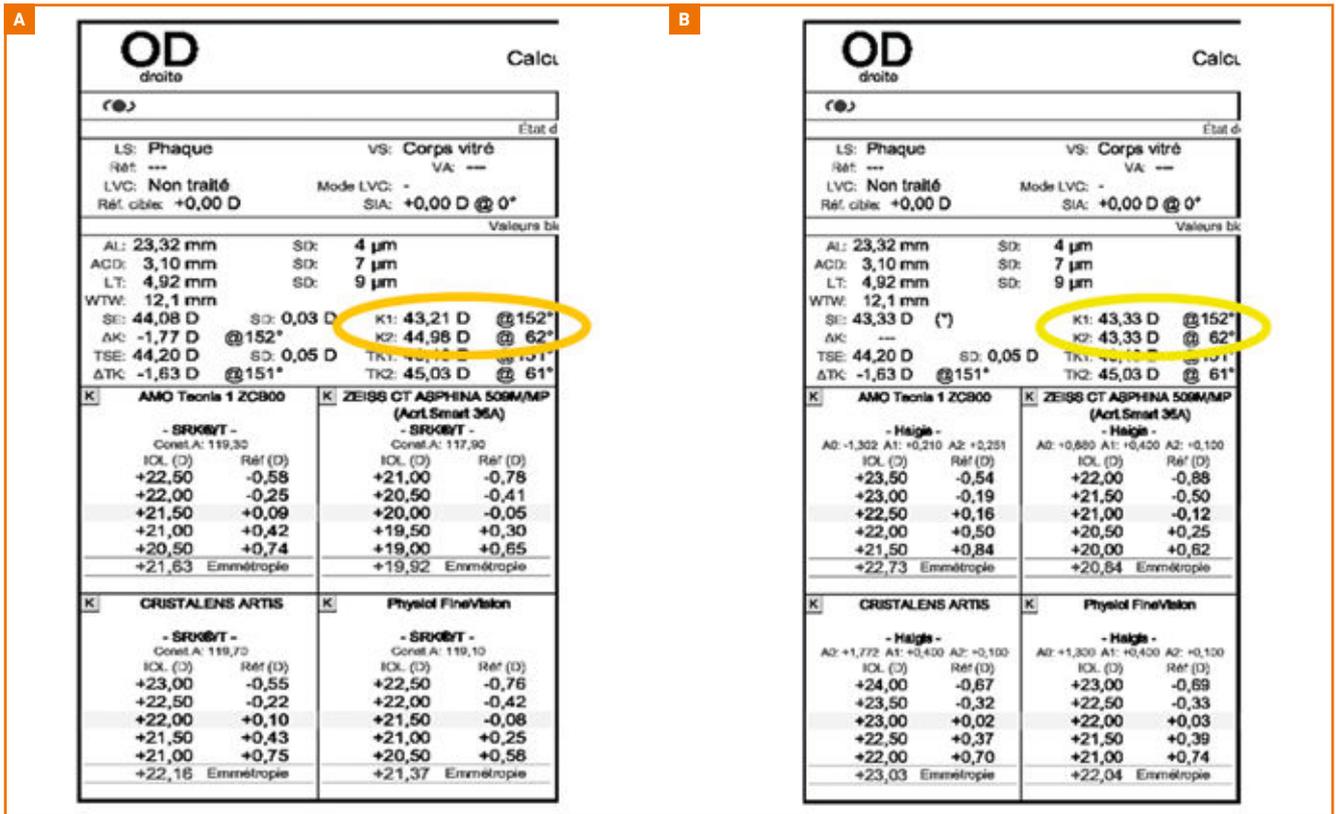


Fig. 5 : Carte fournie par le biomètre IOLmaster du même patient. A : comprenant le K1 et K2 mesuré par l'appareil, entouré en orange. B : ajusté manuellement avec le EKR65 moyen du 1 mm central de la carte de Holladay EKR (fig. 4), remplaçant le K1 et K2 pour obtenir l'équivalent sphérique pour le calcul de l'implant torique (valeurs entourées en jaune).

## Calcul d'implant

pourra orienter le chirurgien sur le bénéfice d'une éventuelle implantation torique, et lui permettre d'augmenter la précision du calcul de puissance de la lentille intra-oculaire.

### BIBLIOGRAPHIE

1. MOSHIRFAR M, ZIARI M, RONQUILLO YC. Cataract surgery considerations in patients with prior history of keratoconus and ectasia. *Curr Opin Ophthalmol*, 2023;34:41-47.
2. YAHALOMI T, ACHIRON A, HECHT I *et al.* Refractive Outcomes of Non-Toric and Toric Intraocular Lenses in Mild, Moderate and Advanced Keratoconus: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*, 2022;11:2456.
3. GONZALEZ-SALINAS R, FRANCO JJ, REYES-LUIS JL *et al.* Cataract surgery in patients with underlying keratoconus: focused review. *J Cataract Refract Surg*, 2023;49:97-102.
4. LISA C, ZALDIVAR R, FERNÁNDEZ-VEGA CUETO A *et al.* Clinical Outcomes of Sequential Intrastromal Corneal Ring Segments and an Extended Range of Vision Intraocular Lens Implantation in Patients with Keratoconus and Cataract. *J Ophthalmol*, 2018;8328134.
5. ŠIVEC TRAMPUŽ I, MIKEK K, KRAMPF M. Clinical and self-reported outcomes after multifocal intraocular lens implantation of patients with stable keratoconus. *Int Ophthalmol*, 2022;42:2541-2549.
6. BOZORG S, PINEDA R. Cataract and keratoconus: minimizing complications in intraocular lens calculations. *Semin Ophthalmol*, 2014;29:376-379.

Les auteurs ont déclaré ne pas avoir de liens d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.