

■ Le dossier – L'échographie oculaire

Échographie et biométrie

RÉSUMÉ : La biométrie ou calcul de la puissance de l'implant est l'étape cruciale pour obtenir l'objectif réfractif postopératoire désiré lors d'une chirurgie de la cataracte. Longtemps, l'échographie en mode A de contact a été la technique de choix de la mesure de la longueur axiale mais désormais la biométrie optique est devenue la référence car précise, rapide et reproductible. Cependant, il existe toujours des cas où le recours aux ultrasons est nécessaire car les biomètres optiques sont mis en défaut. Dans ces cas là, il faut savoir privilégier l'échographie en mode B aidée d'un vecteur contrôle pour avoir les mesures les plus précises possibles. Cet examen opérateur dépendant permet, en outre de la mesure de la longueur axiale, l'acquisition d'autres paramètres biométriques tels que la profondeur de chambre antérieure ou l'épaisseur cristallinienne ainsi qu'un bilan du segment postérieur lorsque cela est nécessaire.



D. HOA

Montpellier Centre Ophtalmologie,
CHU Gui de Chauliac,
Clinique St Jean, MONTPELLIER.

La biométrie est le temps crucial du calcul de la puissance de l'implant qui sera posé lors de la chirurgie de la cataracte [1]. Les récents progrès technologiques ont rendu la chirurgie du cristallin avec pose d'implant intraoculaire (IOL) dans le sac capsulaire sûre et reproductible. Il s'agit désormais d'une véritable procédure de chirurgie réfractive [2] et les attentes des patients augmentent vis à vis du résultat réfractif postopératoire et de l'indépendance du port de lunettes. La clé d'un bon résultat réfractif postopératoire passe donc par une biométrie rigoureuse et un calcul d'implant réfléchi. Les résultats postopératoires se sont améliorés grâce à une meilleure précision des mesures par les biomètres et d'une plus grande précision des formules de calculs.

Toutes les formules de calcul de la puissance de l'implant (IOLP) se basent sur les caractéristiques de l'implant utilisé et des mesures biométriques de l'œil à implanter (dont la longueur axiale (LA) et la kératométrie (K). Depuis les années

2000, les biomètres utilisant le principe de l'interférométrie sont la référence pour la mesure de la LA. Le recours aux ultrasons (US) reste nécessaire en cas d'impossibilité de mesure par ces nouveaux biomètres optiques. La mesure de la LA en préopératoire de chirurgie de la cataracte représente le 1^{er} motif d'indication à une échographie [3] avec environ 50 000 indications théoriques par an en France.

■ Les formules de calcul

1. Formules de régression

Les formules de calcul dites de régression linéaire sont basées sur l'analyse statistique de larges cohortes [4,5]. Sanders, Retzlaff et Kraff ont développé la formule SRK (1980) qui utilise comme variable la longueur axiale (L), la kératométrie (K) et la constante A qui résume les caractéristiques de l'implant concerné. Elle se résume :

$$\text{IOLP} = A - 0,9 \times K - 2,5 \times L$$

Le dossier – L'échographie oculaire

Imparfaite pour les globes oculaires "hors norme", elle a donné naissance à la formule SRK II plus précise pour les globes myopes mais encore insuffisante et à l'origine d'erreur réfractive postopératoire.

2. Formules théoriques

Les formules théoriques dérivent des travaux sur l'optique para axiale de Gauss (1941) et Fyodorov (1967). Il s'agit de modèles optiques géométriques dont le principe est de ramener le système optique oculaire à une association de 2 lentilles fines (la cornée et l'implant) focalisant les rayons sur un plan image (rétine) (*fig. 1*).

La base de ces modèles s'écrit [5] :

$$IOLP = \frac{1336}{AL - ELP} - \frac{1336}{\frac{1000}{\frac{1000}{R} + K} - ELP}$$

Elles utilisent 6 variables : la puissance optique cornéenne totale (K), la longueur axiale (LA), la puissance optique d'un implant théorique sans épaisseur (IOLP), la position effective de cet implant (ELP), la réfraction désirée (R) et la distance du vertex du verre correcteur (V).

Grâce à la vulgarisation des équipements informatiques, a été développée la formule SRK T (1990) qui a longtemps été la référence pour le calcul d'implant et qui nécessite la connaissance de K,

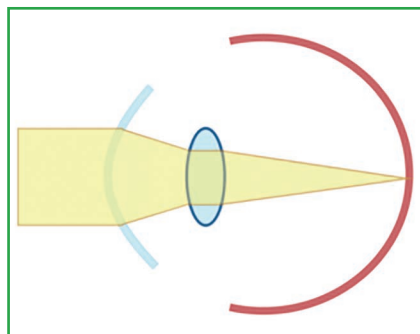


Fig. 1 : Système optique simplifié.

LA et de la constante A (dépendante de l'implant utilisé) [4] (*fig. 2*).

3. Les nouvelles formules ou formules de dernière génération

Depuis, de nombreux auteurs ont essayé d'améliorer la précision des formules par une meilleure appréciation de la position effective de l'implant et adaptée aux LA extrêmes (Olsen, Holladay II, Barrett) [6]. Elles intègrent des facteurs supplémentaires pour mieux estimer la position effective de l'implant notamment ACD, LT, BAB ou réfraction préopératoire... (*fig. 3*).

Conclusion : Toutes les formules nécessitent au moins la mesure de LA et K. Celles de dernière génération intègrent des éléments supplémentaires de l'anatomie du segment antérieur (ACD, LT).

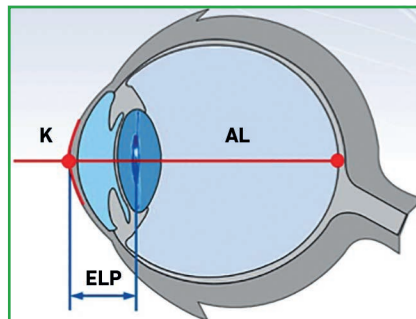


Fig. 2 : Formules à 2 variables.

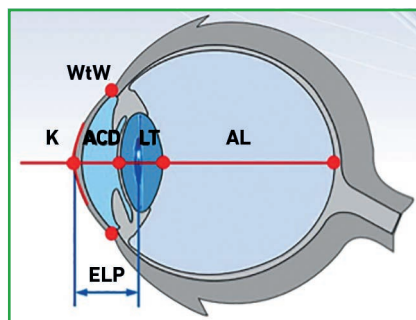


Fig. 3 : Formules X variables.

Les mesures biométriques

1. Biomètres optiques

Depuis le début des années 2000, les biomètres utilisant le principe de l'in-

terférométrie sont devenus le *gold standard* car présentant de nombreuses qualités : simples d'utilisation, précis, rapides, reproductibles [1], déléguables et avec un moindre désagrément pour le patient (sans contact et sans besoin d'instillation de collyres ou gel) [7]. Par l'interférométrie à cohérence partielle (PCI – IOL Master Zeiss) ou la réflectométrie à basse cohérence optique (OLCR – Lenstar Haag Streit), ils permettent l'acquisition de nombreux paramètres rapidement et simultanément : K, LA, ACD, LT, CCT, BAB... (*fig. 4A et B*).

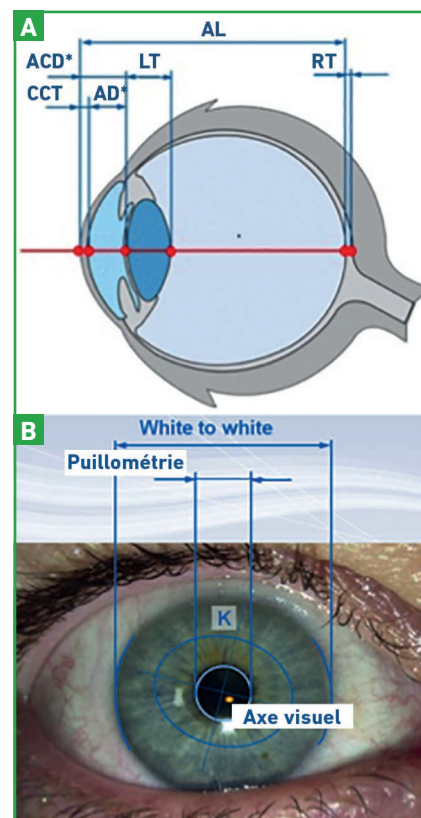


Fig. 4A et B : A : Mesures Lenstar 1 ; B : Mesures Lenstar 2.

Le principal avantage est l'utilisation d'une diode permettant une fixation par le patient et donc une mesure très précise de la LA sur l'axe visuel et non l'axe optique (*fig. 5*).

2. Efficacité des biomètres optiques

Dans 90-95 % des cas [8], les mesures biométriques sont possibles avec ces

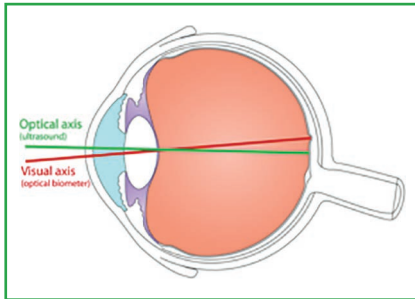


Fig. 5 : Axe visuel vs axe optique.

nouveaux appareils et grâce à leurs calculateurs intégrés répertorient les différentes formules et implants (y compris IOL toriques et multifocaux) nous fournissent la puissance de l'implant à poser. Les nouveaux algorithmes développés par les fabricants permettent même de diminuer à 3-5 % les échecs de la biométrie par système optique. Les biomètres optiques utilisant la technologie du Swept Source OCT semblent être encore plus performants et seront à évaluer.

Les biomètres optiques sont mis en défaut en cas de :

- absence de fixation ou coopération du patient ;
- tremblement oculaire ou du chef ;
- trouble des milieux transparents : taie cornéenne, cataracte obturante ou sous capsulaire postérieure [1,8] ;
- pathologie du segment postérieur empêchant ou faussant les mesures : décollement de la rétine, hyalopathie astéroïde, hyalite dense, hémorragie intravitréenne, huile de silicone, hématoïde rétro hyaloïdien, maculopathies (fig. 6A, B et C).

Dans tous ces cas là, le recours aux ultrasons est nécessaire pour la mesure des éléments biométriques et réaliser un bilan oculaire. La biométrie en pré opératoire de la chirurgie du cristallin est la 1^{re} indication à réaliser une échographie.

3. Échographie

Jusqu'à l'avènement des biomètres optiques, les ultrasons étaient la réf-

rence pour la mesure des éléments biométriques. La sonde d'échographie envoie vers le globe oculaire un front d'onde d'ultrasons à haute fréquence [1]. Chaque structure rencontrée renvoie un signal retranscrit sur l'échogramme par un pic dont l'amplitude est maximale si la structure rencontrée est perpendiculaire. Si l'on connaît la célérité des ultrasons dans les milieux (5), on peut convertir les temps des différents échos en distance et ainsi obtenir des

éléments biométriques désirés : ACD, LT, LA... (fig. 7A et tableau I).

Milieu traversé	Vitesse de propagation des US
Humeur aqueuse	1532 m.s ⁻¹
Cristallin	1641 m.s ⁻¹
Vitré	1532 m.s ⁻¹
Graisse orbitaire	1462 m.s ⁻¹
Muscle	1631 m.s ⁻¹
Nerf optique	1615 m.s ⁻¹
Eau (20°C)	1438 m.s ⁻¹
Acier	5920 m.s ⁻¹

Déroulement d'une échographie pour une biométrie

1. Échographie en mode A

L'échographie en mode A (ou Amplitude) est bien connue et a été largement utilisée (Hoffer KJ, 1974) comme un des maillons de la chaîne de calcul : Kératomètre de Javal/US mode A/Formule SRK T [5].

L'examen se déroule après instillation de collyre anesthésique, le patient étant en position assise ou à la lampe à fente, le regard en position primaire. La sonde vient au contact de l'épithélium cornéen et va mesurer les différents éléments biométriques sur l'axe optique jusqu'à l'interface vitréo-rétinienne. Lors de la pose de la sonde à l'apex cornéen, une attention particulière doit être faite pour ne pas créer d'indentation cornéenne afin de ne pas "raccourcir"

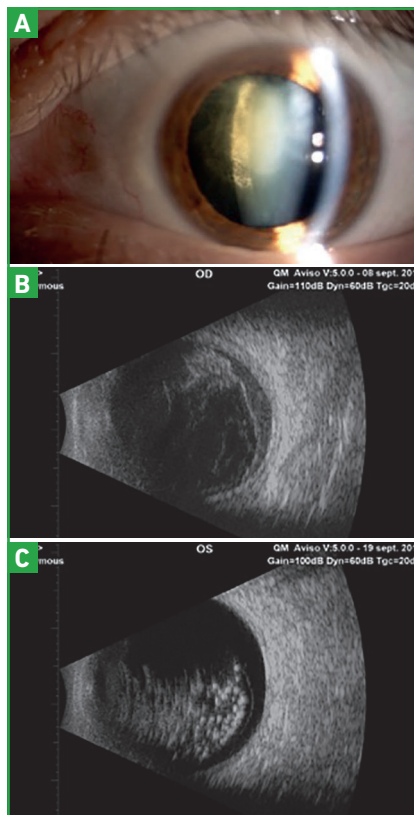


Fig. 6A, B et C : A : Cataracte sous capsulaire postérieure ; B : Hyalite ; C : Hyalopathie astéroïde.



Fig. 7 : Écho A.

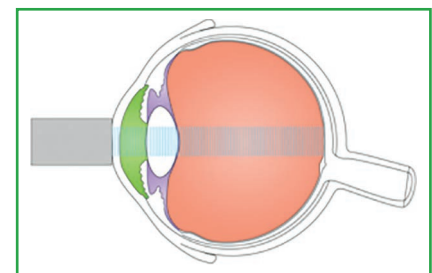


Fig. 8 : Échographie mode A contact.

Le dossier – L'échographie oculaire

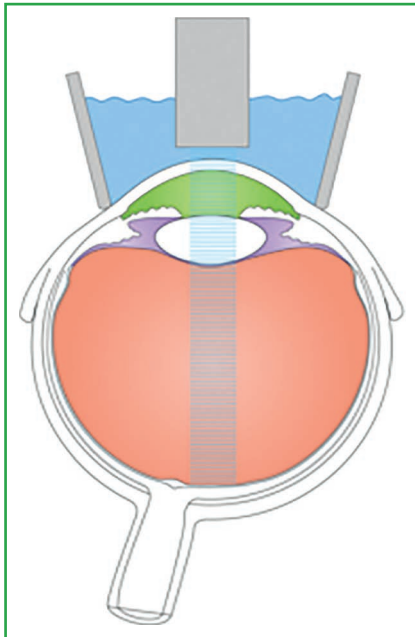


Fig. 9 : Échographie mode A immersion.

artificiellement le globe oculaire. Cette imprécision est d'autant plus pénalisante que le globe est court (**fig. 8**).

Pour s'affranchir de ce biais, il est possible d'effectuer cette mesure "en immersion" (Hoffer KJ, 1981) dans une cupule remplie de *balanced salt solution* (BSS) afin d'éviter toute indentation cornéenne [5] (**fig. 9**).

En l'absence de fixation par le patient, la mesure est faite sur l'axe optique et non l'axe visuel. Cette imprécision est non négligeable dans le cas de staphylome du pôle postérieur. La mesure retenue pour la LA est la moyenne de 10 mesures ayant un écart type < 0,1 mm, en favorisant les mesures les plus longues en cas d'acquisition en mode contact.

2. Echographie en mode B avec vecteur contrôle

L'échographie en mode B (ou Brillance) aidé du vecteur contrôle [9] permet un contrôle en 2 dimensions du plan de coupe utilisé pour la mesure. Elle se réalise en position allongée, après instillation de collyre anesthésique ou d'un gel à la surface de l'œil "en immer-

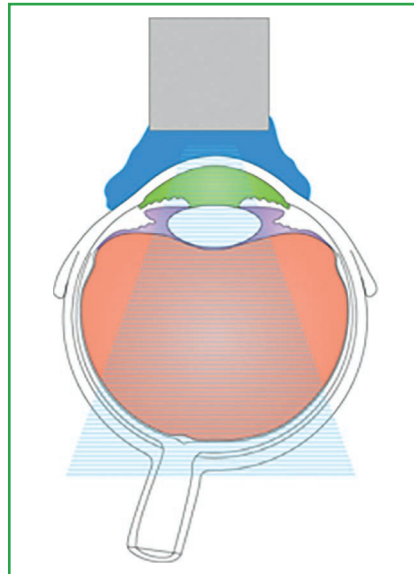


Fig. 10 : Échographie mode B et gel.

sion simplifiée". La mesure se fait yeux ouverts afin de permettre la fixation du 2^e œil du patient, d'éviter l'atténuation des échos par les tissus mous des paupières et de bien distinguer le double arc cornéen. L'objectif est d'obtenir une coupe axiale horizontale qui va guider la mesure pour se rapprocher le plus possible de l'axe visuel. La position de la macula est estimée à 15° en temporal de la papille sur cette coupe axiale passant par le pôle postérieur et visualisant le nerf optique (**fig. 10**).

Il faut pouvoir visualiser sur la même coupe le double arc cornéen, la pupille, les faces antérieure et postérieure du cristallin et le pôle postérieur. Le vecteur contrôle est placé sur l'axe visuel, il matérialise l'axe de mesure traduit en échogramme A sur lequel sont posi-

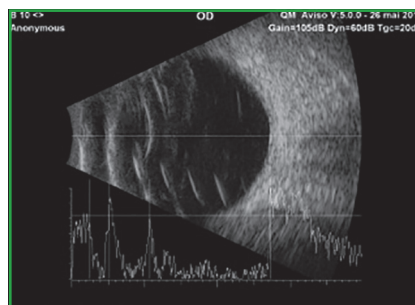


Fig. 11 : Écho B + vecteur contrôle.

tionnés les repères de vitesse de conduction des ultrasons. La visualisation sur l'échogramme A de pics francs et de bonne intensité permet de s'assurer d'une sonde positionnée perpendiculairement aux différents plans visualisés : faces antérieure et postérieure de la cornée, cristalloïdes antérieure et postérieure du cristallin et interface vitréorétinienne. La mesure de la LA se fait de l'épithélium cornéen jusqu'à la macula. Il est également possible d'avoir des mesures de CCT, ACD et LT comme avec les biomètres optiques et les valeurs obtenues sont comparables [10] (**fig. 11**).

Un complément d'étude en mode B permet l'exploration des 4 quadrants rétiniens pour étude du vitré, de la choroïde, de la sclère et des structures orbitaires au delà. Il est indispensable en cas de cataracte obturante ou de pathologies du vitré empêchant l'étude du segment postérieur (2) pour vérifier l'intégrité du globe oculaire, trouver une éventuelle étiologie et prévenir d'éventuelles complications (**fig. 12A et B**).

Le compte-rendu type d'une échographie dans le cadre d'une biométrie

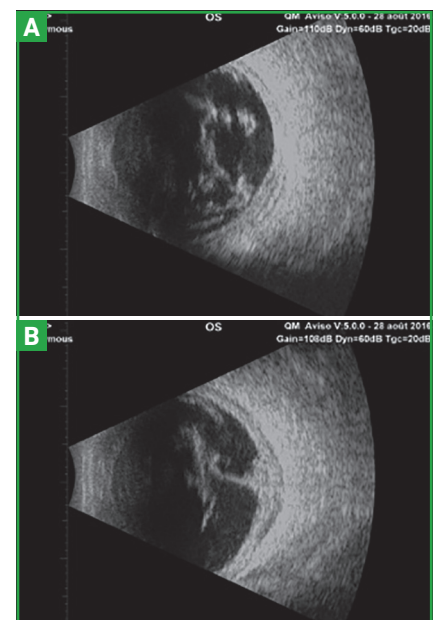


Fig. 12A et B : A : Hémorragie intravitréenne ; B : Décollement de la rétine.

doit retranscrire les éléments administratifs : nom, prénom et date de naissance du patient ainsi que le coté de l'œil exploré (OD et/ou OG). La photo imprimée de la coupe en mode B passant par le pôle postérieur indiquera la mesure de LA sur l'axe optique représenté par le vecteur contrôle. Si besoin, la mesure de ACD et LT sera également fournie. Les pathologies maculaires (traction, trou, œdème cystoïde...) seront signalées sur cette même coupe et des images des 4 quadrants seront également réalisées permettant d'éliminer des pathologies vitréo rétinienne ou des enveloppes (choroïde, sclère) en périphérie. En cas de malposition cristallinienne ou de pathologie du sulcus ou de l'angle iridocornéen, un complément d'exploration par échographie UBM pourra être réalisé.

3. Comparaison échographie/biométrie optique

La référence de nos jours est la biométrie optique mais pendant de nombreuses années l'échographie en mode A était le *gold standard* pour la mesure de la longueur axiale :

- pour le médecin l'acquisition est plus facile et fiable avec les biomètres optiques ;
- pour le patient une méthode sans contact et ne nécessitant ni collyres ni gel est plus confortable ;
- les biomètres optiques fournissent en une acquisition rapide la mesure de la LA ainsi que d'autres paramètres (ACD LT...);
- les sondes d'échographie contact posent un problème de protocole de désinfection ;
- la biométrie optique ayant une très bonne reproductibilité intra opérateur et inter opérateur [4], elle permet une délégation de tâches aux assistants médicaux ;
- les ultrasons ont une bonne pénétration dans les structures oculaires et per-

mettent des mesures dans tous les cas par opposition aux cataractes denses et sous capsulaires qui mettent en défaut les biomètres optiques.

La grande différence entre les 2 méthodes provient surtout du fait de la différence de technologies [4] :

- échographie et ultrasons mesurant la LA entre l'épithélium cornéen et l'interface vitréo maculaire ;
- biométrie optique et interférométrie mesurant la LA entre l'épithélium cornéen.

Rappel

Que ce soit par les ultrasons ou par un faisceau lumineux, les appareils mesurent le temps entre l'envoi du signal et la réflexion par les structures rencontrées. Les distances sont converties ensuite en connaissant la célérité du signal dans les différentes structures (Attention aux mesures faites sur un œil dont la cavité vitréenne est remplie d'huile de silicone).

Ils ne mesurent donc pas la même chose, les anciennes formules étaient basées sur la chaîne de mesure Kératomètre de Javal/LA par écho US Mode A/ Constante A/Formule SRK T. Une adaptation des mesures entre les 2 méthodes a été nécessaire pour prendre en compte les 200-250 microns d'épaisseur rétinienne. Les nouvelles formules ont été développées par et pour les biomètres optiques et vont devenir la nouvelle référence dans la chaîne de mesure Biomètre optique/Mesures de K, LA, ACD, LT.../Formule Olsen, Barrett, Holladay II...

Conclusion

En pratique clinique courante, la biométrie optique est la référence de nos jours permettant des mesures très pré-

cises des éléments biométriques. Dans les cas où celle-ci est mise en défaut, il n'est plus conseillé de faire d'échographie en mode A désormais. Il faut savoir privilégier l'échographie en mode B avec utilisation du vecteur contrôle qui a une performance égale aux biomètres optiques avec un opérateur expérimenté [11].

BIBLIOGRAPHIE

1. SAHIN A, HAMRAH P. Clinically relevant biometry. *Curr Opin Ophthalmol*, 2012;23:47-53.
2. SHEARD R. Optimising biometry for best outcomes in cataract surgery. *Eye*, 2014;28:118-125.
3. BÉRGÈS O. Échographie de l'œil et de l'orbite avec un échographe polyvalent. *Journal de radiologie*, 2006;87-4:345-35.
4. OLSEN T. Calculation of intraocular lens power: a review. *Acta Ophthalmol Scand*, 2007;85:472-485.
5. PUECH M, STREHO M. Biométrie et calcul d'implant. *Presbytie*, 2012;14:253-263.
6. LEE AC. Biometry and intraocular lens power calculation. *Curr Opin Ophthalmol*, 2008;19:13-17.
7. GANTENBEIN C. Comparaison entre biométrie optique et acoustique de l'œil. *J Fr Ophtalmol*, 2004;27-10:1121-1127.
8. MYLONAS G. Performance of three biometry devices in patients with different grades of age-related cataract. *Acta Ophthalmol*, 2011;89:237-241.
9. BÉRGÈS O. B-mode guided vector-A mode versus A-mode biometry to determine axial length and intraocular lens power. *JCRS*, 2014.
10. MONTÉS-MICO R. Comparison of immersion ultrasound, partial coherence interferometry, and low coherence reflectometry for ocular biometry in cataract patients. *J Refract Surg*, 2011;27:655-671.
11. NAICKER P. Refractive outcomes comparison between the Lenstar LS900® optical biometry and immersion A-scan ultrasound. *Int Ophthalmol*, 2015;35:459-466.

L'auteur a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.