

réalités

OPHTALMOLOGIQUES

Novembre 2025 / N° 325
Mensuel

DOSSIER

Échographie oculaire

- ▶ **Les anti-VEGF de seconde génération : traitement de première ligne de la DMLA néovasculaire**
Revue générale
- ▶ **Les lymphomes vitréo-rétiniens primitifs : quelles options thérapeutiques en 2025 ?**
Revue générale
- ▶ **Les effets secondaires ophtalmologiques des inhibiteurs de checkpoints**
Revue générale
- ▶ **Regards croisés sur les toxicités ophtalmologiques des anticorps conjugués anti-cancéreux (ADC)**
Regards croisés



L'écho-biométrie dans la chirurgie de la cataracte



D. Hoa

Montpellier Centre Ophtalmologie, Polyclinique Saint-Roch,
Clinique du Parc, MONTPELLIER

RÉSUMÉ : La biométrie est réalisée systématiquement avant chaque chirurgie de la cataracte, l'acte le plus pratiqué en France. Cette étape essentielle de calcul de la puissance de l'implant permet d'atteindre le résultat réfractif souhaité en postopératoire. Initialement, la mesure de la longueur axiale se faisait par échographie en mode A de contact, mais aujourd'hui la biométrie optique s'impose comme méthode de référence grâce à sa précision, sa rapidité et sa fiabilité. Cependant, dans certains cas où la biométrie optique présente des limites, l'utilisation des ultrasons reste incontournable. Dans ces situations, l'échographie en mode B avec un vecteur de contrôle obtient les mesures les plus fiables possible. Cet examen opérateur-dépendant mesure non seulement la longueur axiale, mais obtient aussi d'autres paramètres biométriques tels que la profondeur de la chambre antérieure ou l'épaisseur du cristallin, ainsi qu'un bilan du segment postérieur si nécessaire.

POINTS FORTS

- La biométrie est l'étape cruciale pour garantir un bon résultat réfractif après phacoémulsification.
- Les biomètres optiques ont remplacé l'échographie pour mesurer la longueur axiale (LA), la profondeur de chambre antérieure (ACD) et l'épaisseur du cristallin (LT).
- Le recours aux ultrasons demeure indispensable dans 2 à 3 % des cas, l'échographie en mode B avec vecteur de contrôle étant alors la meilleure option.
- Le rapport d'échographie doit inclure les mesures biométriques ainsi que des informations morphologiques sur les segments antérieur et postérieur du globe oculaire voire le calcul de la puissance de l'implant intraoculaire.



©Minirix Doodle@Stock

Retrouvez cette fiche en flashant
le QR code ci-dessous



La biométrie est l'étape déterminante dans le calcul de la puissance de l'implant posé lors de la chirurgie de la cataracte [1, 2]. Les avancées technologiques récentes ont rendu cette intervention avec implant intraoculaire (IOL) plus sûre et prévisible. Aujourd'hui, il s'agit d'une véritable procédure de chirurgie réfractive [3] et les attentes des patients concernant leur vision et l'indépendance vis-à-vis des lunettes ne cessent de croître. Atteindre un bon résultat réfractif nécessite donc une biométrie rigoureuse et un choix réfléchi de l'implant. Les résultats post-opératoires se sont améliorés grâce à la précision accrue des appareils et des formules de calcul.

Toutes les formules de calcul de la puissance de l'IOL reposent sur les caractéristiques de l'implant et sur diverses mesures biométriques de l'œil à opérer, notamment la longueur axiale (LA) et la kératométrie (K). Depuis les années 2000, ce sont les biomètres basés sur l'interférométrie qui font référence pour mesurer la LA. Toutefois, les ultrasons restent nécessaires lorsque ces nouveaux outils ne peuvent pas effectuer la mesure. Avant une chirurgie de la cataracte, la mesure de la LA motive environ 25 000 échographies par an en France [4].

■ Les formules de calcul

1. Les formules de régression et formules théoriques

Les formules de régression linéaire s'appuient sur l'analyse statistique de vastes cohortes [5-7]. Par exemple, la formule SRK (1980), développée par Sanders, Retzlaff et Kraff, utilise la longueur axiale (L), la kératométrie (K) et la constante A propre à chaque implant :
$$IOLP = A - 0,9 \times K - 2,5 \times L$$

Moins adaptée aux yeux atypiques, elle a conduit à la formule SRK II, plus performante pour les myopies mais encore source d'erreurs réfractives après l'opération.

Les formules théoriques issues des études sur l'optique paraxiale de Gauss (1941) et Fyodorov (1967) utilisent des modèles géométriques simplifiant l'œil

en deux lentilles fines représentant la cornée et l'implant, focalisant l'image sur la rétine (fig. 1).

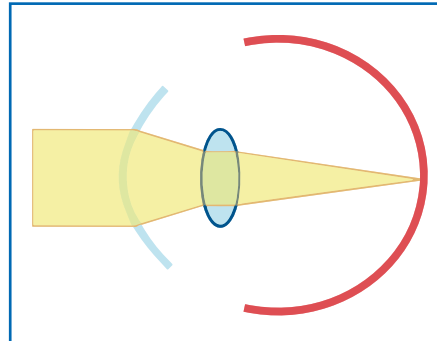


Fig. 1 : Système optique simplifié.

Elles prennent en compte six variables : la puissance cornéenne totale (K), la longueur axiale (LA), la puissance d'un implant théorique sans épaisseur (IOLP), la position effective de l'implant (ELP), la réfraction désirée (R) et la distance du verre correcteur (V).

Avec l'utilisation généralisée de l'informatique, la formule SRK T (1990) est devenue une référence, nécessitant la connaissance de K, de la LA et de la constante A [5] (fig. 2).

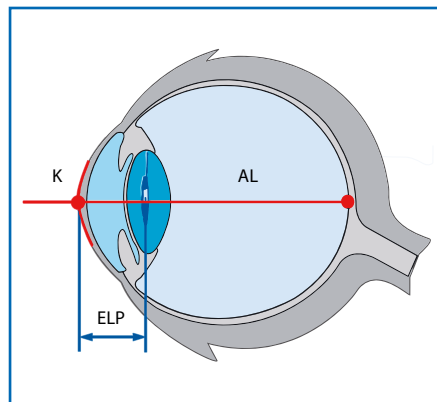


Fig. 2 : Formules à deux variables.

2. Les formules de dernière génération

Plusieurs auteurs ont affiné les formules de calcul en tenant compte plus finement de la position effective de l'implant, notamment pour les yeux à LA extrêmes (Olsen, Holladay II, Barrett) [8]. Elles intègrent d'autres facteurs comme l'ACD, le LT, le BAB ou la réfraction préopératoire (fig. 3).

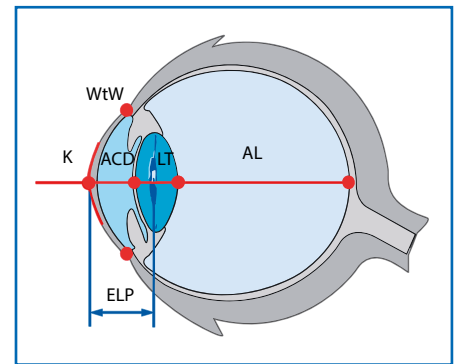


Fig. 3 : Formules à X variables.

3. Les formules utilisant l'intelligence artificielle (IA)

Récemment, des équipes ont développé des modèles de formules de calcul incluant les technologies de l'IA (*machine learning*, réseau neuronal, *datasets* d'entraînement...) grâce aux grandes bases de données disponibles en biométrie. Nous distinguons les formules PEARL-DGS et Kane utilisant un modèle optique, et la formule du Dr Hill-RBF purement basée sur l'IA.

Les dernières publications dans ce domaine montrent les très bonnes capacités de ces formules par rapport aux anciennes et l'augmentation de la taille des bases de données va encore optimiser leurs performances [9].

En conclusion, **toutes les formules exigent au moins la mesure de la LA et la K**, tandis que celles de dernière génération prennent aussi en considération des éléments anatomiques supplémentaires tels que l'ACD et le LT pour mieux appréhender l'ELP. Nul doute qu'à l'avenir, les formules de calcul basées sur l'IA deviendront la référence pour le calcul de la puissance de l'implant.

■ Les mesures biométriques

1. Les biomètres optiques

Depuis le début des années 2000, les biomètres à interférométrie se sont imposés, car ils présentent de nombreux avantages : utilisation aisée, grande précision, rapidité, reproductibilité [1], possibilité de délégation et meilleur confort pour le patient (pas de contact ni d'instillation de collyres ou gel) [10, 11].

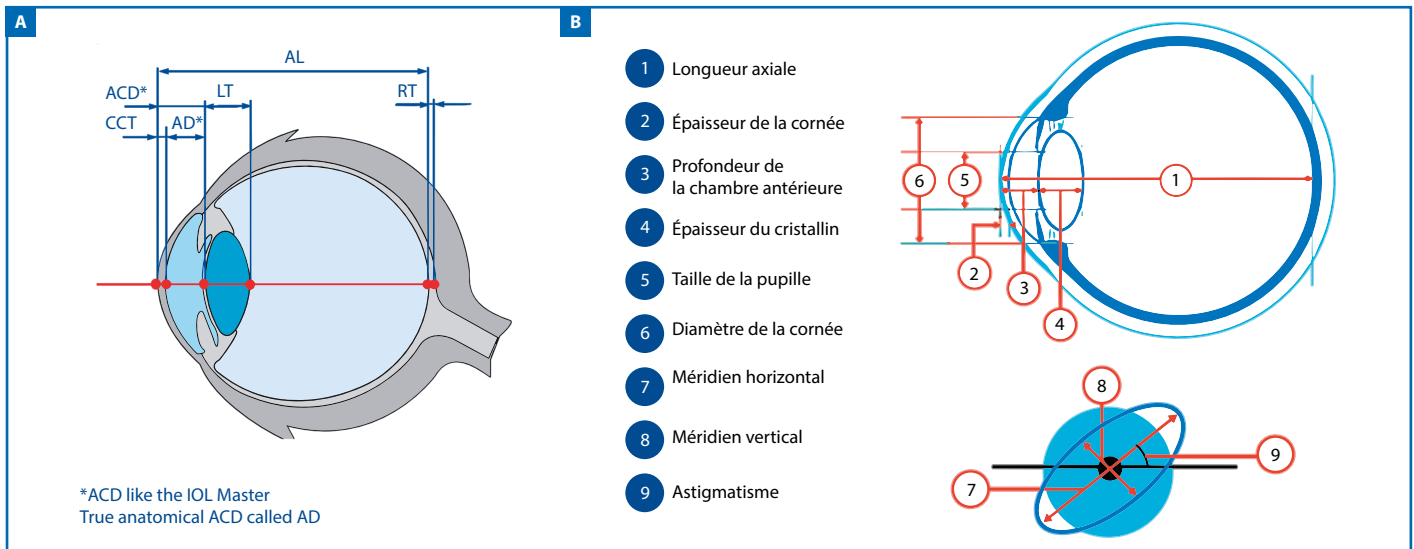


Fig. 4A : Mesures Lenstar. B : Mesures Argos.

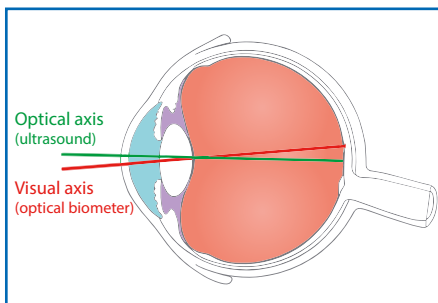


Fig. 5 : Axe visuel vs axe optique.

Par interférométrie à cohérence partielle (PCI – IOL Master® 500 Zeiss) ou réflectométrie à basse cohérence optique (OLCR – Lenstar® Haag Streit) et désormais par la technologie de l'OCT *Swept-Source* (SS-OCT – Argos® Alcon ou IOL Master 700 Zeiss), il est possible d'obtenir rapidement et en même temps de multiples mesures : K, LA, ACD, LT, CCT, BAB, etc. (fig. 4).

Le principal atout est une diode permettant la fixation visuelle du patient, offrant ainsi une mesure précise de la LA sur l'axe visuel plutôt que sur l'axe optique (fig. 5).

2. Leur efficacité

Grâce à ces nouveaux appareils, les mesures biométriques sont réalisables dans 95 à 97 % des cas [12]. Leurs calculateurs intégrés proposent différentes formules et implants, y compris pour les IOL toriques et multifocaux. Les algorithmes récents réduisent les échecs à 3-5 %.

Les biomètres utilisant la technologie *Swept-Source* OCT semblent encore plus performants, avec des capacités accrues pour les cataractes denses, une acquisition rapide et une visualisation OCT de la cornée, du cristallin et de la fovéa [13].

Cependant, ils rencontrent toujours des limites dans certains cas :

- incapacité de fixation ou de coopération du patient ;
- tremblements oculaires ou mouvements de la tête ;
- opacité des milieux transparents (taie cornéenne, cataracte dense ou sous-capsulaire postérieure) ;
- atteintes du segment postérieur empêchant ou faussant les mesures (détachement de rétine, hyalopathie astéroïde, hyalite dense, hémorragie intravitréenne, huile de silicone, hématome rétro-hyalodien, maculopathies) (fig. 6).

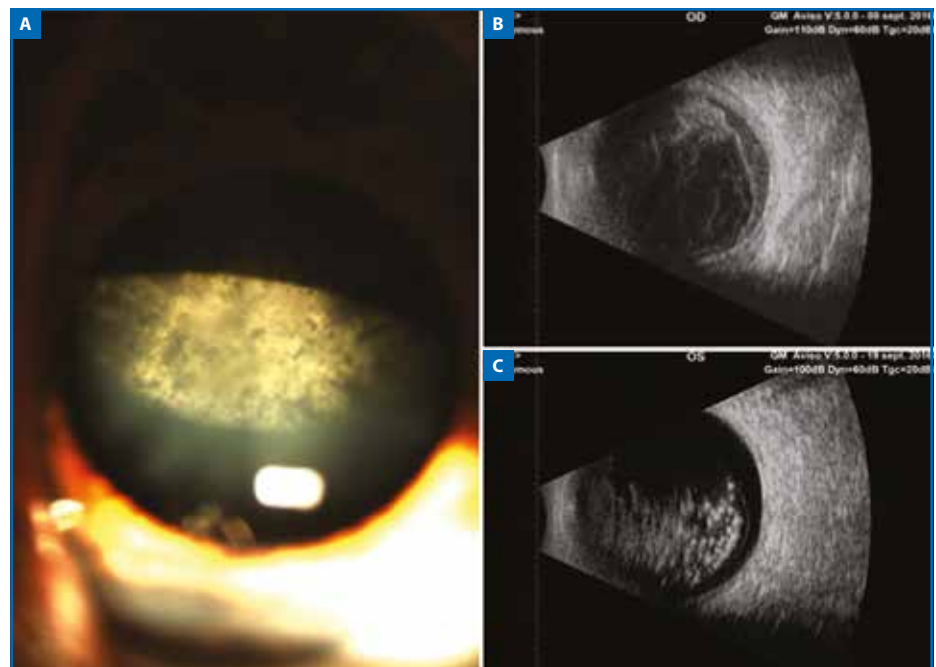


Fig. 6A : Cataracte sous-capsulaire. B : Hyalite. jdf. C : Hyalopathie astéroïde.



Fig. 7 : Échographie en mode A.

Dans toutes ces situations, le recours aux ultrasons est indispensable pour obtenir les mesures biométriques et établir un bilan oculaire complet: c'est la première indication de recours à une échographie oculaire.

3. L'échographie

Avant l'avènement des biomètres optiques, les ultrasons représentaient la méthode de référence pour mesurer les éléments biométriques. La sonde d'échographie envoie des ultrasons haute fréquence vers l'œil. Chaque structure

traversée renvoie un signal, qui se traduit sur l'échogramme par un pic dont l'amplitude est maximale si la structure rencontrée est perpendiculaire. En connaissant la vitesse des ultrasons dans les différents milieux, il devient possible de convertir les temps des échos en distances pour déterminer les paramètres recherchés (ACD, LT, LA...) (**fig. 7, tableau I**).

Le déroulement d'une échographie pour une biométrie

1. L'échographie en mode A

L'échographie en mode A (amplitude) est couramment utilisée, notamment depuis Hoffer KJ en 1974, comme élément clé dans la chaîne de calcul comprenant le kératomètre de Javal, l'US en mode A et la formule SRK T [6].

L'examen commence après l'instillation d'un collyre anesthésiant, avec le patient assis ou positionné à la lampe à fente et son regard en position primaire.

Le contact entre la sonde et l'épithélium cornéen permet de mesurer divers

paramètres biométriques sur l'axe optique jusqu'à l'interface vitréorétinienne. Lors de la pose de la sonde à l'apex cornéen, il est essentiel d'éviter toute indentation de la cornée, car cela fausserait la longueur mesurée du globe oculaire, erreur d'autant plus importante que le globe est court (**fig. 8**).

Pour éliminer ce biais, on peut effectuer la mesure en immersion dans une cupule remplie de solution saline équilibrée (BSS), selon Hoffer KJ en 1981, afin de prévenir toute déformation cornéenne (**fig. 9**) [6].

En l'absence de fixation visuelle par le patient, la prise de mesure se fait sur l'axe optique, ce qui introduit une impré-

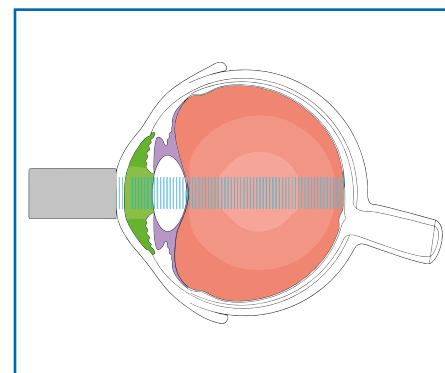


Fig. 8 : Échographie en mode A: contact.

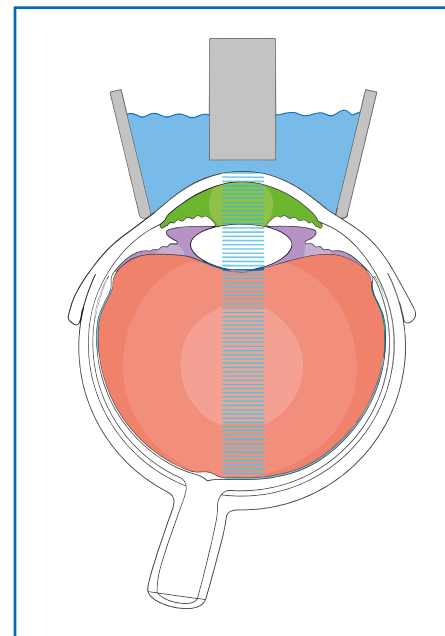


Fig. 9 : Échographie en mode A: immersion.

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

Tableau I : Célérité des ultrasons dans les milieux.

cision notable, surtout dans le cas d'un staphylome postérieur. La longueur axiale retenue correspond à la moyenne de dix mesures dont l'écart-type est inférieur à 0,1 mm ; si la mesure est prise en mode contact, on privilégiera les valeurs les plus élevées.

2. L'échographie en mode B avec vecteur de contrôle

Le mode B de l'échographie, associé au vecteur de contrôle [14], offre un suivi bidimensionnel du plan de coupe utilisé. L'examen s'effectue en position allongée, après application d'un collyre anesthésiant ou d'un gel sur l'œil ("immersion simplifiée"). Les yeux restent ouverts pour permettre la fixation tandis que l'autre œil sert de repère, évitant ainsi l'atténuation des échos par les paupières et assurant la bonne identification du double arc cornéen. L'objectif est d'obtenir une coupe axiale horizontale proche de l'axe visuel, en estimant la position de la macula à 15° en temporal de la papille sur cette coupe traversant le pôle postérieur et montrant le nerf optique (fig. 10).

La même coupe doit permettre de visualiser le double arc cornéen, la pupille, les faces antérieure et postérieure du cristallin, ainsi que le pôle postérieur. Le vecteur de contrôle, aligné sur l'axe

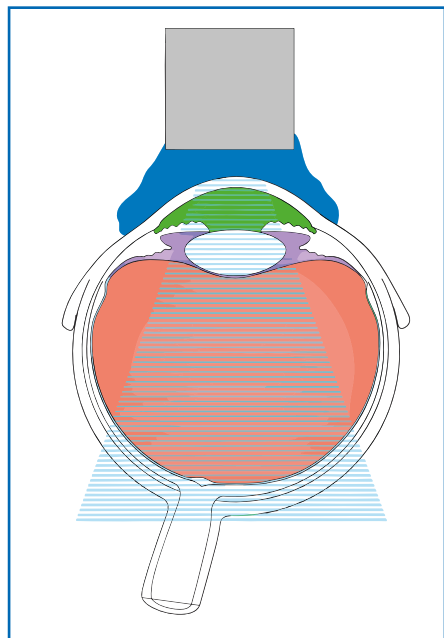


Fig. 10 : Échographie en mode B et gel.

visuel, matérialise cet axe de mesure et se traduit sur l'échogramme A, où figurent les repères de vitesse de conduction ultrasonore. Voir des pics nets et intenses sur l'échogramme A confirme que la sonde est perpendiculaire aux interfaces : cornée, cristallin et interface vitréorétinienne. On mesure alors la longueur axiale de l'épithélium cornéen à la macula. D'autres mesures comme la CCT, l'ACD et la LT sont également accessibles et comparables à celles obtenues par biométrie optique [14] (fig. 11).

Une exploration en mode B des 4 quadrants rétiens permettant d'étudier le vitré, la choroïde, la sclère et les structures

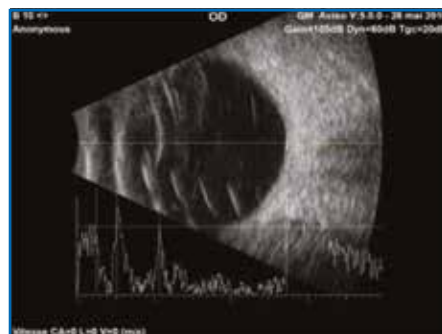


Fig. 11 : Écho B + vecteur de contrôle.

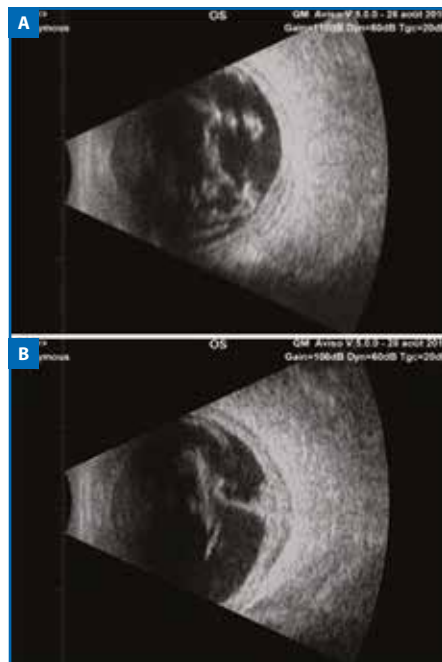


Fig. 12A : Hémorragie intravitréenne. B : Décollement de rétine.

orbitaires adjacentes complète l'examen. Cela est essentiel en présence de cataracte opaque ou de pathologies vitréennes empêchant l'examen du segment postérieur [4] afin de vérifier l'intégrité du globe, rechercher une cause et anticiper d'éventuelles complications (fig. 12).

Le compte rendu type inclut les informations administratives (nom, prénom, date de naissance du patient, œil examiné OD/OG, une image imprimée de la coupe axiale en mode B indiquant la longueur axiale sur l'axe optique matérialisé par le vecteur de contrôle et, si nécessaire, la mesure de ACD et LT. Toute anomalie maculaire (traction, trou, œdème cystoïde...) sera notée sur cette coupe et illustrée par des images des 4 quadrants pour exclure des pathologies du vitré ou des enveloppes comme la choroïde ou la sclère. Si une malposition du cristallin ou une pathologie du sulcus ou de l'angle iridocornéen est suspectée, une échographie UBM complémentaire est recommandée.

3. La comparaison entre échographie et biométrie optique

Aujourd'hui, la biométrie optique constitue la référence, même si pendant longtemps, l'échographie en mode A était considérée comme le standard pour la mesure de la longueur axiale. Pour le médecin, la biométrie optique est plus simple et fiable à réaliser, et pour le patient, elle est plus confortable car sans contact et sans nécessité de collyre ou de gel. Ces appareils fournissent rapidement la mesure de la LA et d'autres paramètres (ACD, LT, etc.). Cependant, la désinfection des sondes d'échographie pose problème en mode contact. Grâce à leur excellente reproductibilité, les biomètres optiques permettent de déléguer leur utilisation à du personnel formé.

Les ultrasons pénètrent bien dans les structures oculaires et permettent des mesures même en cas de cataractes denses ou sous-capsulaires, là où les biomètres optiques peuvent échouer.

La différence majeure entre les deux méthodes tient à la technique employée : les ultrasons mesurent la longueur axiale entre l'épithélium cornéen et l'interface vitréomaculaire, tandis que la biométrie

optique la mesure depuis l'épithélium cornéen jusqu'à l'épithélium pigmenté rétinien.

Il faut noter que, qu'il s'agisse d'ultrasons ou de lumière, ces appareils déterminent le temps entre l'émission du signal et sa réflexion par les différentes structures. Ils convertissent ensuite ce délai en distance grâce à la célérité du signal dans chaque tissu (attention aux mesures prises sur un œil rempli d'huile de silicone!). Les anciennes chaînes de mesures et de calcul kératomètre de Javal/LA par US mode A/ constante A/formule SRKT, nécessitaient une adaptation pour tenir compte des 200 à 250 microns d'épaisseur rétinienne. Les nouvelles formules, développées spécifiquement pour la biométrie optique, deviennent désormais la norme, impliquant la séquence suivante : biomètre optique/mesures de K, LA, ACD, LT... / formules Olsen, Barrett, Holladay II, voire les formules avec IA.

■ Conclusion

En routine clinique, la biométrie optique est actuellement la méthode de référence pour des mesures précises des paramètres biométriques avec un appareil utilisant la technologie *Swept-Source* OCT si possible et le calcul de la puissance de l'implant avec des formules utilisant l'IA. Parmi ces formules récemment décrites, celles de PEARL-DGS, Kane et Hill RBF semblent les plus performantes, surtout pour les cas

complexes. Lorsque cette technique n'est pas applicable, il est préférable d'opter pour l'échographie en mode B, aidée du vecteur de contrôle, dont la performance chez un opérateur expérimenté égale celle des biomètres optiques [15-17]. L'utilisation de l'échographie en mode A isolé n'est plus conseillée.

Bibliographie

1. SAHIN A, HAMRAH P. Clinically relevant biometry. *Curr Opin Ophthalmol*, 2012;23:47-53.
2. SHAMMAS MC, SHAMMAS HJ. "Part III Measurements – Chap 9: Calculations Ultrasound Biometry". In: *Intraocular Lens Calculations*. Éditions SLACK Incorporated. 2024. 163-176.
3. SHEARD R. Optimising biometry for best outcomes in cataract surgery. *Eye*, 2014;28: 118-125.
4. BÈRGES O. Échographie de l'œil et de l'orbite avec un échographe polyvalent. *Journal de radiologie*, 2006;87-4:345-353.
5. OLSEN T. Calculation of intraocular lens power: a review. *Acta Ophthalmol. Scand*, 2007;85:472-485.
6. PUECH M, STREHO M. Biométrie et calcul d'implant. Presbytie. *Rapport SFO*, 2012;14: 253-263.
7. BOR FAM H. "Part IV Calculations Methods – Chap 32: An Overview of Intraocular Lens Power Calculation Methods". In: *Intraocular Lens Calculations*. Éditions SLACK Incorporated. 2024. 473-484.
8. LEE AC. Biometry and intraocular lens power calculation. *Curr Opin Ophthalmol*, 2008;19:13-17.
9. STOPYRA W, COOKE DL, GRZYBOWSKI A *et al*. A review of Intraocular Lens Power Calculation Formulas Based on Artificial Intelligence. *J Clin Med*, 2024;13:498.
10. GANTENBEIN C. Comparaison entre biométrie optique et acoustique de l'œil. *J Fr Ophtalmol*, 2004;27:1121-1127.
11. NENNING M, HIRNSCHALL N, FINDL O. "Part III Measurements – Chap 10: Optical Biometry". In: *Intraocular Lens Calculations*. Éditions SLACK Incorporated. 2024;177-196.
12. MYLONAS G. Performance of three biometry devices in patients with different grades of age-related cataract. *Acta Ophthalmol*, 2011;89:237-241.
13. CHONG C. "Part III Measurements – Chap 12: Technology of SS-OCT Biometer: Argos Biometer". In: *Intraocular Lens Calculations*. Éditions SLACK Incorporated, 2024, p. 215-228.
14. SENS S, TRIPATHY K. Ultrasound biometry. *StatPearls*, 2024.
15. 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.
16. NAICKER P. Refractive outcomes comparison between the Lenstar LS900® optical biometry and immersion A-scan ultrasound. *Int Ophthalmol*, 2015;35:459-466.
17. ARAMBERRI J, SAVINI G, HOFFER KJ. "Part VI Special situations – Chap 65: IOL Power Calculation After Corneal Refractive Surgery". In: *Intraocular Lens Calculations*. Éditions SLACK Incorporated, 2024, p. 905-922.

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