

# Innovations en imagerie ophtalmologique

## Innovations in eye imaging

M. Streho (président de la Société française d'échographie et d'imagerie oculaire (SFEIO); centre Explore Vision, Paris et Rueil-Malmaison; hôpital national d'instruction des armées Bégin (HNIA), Saint-Mandé)

✓ **Mots-clés.** OCT *swept source* • OCT *full range* • OCT-angiographie • Imagerie ultra-grand champ • Glandes de Meibomius.

✓ **Keywords.** *Swept-source OCT* • *Full range OCT* • *OCT angiography* • *Ultra-widefield imaging* • *Meibomian glands*.

**L'**imagerie ophtalmologique est un domaine en constante évolution, marqué tantôt par des progrès incrémentaux, tantôt par des avancées technologiques majeures modifiant profondément les paradigmes cliniques. Son rôle est central en ophtalmologie, intervenant à chaque étape du parcours patient : dépistage, diagnostic et suivi longitudinal. Les indications de l'imagerie sont vastes, couvrant l'ensemble des affections des segments antérieur et postérieur de l'œil. Il convient de souligner que l'imagerie ne saurait se substituer à l'examen clinique, lequel repose sur l'anamnèse et l'analyse sémiologique approfondie ; elle constitue un complément essentiel, permettant d'affiner le diagnostic et d'orienter la stratégie thérapeutique. L'approche diagnostique par imagerie doit être ciblée afin d'optimiser sa sensibilité et sa spécificité. Les innovations techniques requièrent une veille permanente pour assurer l'actualisation des équipements et garantir une prise en charge optimale. Cet article propose une synthèse illustrée des avancées récentes : imagerie ultra-grand champ, évolution des technologies OCT, imagerie du syndrome sec oculaire, progrès en échographie ophtalmique, intégration de l'intelligence artificielle en imagerie oculaire et perspectives de recherche fondamentale dans ce secteur.

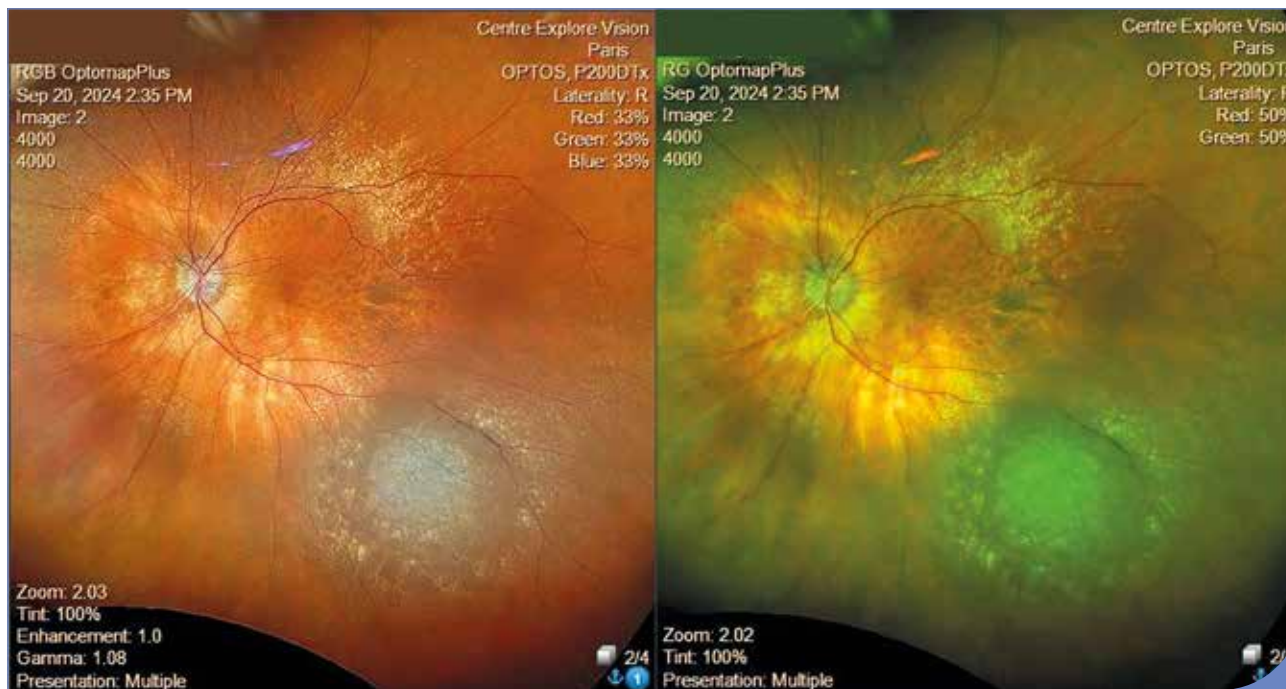
### Imagerie ultra-grand champ (et "vraies couleurs")

Au cours des dernières années, les dispositifs d'imagerie ophtalmologique ont notablement élargi leur fenêtre d'examen, passant d'un champ de 55° (limité au pôle

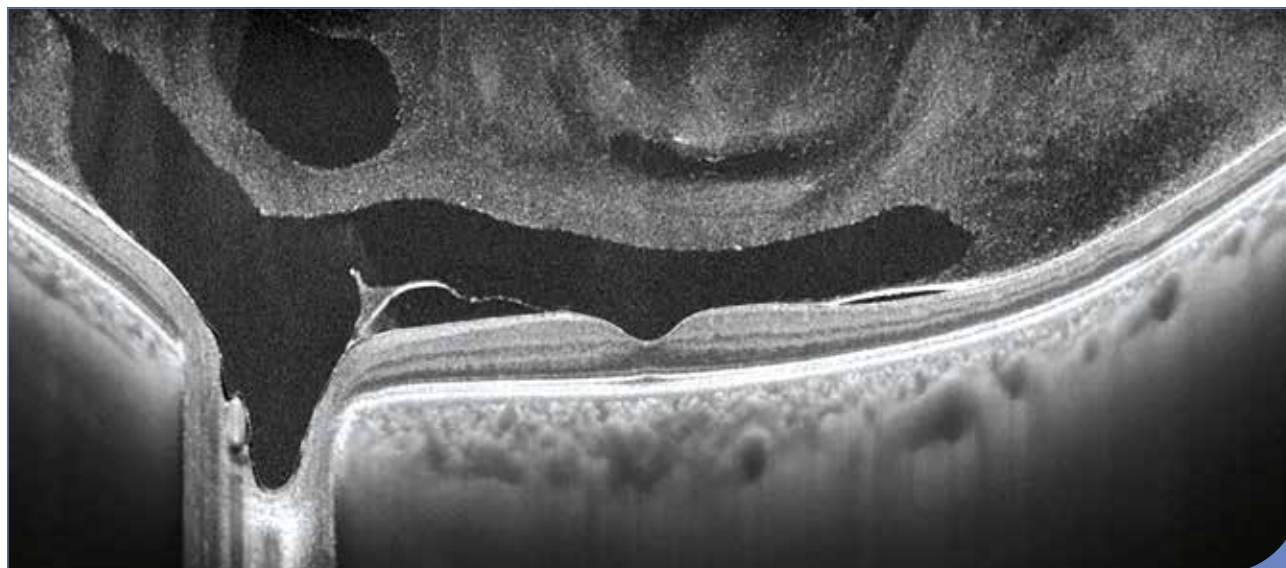
postérieur) à un champ de 200°, permettant désormais une visualisation quasi exhaustive de la rétine [1]. Cette extension du champ visuel a significativement amélioré la sensibilité et la spécificité de l'imagerie, particulièrement pour le dépistage des pathologies rétinienne nécessitant une exploration approfondie de la périphérie rétinienne, ainsi que pour l'évaluation précise des stades de la rétinopathie diabétique. Initialement conçue pour la rétinographie, la technologie ultra-grand champ s'est progressivement étendue à l'imagerie angiographique complète, intégrant notamment l'autofluorescence, l'angiographie à la fluorescéine et à l'ICG. L'émergence récente d'appareils offrant une restitution en "vraies couleurs" repose sur l'ajout d'un canal bleu aux canaux rouge et vert préexistants, permettant une analyse trichromatique fidèle. Cette avancée permet d'obtenir une représentation authentique des couleurs sans aberration chromatique, ce qui s'avère particulièrement pertinent pour l'examen des lésions pigmentées du fond d'œil (figure 1).

### OCT de nouvelle génération

L'OCT représente à l'heure actuelle l'outil d'imagerie le plus largement utilisé et le plus répandu en ophtalmologie, notamment sur le territoire français. Cette technique présente de nombreux avantages : elle est non invasive, précise, fiable, reproductible, permet des acquisitions volumétriques et peut être déléguée. L'évolution technologique de l'OCT a été marquée par le passage du *spectral domain* à la technologie *swept source*, chaque étape ayant permis d'améliorer la qualité et la profondeur des images obtenues. La dernière avancée, l'OCT *swept source full range*, vise à éliminer l'image miroir générée par la transformée de Fourier, ce qui se traduit par un doublement de la profondeur utile d'exploration [2]. Ce dispositif reconstruit un signal complexe (comprenant amplitude et phase), offrant ainsi un accès étendu aux structures profondes de l'œil. Cette innovation s'applique notamment aux coupes en B-scan (figure 2), permettant une visualisation optimale du vitré jusqu'aux couches profondes de la choroïde et de



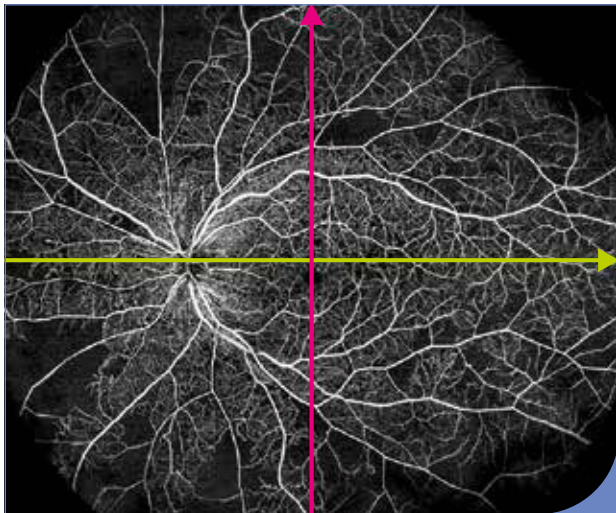
**Figure 1.** Comparaison d’une imagerie ultra-grand champ en “vraies couleurs” à gauche et en rouge-vert à droite. Il convient de noter la différence sur la lésion pigmentée et l’absence d’aberrations chromatiques en trichromique (appareil Optos® RGB versus RG dans sa version California®).



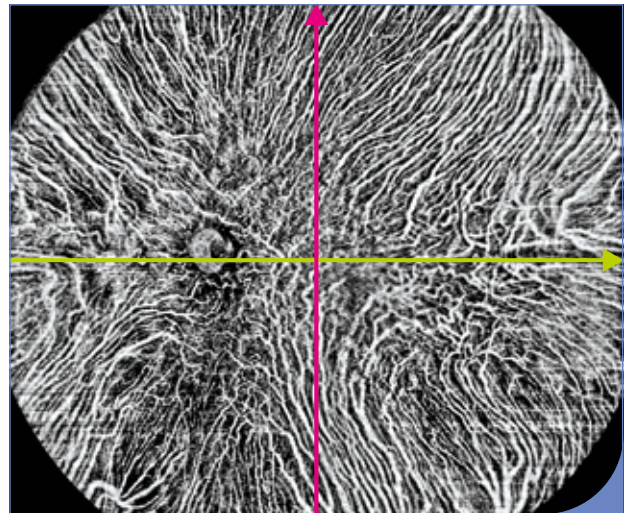
**Figure 2.** Coupe en b-scan réalisée avec un OCT *swept source full range* permettant de visualiser avec une qualité inégalée le vitré, les couches rétiniennes et les couches profondes (appareil Yalkaid®, TowardPi®, distribué par EBC Europe®).

la sclère, sans altération de la qualité du signal. Par ailleurs, l’OCT-angiographie (OCT-A) bénéficie de cette évolution technique, avec la possibilité d’élargir le champ d’exploration de 6 × 6 à 15 × 15, voire à 24 × 20 mm,

selon les appareils (figure 3, p. 58). L’excellente pénétration du signal permet également une analyse OCT-A de la choroïde sans nécessiter d’injection de produit de contraste (figure 4, p. 58).



**Figure 3.** OCT-angiographie ultra-grand champ permettant en une seule acquisition une visualisation de la vascularisation des différentes couches sur 20 × 24 mm. Il convient de noter les zones ischémiques périphériques (appareil BMizar®, TowardPi®, distribué par EBC Europe®).

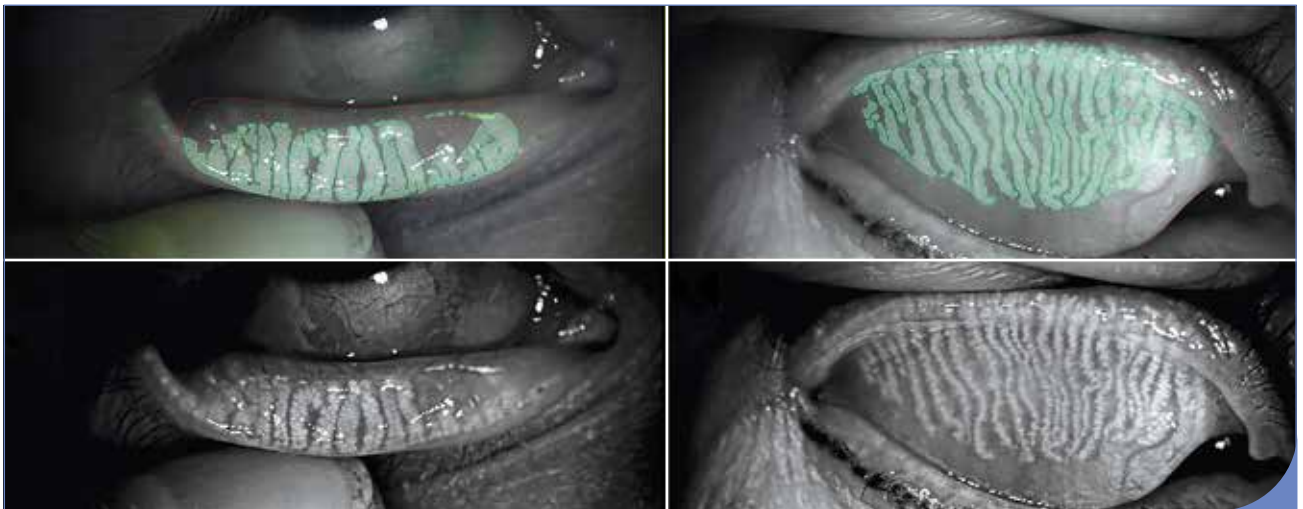


**Figure 4.** OCT-angiographie avec les slabs sur les couches profondes permettant une visualisation de la choroïde et des différents vaisseaux, ici 15 × 15 mm (appareil YAlkaid®, TowardPi®, distribué par EBC Europe®).

### Imagerie du syndrome sec oculaire

L'élargissement du champ d'application de l'imagerie ophtalmologique, impulsé par les avancées technologiques, permet désormais une analyse approfondie du syndrome sec oculaire. Les dispositifs d'imagerie modernes, notamment ceux utilisant la lumière infra-

rouge, offrent une visualisation précise des glandes de Meibomius à travers la paupière éversée (*figure 5*). Deux principales méthodes sont employées : la translumination, où la paupière est éclairée par l'arrière, et la réflexion, dans laquelle l'illumination et la détection s'effectuent du même côté de la paupière. Cette dernière technique est privilégiée en pratique clinique en raison de



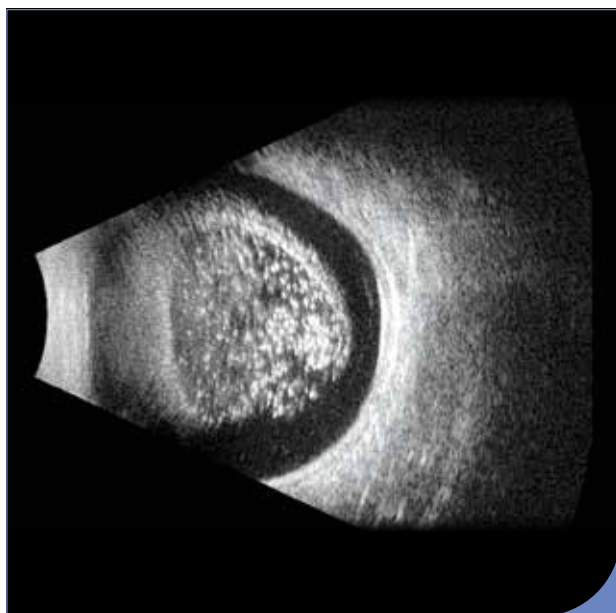
**Figure 5.** Imagerie des glandes de Meibomius, une meibographie des paupières inférieures et supérieures permettant une analyse qualitative et quantitative. Il convient de noter des zones d'atrophie dans le cadre d'un dysfonctionnement des glandes de Meibomius responsables d'un syndrome sec oculaire (appareil Idra X®, SBM®, distribué par Medicontur®).



sa rapidité et de son caractère non invasif. L'intégration de cette imagerie dans les protocoles d'exploration systématique, à l'instar de l'analyse maculaire et papillaire, permet une évaluation qualitative et quantitative des dysfonctionnements des glandes de Meibomius, responsables du syndrome sec oculaire, qui peut se révéler invalidant [3].

### Nouvelle sonde en échographie oculaire

L'échographie oculaire demeure une modalité d'imagerie essentielle en ophtalmologie, fondée sur l'acquisition de données via une source ultrasonore. Elle se positionne en complément des techniques d'OCT, lesquelles reposent sur l'émission lumineuse. Bien que son principe soit historiquement établi, l'échographie oculaire bénéficie d'avancées technologiques récentes visant à optimiser la qualité des images obtenues. Parmi ces innovations, l'apparition de sondes de nouvelle génération intégrant plusieurs transducteurs permet l'émission simultanée de multiples faisceaux ultrasonores, associés à la réception d'échos différenciés [4]. Cette configuration favorise une amélioration significative de la résolution et de la profondeur de champ, offrant ainsi une restitution plus détaillée des structures oculaires (figure 6).



**Figure 6.** Coupe échographique en mode B avec une sonde annulaire multitransducteur. Il convient de noter la qualité de l'image, avec un détail riche sur le vitré, la visualisation de la hyaloïde et des différentes couches de la paroi oculaire (appareil ABSolu™, sonde 20 MHz 5A, Lumibird Medical®).

### Conclusion

Il convient de souligner que la diversité et la sophistication des outils d'exploration oculaire actuellement disponibles représentent un progrès majeur pour la pratique clinique. À ce jour, si aucun dispositif unique ne permet une visualisation exhaustive de l'ensemble des structures oculaires ; l'OCT s'impose comme la modalité d'imagerie centrale, en particulier grâce aux avancées technologiques récentes qui en ont accru la performance. Toutefois, l'utilisation de techniques complémentaires demeure indispensable afin d'assurer une analyse complète et précise de toutes les composantes de l'œil, contribuant ainsi au dépistage, au diagnostic et au suivi longitudinal des patients. La recherche en imagerie oculaire explore de multiples axes innovants, dont 2 méritent d'être évoqués. L'optique adaptative, en réduisant les aberrations induites par l'œil, permet une visualisation quasi cellulaire des différentes couches oculaires, ouvrant la voie à de nouvelles applications, notamment dans le dépistage de pathologies systémiques, telles que l'hypertension artérielle [5]. Par ailleurs, le Doppler holographique, technique plein champ innovante, offre la possibilité de mesurer le flux sanguin en analysant le spectre Doppler des fluctuations du champ optique rétrodiffusé, enregistré via holographie numérique hétérodyne [6]. Ces avancées technologiques laissent entrevoir de nouvelles perspectives prometteuses pour le perfectionnement des méthodes d'imagerie, toujours guidées par l'exigence clinique et orientées vers l'optimisation de la prise en charge du patient. ||

M. Strehlo déclare ne pas avoir de liens d'intérêts en relation avec cet article.

### Références bibliographiques

1. Nagiel A et al. Ultra-widefield fundus imaging: a review of clinical applications and future trends. *Retina* 2016;36(4):660-78.
2. Strehlo M. Que peuvent apporter les OCT-A grand champ de nouvelle génération en pratique courante ? *Revue CFSR* 2025.
3. Robin JB et al. In vivo transillumination biomicroscopy and photography of meibomian gland dysfunction. A clinical study. *Ophthalmology* 1985;92(10):1423-6.
4. Coleman DJ et al. High-resolution ultrasonic imaging of the posterior segment. *Ophthalmology* 2004;111(7):1344-51.
5. Paques M et al. Adaptive optics ophthalmoscopy: application to age-related macular degeneration and vascular diseases. *Prog Retin Eye Res* 2018;66:1-16.
6. Puyo Let al. In vivo laser Doppler holography of the human retina. *Biomed Opt Express* 2018;9(9):4113-29.