

# Imagerie moderne du vitré par OCT

**RÉSUMÉ :** Les progrès de l'OCT avec l'augmentation des fenêtres d'acquisition et de traitement de l'image, notamment avec la technologie du *Swept source*, nous ont permis de mieux individualiser les structures intravitréennes permettant d'améliorer nos connaissances sur le vitré. Ses structures anatomiques telles que la bourse pré-maculaire, l'aire de Martegiani, les cysternes, les fibres pré-vasculaires sont bien mises en évidence en OCT. Le décollement postérieur du vitré semble commencer à s'opérer dès la 3<sup>e</sup> décennie avec des modifications schisiques de la hyaloïde postérieure en région extra-maculaire, qui se poursuivent jusqu'à la 6<sup>e</sup> décennie. Les modifications intravitréennes lors de la liquéfaction du cortex vitréen et ses rapports avec la bourse pré-maculaire sont désormais bien identifiées. Les premiers signes de décollement postérieur du vitré s'observent au niveau des arcades supérieures pour ensuite intéresser la région maculaire. Nos observations en 2D restent des extrapolations, aussi une analyse en 3D restera nécessaire pour continuer à approfondir nos connaissances sur le vitré.

→ A. EL MAFTOUHI

Centre Ophtalmologique de Rive, GENÈVE.  
CHNO des Quinze-Vingts, PARIS.

Les évolutions de l'imagerie OCT *Spectral domain* et *Swept source* nous ont permis de mieux illustrer l'anatomie du vitré et de préciser les rapports vitréo-rétiniens au cours du décollement postérieur du vitré grâce à des fenêtres d'acquisition plus larges et plus profondes. Cependant, la visualisation du vitré en OCT reste encore difficile en raison de sa transparence et de sa faible réflectivité mais également en regard des considérations techniques requises pour en magnifier la visualisation.

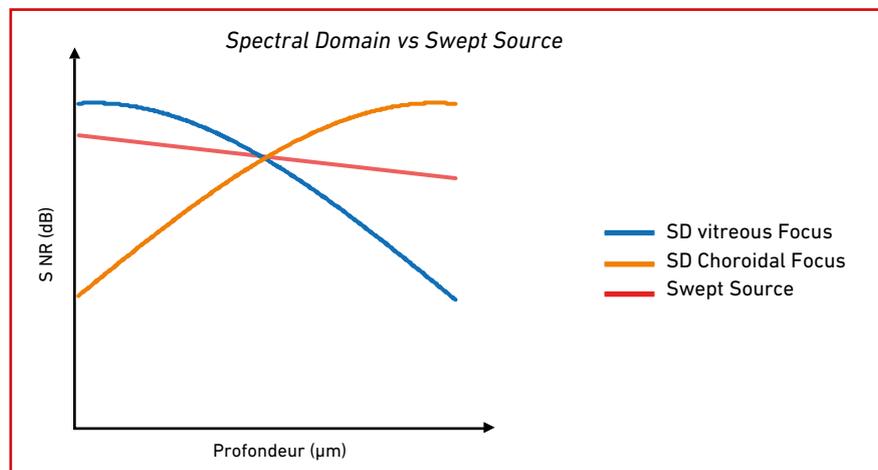
Le vitré est une structure mystérieuse et les progrès en imagerie nous apportent progressivement une meilleure compréhension structurelle et physiologique, notamment lors de ses décollements postérieurs (DPV) [1].

## Technique : magnifier la visualisation du vitré en OCT

### 1. En *Spectral domain*

La particularité du signal en OCT *Spectral domain* est que le rapport signal sur bruit (*signal-to-noise ratio*, SNR) décroît en fonction de la profondeur afin d'optimiser le signal sur la

focale de l'interface vitréo-rétinienne. À l'inverse, lorsque l'on est sur une focale choroïdienne, le signal augmente avec la profondeur pour avoir un SNR maximal sur la choroïde. Cela n'est finalement que l'expression de l'algorithme de la transformée de Fourier qui permet la transformation d'une frange spectrale en signal A-scan (*fig. 1*).



**Fig. 1 :** Distribution du ratio signal sur bruit (SNR) fonction de la profondeur entre les deux principales technologies OCT.

Ainsi, en pratique, pour optimiser le signal et améliorer la visualisation du contenu vitréen, on défocalise durant l'acquisition, de +1,5 à +2,00 D par rapport à la focale initiale, ce qui permet de rehausser le signal (**fig. 2**).

Des auteurs ont tenté de donner des appellations diverses au travers d'acronymes pour ces changements de focales, tels que EVI (*Enhanced Vitreous Imaging*), CDI (*Combined Depth Imaging*) ou encore EDI (*Enhanced Depth Imaging*) pour standardiser la technique d'acquisition des images en OCT [2].

L'évolution de la largeur des B-scans et de la profondeur d'acquisition grâce à la technologie *Full Range* a considérablement augmenté la fenêtre d'acquisition permettant un B-scan de 16 mm avec une profondeur de 6,25 mm (**fig. 3**). La technologie du *Full Range* est la résultante de l'exploitation d'une partie de l'image miroir OCT, propriété de la transformée de Fourier, pour améliorer la profondeur d'acquisition.

## 2. En *Swept source*

La particularité de la technologie *Swept source* est que son signal ou SNR subit moins de déperdition en fonction de la profondeur par opposition à la technologie *Spectral domain*. Il en résulte une image avec un rapport signal sur bruit plus uniforme du vitré à la choroïde.

Toutes les considérations d'optimisation du signal évoquées pour le *Spectral domain* sont également valables en *Swept source* pour améliorer le signal sur le vitré, tel que la modification de focus de +1,50 à +2,00 D par rapport à la focale rétino-choroïdienne initiale.

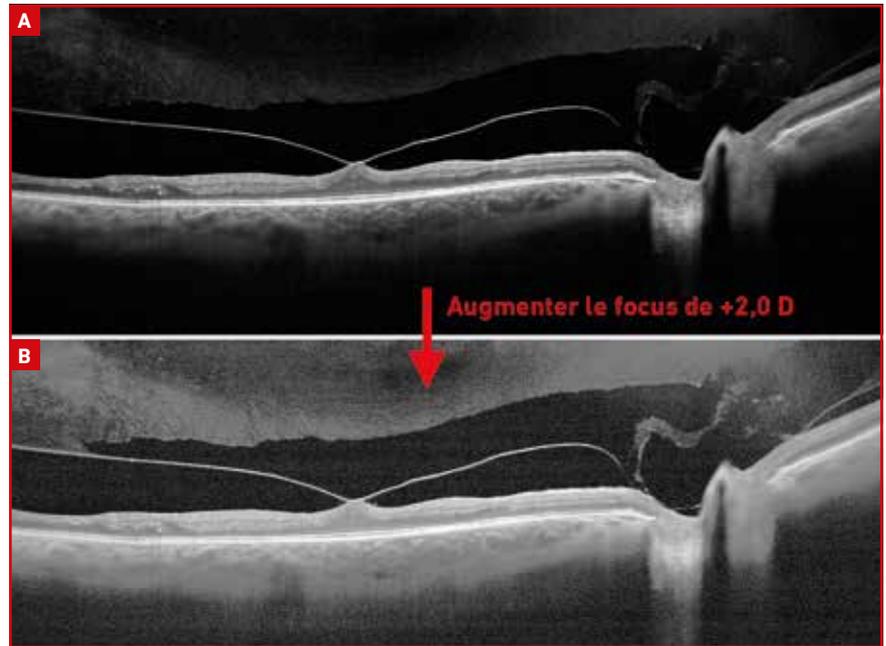
La technologie du *Full Range* s'applique également aux dernières générations d'OCT *Swept source* offrant une acquisition pouvant aller jusqu'à 23 mm de longueur sur 5,3 mm de profondeur [3]. Plus récemment, de nouveaux OCT tels que Dream OCT de la compagnie

Intalight offrent une fenêtre d'acquisition de 26 mm sur 12 mm de profondeur.

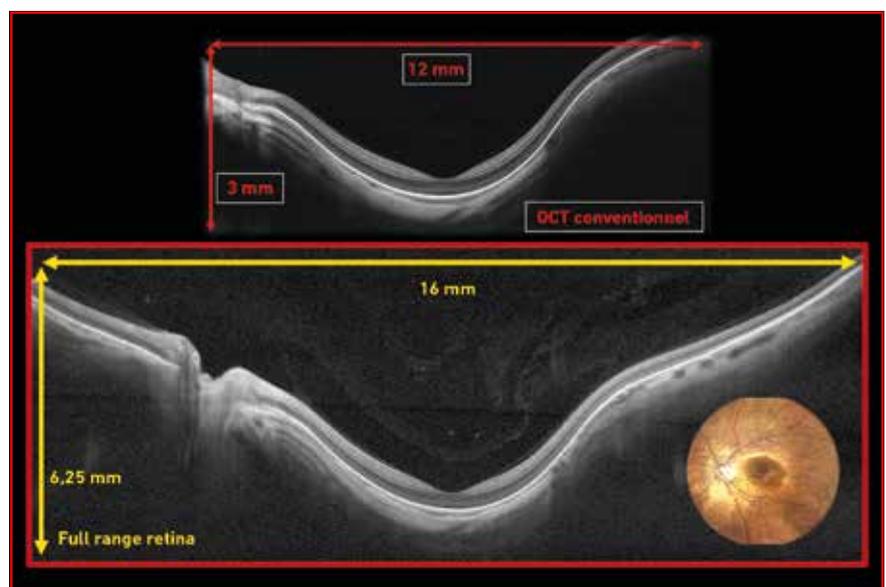
La visualisation du vitré en *Swept source* est plus précise sur toute la profondeur de la fenêtre d'acquisition car la qualité

du signal (SNR) subit moins de déperdition (**fig. 4**).

La saturation de la luminosité de l'image permet d'accroître la visualisation des structures vitréennes.



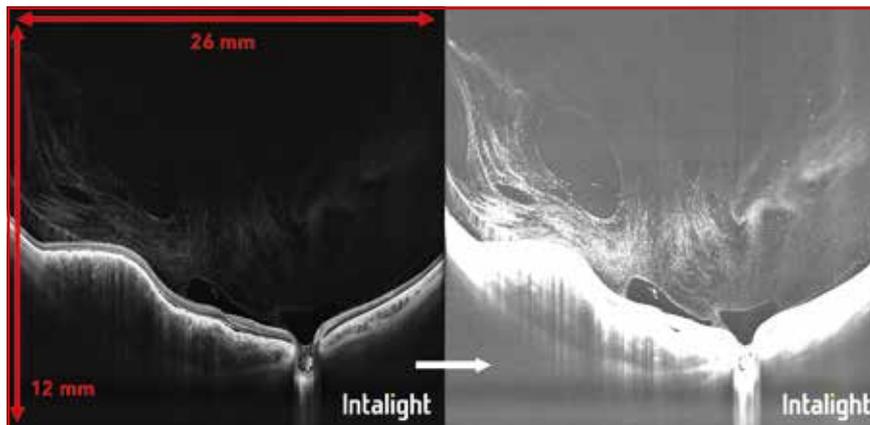
**Fig. 2A :** Visualisation d'une traction vitréo-fovéolaire en B-scan avec une focale sur l'interface vitréenne selon la transformée de Fourier. **B :** La défocalisation du signal de +2,00 Dioptrie permet d'augmenter la réflectivité du vitré de manière significative, autorisant la visualisation du contenu vitréen en regard de l'aire maculaire.



**Fig. 3 :** Augmentation de la fenêtre d'acquisition de 16 mm sur 6,25 grâce à la technologie OCT du *Full Range*, par opposition à la technologie conventionnelle offrant une fenêtre d'acquisition de 12 x 3 mm (B-scan de 16 mm, Solix, Optovue).

## POINTS FORTS

- L'augmentation des fenêtres d'acquisition nous permet une meilleure visualisation du contenu intravitréen.
- La bourse pré-maculaire entre en contact avec l'aire de Martegiani avec l'âge.
- Lors de la synérèse, le cortex vitréen entre en connexion avec la bourse pré-maculaire.
- Le décollement postérieur du vitré commence entre la 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> décade pour continuer à s'opérer jusqu'à la 6<sup>e</sup> décade.
- Les B-scans Widefield nous ont montré que le décollement postérieur du vitré commence au niveau des arcades supérieures pour ensuite intéresser la région maculaire.



**Fig. 4 :** La technologie OCT *Swept source* offre une moindre déperdition du SNR en fonction de la profondeur, permettant une bonne visualisation du vitré et de la choroïde. Dernière évolution de l'OCT avec une très large fenêtre d'acquisition de 26 mm et une grande profondeur de 12 mm avec l'OCT *Swept source* Dream OCT (Intalight) permettant de visualiser avec grande précision le contenu intravitréen avec ces cysternes. L'augmentation du bruit et de la luminosité majorent les détails du vitré.

### 3. Nouveautés dans l'amélioration de la visualisation du vitré

Le Dr. Rick Spaide a développé récemment un nouveau traitement du signal appelé "Boosted OCT" [4] dans lequel il propose de réaliser un moyennage du signal A-scan à quatre reprises avant que celui-ci soit analysé par la transformée de Fourier afin d'augmenter le ratio du signal sur bruit. En parallèle, la vitesse d'acquisition a été diminuée à 21 000 A-scan/s permettant une meilleure sommation des images du vitré

en s'affranchissant de la dynamique vitréenne qui pourrait sinon en perturber la qualité.

Une analyse en 3D permet de souligner les modifications progressives et la liquéfaction du cortex vitréen en regard de la bourse pré-maculaire avec une réflectivité du contenu vitréen très rehaussée.

### 4. Limites et artéfacts

Une des limites de l'OCT est un accès restreint à la portion antérieure du vitré

ou de sa base, contrairement à l'examen échographique qui présente cependant une résolution axiale insuffisante pour une analyse structurale précise.

Par ailleurs, le gel vitréen étant transparent, sa réflectivité est faible et nécessite un traitement de l'image et du signal pour l'améliorer.

La sommation des différents B-scans peut constituer également une limite dans la visualisation des structures fines du vitré. En effet, elle est en faveur d'une accentuation des interfaces à l'instar du résultat obtenu sur les couches rétinienne. Mais le contenu intravitréen est régi par une certaine dynamique et cela peut conduire à des images artéfactuelles si la vitesse d'acquisition de l'OCT n'est pas suffisamment importante. On comprend alors l'intérêt d'une vitesse d'acquisition très rapide ou lente pour limiter les décalages potentiellement générateurs d'artéfacts.

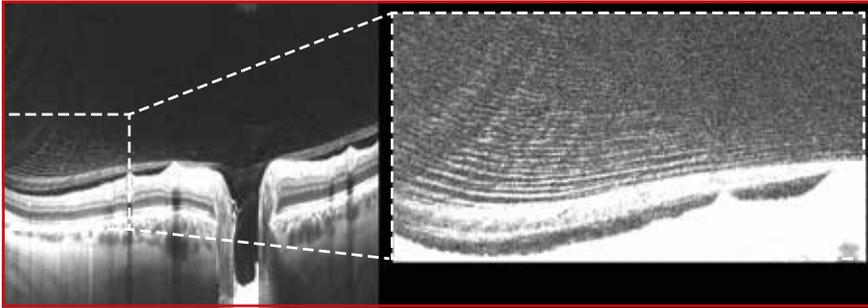
## ■ Anatomie du vitré en OCT

### 1. Anatomie normale

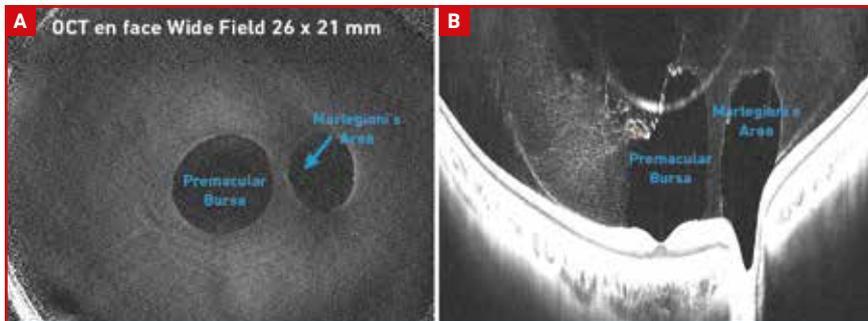
Le vitré est transparent et présente une structure lamellaire bien visualisée en OCT (*fig. 5*) dont les fibrilles sont parallèles à la région maculaire.

L'aspect laminaire du gel vitréen avec ses travées hyper-réfléctives n'est pas une spécificité morphologique systématique indépendamment des considérations qui peuvent être faites sur la résolution axiale des différents OCT. Cela témoigne des variabilités morphologiques inter-individuelles du vitré [5].

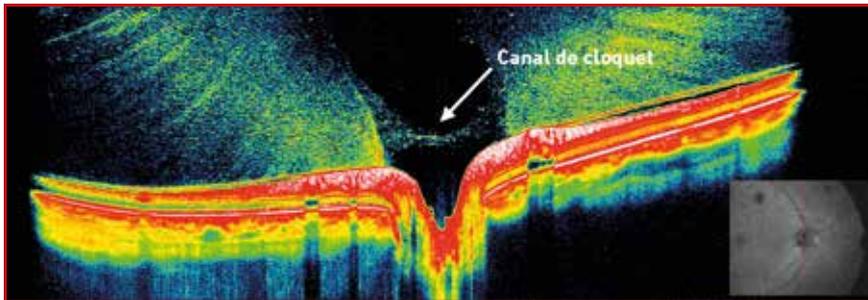
En OCT, la bourse pré-maculaire est visualisée de manière évidente comme une zone hypo-réfléctive en regard de la région maculaire. Sur la même incidence de coupe passant par la papille, on met en évidence l'aire de Martegiani prenant l'aspect d'une zone hyporéfléctive en regard de la région papillaire (*fig. 6A*).



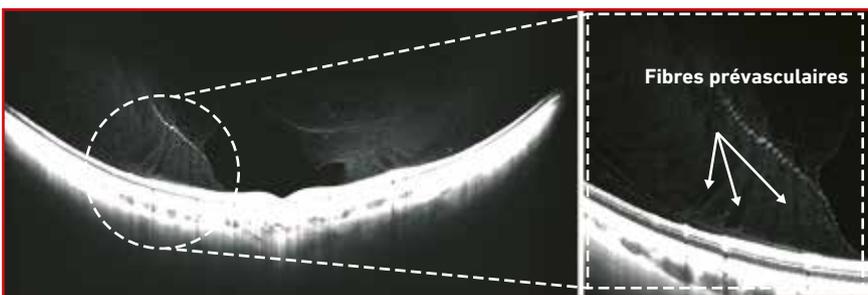
**Fig. 5 :** Structure lamellaire du vitré d'un patient de 56 ans avec nombreuses travées hyper-réfléctives parallèles à la rétine et aspect de vitréo-schisis en regard de la limitante interne (XR Avanti, Optovue).



**Fig. 6A :** Image en B-scan de 26 mm (Dream OCT, Intalight) d'une jeune femme de 23 ans avec mise en évidence de la bourse pré-maculaire et l'aire de Martegiani prenant un aspect de deux structures hypo-réfléctives. **B :** Imagerie de la même patiente selon un mode "en face" 26 x 21 mm (Dream OCT, Intalight) où l'on retrouve ces deux poches hypo-réfléctives, la bourse pré-maculaire et l'aire de Martegiani.



**Fig. 7 :** Incidence de coupe verticale en B-scan en fausses couleurs objectivant le canal de Cloquet prenant un aspect hypo-réfléctif en regard de la papille. Noter les fissures pré-vasculaires qui suivent le trajet du canal (B-scan de 12 mm, Solix, Optovue).



**Fig. 8 :** Fibres pré-vasculaires hypo-réfléctives en regard des vaisseaux rétinien et perpendiculaires à la région maculaire situés de part et d'autre de la bourse pré-maculaire (B-scan de 26 mm, profondeur de 12 mm, Dream OCT, Intalight).

L'OCT "en face" nous permet également de bien mettre en évidence ces deux poches hypo-réfléctives en regard de la région maculaire et papillaire (**fig. 6B**).

Le canal de Cloquet est également visualisé sur une incidence de coupe verticale centrée sur la papille. (**fig. 7**).

En regard des vaisseaux rétinien, on met en évidence les fissures pré-vasculaires qui présentent un aspect plus hyporéfléctif que le reste du contenu vitréen avec des trajets verticalisés semblant suivre les courbures de la bourse pré-maculaire (**fig. 8**).

En général, la bourse pré-maculaire et l'aire de Martegiani sont deux espaces bien distincts, mais avec l'âge, ils entrent en contact pour former un espace commun [6]. L'OCT nous permet également la visualisation des vacuoles intravitréennes dont l'aspect s'accroît en fonction de la liquéfaction du vitré avec une coalescence de ces différentes structures intravitréennes (**fig. 9A**).

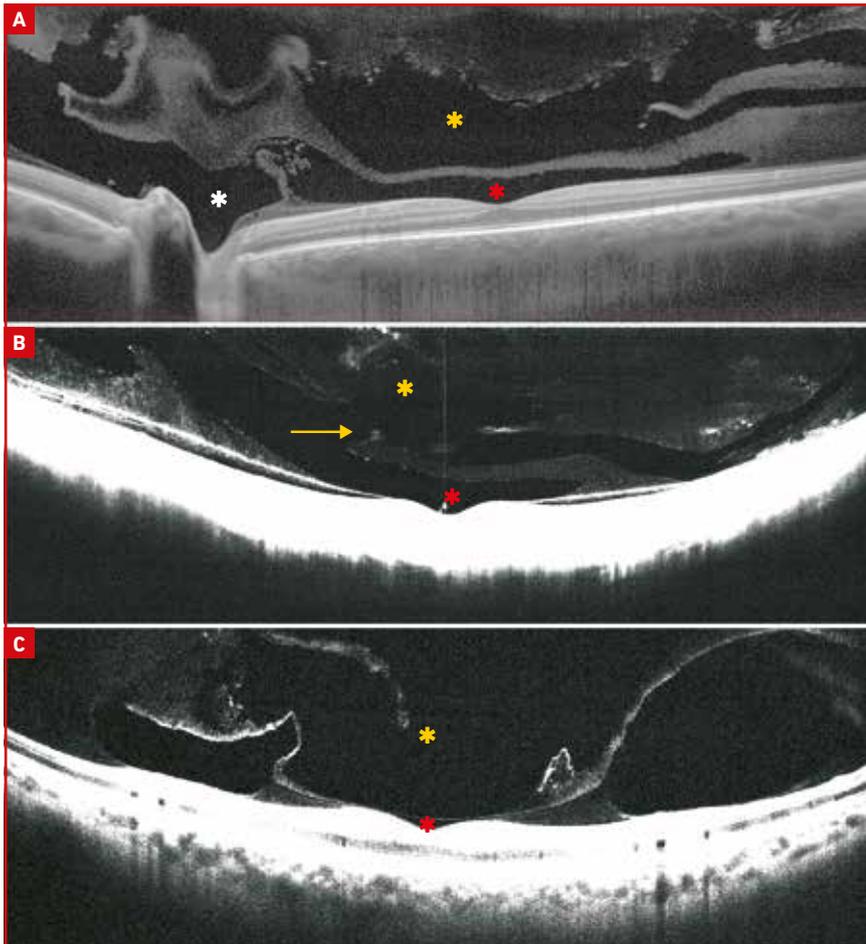
Ces vacuolisations ou "cisterns" présentent un aspect hypo-réfléctif entouré de fines ponctuations hyper-réfléctives qui semblent augmenter avec l'âge (**fig. 4**).

En regard de la bourse pré-maculaire, on observe une vacuolisation grossissant en fonction de la liquéfaction du cortex qui s'affaisse (synérèse) pour ensuite entrer en contact avec la bourse pré-maculaire (**fig. 9B**). Parfois ces vacuolisations coalescentes semblent complètement écraser la bourse pré-maculaire avec effet sandwich jusqu'à la limitante interne, à défaut de s'interconnecter avec la bourse pré-maculaire (**fig. 9C**).

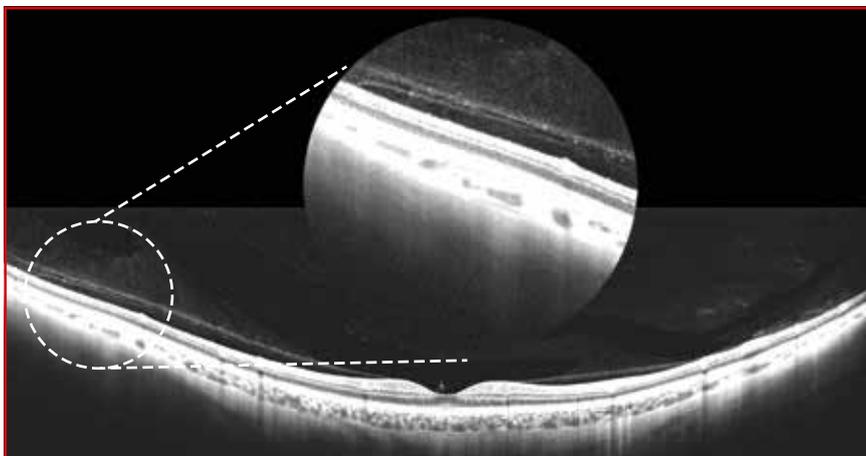
En outre, il semble exister plusieurs évolutions des modifications intravitréennes en lien avec la bourse pré-maculaire.

## 2. Le décollement postérieur du vitré en OCT

Le décollement postérieur du vitré est défini comme la séparation du cortex



**Fig. 9A :** Liquéfaction du cortex vitréen postérieur avec coalescence et connexion de lacunes (Cistern) en regard de la bourse pré-maculaire (B-scan de 16 mm, Solix, Optovue). **B :** Connexion des cavitations (étoile jaune) et de la bourse pré-maculaire (étoile rouge) suite à la liquéfaction du vitré (B-scan de 23 mm, Canon, Xephilio S1). **C :** Effet sandwich entre le vitré liquéfié écrasant complètement la bourse pré-maculaire contre la région maculaire (B-scan de 23 mm, Canon, Xephilio S1).



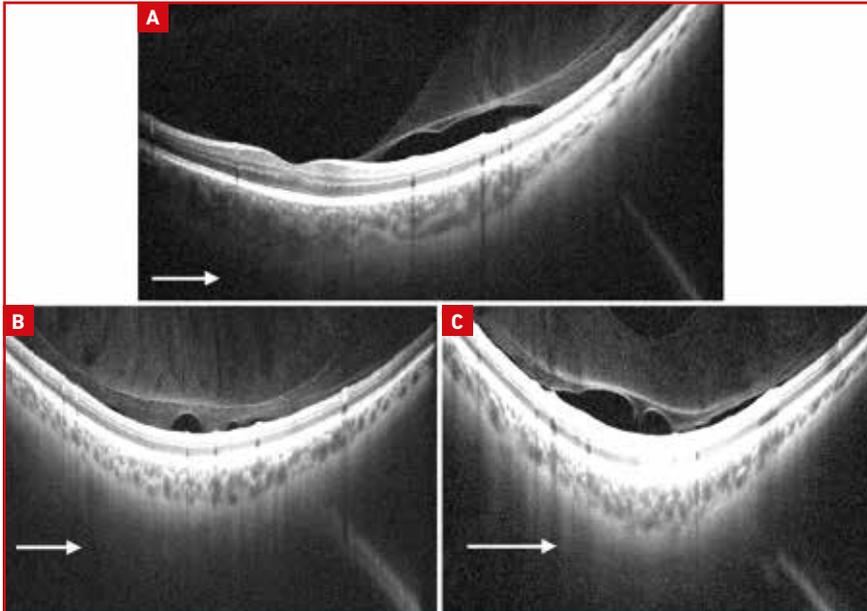
**Fig. 10 :** Vitreoschisis extra-maculaire dans les prémices d'un décollement postérieur du vitré d'un patient de 52 ans.

postérieur du vitré de la limitante interne de la rétine.

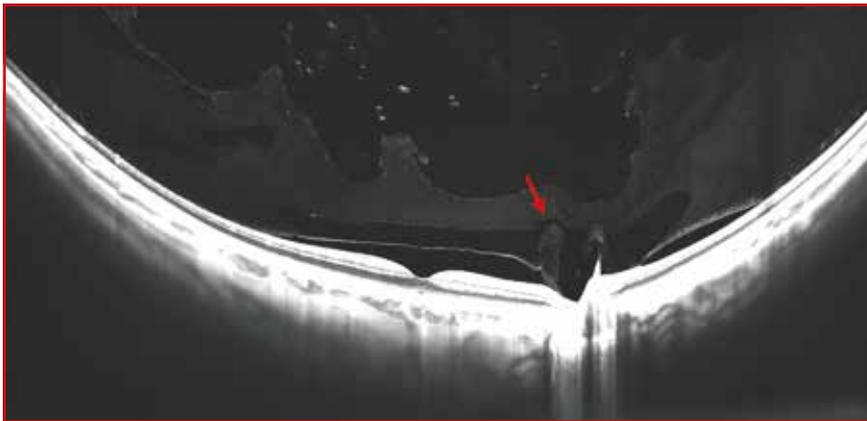
Des travaux antérieurs basés sur des générations d'OCT précédentes suggéraient que le décollement postérieur du vitré s'initiait en région péri-fovéolaire et survenait au cours la 6<sup>e</sup> décennie. L'avènement de l'OCT grand champ nous a permis de montrer que les modifications du vitré s'initient déjà au cours de la 3<sup>e</sup> décennie pour se modifier ensuite progressivement tout au long de la vie jusqu'à la 6<sup>e</sup> décennie. À ce stade, on commence à visualiser un DPV débutant dont les premiers signes apparaissent à la périphérie de la zone maculaire, et plus précisément au niveau des arcades, là où le gel vitréen est en contact direct avec le cortex vitréen postérieur [7].

On distingue plusieurs stades dans le processus de décollement postérieur du vitré selon la classification de Tsukahara *et al.* [7] :

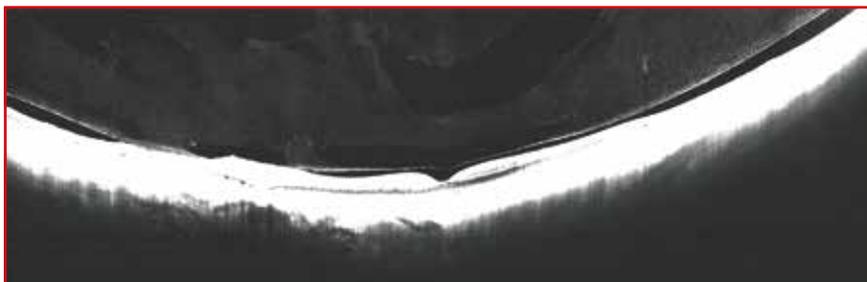
- stade 0 : pas de DPV. Visualisation de ponctuations granulaires hyper-réfléctives vis-à-vis de la hyaloïde postérieure ;
- stade 1a : aspect de dédoublement ou séparation lamellaire de la hyaloïde postérieure à distance de la macula et prenant un aspect de schisis de la hyaloïde postérieure en rapport avec une séparation du cortex vitréen postérieur de la limitante interne (**fig. 10**) ;
- stade 1b : le DPV est caractérisé par une séparation franche de la hyaloïde postérieure de la rétine en moyenne périphérie. Un aspect de schisis de la hyaloïde postérieure avec début de décollement du vitré focal en toile de tente est souvent observé. Le schisis vitréen se réduit sous l'effet du début des micro-décollements du vitré (**fig. 11**) ;
- stade 2 : matérialisé par un DPV péri-fovéolaire avec persistance d'une adhérence fovéolaire et papillaire (**fig. 12**) ;
- stade 3 : DPV avec persistance d'une adhérence papillaire (**fig. 13**) ;
- stade 4 : DPV quasi complet. Il existe de manière très caractéristique une rétraction progressive de la hyaloïde posté-



**Fig. 11A:** B-scan de 16 mm (Solix, Optovue) mettant en évidence un décollement postérieur du vitré débutant extra-maculaire avec vitréo-schisis dont l'aspect est plus rétracté dans la zone de décollement. **B et C:** Deux B-scans de 16 mm en SD OCT montrant un vitréo-schisis avec décollement du vitré en toile de tente en regard de la région de l'arcade vasculaire supérieure à quelques millimètres d'écart.



**Fig. 12:** B-scan de 26 mm en Swept source (Dream OCT, Intalight) soulignant un décollement postérieur du vitré débutant avec persistance d'une adhérence fovéolaire et papillaire et une connexion entre la bourse pré-maculaire et l'aire de Martegiani.



**Fig. 13:** B-scan de 23 mm en Swept source (Canon, Xephilio S1) d'un décollement postérieur du vitré avec persistance d'une adhérence papillaire.

rière. L'aspect en 3D met en évidence ces micro-plies de la hyaloïde postérieure avec l'anneau de Weiss dont les contours sont irréguliers en étoile (*fig. 14*).

### 3. Nouvelles perspectives

Spaide *et al.* ont proposé une nouvelle modulation du traitement du signal OCT permettant d'accentuer la réflectivité du vitré avec une analyse en 3D ayant pour seule limite une fenêtre d'acquisition de 1,9 mm maximum. Il n'est nul doute que ce procédé appliqué à des OCT à grande fenêtre et grande vitesse d'acquisition permettra d'améliorer nos connaissances sur la physiopathologie du vitré.

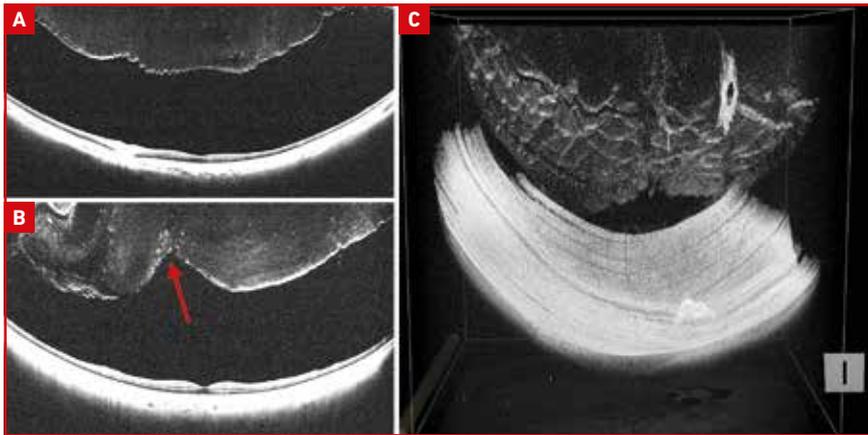
En effet, il semble exister différentes évolutions dans les mécanismes de vieillissement du vitré qui diffèrent d'un individu à l'autre et qu'il faudra confronter également à la longueur axiale du globe, au sexe et à l'ethnie du patient.

L'accès à la périphérie rétinienne va de plus permettre de mieux prendre en charge certaines lésions périphériques rhégotogènes tout en précisant leur rapport avec le vitré (*fig. 15*).

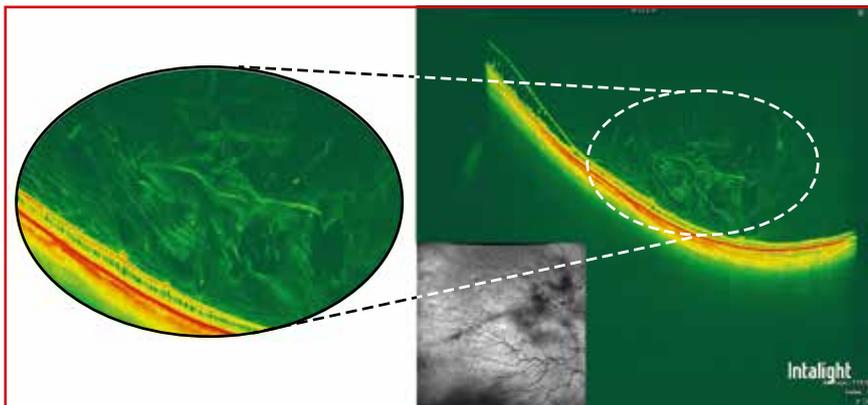
Il sera probablement intéressant dans les applications à venir de pouvoir différencier les cellules inflammatoires des éléments protéiniques du vitré ou encore de cellules hématiques. Des études ont permis cette différenciation cellulaire grâce à l'analyse des réflectances des lymphocytes, monocytes, neutrophiles et des cellules hématiques *in vitro* et *in vivo* dans la chambre antérieure chez des patients présentant des uvéites antérieures [8]. Le recours à l'intelligence artificielle et plus spécifiquement au *deep learning* permettra d'améliorer à l'avenir l'analyse de la cavité vitréenne et de son contenu.

### Conclusion

L'imagerie du vitré a énormément progressé, nous permettant d'améliorer



**Fig. 14A:** B-scan de 23 mm en *Swept source* (Canon, Xephilio S1) d'un décollement postérieur du vitré complet avec plis de la hyaloïde postérieure. **B:** B-scan de 23 mm en *Swept source* (Canon, Xephilio S1) avec rétraction de la hyaloïde postérieure avec invagination de la hyaloïde par endroits. **C:** 3D Volume 23 × 20 mm (Canon, Xephilio S1) de ce même décollement postérieur du vitré avec nombreux plis de la hyaloïde et mise en évidence de l'anneau de Weiss avec son contour irrégulier.



**Fig. 15:** Schisis rétinien plan périphérique avec visualisation en regard des trajets des fibres intravitréennes anarchiques expliquant le mécanisme à l'origine de cette lésion.

nos connaissances sur les structures vitréennes et leur vieillissement. Cependant, beaucoup d'observations restent encore spéculatives et une véritable analyse en 3D du contenu vitréen en OCT avec grande profondeur de champ est nécessaire. La standardisation de ces nouveaux modes d'acquisition OCT nous permettra très probablement de mieux comprendre les remaniements intravitréens avec un suivi longitudinal de cohortes significatives.

## BIBLIOGRAPHIE

1. SEBAG J. Seeing the invisible: the challenge of imaging vitreous. *J Biomed Opt*, 2004;9:38-46.
2. PANG CE, FREUND KB, ENGELBERT M. Enhanced vitreous: imaging technique with spectral-domain optical coherence tomography for evaluation of posterior vitreous detachment. *JAMA Ophthalmol*, 2014;132:1148-1150.
3. OHNO-MATSUI K, TAKAHASHI H, MAO Z *et al.* Determining posterior vitreous

ous structure by analysis of images obtained by AI-based 3D segmentation and ultrawidefield optical coherence tomography. *Br J Ophthalmol*, 2021;21:2021-320131.

4. Spaide RF, Valmaggia P, Maloca PM *et al.* Imaging the vitreous with a novel boosted optical coherence tomography technique: vitreous degeneration and cisterns. *Retina*, 2022 March 17.
5. UJI A, YOSHIMURA N. Microarchitecture of the Vitreous Body: A High-Resolution Optical Coherence Tomography Study. *Am J Ophthalmol*, 2016;168:24-30.
6. LEONG BCS, FRAGIOTTA S, KADEN TR *et al.* OCT En Face Analysis of the Posterior Vitreous Reveals Topographic Relationships among Premacular Bursa, Prevascular Fissures, and Cisterns. *Ophthalmol Retina*, 2020;4:84-89.
7. TSUKAHARA M, MORI K, GEHLBACH PL *et al.* Posterior Vitreous Detachment as Observed by Wide-Angle OCT Imaging. *Ophthalmology*, 2018;125:1372-1383.
8. ROSE-NUSSBAUMER J, LI Y, LIN P *et al.* Aqueous cell differentiation in anterior uveitis using Fourier-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2015;56:1430-1436.



**A. EL MAFTOUHI**

Centre Ophtalmologique de Rive, GENÈVE.  
CHNO des Quinze-Vingts,  
PARIS.

L'auteur a déclaré les liens d'intérêts suivants: consultant pour Visionix et Intalight.