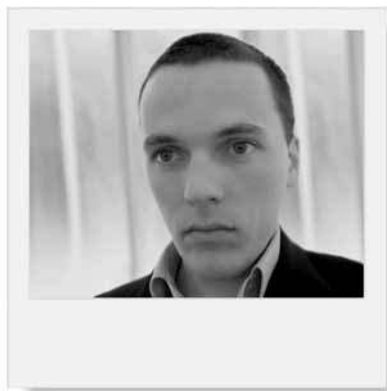


Apport de l'imagerie du segment antérieur dans le glaucome

RÉSUMÉ : Les différentes techniques d'imagerie optiques ou ultrasonores permettent une analyse précise, reproductible et non invasive des différentes structures du segment antérieur de l'œil. Dans le domaine du glaucome, ces méthodes d'imagerie permettent d'obtenir des informations précieuses et parfois indisponibles lors de l'examen clinique biomicroscopique, et possèdent de ce fait de nombreuses applications. Une des principales indications est l'analyse morphologique, biométrique et éventuellement dynamique de l'angle iridocornéen, permettant de diagnostiquer certaines formes étiologiques de fermeture de l'angle telles que le syndrome d'iris plateau, d'aider à estimer le risque de fermeture de l'angle, notamment en évaluant le comportement de l'iris en mydriase, et donc d'aider à sélectionner les yeux devant bénéficier d'une iridotomie laser. Ces méthodes d'imagerie peuvent également aider au suivi après chirurgie filtrante ou intervention laser, permettant par exemple d'étudier la morphologie interne des bulles de filtration, de vérifier le bon positionnement d'éventuels implants ou drains, et d'évaluer les modifications morphologiques induites par une iridotomie ou une iridoplastie laser.



→ **F. APTEL, J.P. ROMANET**
Service d'Ophtalmologie, Centre
Hospitalier Universitaire, GRENOBLE.

L'examen morphologique du segment antérieur de l'œil est fondamental pour le diagnostic et la compréhension des mécanismes des différentes formes de glaucome.

De nombreuses techniques d'imagerie relativement anciennes telles que la biomicroscopie ultrasonore, ou plus récentes telles que la tomographie par cohérence optique, permettent une étude précise, reproductible et souvent non invasive des différentes structures du segment antérieur.

Ces méthodes d'imagerie possèdent de nombreuses applications potentielles telles que l'analyse statique et éventuellement dynamique de l'anatomie et du degré d'ouverture de l'angle iridocornéen, la mise en évidence de formes particulières telles que les glaucomes pigmentaires ou les syndromes d'iris plateau, et le suivi après chirurgies filtrantes ou interventions laser.

Techniques d'imagerie du segment antérieur

1. Tomographie par cohérence optique

La tomographie par cohérence optique (OCT) est une technique d'interférométrie dont le mode de contraste repose sur les variations d'indices de réfraction des tissus. Un faisceau laser de faible énergie est divisé en deux faisceaux : l'un est envoyé dans un bras de référence qui se termine par un miroir ; l'autre est envoyé dans l'échantillon ou la structure anatomique à étudier. Les faisceaux réfléchis par le miroir et par la structure d'intérêt sont ensuite combinés. Lorsque les deux faisceaux ont parcouru exactement la même distance, les ondes lumineuses qui seront alors en cohérence de phase vont s'additionner (interférence constructive) et former une lumière plus intense qui peut être détectée. La formation d'une interférence signe la présence, dans la structure étudiée d'une interface optique

REVUES GÉNÉRALES

Glaucome

(variation d'indice de réfraction) qui est à une profondeur strictement égale à la distance du miroir dans le bras de référence. En déplaçant le miroir ou par des techniques d'analyse spectrale, on obtient un profil de réflectivité de l'échantillon (A-scan) qui correspond à la position des différentes interfaces rencontrées dans la structure étudiée le long d'un axe antéro-postérieur. En combinant plusieurs A-scans obtenus par le balayage de l'échantillon, on obtient de multiples coupes transversales des tissus.

Les tomographes par cohérence optique dédiés à l'analyse du segment antérieur utilisent généralement des sources lasers de plus grandes longueurs d'ondes que les tomographes destinés à l'étude du segment postérieur, classiquement 1310 nm versus 820 nm. Ces longueurs d'ondes plus élevées permettent de diminuer les phénomènes de diffusion du faisceau dans la sclère – la diffusion d'une onde électromagnétique est inversement proportionnelle au cube ou à la puissance 4 de sa longueur d'onde – et d'absorption du faisceau par l'épithélium pigmenté de l'iris, augmentant ainsi l'aptitude à visualiser des structures situées en arrière de ces deux éléments. L'augmentation de la longueur d'onde entraîne par contre une légère diminution de la résolution spatiale axiale (qui est inversement proportionnelle à la longueur d'onde et directement proportionnelle à la largeur de bande de la source laser), qui est par exemple d'environ 15 à 18 μm pour l'OCT Visante (et 40 à 60 μm de résolution transverse).

2. Biomicroscopie ultrasonore

La biomicroscopie ultrasonore (UBM) est une méthode d'échographie haute fréquence (20 à 75 MHz). Un transducteur piézo-électrique généralement sphérique (en forme de coupole) est translaté latéralement avec un mouvement de balayage, et émet un faisceau d'ultrasons focalisés de faible intensité. La présence dans les tissus d'une interface acoustique (inhomogénéité de l'impédance acoustique)

entraîne une réflexion d'une partie du faisceau ultrasonore qui est détectée par le transducteur. Les temps séparant l'émission d'ondes ultrasonores des réceptions d'ondes réfléchies permettent d'estimer les distances parcourues, et donc les positions des différentes interfaces acoustiques dans le tissu étudié, le long d'un axe antéro-postérieur (A-scan). La combinaison de plusieurs A-scans obtenus par le balayage de l'échantillon permet de réaliser une coupe transversale du tissu.

L'augmentation de la fréquence du faisceau ultrasonore (diminution de la longueur d'onde) permet d'augmenter la résolution spatiale axiale en augmentant la focalisation du faisceau d'ondes ultrasonores, qui est proportionnelle à la longueur d'onde et inversement proportionnelle au rayon de courbure du transducteur. La résolution spatiale axiale est d'environ 50 μm pour des transducteurs travaillant à une fréquence de 50 MHz. L'augmentation de la fréquence augmente par contre les phénomènes d'atténuation des ondes ultrasonores, et diminue ainsi la profondeur de travail, empêchant ainsi l'analyse du segment postérieur en biomicroscopie ultrasonore (une compensation de l'atténuation pour des tissus de plus de 10 à 15 mm d'épaisseur nécessiterait des intensités acoustiques pouvant entraîner un échauffement des tissus).

3. Caméra Scheimpflug

L'imagerie Scheimpflug est basée sur l'analyse d'images réfléchies par différentes interfaces optiques à l'aide d'une caméra ou d'un système optique qui n'est pas situé en face de l'objet à visualiser. Le principe Scheimpflug consiste à orienter le plan de focalisation du système optique formé par la caméra de façon à ce que tous les points de l'objet ou du plan observé soient vus nets.

Lorsque le foyer image et l'objectif (lentille) d'une caméra ou d'un appareil photographique standard sont parallèles à un

objet plan, cet objet est vu net dans son ensemble. A contrario, lorsque l'objet plan visualisé n'est pas parallèle à l'objectif et au foyer image, seule une partie de l'objet sera nette (la partie de l'objet située au voisinage de la distance focale), et le reste apparaîtra flou. L'Autrichien Theodore Scheimpflug a montré qu'il était possible de voir nettement la totalité d'un objet observé de façon tangentielle en orientant le foyer image de telle sorte que les trois plans formés par l'objet, l'objectif et le foyer image se coupent tous en un même point. Les caméras Scheimpflug utilisées en ophtalmologie utilisent ce principe pour obtenir en un seul temps une coupe des différentes structures du segment antérieur (cornée, chambre antérieure, face antérieure de l'iris et cristallin). Le principe Scheimpflug se prête particulièrement à l'utilisation de caméras rotatives qui permettent d'obtenir des coupes multiples des structures visualisées.

4. Microscopie confocale

La microscopie confocale est une technique de microscopie optique dont la principale caractéristique est de réaliser des images de très faible profondeur de champ, assimilables à de véritables sections optiques des tissus. En microscopie optique conventionnelle à champ large, les photons issus de la structure à visualiser proviennent aussi bien du plan focal (zone de vision nette) que des éléments situés en avant ou en arrière du plan focal. La microscopie à champ large convient donc bien à l'étude de coupes fines de tissus – qui peuvent être positionnées dans le plan focal – mais pas à l'étude de tissus intacts et ayant une certaine épaisseur car, dans ce cas, la lumière émise par le plan focal est perdue dans la lumière émise par les plans sus- et sous-jacents.

En microscopie confocale, le tissu est éclairé par un faisceau laser focalisé, et les photons issus de la structure à étudier sont sélectionnés par un trou sténopéique placé

à une distance correspondant à la focale de l'objectif afin de ne laisser passer que les photons provenant du plan à étudier. Les photons issus des structures sus- et sous-jacentes, c'est à-dire de zones qui ne sont pas dans le plan focal, ne sont pas focalisés au niveau du trou sténopéique qui est situé dans un plan conjugué au plan focal (confocal), et sont donc absorbés par le diaphragme. Un dispositif de balayage permet d'obtenir des véritables coupes optiques des tissus. La réalisation de balayages multiples autorise ensuite une reconstruction tridimensionnelle de la structure à étudier. La résolution spatiale est excellente, possiblement submicrométrique, permettant par exemple la visualisation des organites intracellulaires. En ophtalmologie et pour le segment antérieur de l'œil, la microscopie confocale est essentiellement une technique d'analyse des différentes couches de la cornée. Dans le domaine du glaucome, cette technique trouve donc essentiellement son intérêt dans l'analyse de la surface oculaire et de ses altérations potentiellement favorisées par les traitements antiglaucomateux, et aussi dans l'analyse des bulles de filtration après chirurgie.

Intérêts cliniques

1. Glaucomes par fermeture de l'angle

L'UBM et l'OCT permettent une analyse morphologique détaillée de l'angle iridocornéen en autorisant une évaluation du degré d'ouverture de l'angle, du site d'insertion de l'iris, de la forme de l'iris (convexe, plan ou concave) et de l'existence de synéchies antérieures (fig. 1). Différentes mesures biométriques caractérisant l'ouverture de l'angle iridocornéen ou la profondeur de la chambre antérieure peuvent être réalisées (fig. 2). L'agrément entre l'UBM et l'OCT pour l'évaluation de la morphologie de l'angle iridocornéen semble être relativement élevé, mais ces deux méthodes semblent aboutir à détecter plus fréquemment une fermeture de l'angle iridocornéen

que lors de l'examen gonioscopique [1]. Enfin, ces méthodes d'imagerie, et notamment l'OCT du segment antérieur, permettent une évaluation dynamique de l'anatomie du segment antérieur de l'œil, notamment des modifications de morphologie de l'iris et d'ouverture de l'angle lors du passage du myosis à la mydriase physiologique (obscurité) [2], mais aussi de la réouverture de l'angle lors de l'indentation de la cornée qui peut être réalisée à l'aide d'un indenteur ou d'un bâtonnet stérile, pouvant ainsi constituer un équivalent de gonioscopie dynamique.

La biomicroscopie ultrasonore, qui permet de visualiser les structures situées en arrière de l'épithélium pigmenté irien, peut être utilisée pour évaluer la forme et de la position du corps ciliaire, et constitue l'examen de référence pour le diagnostic des syndromes d'iris plateau (fig. 3).

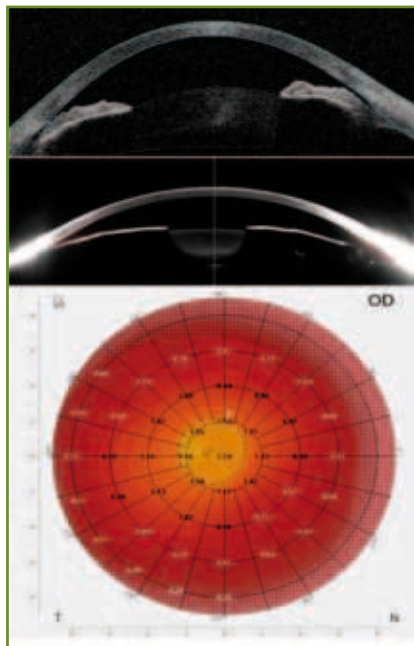


FIG. 1 : Coupes du segment antérieur d'un patient présentant un glaucome chronique par fermeture de l'angle en tomographie par cohérence optique (OCT Visante, haut) et caméra Scheimpflug (Pentacam, milieu). Représentation topographique de la profondeur de la chambre antérieure (Pentacam, bas).

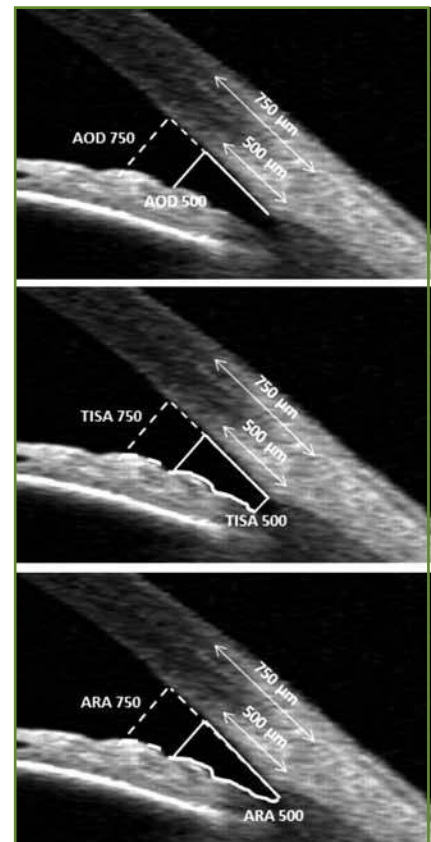


FIG. 2 : Coupes du segment antérieur en tomographie par cohérence optique, avec différents paramètres biométriques caractérisant l'ouverture de l'angle iridocornéen. AOD : Angle Opening Distance à 500 μ m et 750 μ m de l'éperon scléral. TISA : Trabecular-Iris Space à 500 μ m et 750 μ m de l'éperon scléral. ARA : Angle Recess Area à 500 μ m et 750 μ m de l'éperon scléral.

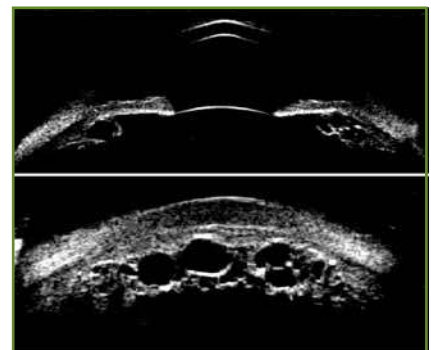


FIG. 3 : Coupes radiaire et transversale du segment antérieur : aspect de syndrome d'iris plateau lié à la présence d'une polykystose ciliaire (UBM Aviso 50 MHz). L'imagerie peut aider à identifier un méridien indemne qui sera alors le siège préférentiel d'une éventuelle iridotomie.

REVUES GÉNÉRALES

Glaucome

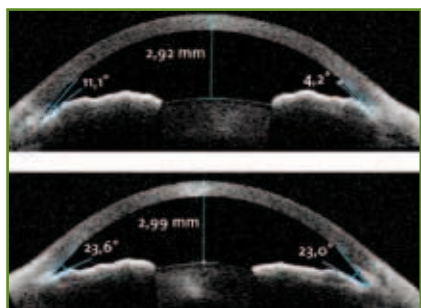


FIG. 4 : Coupes du segment antérieur d'un patient présentant un glaucome chronique par fermeture de l'angle avec réouverture angulaire incomplète après iridotomie en tomographie par cohérence optique (OCT Visante, haut), avant (haut) et après (bas) iridoplastie au laser argon.

L'imagerie du segment antérieur peut être utilisée pour évaluer les modifications anatomiques survenues après iridotomie ou iridoplastie laser, notamment l'approfondissement de la chambre antérieure en périphérie et la réouverture de l'angle, ou sinon pour vérifier le caractère perforant ou non de l'iridotomie, permettant parfois – notamment en OCT – de mettre en évidence des résidus tissulaires alors que l'orifice était transilluminable (*fig. 4*).

2. Glaucome pigmentaire

L'imagerie du segment antérieur permet de visualiser clairement la concavité de l'iris et son apposition à la face antérieure du cristallin et aux zonules (*fig. 5 et 6*), démontrant la probable inversion du gradient de pression entre chambre postérieure et chambre antérieure qui constitue la situation de blocage pupillaire inversé [3]. Cet aspect anatomique disparaît de façon constante après iridotomie laser (*fig. 6*).

3. Glaucomes secondaires

Les différentes méthodes d'imagerie peuvent aider au diagnostic et à la compréhension des mécanismes de différentes formes de glaucomes secondaires. En cas de glaucome traumatique, une récession angulaire éventuellement accompagnée

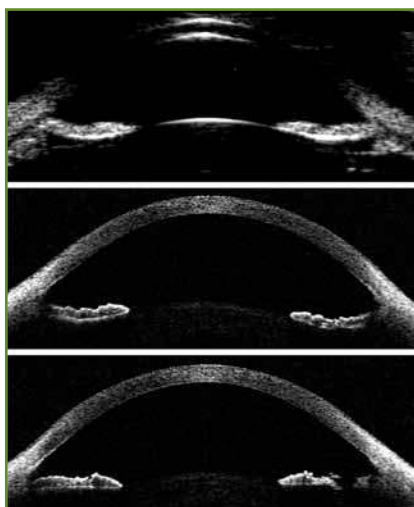


FIG. 5 : Coupe du segment antérieur en biomicroscopie ultrasonore (UBM Aviso 25 MHz, haut): apposition de l'iris et de la face antérieure du cristallin et dépôts de pigments sur les fibres zonulaires. Coupes identiques en tomographie par cohérence optique (OCT Visante), avant (milieu) et après (bas) iridotomie.

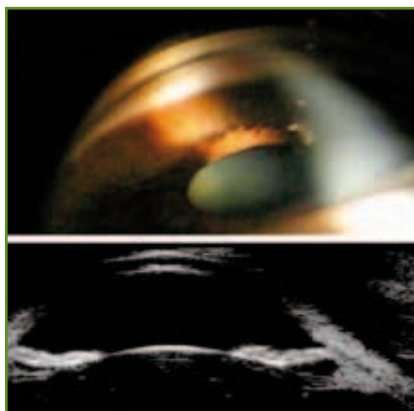


FIG. 6 : Concavité de l'iris en gonioscopie et coupe du segment antérieur en biomicroscopie ultrasonore (UBM Aviso 25 MHz, haut) montrant l'apposition de l'iris et de la face antérieure du cristallin et des dépôts de pigments sur les fibres zonulaires.

d'une irido- et/ou d'une cyclodialyse peut être mise en évidence, même en cas de d'hyphéma important ou d'opacité cornéenne. En cas de glaucome lié à une anomalie de forme ou de position du cristallin, l'étude de l'épaisseur du cristallin et de sa position par rapport à la ligne joignant deux points opposés de l'angle iridocornéen (flèche cristalli-

nienne) permet souvent le diagnostic, notamment lorsqu'elle est bilatérale et comparative. En cas de glaucome néovasculaire, l'action d'une membrane néovasculaire rétractant la base de l'iris vers le trabéculum et la cornée se traduit par la présence de synéchies antérieures étendues responsables d'un aspect de "toile de tente". D'autres étiologies de glaucome ou d'hypertonie telles que les tumeurs iriennes ou ciliaires, les hématomas choroïdiens ou l'effusion uvéale peuvent également être mises en évidence, notamment à l'aide de l'UBM.

4. Suivi des chirurgies filtrantes

Les méthodes d'imagerie telles que l'UBM et l'OCT de segment antérieur permettent une analyse détaillée de la morphologie des bulles de filtration après chirurgies filtrantes [4]. Une conjonctive fine et associée à un tissu sous-conjonctival peu abondant et hyporéfléctif ou hypo-échogène témoigne souvent d'un bon fonctionnement de la bulle de filtration. A contrario, un tissu sous-conjonctival épais et hyperréfléctif ou hyperéchogène peut être le signe d'une fibrose sous-conjonctivale empêchant la filtration de l'humeur aqueuse. Le volet scléral peut être identifié, et, en dessous, le volume du lac scléral peut être évalué, permettant parfois de mettre en évidence un accolement du volet scléral et du lit scléral (*fig. 7*). La biomicroscopie ultrasonore permet, après sclérectomie profonde non perforante, d'évaluer l'épaisseur de la membrane trabéculo-descemetique



FIG. 7 : Coupe en tomographie par cohérence optique (OCT Visante) d'une bulle de filtration encapsulée après sclérectomie profonde non perforante. Noter la présence d'un tissu hyperréfléctif sous la conjonctive, particulièrement volumineux en regard du site d'incision.

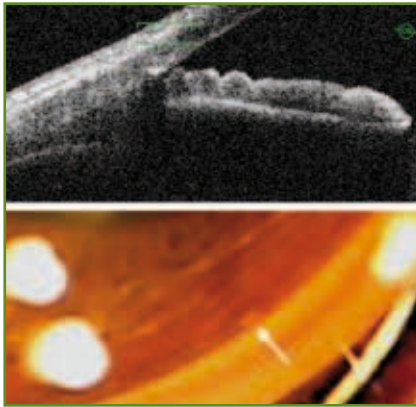


FIG. 8 : Coupes en tomographie par cohérence optique (OCT Visante) réalisées chez un patient ayant bénéficié de la pose d'un implant iStent, qui apparaît hyperréfléctif et s'accompagne d'un cône d'ombre postérieur. Noter la faible visibilité de l'implant lors de l'examen gonioscopique (flèche blanche).

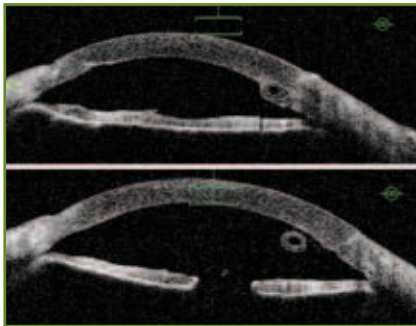


FIG. 9 : Extrémité intra-oculaire d'une valve d'Ahed visible en tomographie par cohérence optique (OCT Visante).

résiduelle, une épaisseur trop importante s'opposant à une filtration trop importante et pouvant justifier la réalisation d'une goniopuncture. L'imagerie peut également permettre de mettre en évidence une incarceration de l'iris dans le site de filtration, qui n'est pas toujours visible de façon évidente lors de l'examen gonioscopique. Enfin, la position

POINTS FORTS

- ➔ La tomographie par cohérence optique et la biomicroscopie ultrasonore sont les deux principales méthodes d'imagerie du segment antérieur utilisées pour le diagnostic et la compréhension des mécanismes des différentes formes de glaucome.
- ➔ La tomographie par cohérence optique a pour avantages sa simplicité et sa rapidité de réalisation, une résolution spatiale élevée et la possibilité de réaliser une étude dynamique des différentes structures du segment antérieur.
- ➔ La biomicroscopie ultrasonore est la seule méthode d'imagerie permettant de visualiser l'ensemble du corps ciliaire et, de ce fait, de confirmer ou d'infirmer la présence d'un syndrome d'iris plateau.
- ➔ En cas d'angle iridocornéen étroit, les méthodes d'imagerie peuvent participer à la décision de réaliser une iridotomie laser.
- ➔ Ces différentes méthodes d'imagerie du segment antérieur sont complémentaires de l'examen clinique, notamment gonioscopique, mais ne peuvent pas s'y substituer.
- ➔ L'angle iridocornéen peut parfois paraître plus étroit sur des coupes optiques ou ultrasonores du segment antérieur qu'il ne paraît lors de l'examen gonioscopique (tendance à surestimer une étroitesse de l'angle avec ces techniques d'imagerie ou effet de la lumière utilisée lors de l'examen gonioscopique et du myosis induit ?).

et l'évolution des différents implants de collagènes et de glycosaminoglycanes résorbables et destinés à éviter une fibrose sous-conjonctivale et un accolement du volet scléral à la sclère sous-jacente peuvent être étudiées [5]. De même, le bon positionnement des différents valves et drains peut être vérifié (**fig. 8 et 9**).

Bibliographie

1. NOLAN WP, SEE JL, CHEW PT *et al.* Detection of primary angle closure using anterior segment optical coherence tomography in Asian eyes. *Ophthalmology*, 2007; 114: 33-39.
2. APTEL F, DENIS P. Optical coherence tomography quantitative analysis of iris volume

changes after pharmacological mydriasis. *Ophthalmology*, 2010; 117: 3-10.

3. APTEL F, BECCAT S, FORTOUL V *et al.* Biometric analysis of pigment dispersion syndrome using anterior segment optical coherence tomography. *Ophthalmology*, 2011; 118: 1563-1570.
4. LABBE A, HAMARD P, IORDANOU V *et al.* Apport de l'OCT Visante dans le suivi de la chirurgie du glaucome. *J Fr Ophthalmol*, 2007; 30: 225-231.
5. APTEL F, DUMAS S, DENIS P. Ultrasound biomicroscopy and optical coherence tomography imaging of filtering blebs after deep sclerectomy with new collagen implant. *Eur J Ophthalmol*, 2009; 19: 223-230.

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