

Les nouvelles technologies au service de la RD : imagerie SD-OCT

Ali Erginay

La tomographie en cohérence optique (OCT) est une technique d'imagerie rétinienne non invasive qui permet d'obtenir in vivo des images de haute résolution, en coupe antéropostérieure, des microstructures de la rétine et de l'interface vitréo-rétinienne.

Principes de la tomographie en cohérence optique

OCT en *Time-Domain*

L'OCT a été décrite initialement en 1991 [1,2,3]. Le premier OCT1 ou System 2000™ (Humphrey Instruments, Inc.) a été commercialisé en 1996. Les OCT2 en 1999 puis OCT3 ou Stratus™ (Carl Zeiss Meditec) en 2002 l'ont suivi avec des nouvelles mises à jour.

Le fonctionnement de la première génération d'OCT, dite « *Time-Domain* » ou « TD-OCT » est basée sur le principe d'interférométrie à basse cohérence (840 nm). Dans ce système, une lumière, produite par une diode super lumineuse, est divisée en deux faisceaux par un miroir semi-réfléchissant : le faisceau de référence et le faisceau d'examen. Le premier faisceau, reçu puis réfléchi par un miroir mobile, et le deuxième, dirigé vers l'œil puis réfléchi sur la rétine, arrivent simultanément sur un détecteur et créent un signal d'interférence dont l'amplitude peut être mesurée. Le déplacement mécanique du miroir mobile d'arrière en avant permet l'analyse des couches rétinienne de profondeurs différentes, au cours de chaque acquisition de type A-scan. La vitesse d'acquisition est d'environ 250 à 400 A-scans par seconde. Une coupe antéropostérieure, ou B-scan, est constituée par les différentes séquences de A-scan (100 en OCT1 et 2 512 en OCT3).

OCT en *Spectral-Domain*

En 2006, une nouvelle génération d'appareils utilisant un spectromètre à la place de l'interféromètre, dite « *Spectral-Domain* » ou « SD-OCT » ou « Fourier Domain » est arrivée sur le marché. Grâce à l'absence de mouvements du miroir mobile et l'utilisation du spectromètre, cette technique permet une augmentation de la vitesse

d'acquisition des images de 25 000 à 75 000 A-scans/s, et donne une excellente qualité de l'image en diminuant les artefacts dus aux mouvements de l'œil. La résolution longitudinale de ces appareils se situe entre 4 et 6 µm.

Grâce à l'amélioration de la résolution et de la vitesse d'acquisition, le SD-OCT permet :

- une meilleure visualisation des modifications intra et extra-rétiniennes (limitante interne, cavités cystoïdes, exsudats lipidiques, jonction de segments externes-internes des photorécepteurs, épithélium pigmentaire, décollement fovéolaire) et de l'interface rétinio-vitréenne (limitante externe, hyaloïde, séparation vitréo-maculaire, membrane épimaculaire, traction vitréo-maculaire) ;
- la multiplication du nombre de coupes et la possibilité de reconstruction 3 D (50-256 coupes étagées). Un repérage plus précis des différentes lésions du fond d'œil ;
- une mesure de l'épaisseur et une cartographie maculaire plus précises, sans interpolation.

OCT et rétinopathie diabétique

L'intérêt essentiel de l'OCT dans la rétinopathie diabétique (RD) est le diagnostic et le suivi de l'évolution de l'œdème maculaire (OM) diabétique [4].

L'OM se traduit par un épaississement de la rétine maculaire, avec diminution ou perte de la dépression fovéolaire normale.

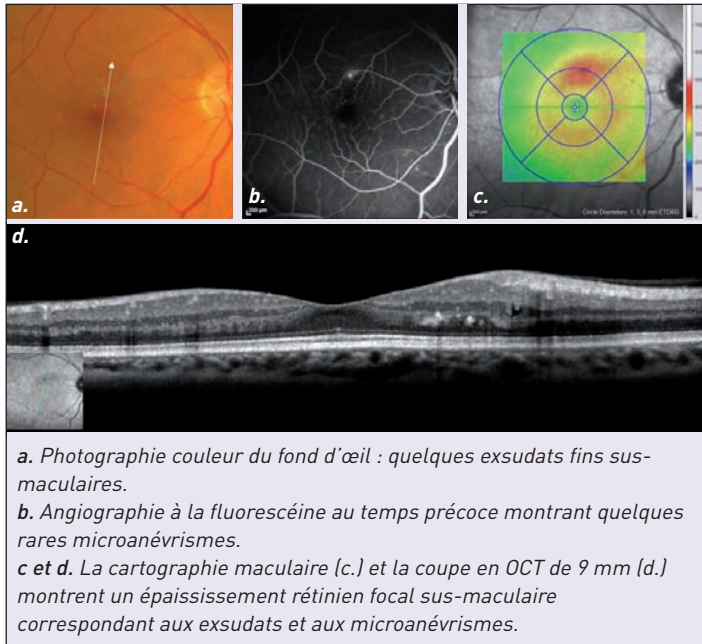
On peut distinguer plusieurs formes cliniques d'OM

- OM focal ou localisé avec ou sans exsudats : il est secondaire à une diffusion focale à partir d'un ou plusieurs microanévrismes ou d'AMIR (anomalies microvasculaires intrarétiniennes) (*figures 1 et 2*);
- OM mixte associant une composante focale et une composante diffuse (*figure 3*) ;
- OM diffus de la région centrale : il est secondaire à une hyperperméabilité étendue à tout le lit capillaire macu-

Service d'ophtalmologie, hôpital Lariboisière, Paris

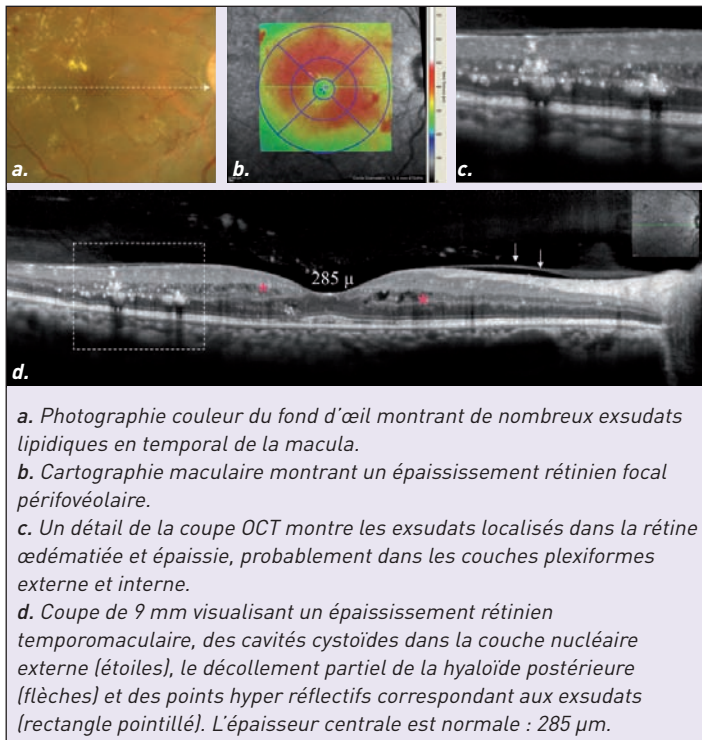
Dossier

laire. Il peut avoir un aspect non cystoïde ou être organisé en logettes cystoïdes (figures 4, 5 et 6) ;
 - OM diffus tractionnel (figure 7) ;
 - OM diffus associé à une maculopathie ischémique (figure 8).



a. Photographie couleur du fond d'œil : quelques exsudats fins sus-maculaires.
 b. Angiographie à la fluorescéine au temps précoce montrant quelques rares microanévrismes.
 c et d. La cartographie maculaire (c.) et la coupe en OCT de 9 mm (d.) montrent un épaissement rétinien focal sus-maculaire correspondant aux exsudats et aux microanévrismes.

Figure 1. Œdème maculaire focal minime.



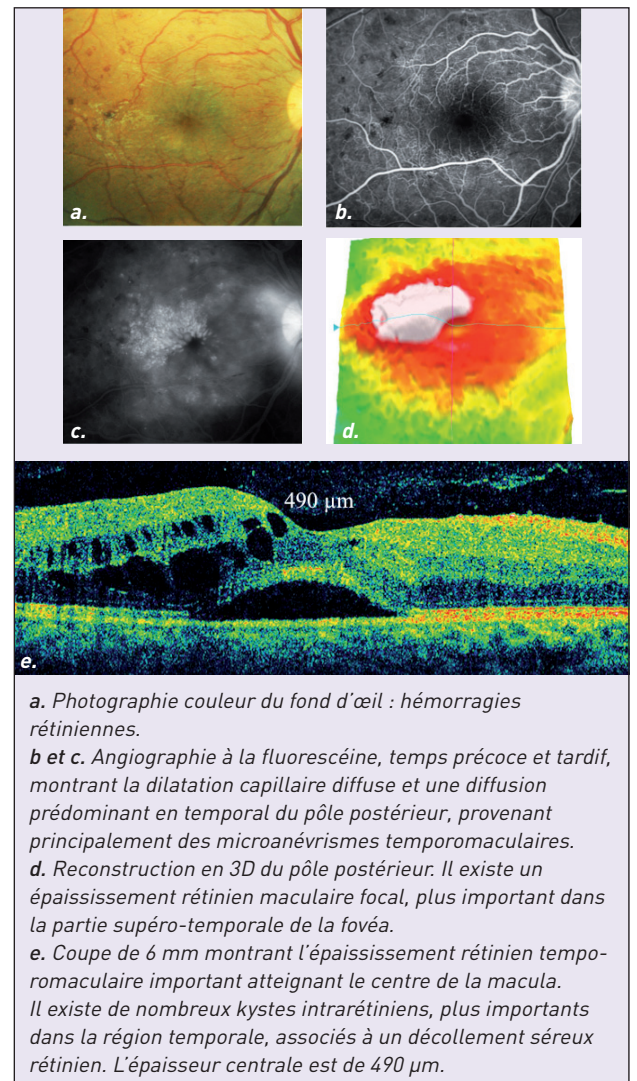
a. Photographie couleur du fond d'œil montrant de nombreux exsudats lipidiques en temporal de la macula.
 b. Cartographie maculaire montrant un épaissement rétinien focal périfovolaire.
 c. Un détail de la coupe OCT montre les exsudats localisés dans la rétine œdématisée et épaissie, probablement dans les couches plexiformes externe et interne.
 d. Coupe de 9 mm visualisant un épaissement rétinien temporomaculaire, des cavités cystoïdes dans la couche nucléaire externe (étoiles), le décollement partiel de la hyaloïde postérieure (flèches) et des points hyper réfléchifs correspondant aux exsudats (rectangle pointillé). L'épaisseur centrale est normale : 285 µm.

Figure 2. Œdème maculaire focal modéré avec des exsudats multifocaux.

Ce que l'OCT permet de visualiser

L'OCT est très utile pour déterminer si un œdème menace ou atteint le **centre de la macula**.

- Les **exsudats lipidiques** apparaissent comme des dépôts intrarétiniens hyper réfléchifs, principalement localisés dans la couche plexiforme externe de la rétine (figure 2). Ils masquent souvent la réflectivité du tissu sous-jacent.
- Dans environ 15 % des cas, l'OM diabétique est associé à un **décollement fovéolaire** qui n'était pas détecté en biomicroscopie. Dans ces cas, la macula est habituellement épaissie et contient des cavités cystoïdes importantes (figures 3 et 4). La pathogénie et les conséquences fonctionnelles du décollement fovéolaire associées à un œdème maculaire cystoïde sont mal comprises [5].



a. Photographie couleur du fond d'œil : hémorragies rétiniennes.
 b et c. Angiographie à la fluorescéine, temps précoce et tardif, montrant la dilatation capillaire diffuse et une diffusion prédominant en temporal du pôle postérieur, provenant principalement des microanévrismes temporomaculaires.
 d. Reconstruction en 3D du pôle postérieur. Il existe un épaissement rétinien maculaire focal, plus important dans la partie supéro-temporale de la fovéa.
 e. Coupe de 6 mm montrant l'épaississement rétinien temporomaculaire important atteignant le centre de la macula. Il existe de nombreux kystes intrarétiniens, plus importants dans la région temporale, associés à un décollement séreux rétinien. L'épaisseur centrale est de 490 µm.

Figure 3. Œdème maculaire mixte avec décollement séreux rétinien.

Rétinopathie diabétique

• La **hyaloïde postérieure** n'est visible en OCT que lorsqu'elle est partiellement ou faiblement décollée de la surface rétinienne [6] (figures 1, 2 et 5). La hyaloïde postérieure partiellement détachée de la macula, associée à une membrane épirétinienne épaisse, peut exercer une

traction aggravant l'œdème maculaire (figure 7). Ces cas sont habituellement une bonne indication de vitrectomie [7].

• Une **ischémie maculaire sévère** peut être suspectée en SD-OCT devant un aspect d'atrophie des couches internes

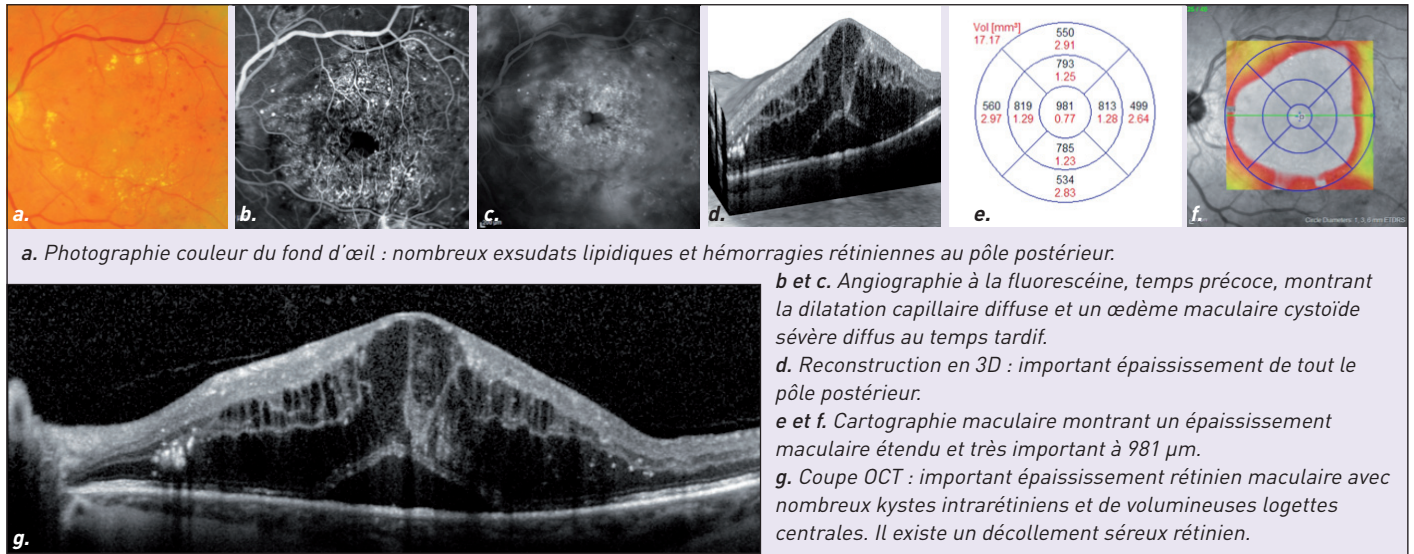


Figure 4. Œdème maculaire diffus cystoïde sévère avec décollement séreux rétinien.

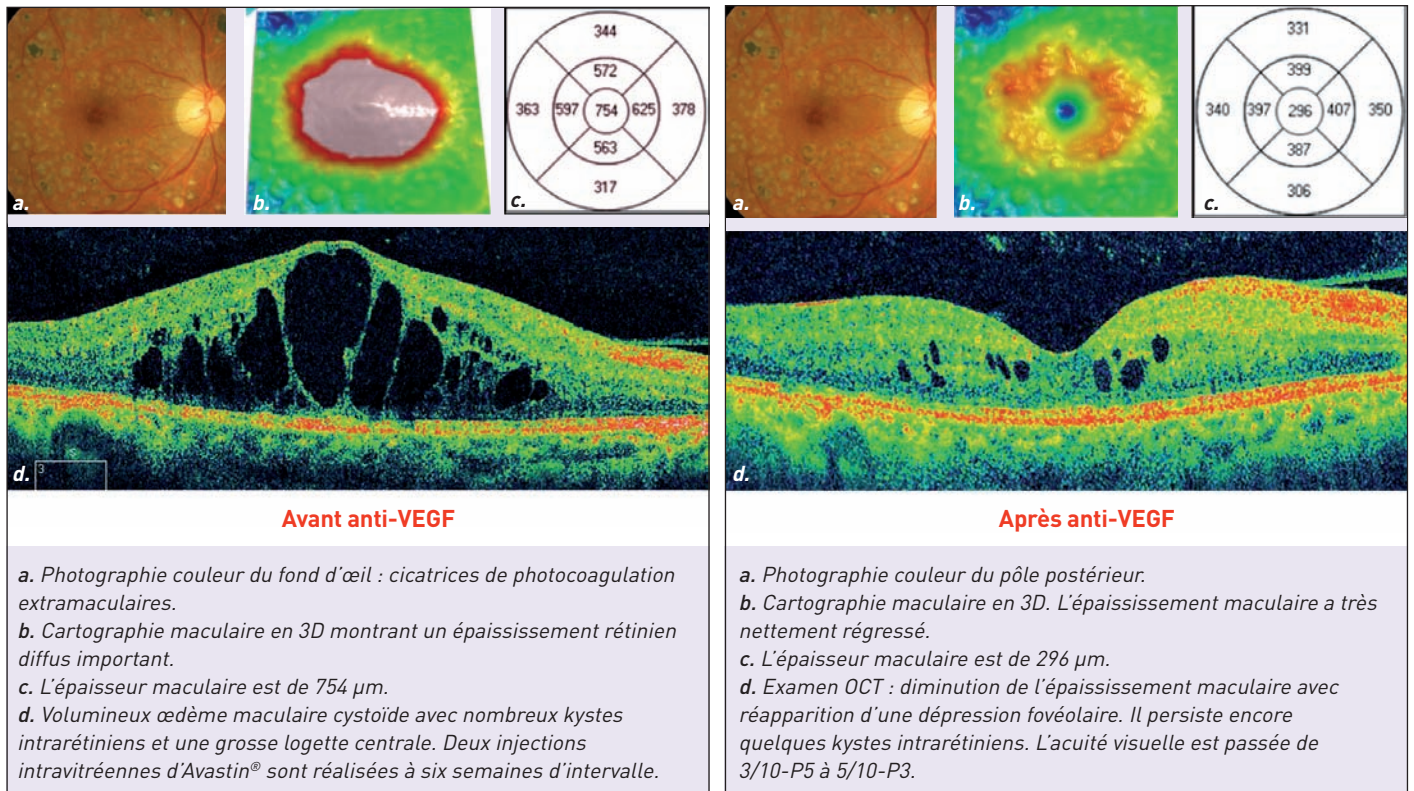
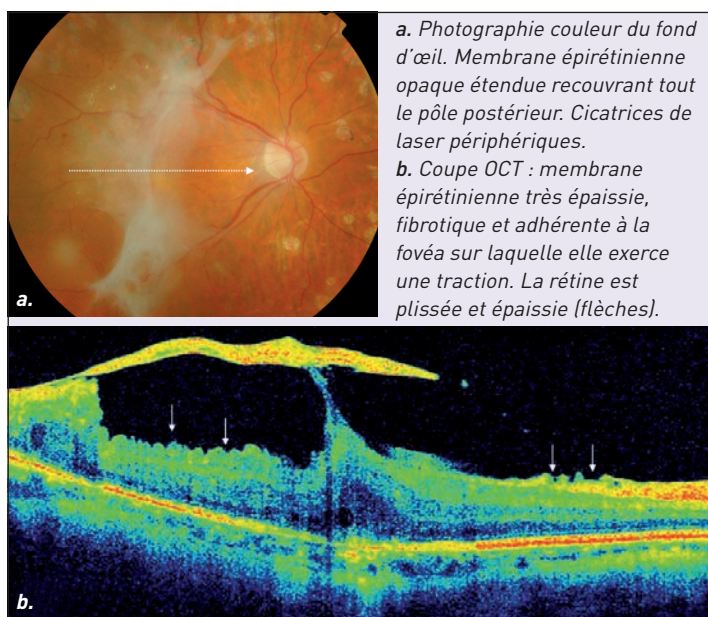


Figure 5. Œdème maculaire diffus réfractaire au traitement par laser traité par injection intravitréenne d'anti-VEGF (avant le traitement).

Figure 6. Patient figure 5, contrôle un mois après la dernière IVT d'Avastin®.



a. Photographie couleur du fond d'œil. Membrane épirétinienne opaque étendue recouvrant tout le pôle postérieur. Cicatrices de laser périphériques.
b. Coupe OCT : membrane épirétinienne très épaisse, fibrotique et adhérente à la fovéa sur laquelle elle exerce une traction. La rétine est plissée et épaissie (flèches).

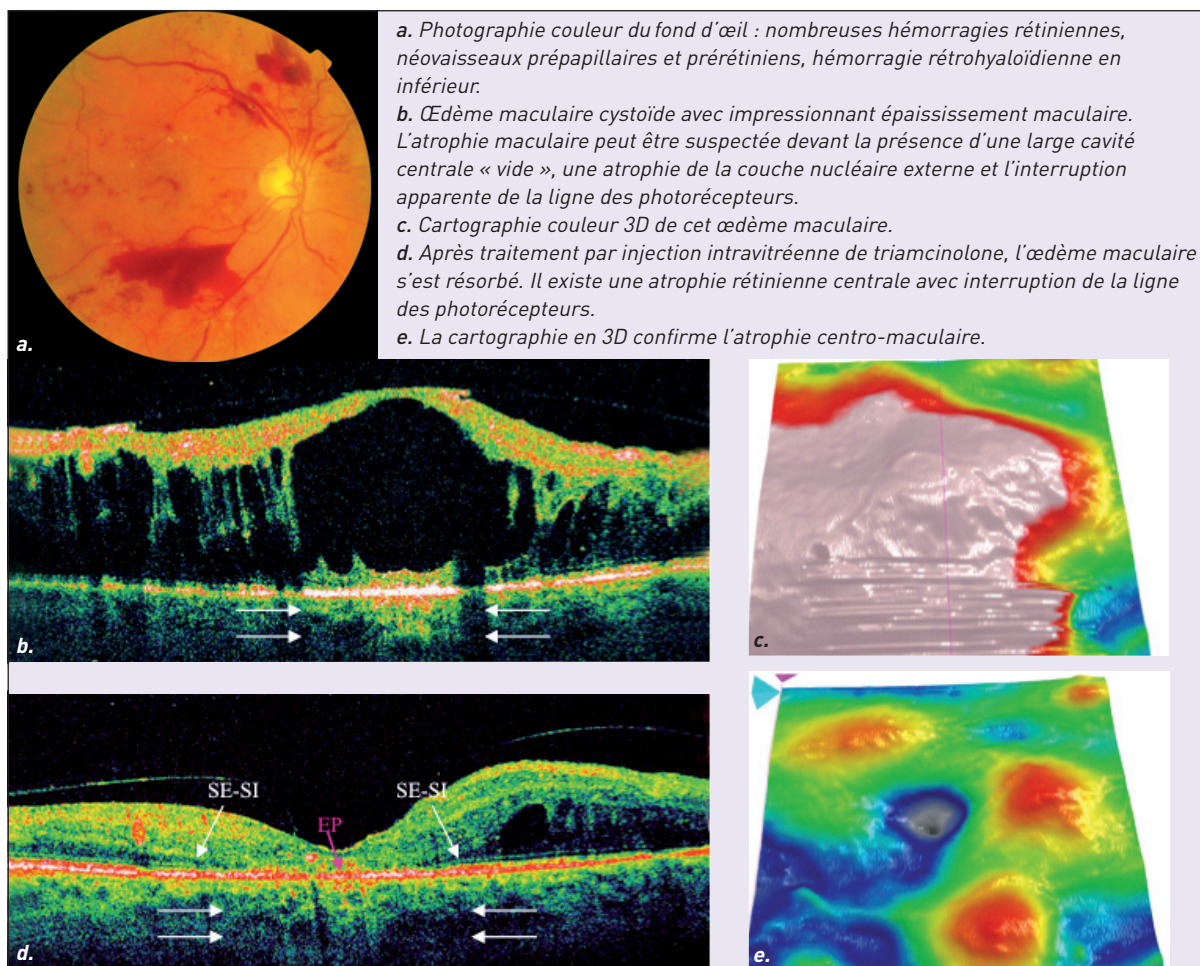
de la rétine, mieux visible en l'absence d'épaississement rétinien. Une altération de la ligne des photorécepteurs peut être visible, habituellement corrélée à un mauvais pronostic fonctionnel. Elle est souvent mieux visible après résorption de l'épaississement maculaire (figure 8).

- L'OM sur la **cartographie maculaire (mapping)** est représenté de deux façons différentes qui donnent des renseignements complémentaires : la cartographie **en couleur** et la cartographie des **épaisseurs rétiniennes moyennes**.

La cartographie en couleur donne une représentation topographique de l'épaisseur rétinienne calculée à partir des valeurs mesurées sur chacune des coupes, si bien que les valeurs situées entre deux coupes sont extrapolées par le logiciel et non pas mesurées.

La cartographie des épaisseurs maculaires moyennes donne une moyenne de l'épaisseur rétinienne

Figure 7. Traction vitréo-maculaire.



a. Photographie couleur du fond d'œil : nombreuses hémorragies rétiniennes, néovaisseaux prépapillaires et préretiniens, hémorragie rétrohyaloïdienne en inférieure.
b. Œdème maculaire cystoïde avec impressionnant épaississement maculaire. L'atrophie maculaire peut être suspectée devant la présence d'une large cavité centrale « vide », une atrophie de la couche nucléaire externe et l'interruption apparente de la ligne des photorécepteurs.
c. Cartographie couleur 3D de cet œdème maculaire.
d. Après traitement par injection intravitréenne de triamcinolone, l'œdème maculaire s'est résorbé. Il existe une atrophie rétinienne centrale avec interruption de la ligne des photorécepteurs.
e. La cartographie en 3D confirme l'atrophie centro-maculaire.

Figure 8. Atrophie centro-maculaire secondaire à un œdème maculaire cystoïde.

Rétinopathie diabétique

dans chacun des neuf secteurs prédéterminés de la macula, selon la grille d'évaluation de l'œdème maculaire de l'Early Treatment of Diabetic Retinopathy Study (ETDRS). Cette épaisseur rétinienne moyenne sectorielle est calculée à partir des mesures ponctuelles réalisées le long des lignes de coupe.

Il existe plusieurs modalités de cartographie maculaire selon la génération et les modèles d'OCT [8] (figure 9). Plusieurs études ont montré l'excellente reproductibilité de la mesure de l'épaisseur maculaire avec les différents

OCT [9,10]. La reproductibilité de la mesure de l'épaisseur maculaire semble être encore meilleure pour les SD-OCT.

Conclusion

L'OCT permet de suivre de façon très précise l'évolution de l'OM spontanée ou après différents traitements. Elle permet d'objectiver les variations de l'OM et de guider la conduite thérapeutique (figures 5, 6 et 8).

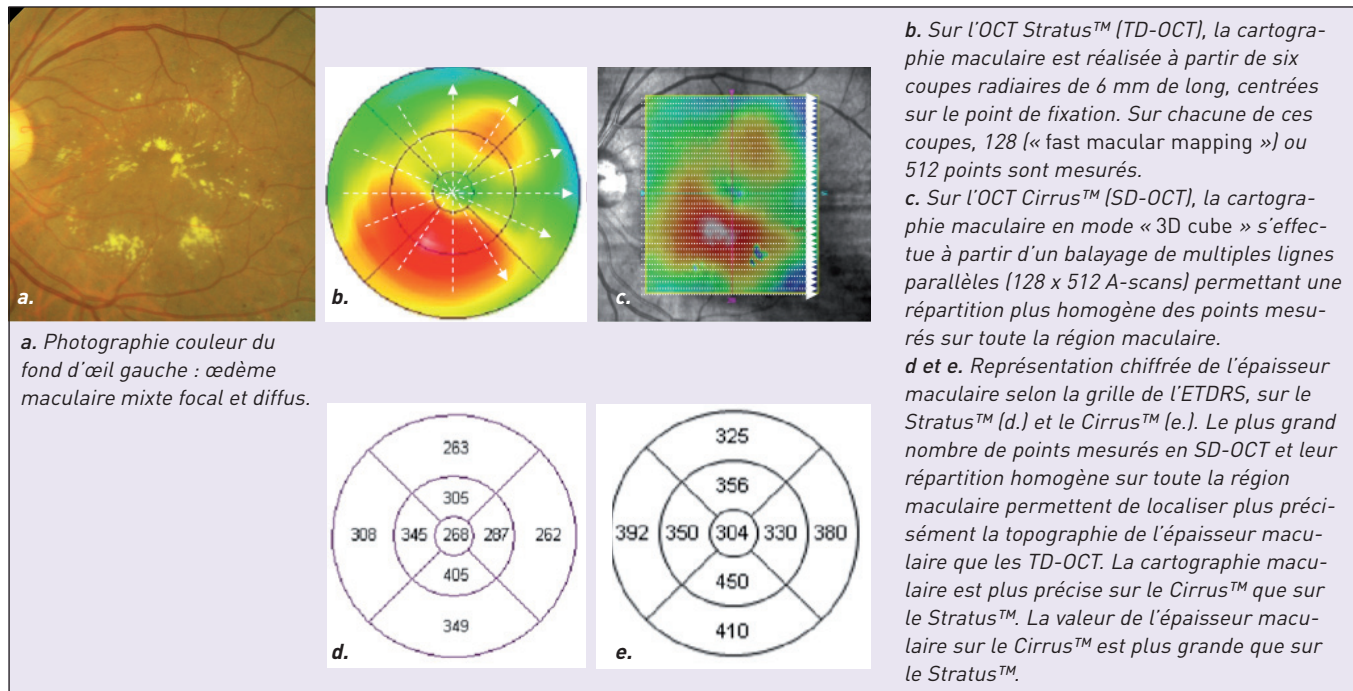


Figure 9. Cartographie en OCT.

Bibliographie

- Huang D, Swanson EA, Lin CP *et al.* Optical coherence tomography. *Science* 1991;254:1178-81.
- Hee MR, Izatt JA, Swanson EA *et al.* Optical coherence tomography of the human retina. *Arch Ophthalmol* 1995;113:325-32.
- Puliafito CA, Hee MR, Lin CP *et al.* Imaging of macular diseases with optical coherence tomography. *Ophthalmology* 1995;102:217-29.
- Massin P, Girach A, Erginay A, Gaudric A. Optical coherence tomography: a key to the future management of patients with diabetic macular oedema. *Acta Ophthalmol Scand* 2006;84:466-74.
- Gaucher D, Sebah C, Erginay A *et al.* Optical coherence tomography features during the evolution of serous retinal detachment in patients with diabetic macular edema. *Am J Ophthalmol* 2008;145:289-96.
- Gaucher D, Tadayoni R, Erginay A, Haouchine B, Gaudric A, Massin P. Optical coherence tomography assessment of the vitreo-

retinal relationship in diabetic macular edema. *Am J Ophthalmol* 2005;139:807-13.

- Massin P, Duguid G, Erginay A, Haouchine B, Gaudric A. Optical coherence tomography for evaluating diabetic macular edema before and after vitrectomy. *Am J Ophthalmol* 2003;135:169-77.
- Wolf-Schnurrbusch UE, Ceklic L, Brinkmann CK *et al.* Macular thickness measurements in healthy eyes using six different optical coherence tomography instruments. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009;50:3432-7.
- Massin P, Vicaut E, Haouchine B, Erginay A, Paques M, Gaudric A. Reproducibility of retinal mapping using optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 2001;119:1135-42.
- Krzystolik MG, Strauber SF, Aiello LP *et al.* Reproducibility of macular thickness and volume using Zeiss optical coherence tomography in patients with diabetic macular edema. *Ophthalmology* 2007;114:1520-5.