



Le futur de l'imagerie

Ali Erginay

L'imagerie est devenue un outil incontournable dans la pratique quotidienne et les recherches continuent. Certains appareils vont rester sûrement au stade du gadget, mais certains autres vont nous aider à réaliser nos rêves les plus futuristes. Cet article passe en revue les avancées les plus significatives : les systèmes d'imagerie numérisés, les évolutions du SD-OCT, l'essor de l'optique adaptative, le développement des appareils portables et le développement de la télémédecine et de la téléconsultation.

Cela fait plus d'un siècle que l'histoire de l'imagerie en ophtalmologie a commencé. La première photo du fond d'œil chez un humain a été publiée en 1886 (Jackman WT, Webster JD. *Photographing the eye of the living human retina*. Philadelphia Photographer et Photographic News). Le premier rétinographe a été commercialisé en 1926 par Carl Zeiss. Deux étudiants en médecine, H.R. Novotny et D.L. Alvis ont réalisé la première angiographie rétinienne chez l'homme en 1960.

La vraie révolution a été l'arrivée de la première génération d'OCT, dit *time domain* ou TD-OCT en 1996 et l'OCT *spectral domain* (SD-OCT) ou *Fourier domain* en 2006.

L'arrivée des ordinateurs et la photographie numérique dans les années 1990 a bouleversé nos habitudes. Nous constatons un progrès très rapide à la fois des appareils et des logiciels utilisés.

Aujourd'hui, l'imagerie médicale est dopée par les avancés de la technologie. Elle prend une place importante dans la médecine iconographique et diagnostique, mais aussi thérapeutique. L'utilisation de systèmes numérisés, grâce aux logiciels de traitement préinstallés, permet de visualiser des images numériques sur l'écran pendant l'examen, de les améliorer, de réaliser l'image de montage « mosaïque » à partir des clichés panoramiques, de les archiver ou de les transmettre par le réseau Internet.

Pour la photographie du fond d'œil, les rétinographes numériques mydriatiques ou non mydriatiques ont remplacé les rétinographies conventionnelles.

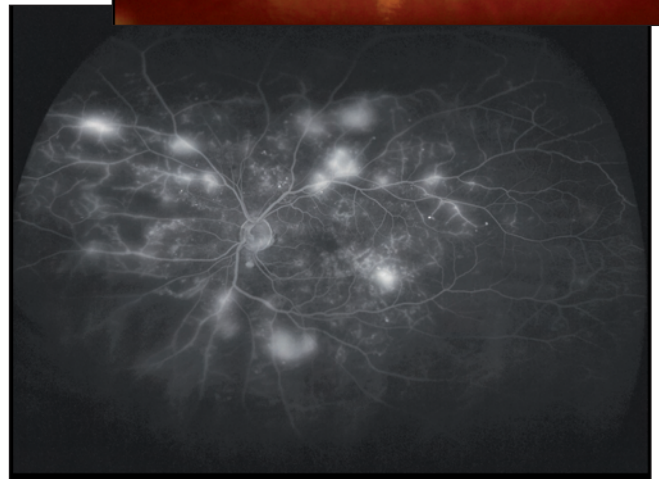


Figure 1. Clichés couleur et angiographique du fond d'œil à 200° réalisés avec une caméra Optos chez un patient diabétique présentant une rétinopathie diabétique proliférante.

Des systèmes d'imagerie ophtalmologique complètement numérisés

Ils permettent d'obtenir des images et des vidéos de fond d'œil à grand angle (RetCam® de Clarity medical systems, P200 d'Optos).

Le P200, ophtalmoscope laser à balayage, combine deux lasers de faible puissance rouge et vert en un seul faisceau pour obtenir des images rétinienne en couleur de haute résolution à champ ultra large (200°) couvrant à peu près 82 % de la rétine en une seule fois sans dilatation pupillaire. Le modèle P200C permet également de réaliser des clichés angiographiques et en autofluorescence à 200° (figure 1). Dans l'avenir, il serait possible de réaliser l'examen en OCT sur un champ de 200°.

Hôpital Lariboisière, Paris

Dossier

Déjà plus de 10 modèles de SD-OCT

En 2012, le premier OCT de la 3^e génération, l'OCT *sweep source* (SS-OCT) a été commercialisé. Il a une vitesse de balayage plus rapide (100 000 A-scans/s) et utilise une source laser variable à une longueur d'onde plus grande qui permet de pénétrer plus profondément les tissus par rapport aux OCT actuels.

Mais le développement ne s'arrête pas là. Il existe déjà de nombreux prototypes de nouveaux OCT : *line field* SD-OCT (LF-SDOCT, 823 200 A-scans/s), *full range complex* SD-OCT (FRC-SDOCT), *simultaneous dual-band ultra-high resolution* OCT (FF-OCT), *scattering optical coherence tomography* (S-OCT), *phase-resolved OCT angiography* (PR-OCT)... Dans le futur, ces OCT nous permettront de réaliser une meilleure segmentation et une meilleure cartographie des couches rétinienne, de visualiser les réseaux vasculaires rétiens et choroïdiens en 3D sans injection de produit de contraste, d'avoir une meilleure image en face et plus de détails de la microstructure rétinienne [1-4] (figure 2).

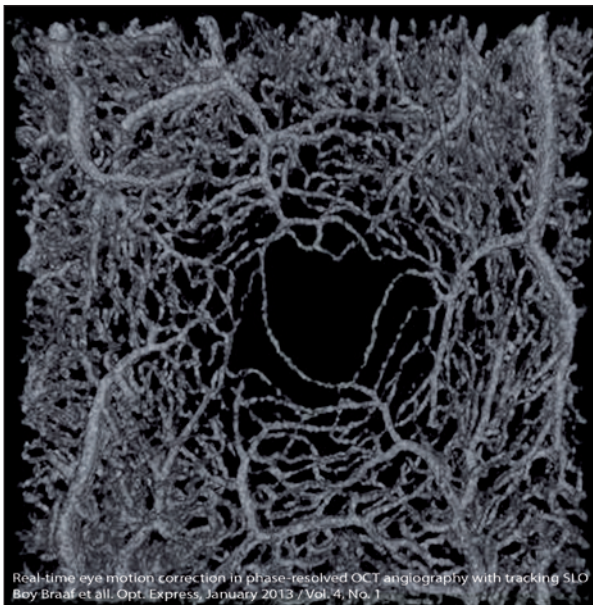


Figure 2. Maille capillaire périfovéolaire. Cliché réalisé avec un PR-OCT.

Dans le domaine des OCT fonctionnels, l'OCT SLO (Optos) qui combine l'OCT et la micropérimétrie, donne de bonnes corrélations anatomo-fonctionnelles. L'auto-fluorescence BluePeak™ de Spectralis ajoute aussi un indicateur fonctionnel sur l'état de santé de la rétine en mesurant l'activité métabolique de l'épithélium pigmentaire (EP). Dans l'avenir, l'OCT en ultra haute définition (UHR-OCT) nous permettra de mesurer le fonctionnement en direct de la rétine aussi bien que l'électroréti-

nogramme (ERG) et l'électro-oculogramme (EOG).

L'OCT Doppler ou *optical Doppler tomography* (ODT) permettra d'obtenir simultanément des images en haute résolution de la rétine et de la circulation sanguine.

L'OCT spectroscopique devrait permettre l'analyse spectroscopique des spectres absorbants des tissus profonds rétiens. Le *polarization sensitive* OCT (PS-OCT) sera utilisé pour déterminer la biréfringence tissulaire donnant ainsi de nouvelles informations sur le fonctionnement des cellules.

Aujourd'hui, il est possible de profiter de nouveaux appareils, y compris des prototypes en cours de développement. Ces extensions fonctionnelles de l'OCT fourniront des informations cliniquement importantes sur la physiologie tissulaire, comme la perfusion sanguine tissulaire, la saturation d'oxygène, l'hémodynamique et la rénovation structurelle.

L'essor de l'optique adaptative

L'optique adaptative (AO ou *adaptive optics*), développée dans les années 1950, devrait également prendre une place importante dans l'imagerie. Il s'agit d'appareils qui permettent d'améliorer le signal reçu grâce à des miroirs déformables. Ils étaient beaucoup utilisés dans les techniques d'astronomie pour éliminer les aberrations terrestres et pour des besoins militaires de focalisation de faisceaux laser. Aujourd'hui, ils sont utilisés en ophtalmologie plutôt comme un outil de recherche afin de produire des images très précises de la rétine [5]. Grâce aux images en haute résolution et en très fort grossissement, ils permettent d'observer des photorécepteurs ainsi que

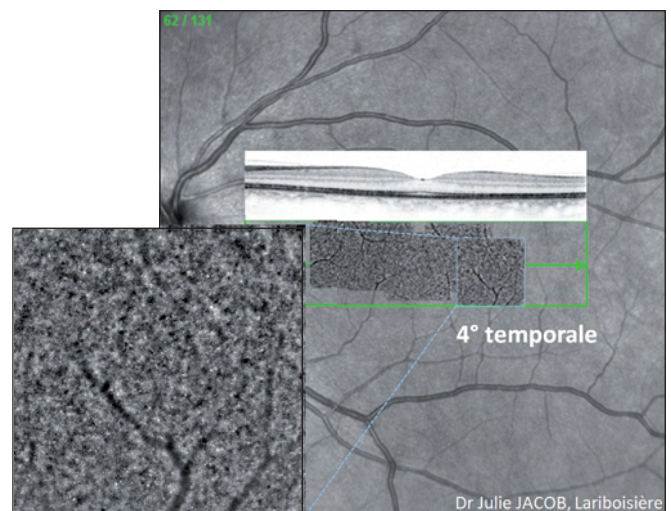


Figure 3. Analyse d'un fond d'œil normal en optique adaptative. Photomontage de cinq prises de vues de 4° x 4°. Détail des photorécepteurs sur le grossissement de l'image à 4° temporal (clichés du Dr Julie Jacob, Lariboisière).

la structure détaillée de la paroi des vaisseaux (figure 3). Actuellement, il est possible de visualiser les photorécepteurs, les compter et les superposer sur une coupe en OCT, et même de prédire l'évolution d'une pathologie rétinienne.

Le développement des appareils portables

Les progrès dans le domaine de l'ingénierie informatique devraient permettre la miniaturisation de ces outils, faciliter leur transport et baisser leur prix. Nous avons déjà des OCT ou des rétinographes non mydriatiques (RNM) de la taille d'un sèche-cheveux (figure 4). L'OCT portable monté sur le microscope utilisé en peropérateur permettra au médecin de mieux contrôler ses gestes ainsi que ses résultats chirurgicaux. Les rétinographes portables pourront être utilisés dans le dépistage de pathologies rétinienne (diabète, glaucome...) sur des grandes populations.

Les informaticiens s'investissent également dans ce domaine où il existe une forte demande. Nous connaissons déjà le système de caméra monté sur le téléphone iPhone qui permet de prendre les photos du fond d'œil en haute résolution : 5-8 Mpixels à 25° pour l'iExaminer™ (Welch Allyn) (figure 5) et à 45° pour le Remidio Fundus-

ON-phone™, équipé également d'un système d'autofocus et d'un éclairage LED (figure 4, en haut à droite).



Figure 4. Rétinographes non mydriatiques (en haut : Optomed, Kowa, Remidio) et OCT portables (en bas : Optovue, MIT).



Figure 5.
Caméra Welch Allyn iExaminer™
montée sur le téléphone iPhone.

Les Google Glass

Une autre nouveauté : les « Google Glass » (figure 6a), équipées d'une caméra haute définition, d'un micro, d'un récepteur audio, d'une fonction GPS et d'un écran. En plus de nombreuses fonctionnalités (prendre des photos, enregistrer des vidéos, partager des informations avec ses contacts...), elles pourront assister un chirurgien au cours d'une intervention chirurgicale comme cela a pu déjà être expérimenté. Google n'est pas le seul à travailler dans ce domaine.

Google est également en train de développer des lentilles « intelligentes » pour mesurer le taux de glucose

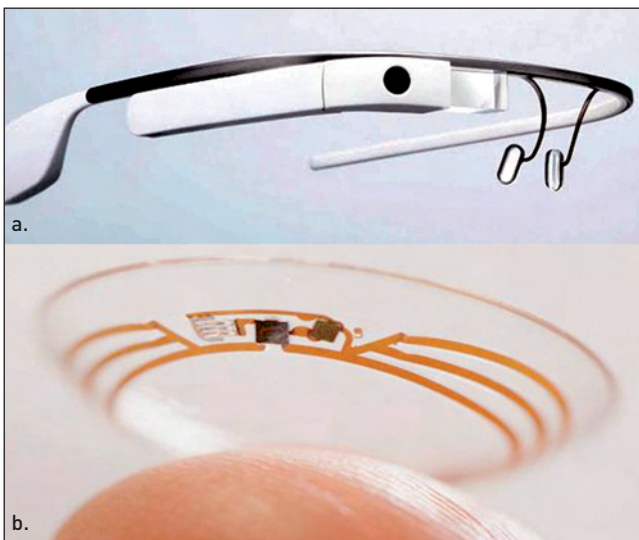


Figure 6. Google Glass (a) et lentille Google (b) pour mesurer le taux de glucose dans les larmes.

dans les larmes à chaque seconde afin de prévenir facilement les utilisateurs en cas d'hyperglycémie (figure 6b). Ces lentilles de contact perfectionnées sont formées de deux couches entre lesquelles sont insérés une petite puce connectée et un capteur de glucose miniaturisés. On peut très bien imaginer que ces inventions pourraient un jour aider les diabétiques à vivre plus confortablement.

Le développement de la télémédecine et de la téléconsultation

Les progrès dans l'imagerie numérique et l'Internet en haut débit permettront cette évolution. Un réseau de télémédecine (Ophdiat®) pour les patients diabétiques est déjà fonctionnel depuis 2002 en Île-de-France. Dans les sites de dépistage, des clichés du fond d'œil pris par un technicien non médecin (infirmière, orthoptiste) au moyen d'un rétinographe non mydriatique numérisé sont télétransmis vers un centre de lecture. Ils y sont lus, de façon différée, par un médecin ophtalmologiste spécialisé dans la prise en charge de la rétinopathie diabétique. Après analyse des clichés, un compte-rendu est adressé par Internet aux médecins responsables des sites de dépistage [6].

Un projet sur la détection automatique de lésions rétiniques diabétiques par un logiciel est en cours. Dans l'avenir, il sera possible de dépister la rétinopathie diabétique et d'autres pathologies rétiniques d'une façon entièrement automatique.

Bibliographie

1. Hong Y, Makita S, Yamanari M *et al.* Three-dimensional visualization of choroidal vessels by using standard and ultra-high resolution scattering optical coherence angiography. *Opt Express*. 2007;15(12):7538-50.
2. Potsaid B, Gorczynska I, Srinivasan VJ *et al.* Ultrahigh speed spectral / Fourier domain OCT ophthalmic imaging at 70,000 to 312,500 axial scans per second. *Opt Express*. 2008;16(19):15149-69.
3. Grulkowski I, Liu JJ, Potsaid B *et al.* Retinal, anterior segment and full eye imaging using ultrahigh speed swept source OCT with vertical-cavity surface emitting lasers. *Biomed Opt Express*. 2012;3(11):2733-51.
4. Braaf B, Vienola KV, Sheehy CK *et al.* Real-time eye motion correction in phase-resolved OCT angiography with tracking SLO. *Biomed Opt Express*. 2013;4(1):51-65.
5. Chui TY, Song H, Burns SA. Adaptive-optics imaging of human cone photoreceptor distribution. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*. 2008;25(12):3021-9.
6. Massin P, Chabouis A, Erginay A *et al.* OPHDIAT: a telemedical network screening system for diabetic retinopathy in the Ile-de-France. *Diabetes Metab*. 2008;34(3):227-34.