

■ Revues générales

OCT-A : quelle utilité en pratique clinique ?

RÉSUMÉ : En pratique courante, l'OCT-angiographie (OCT-A) est très utile pour le suivi de certaines pathologies qui sont difficiles à diagnostiquer sans ce dernier : les néovaisseaux choroïdiens quiescents, ceux associés aux chorioretinopathies séreuses centrales, les télangiectasies maculaires de type 2. La présence de nombreux artéfacts liés à la technique elle-même limite encore grandement son utilisation dans trop de cas pour pouvoir se passer du reste de l'imagerie, en particulier l'angiographie à la fluorescéine. L'OCT-A fait donc partie de l'imagerie multimodale mais ne remplace pas l'imagerie classique.

Son apport pourrait être plus essentiel si, dans le futur, la technique évolue, avec une résolution des artéfacts, une rapidité accrue d'analyse et un champ d'analyse plus grand permettant sans doute de modifier le suivi des maladies ischémiantes, en particulier la rétinopathie diabétique.



D. GAUCHER

Service d'Ophtalmologie,
Hôpitaux universitaires de
STRASBOURG.

L'OCT-angiographie ou OCT-A est apparu en 2014. Il est le fruit de recherches sur l'analyse d'images OCT. La détection du mouvement dans le tissu rétinien grâce à la comparaison de deux images est à la base de la technique de l'OCT-A. Elle nécessite une rapidité de prise d'image importante pour limiter les effets de mouvement du globe. Le seul mouvement dans le tissu rétinien étant celui des cellules sanguines, l'algorithme de détection des mouvements le plus utilisé (*split-spectrum amplitude-decorrelation angiography*, SSADA) permet d'extraire les zones de mouvement du signal OCT et de recréer ainsi le réseau vasculaire, avec une résolution de l'ordre de quelques microns.

La visualisation des capillaires de la choriocapillaire et de la neurorétine, obtenue de manière non invasive, a modifié de façon importante la façon d'imager la rétine et les protocoles de prise en charge diagnostique et thérapeutique des pathologies maculaires. Pourtant, si l'OCT-A fait désormais partie de l'imagerie multimodale en ophtalmologie, et permet de mieux comprendre la vascularisation et

les pathologies en recherche, la question de son utilité en pratique quotidienne reste posée.

■ Imagerie de la vascularisation choroïdienne

La diffusion de l'OCT-A s'est largement faite sur l'idée que cet examen pouvait remplacer l'angiographie à la fluorescéine. Cette idée était séduisante puisque l'OCT-A pouvait alors faire double emploi et en théorie se substituer à un examen plus coûteux, plus long et surtout plus invasif. Il est indéniable que l'OCT-A permet de détecter les néovaisseaux choroïdiens (NVC). Certaines études ont montré une sensibilité de presque 90 % dans la détection des NVC de la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) exsudative et de ceux de la myopie dégénérative [1] (*fig. 1*).

En pratique, dès que l'on a une suspicion de NVC, il faut si possible pratiquer un OCT-A. Si on détecte le NVC, le diagnostic est posé. L'OCT-A est plus performant que l'angiographie pour

Revue générale

montrer le réseau néovasculaire et voir son évolution dans le temps. La répétition de l'OCT-A tous les 6 mois, par exemple, permet d'évaluer l'efficacité du traitement en termes de stabilisation de la lésion néovasculaire ou de son

extension, de mauvais pronostic dans les néovaisseaux quiescents [2].

L'OCT-A est en revanche peu capable d'étudier avec certitude l'activité du néovaisseau, bien que de nombreuses

études aient cherché à relier la forme des NVC au risque d'évolution [3]. L'imagerie multimodale reste utile pour confronter les données de l'OCT classique et si besoin celles de l'angiographie, où le liquide intra- ou sous-rétinien et la diffusion restent les marqueurs importants d'activité du NVC.

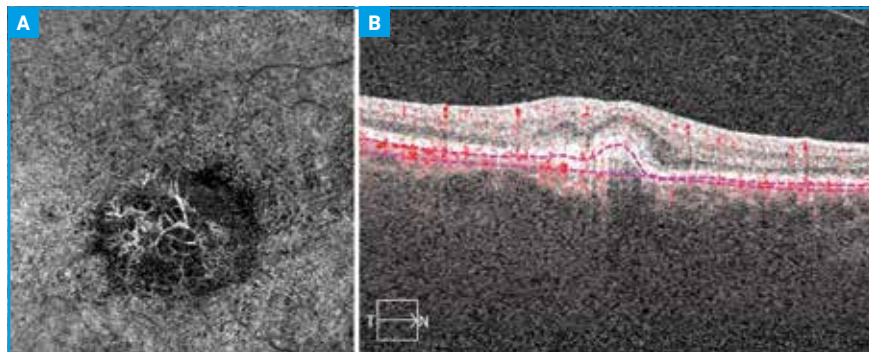


Fig. 1 : L'OCT-A est capable de détecter avec une grande netteté les réseaux néovasculaires choroïdiens (NVC) au sein d'une choriocapillaire normale et homogène (A). C'est donc l'examen de première intention s'il est disponible. Dans ce cas de NVC de type 1, la segmentation montre que le flux est limité à la couche choriocapillaire/choroïde superficielle sous l'épithélium pigmentaire et dans la lésion hyperréfléctive rétrofovéolaire typique des NVC (B). Il n'est pas nécessaire de faire un autre examen complémentaire.

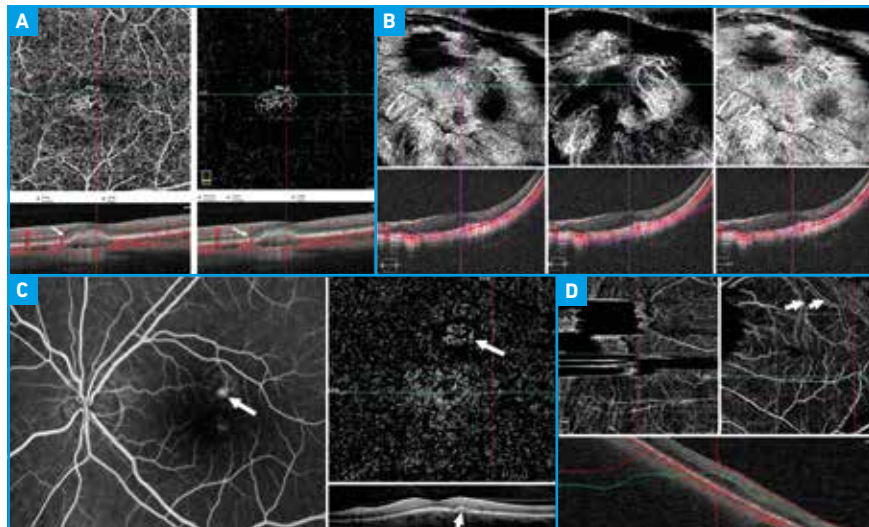


Fig. 2 : Il existe plusieurs types d'artéfacts limitant l'analyse de l'OCT-A. Des artéfacts de projection (A et B) : la réflectivité des vaisseaux superficiels se projette sur l'épithélium pigmentaire (EP) lorsque la segmentation englobe l'EP et la nucléaire externe (qui ne sont pas vascularisées), le néovaisseau choroïdien (NVC) semble noyé dans une vascularisation (A, gauche). Si on modifie la segmentation et que l'on ne garde que la choriocapillaire, la projection disparaît car elle est réfléchiée par l'EP sus-jacent et le NVC apparaît clairement (A, droite). De la même façon, on peut croire à un NVC lorsqu'on a une atrophie de l'EP et de la choriocapillaire, comme chez le myope fort (B). Les vaisseaux choroïdiens plus profonds créent un signal de flux qui se réfléchit sur la sclère et se projette dans la couche choriocapillaire étudiée. Le réseau vasculaire reste inchangé quelle que soit la position des lignes de segmentation, dans la choroïde, en pleine sclère ou les deux (B, de gauche à droite). Un autre type d'artéfact dit de bas débit est lié au seuil de débit sanguin détecté par l'OCT-A. En effet, un débit trop faible est difficilement détecté. Un NVC du myope peut être, comme dans cet exemple, peu ou pas visualisé en OCT-A (C, droite) alors qu'il diffuse clairement en angiographie (C, gauche). Enfin, les artéfacts d'erreur de segmentation comme dans les staphylomes myopiques (D, gauche) créent des zones hors signal sombres et les artéfacts de mouvements oculaires créent un aspect de double vascularisation (D, flèches à droite).

La difficulté majeure en pratique quotidienne de l'utilisation de l'OCT-A, en particulier l'image en face, demeure dans les nombreux écueils diagnostiques de cet examen. En effet, de nombreux artéfacts rendent l'interprétation délicate (fig. 2). Une étude récente de notre équipe a montré qu'en pratique courante et toute pathologie confondue, la sensibilité de l'OCT-A tombait à 65 % quand celle des examens "classiques" OCT et angiographie était de 93 %. Il faut donc garder en mémoire que, lorsqu'on ne voit pas de NVC en OCT-A, il faut les rechercher avec le reste de l'imagerie avant de conclure à l'absence de ces derniers. La cause de cet écart entre certaines études où la sensibilité frôle les 90 % et d'autres, comme la nôtre, où elle est proche de 60 % réside dans l'élimination des cas artéfactés dans certaines études. En vraie vie, les artéfacts empêchent l'interprétation dans presque 20 % des cas [4]. C'est particulièrement vrai chez les myopes forts, où la présence de staphylome crée des erreurs de segmentations et l'atrophie de l'épithélium pigmentaire peut faire confondre la visualisation des vaisseaux choroïdiens profonds normaux avec des NVC (fig. 2).

Il faut souligner l'intérêt majeur de l'OCT-A dans les cas de NVC associés aux chorioretinites séreuses centrales (CRSC). La diffusion angiographique dans les zones atrophiques rend presque impossible le diagnostic sans l'OCT-A. Dans notre étude, le diagnostic porté avec l'imagerie classique a été redressé grâce à l'OCT-A dans environ 15 % des cas, qui correspondaient souvent à des NVC associés à une CRSC. Attention toutefois, comme chez le myope fort, l'atrophie de l'épithélium pigmentaire

est associée à une hyperréflexivité des vaisseaux choroïdiens qui peut être confondue avec du flux dans la chorio-capillaire (**fig. 2**). Il ne faut donc jamais se fier uniquement à l'image en face de l'OCT-A.

L'analyse des segmentations et de l'aspect des coupes en OCT-B reste primordiale pour identifier les aspects d'épaississement ou d'irrégularités de l'EP (*flat irregular pigment epithelial detachment*, FIPED), qui sont particulièrement associés aux NVC (**fig. 3**). Il faut aussi comparer le flux et la segmentation sur les coupes B de l'OCT-A : c'est ce que l'on appelle l'analyse structurale. En effet, on peut éliminer certains artéfacts de projection en regardant si un réseau vasculaire suspect vu dans la tranche de segmentation (i.e. : choriocapillaire) n'est pas dû à une projection d'un signal de flux provenant des vaisseaux sus-jacents ou, si l'EP est atrophique, de la choroïde sous-jacente.

Enfin, les NVC liés aux stries angioïdes ou aux pathologies inflammatoires comme la choroïdite multifocale sont souvent bien vus en OCT-A. Le suivi de ces néovaisseaux peut se faire avec l'OCT-A, notamment pour évaluer la stabilisation des lésions sous traitement anti-VEGF (**fig. 3**).

Imagerie de la vascularisation rétinienne superficielle et profonde

L'analyse de la vascularisation superficielle de la rétine est probablement sous-utilisée en pratique courante. Or, l'OCT-A permet de voir les capillaires superficiels rétinien et les territoires non perfusés mieux que l'angiographie [5]. Il permet de détecter les zones de non-perfusion des gros vaisseaux mais également des territoires plus éloignés de ces derniers (**fig. 4**). Il permet surtout de quantifier de manière automatique la densité capillaire au niveau maculaire. Cela a probablement un inté-

rêt dans les pathologies ischémiques, comme la rétinopathie diabétique (RD) ou les occlusions veineuses.

En pratique courante, le champ de l'OCT-A reste petit pour évaluer l'ischémie périphérique dans ces pathologies mais, à l'avenir, si l'obtention d'une

image grand champ OCT-A devient rapide sur tous les appareils commerciaux, cette technique pourrait modifier la prise en charge de la rétinopathie diabétique, basée sur l'analyse du fond d'œil, beaucoup moins performante que l'OCT-A pour révéler et quantifier l'ischémie au cours du temps [6].

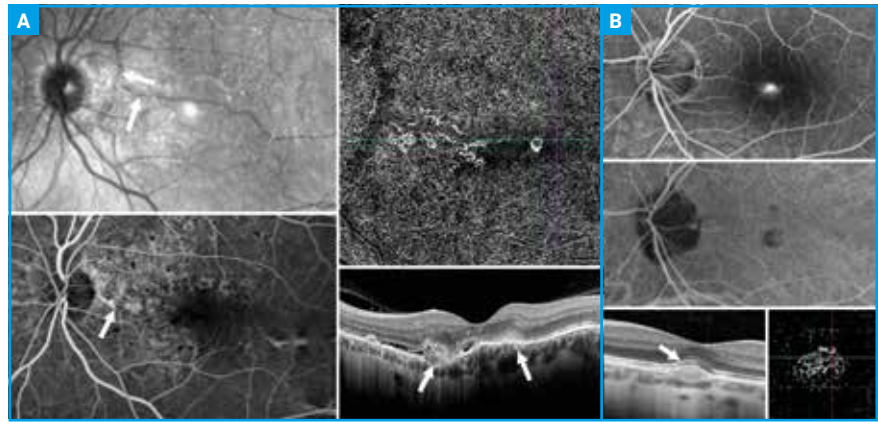


Fig. 3 : L'OCT-A permet de bien individualiser les NVC dans les pathologies inflammatoires ou compliquant les stries angioïdes. Dans les stries angioïdes (**A**), les lacis néovasculaires (NVC) sont souvent mieux visualisés en OCT-A (**A, en haut à droite**) qu'en angiographie (**A, en bas à gauche, flèche**), lorsque le NVC est petit et exsude peu (**A, en bas à droite sur l'OCT, flèches**), comme dans cet exemple de stries sur pseudoxanthome élastique. Un autre exemple de NVC sur choroïdite multifocale dont le lacis est bien individualisé en OCT-A (**B, en bas à droite**) : il n'exsude pas sur l'OCT (**B, en bas à gauche, flèche**), peu en fluorescéine (**B, en haut**) et reste hypofluorescent en indocyanine (**B, au centre**). Sans l'OCT-A, on pourrait penser que la lésion est purement inflammatoire.

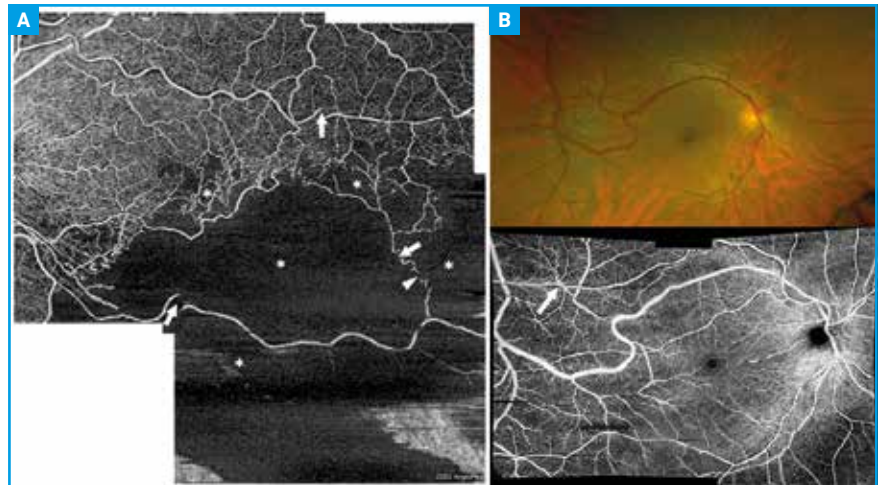


Fig. 4 : L'OCT-A permet d'imager de manière non invasive les troubles de la vascularisation du complexe vasculaire superficiel. Dans l'exemple d'occlusion de branche veineuse inférieure temporale, on voit mieux qu'en angiographie la raréfaction capillaire étendue, en particulier en temporal de la fovéa, ainsi que les vaisseaux de shunt (**A, astérisques et tête de flèche**). En revanche, l'absence de différenciation des artères et des veines et les artéfacts de mouvements (**A, flèches**) rendent plus complexe qu'en angiographie la détection exacte du lieu de l'occlusion, et le bas débit peut exagérer l'extension des zones de non-perfusion. L'OCT-A permet chez l'enfant d'éviter la réalisation d'une angiographie à la fluorescéine, comme dans cet exemple de communication artérioveineuse de type 2 (**B**). La communication est visible (**B, flèche en bas**) mais, en raison de l'absence de différenciation artère/veine, plus délicate que sur une séquence angiographique.

Revue générale

POINTS FORTS

- L'OCT-A est une technique non invasive de détection du flux sanguin dans la rétine.
- La technique est basée sur la segmentation des couches rétinienne et l'analyse du flux dans ces couches.
- 3 couches vasculaires sont étudiées mais ne correspondent pas totalement aux plexus vasculaires anatomiques : le complexe vasculaire superficiel, le complexe vasculaire profond et la choriocapillaire/choroïde superficielle.
- L'OCT-A est très spécifique pour détecter des néovaisseaux choroïdiens et des ischémies et remodelages vasculaires superficiels, mais sa sensibilité reste moyenne si on prend en compte les nombreux artéfacts limitant l'analyse des images.
- L'OCT-A vient renforcer l'arsenal de l'imagerie multimodale et est une aide déterminante dans le diagnostic dans 15 % des cas. Il ne remplace pas l'angiographie à la fluorescéine ni l'ICG.

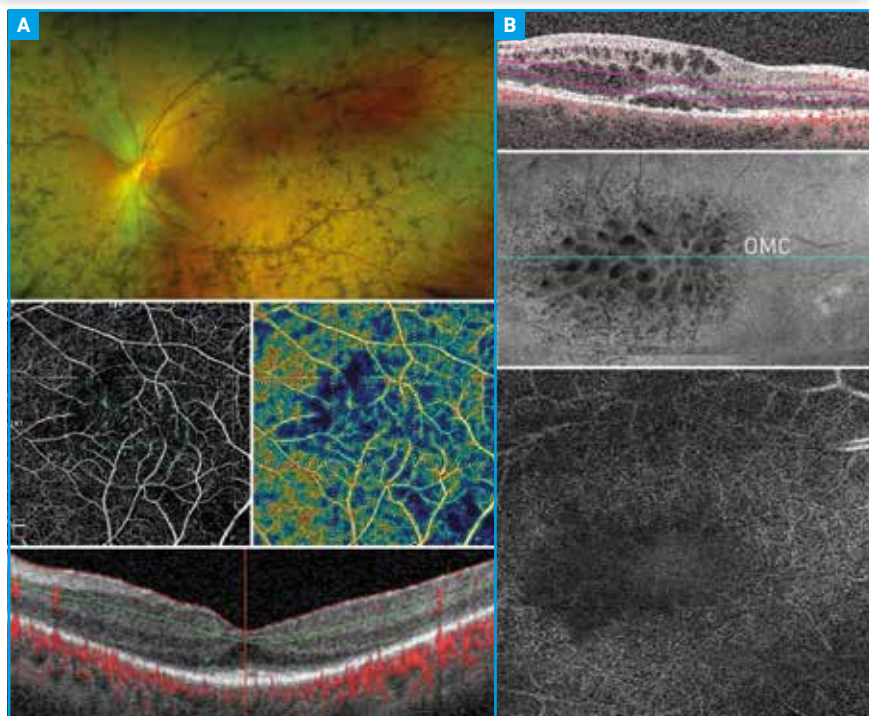


Fig. 5 : Raréfaction capillaire superficielle notable dans ce cas de rétinite pigmentaire (**A**, photographie du fond d'œil en haut). Sur les coupes OCT en bas, on note la disparition des segments externes de photorécepteurs. L'image du complexe vasculaire superficiel en OCT-A (**A**, au centre à gauche) est associée à des mesures de densité capillaire (**A**, au centre à droite) anormales montrant une densité inhomogène et réduite (**A**, zones sombres) au niveau maculaire. La raréfaction capillaire est aussi présente dans le complexe vasculaire profond, notamment dans les œdèmes maculaires cystoïdes (OMC). Ici un exemple d'OMC post-décèlement de rétine traité par huile de silicone (**B**). La couche vasculaire profonde est étudiée sur la coupe de l'OCT-A (**B**, en haut). Les kystes sont bien vus sur l'image en face (**B**, au centre). L'image de flux en face de l'OCT-A montre une raréfaction capillaire importante dans la zone des kystes maculaires, corrélée à la baisse d'acuité (**B**, en bas).

De nombreuses études tentent actuellement de trouver des corrélations entre la densité vasculaire mesurée en OCT-A et la sévérité de la RD.

La visualisation en OCT-A des occlusions vasculaires artérielles ou veineuses peut être intéressante. Elle est cependant limitée là encore par des artéfacts de segmentation, liés à la modification de réflectivité/d'architecture des couches rétinienne et à la difficulté de fixation chez les patients souffrant d'atteinte profonde (**fig. 4**).

L'étude des œdèmes maculaires liés aux occlusions de la veine centrale de la rétine (OVCR) ou à la RD a montré en OCT-A que le plexus capillaire profond était d'avantage altéré que le réseau superficiel et que cette perte était corrélée à la baisse de vision [7, 8]. L'OCT-A permet aussi de mesurer automatiquement la zone avasculaire centrale (FAZ), elle est anormalement agrandie dans les pathologies vasculaires (RD, OVCR...). L'atteinte du réseau profond semble être présente dans d'autres pathologies œdémateuses : notre équipe a montré des anomalies dans le plexus capillaire profond des patients opérés de décollement de rétine, notamment en présence de kystes de la couche nucléaire interne, associés à une moins bonne récupération visuelle, mais le réseau superficiel était paradoxalement peu atteint [9] (**fig. 5**).

La raréfaction capillaire détectée en OCT-A n'est pas cantonnée aux maladies vasculaires de la rétine ni aux œdèmes maculaires : les patients souffrant de dystrophies rétinienne, comme une rétinite pigmentaire ou une maladie de Stargardt, ont une raréfaction capillaire importante (**fig. 5**).

Un avantage indéniable de l'OCT-A sur l'angiographie est la possibilité d'étudier la vascularisation des couches internes de la rétine. L'OCT-A a d'ailleurs permis de redéfinir plus clairement les réseaux capillaires vascularisant la rétine. La segmentation de la plupart des machines ne

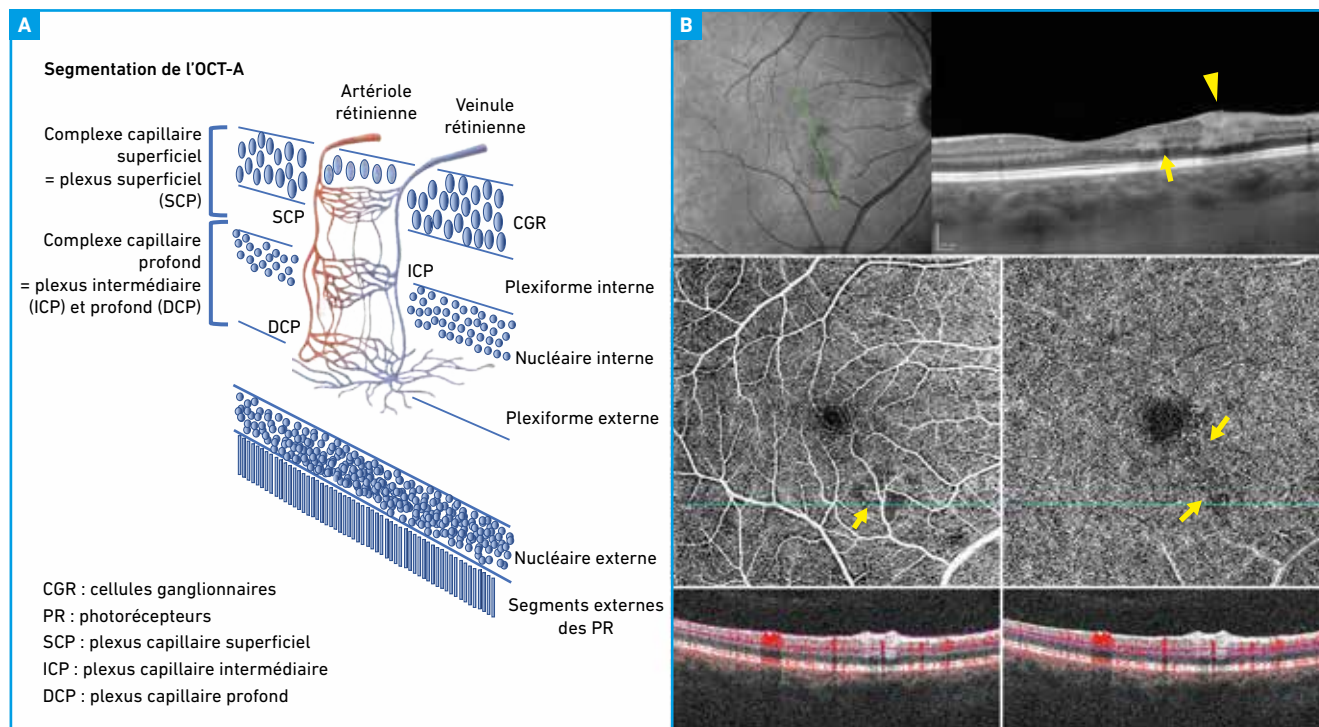


Fig. 6 : L'OCT-A permet d'étudier les complexes vasculaires superficiels et profonds de la rétine. Ces réseaux ne correspondent pas tout à fait à l'anatomie, le complexe profond correspond en effet à l'ensemble du flux du plexus intermédiaire et du plexus profond rétinien (A). L'atteinte du réseau vasculaire profond est typique dans la PAMM (*paracentral acute middle maculopathy*), l'OCT-A permet de détecter l'atteinte du réseau profond (B, au centre à droite, flèches), ce que l'angiographie ne peut pas faire. On peut voir sur cette patiente de 32 ans que l'atteinte hyperréfléctive typique de la PAMM dans la nucléaire interne (B, en haut, flèche) s'étend dans ce cas aux couches plus internes (B, en haut, tête de flèche), l'ischémie est visible en OCT-A avec une raréfaction capillaire superficielle (B, au centre à gauche, flèche).

permet pas de dissocier tous les plexus capillaires, c'est pourquoi on parle aujourd'hui de complexe capillaire superficiel et de complexe capillaire profond en OCT-A, au lieu de leur anciennes dénomination de plexus. En effet, les plexus capillaires intermédiaire et profond, anatomiquement différents, ne peuvent pas être dissociés sur la plupart des OCT-A (fig. 6). Certaines pathologies qui touchent électivement le réseau capillaire profond comme la PAMM (*paracentral acute middle maculopathy*) peuvent être diagnostiquées grâce à la détection en OCT-A d'une ischémie du complexe vasculaire profond (fig. 6). De la même façon, les anomalies vasculaires dans le plexus profond en OCT-A permettent de faire précocement le diagnostic de télangiectasies maculaires de type 2 (MacTel 2) et de mieux surveiller ces anomalies qu'avec l'angiographie, dont la diffusion masque le remodelage vasculaire.

Enfin, certaines pathologies restent mieux diagnostiquées avec l'angiographie car, lorsque le flux est faible dans certaines anomalies vasculaires, le seuil de détection du flux par l'OCT-A peut ne pas être

atteint [10]. C'est typiquement le cas des microanévrismes diabétiques, mal vus en OCT-A, ou des macroanévrismes artériels (fig. 7). Dans ces pathologies, l'angiographie à la fluorescéine reste le standard.

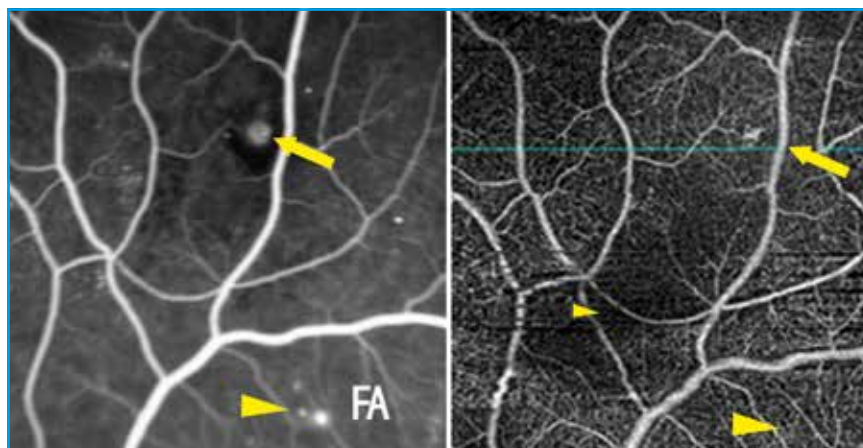


Fig. 7 : Certaines pathologies vasculaires sont moins visibles en OCT-A (à droite) qu'en angiographie à la fluorescéine (à gauche, FA), probablement car le débit dans ce type de lésion n'atteint pas le seuil de détection de l'OCT-A. Cet exemple de rétinopathie hypertensive compliquée de microanévrismes (têtes de flèches) et d'un macroanévrisme (flèche) est révélateur.

■ Revues générales

■ Conclusion

En pratique courante, l'OCT-A est très utile pour le suivi de certaines pathologies qui sont difficiles à diagnostiquer sans ce dernier : les NVC quiescents, les NVC associés aux CRSC, les MacTel 2. La présence de nombreux artéfacts liés à la technique elle-même limite encore grandement son utilisation dans trop de cas pour pouvoir se passer du reste de l'imagerie, en particulier l'angiographie à la fluoresceïne. L'OCT-A fait donc partie de l'imagerie multimodale mais ne remplace pas l'imagerie classique.

Son apport pourrait être plus essentiel si, dans le futur, la technique évolue, avec une résolution des artéfacts, une rapidité accrue d'analyse et un champ d'analyse plus grand permettant sans doute de modifier le suivi des maladies ischémiantes, en particulier la rétinopathie diabétique.

BIBLIOGRAPHIE

1. INOUE M, JUNG JJ, BALARATNASINGAM C *et al.*; The Coft-1 Study Group. A comparison between optical coherence tomography angiography and fluorescein angiography for the imaging of type 1 neovascularization. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016;57:OCT314-323.
2. SOLECKI L, LOGANADANE P, GAUTHIER AS *et al.* Predictive factors for exudation of quiescent choroidal neovessels detected by OCT angiography in the fellow eyes of eyes treated for a neovascular age-related macular degeneration. *Eye*, 2020;35:1-7.
3. COSCAS GJ, LUPIDI M, COSCAS F *et al.* Optical coherence tomography angiography versus traditional multimodal imaging in assessing the activity of exudative age-related macular degeneration: a new diagnostic challenge. *Retina*, 2015;35:2219-2228.
4. BERNARD M, MESSERLIN A, SAUER A *et al.* OCT-angiography for detection of choroidal neovascularization: a retrospective real-life study. *Ophthalmologica*, 2021 [online ahead of print].
5. COUTURIER A, REY PA, ERGINAY A *et al.* Widefield OCT-angiography and fluorescein angiography assessments of nonperfusion in diabetic retinopathy and edema treated with anti-vascular endothelial growth factor. *Ophthalmology*, 2019;126:1685-1694.
6. KASHANI A, CHEN C, GAHM J *et al.* Optical coherence tomography angiography: a comprehensive review of current methods and clinical applications. *Prog Retin Eye Res*, 2015;60:66-100.
7. COUTURIER A, MANE V, BONNIN S *et al.* Capillary plexus anomalies in diabetic retinopathy on optical coherence tomography angiography. *Retina*, 2015;35:2384-2391.
8. KADOMOTO S, MURAOKA Y, OOTO S *et al.* Evaluation of macular ischemia in eyes with branch retinal vein occlusion: an optical coherence tomography angiography study. *Retina*, 2018;38:272-282.
9. DORMEGNY L, JEANJEAN LC, LIU X *et al.* Visual impairment and macular vascular remodeling secondary to retrograde maculopathy in retinal detachment treated with silicon oil tamponade. *Retina*, 2021;41:309-316.
10. SPAIDE R, FUJIMOTO J, WAHEED N *et al.* Optical coherence tomography angiography. *Prog Retin Eye Res*, 2018;64:1-55.

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