Revues générales

Quelle place pour l'OCT-angiographie chez le patient diabétique ?

RÉSUMÉ : L'OCT-angiographie (OCT-A) est une technique d'imagerie relativement récente permettant d'identifier de manière non invasive, rapide et reproductible l'ensemble des lésions décrites dans la rétinopathie diabétique (RD). De l'élargissement de la zone avasculaire centrale et des espaces intercapillaires à la visualisation des microanévrysmes et des anomalies microvasculaires intrarétiniennes, en passant par la mise en évidence des zones de non-perfusion et des néovaisseaux prérétiniens, le tout en offrant une vue en 3 dimensions de l'architecture vasculaire rétinienne, son apport semble séduisant. Elle pourrait ainsi être utile à la fois pour le dépistage et pour la surveillance de la RD mais aussi pour préciser les indications thérapeutiques.

L'élargissement progressif vers la périphérie rétinienne du champ d'exploration accessible en OCT-A et l'introduction de nouveaux paramètres quantitatifs automatiquement calculés renforcent encore son intérêt.

Néanmoins, l'absence d'études longitudinales prospectives permettant de valider une classification de la RD et des indications thérapeutiques correspondantes sur la base des données de l'OCT-A reste encore pour l'instant une limite à son apport.

W.-M. HADDAD
Centre d'Ophtalmologie de la Baie,
AVRANCHES SAINT-MARTIN-DES-CHAMPS,
Centre d'Ophtalmologie de FOUGÈRES.

Historiquement, nos connaissances sur la rétinopathie diabétique (RD) ont été révolutionnées par l'angiographie à la fluorescéine dans les années 1960. En effet, cette dernière a confirmé que la RD est essentiellement une microangiopathie diabétique [1]. Les différentes altérations de la circulation rétinienne – les microanévrysmes, l'altération de l'arcade capillaire périfovéolaire, les anomalies microvasculaires intrarétiniennes, mais surtout l'occlusion des capillaires rétiniens avec l'ischémie rétinienne résultante et la prolifération de néovaisseaux prérétiniens, ou encore les diffusions et l'œdème résultant de la rupture de la barrière hémato-rétinienne interne – sont ainsi devenues essentielles dans l'analyse de la RD. Elles jouent en particulier un rôle déterminant dans la prise en charge thérapeutique.

L'OCT-angiographie (OCT-A) est une technique très récente (sa diffusion n'ayant commencé que dans les années 2014-2015) mais qui connaît un développement rapide et des progrès continus. Très brièvement, son principe consiste à identifier uniquement les structures mobiles du fond d'œil (donc en principe les éléments circulants au sein des vaisseaux sanguins, les autres composants non vasculaires étant *a priori* immobiles). Elle permet ainsi une visualisation non invasive de la circulation rétinienne, en évitant les inconvénients d'une injection intraveineuse et les effets secondaires potentiels liés à l'injection d'un produit de contraste (certes bénins dans l'immense majorité des cas mais pouvant aller très exceptionnellement jusqu'au choc anaphylactique et au décès).

En plus de son caractère non invasif, elle permet une nouvelle vision en 3 dimensions de l'architecture vasculaire rétinienne, contrairement aux images traditionnelles en 2 dimensions avec l'angiographie à la fluorescéine. L'OCT-A permet ainsi de visualiser (en plus de la

Revues générales

circulation choroïdienne) les 3 plexus vasculaires rétiniens : plexus capillaire superficiel (PCS), plexus capillaire intermédiaire (PCI) et plexus capillaire profond (PCP).

Si on ajoute la rapidité de l'OCT-A pour le patient et sa reproductibilité, ainsi que l'amélioration continue de la qualité des images et du champ d'analyse avec les progrès des appareils OCT et des logiciels d'analyse (*hardware* et *software*), l'intérêt de l'OCT-A dans la RD paraît évident. Des centaines de publications (dont des études françaises majeures) y ont déjà été consacrées [2-4]. Le but de cet article est de faire une brève mise au point sur le rôle actuel de l'OCT-A en pratique clinique quotidienne dans la prise en charge de la RD.

Particularités de la réalisation de l'OCT-A dans la rétinopathie diabétique

Comme pour toutes les pathologies rétiniennes, l'apport de l'OCT-A est optimal lorsqu'il est confronté aux autres données de l'imagerie, en particulier les rétinographies (surtout en couleurs) et l'examen biomicroscopique du fond d'œil, sans oublier les coupes OCT classiques (B-scan) à analyser en complément des clichés "en face" de l'OCT-A. Cependant, soulignons d'emblée que l'étendue du champ d'analyse disponible en OCT-A est primordiale pour préciser la place de cette dernière dans la prise en charge de la RD. Cet élément est donc à prendre en compte dans le protocole d'acquisition de l'OCT-A dans la RD, souvent réalisé par d'autres personnes que le médecin ophtalmologiste (orthoptistes en général).

En effet, l'importance cruciale sur le plan thérapeutique de l'identification des zones ischémiques (zones de non-perfusion en OCT-A), notamment en périphérie rétinienne, implique l'obtention de clichés sur un champ le plus large possible [5-6]. Rappelons qu'un champ de 12 × 12 mm permet théoriquement d'explorer une surface rétinienne 4 fois supérieure à un champ de 6 × 6 mm et un champ de 9 × 9 mm couvre une surface 2,25 fois supérieure à un champ de 6 × 6 mm. Le 12 × 12 mm ne représente que la limite actuelle et très provisoire du champ d'OCT-A permis par les appareils commercialement disponibles (fin 2019). Dès que des champs plus larges seront disponibles, il sera évidemment souhaitable de les utiliser.

Si l'appareil disponible et la fixation du patient le permettent, des clichés sur un champ de 12 × 12 mm (soit un champ d'environ 40°) ou de 15 × 9 mm (selon les modèles) centrés d'abord sur la macula puis, si possible, en faisant varier la fixation du patient en nasal et en temporal (idéalement nasal supérieur, nasal inférieur, temporal supérieur et temporal inférieur, soit 5 champs en incluant le champ central) offrent un intérêt majeur. On peut ensuite recourir si besoin à des montages des différents clichés obtenus (généralement automatiques avec les logiciels actuels). Il est ainsi déjà possible d'obtenir des clichés OCT-A sur un champ de l'ordre de 80 à 100° sur des modèles commercialement disponibles, notamment avec des montages de 5 champs 12 × 12 ou 9 × 15 mm (***fig. 1***). Néanmoins, un champ étroit permettant des coupes à plus haute résolution reste utile pour une analyse plus fine de certaines lésions, notamment à proximité de la zone avasculaire centrale. Enfin, une bonne coopération du patient avec une bonne qualité de fixation (et une patience de l'opérateur) sont indispensables.

On peut aussi souligner l'importance de réaliser des coupes centrées sur la papille, notamment lorsqu'une exploration en grand champ incluant déjà la papille n'est pas disponible. En effet, des néovaisseaux prépapillaires sont rapportés dans 37 à 55 % des RD proliférantes [7-9]. S'ils sont parfois difficiles à repérer sur les simples rétinographies ou en biomicroscopie, ils pourraient être identifiés relativement facilement en OCT-A, même lorsque l'appareil

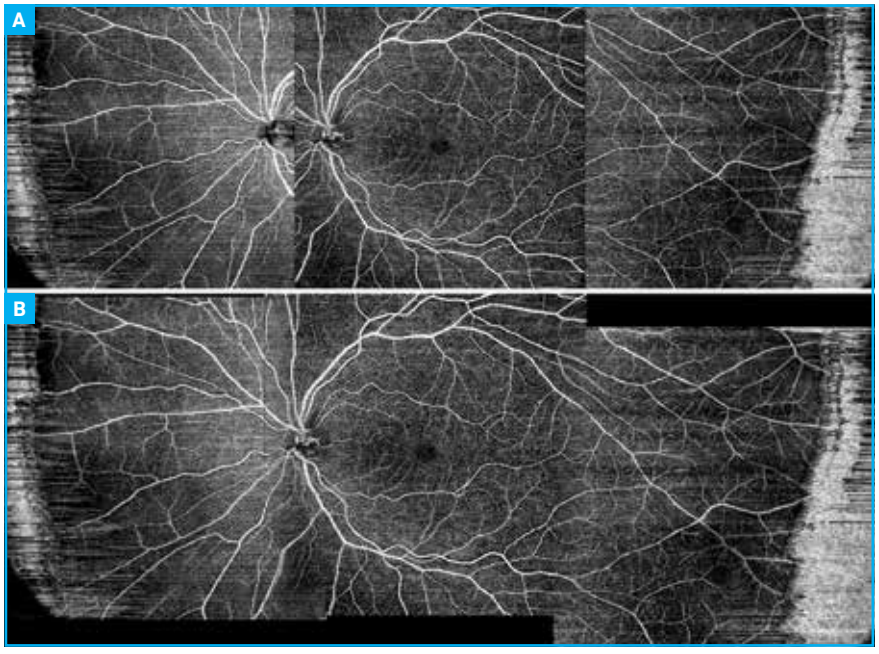

Fig. 1A : 3 clichés d'OCT-angiographie 12 x 12 mm réalisés respectivement en fixation nasale, centrale et temporale avec un appareil *swept-source* (Triton, Topcon). **B :** montage des 3 clichés offrant un champ horizontal > 100°. Noter cependant que l'identification des vaisseaux rétiniens se dégrade sur les bordures extrêmes des clichés, en rapport avec la courbure du fond d'œil, rendant la segmentation plus difficile.

est limité à des petits champs (3 × 3 ou 6 × 6 mm), à condition d'inclure la papille dans le champ d'exploration. Les conséquences thérapeutiques de la présence de néovaisseaux papillaires justifient la réalisation d'une OCT-A papillaire au moindre doute.

En pratique : indications et apport de l'OCT-A chez le patient diabétique en 2020

1. En l'absence de signes de RD au fond d'œil et/ou sur les rétinographies en couleurs

L'innocuité de l'OCT-A et son caractère non invasif permettent de la proposer à tous les patients diabétiques. En effet, l'OCT-A pourrait identifier la RD avant l'apparition de signes cliniques, que ce soit à l'examen biomicroscopique du fond d'œil ou sur les rétinographies couleur proposées pour le dépistage (***fig. 2***) [10]. Elle peut ainsi révéler des altérations de la zone avasculaire centrale (ZAC) à la fois au niveau du plexus capillaire superficiel et du complexe capillaire profond (CCP), regroupant le plexus capillaire moyen ou intermédiaire et le plexus capillaire profond. On peut noter avant tout signe clinique un élargissement de la ZAC, des irrégularités et un remodelage de l'arcade capillaire périfovéolaire, des zones de non-perfusion capillaire peu étendues, une diminution de la densité capillaire, un amincissement des couches rétiniennes internes, sans oublier bien entendu les microanévrysmes [10-13].

L'identification d'une RD avant l'apparition de signes cliniques pourrait permettre de mieux cibler les efforts de l'équipe médicale pour améliorer l'équilibre glycémique et tenter de prévenir l'apparition de signes cliniques, mais aussi une meilleure éducation du patient en lui montrant les lésions déjà présentes. Par ailleurs, il semble logique qu'une OCT-A ne détectant pas de signe de RD (notamment sur un grand champ, par exemple 12 × 12 mm ou plusieurs champs en 9 × 9 ou 8 × 8 mm) permette d'éliminer *a priori* toute indication d'angiographie à la fluorescéine…

2. En présence de signes de RD au fond d'œil et/ou sur les rétinographies en couleurs

En l'absence de grandes études longitudinales ou de consensus international validé pour la RD intégrant les données de l'OCT-A (une classification sur la base

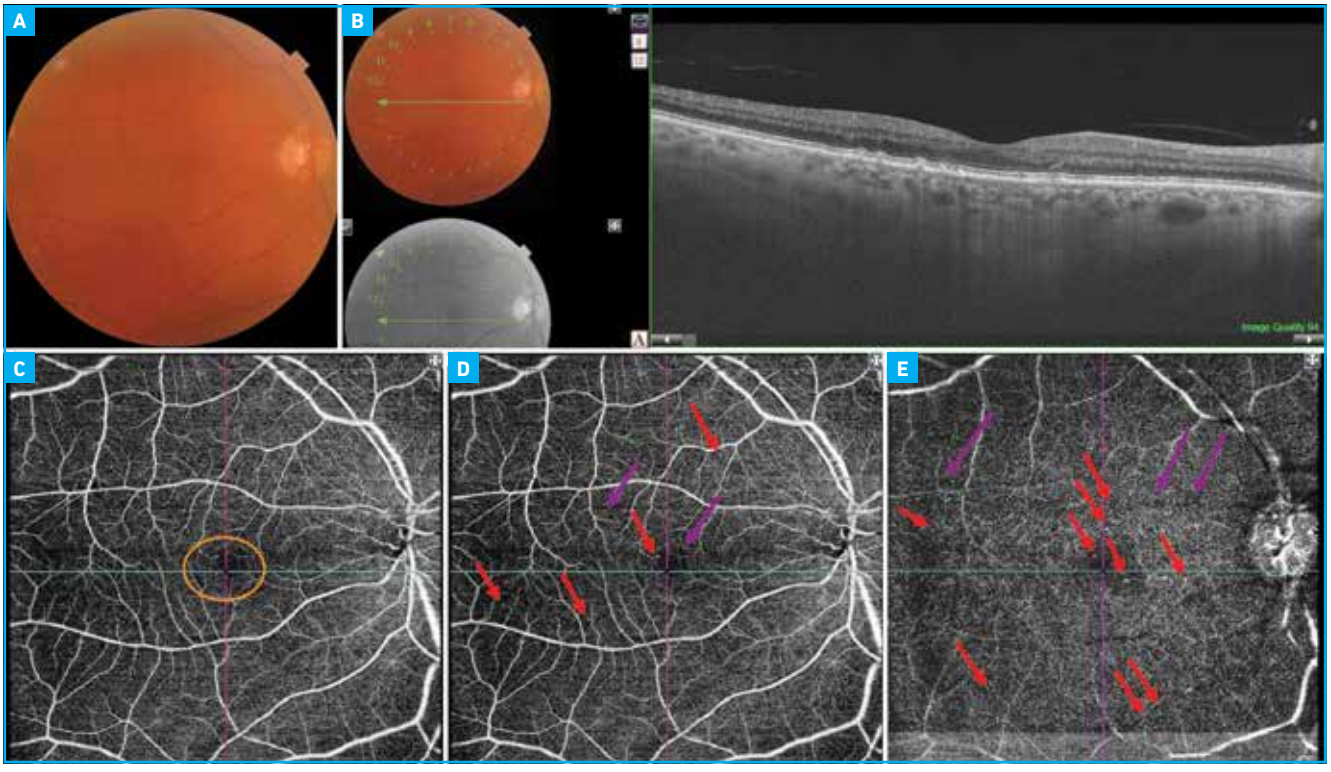

Fig. 2A : Rétinographie couleur chez un patient diabétique de 67 ans présentant aussi une cataracte. On note des drusen et des remaniements pigmentaires sans signe évident de rétinopathie diabétique. **B :** les coupes OCT confirment la présence d'une DMLA débutante et ne montrent pas d'œdème maculaire. **C :** l'OCT-angiographie révèle des signes de rétinopathie diabétique avec des ruptures de l'arcade capillaire périfovéolaire et un élargissement irrégulier de la zone avasculaire centrale (**cercle orange**) au niveau du plexus capillaire superficiel (PCS). **D :** de nombreux microanévrysmes (**flèches rouges**) et des zones de non-perfusion (**flèches violettes**) sont aussi présents. **E :** ces microanévrysmes sont plus nombreux au niveau du plexus capillaire profond qui apparaît par ailleurs désorganisé, avec une perte évidente de l'architecture en vortex.

Revues générales

de l'OCT-A faisant encore défaut), toute approche pratique basée sur l'OCT-A est forcément quelque peu arbitraire pour l'instant. Néanmoins, l'expérience clinique suggère de distinguer schématiquement 3 cas de figure :

>>> OCT-A avec des signes discrets de RD

Dans ce cas, l'OCT-A ne montre pas d'anomalie microvasculaire intrarétinienne (AMIR) ou de zones de non-perfusion d'étendue significative et bien entendu pas de néovascularisation. On observera donc ici des altérations de la zone avasculaire centrale (une des premières anomalies identifiables, souvent avant l'apparition des microanévrysmes) et/ou des microanévrysmes relativement peu nombreux sans diminution marquée de la densité vasculaire. Si tous ces critères sont remplis, en particulier sur une (ou idéalement un montage de plusieurs, souvent 5) OCT-A grand champ (12 × 12 ou 15 × 9 mm), l'OCT-A est très probablement suffisante pour la prise en charge et le suivi de la RD, *a priori* sans indication d'angiographie à la fluorescéine.

On peut néanmoins citer des cas particuliers pour lesquels l'angiographie traditionnelle à la fluorescéine garderait un intérêt pour l'instant : la détection biomicroscopique de lésions de RD sévère en périphérie rétinienne non accessibles en OCT-A (par exemple hémorragies rétiniennes nombreuses dans un ou plusieurs secteurs de la périphérie rétinienne), incitant à réaliser une angiographie en grand champ, et la présence d'un œdème maculaire focal extrafovéolaire sans indication à un traitement anti-VEGF, pour lequel une photocoagulation laser focale guidée par l'angiographie pourrait s'envisager (voir ci-dessous).

L'OCT-A permet une excellente visualisation de la zone avasculaire centrale, souvent de meilleure qualité qu'en angiographie à la fluorescéine (meilleur contraste grâce à l'absence de diffusion et la visualisation d'un seul plan vasculaire, excluant en particulier la fluorescence du fond choroïdien), et donc d'identifier les éventuelles altérations (***fig. 3 et 4***). L'intérêt de l'analyse de la ZAC est double : d'une part, il semble que son élargissement est en rapport avec la sévérité de la RD et apporte donc un indice sur le degré de l'atteinte rétinienne [3, 14], d'autre part, il s'agit d'un paramètre très facilement accessible sur le cliché du PCS et aisé à surveiller lors du suivi du patient. Des mesures automatiques de la densité vasculaire sont proposées aujourd'hui sur la plupart des appareils mais les techniques utilisées restent à valider [15]. Ces mesures pourraient s'avérer très intéressantes pour le suivi. La densité vasculaire rétinienne a été corrélée à la sévérité de la RD dans plusieurs études [16-18].

>>> OCT-A avec des signes de RD sévère ou proliférante

On considère ici les cas où l'OCT-A met en évidence des AMIR et/ou des néovaisseaux et/ou des zones de non-perfusion étendues (en particulier au-delà du pôle postérieur). Dans cette hypothèse, l'OCT-A est probablement suffisante pour la prise en charge et le suivi de la RD, permettant d'envisager

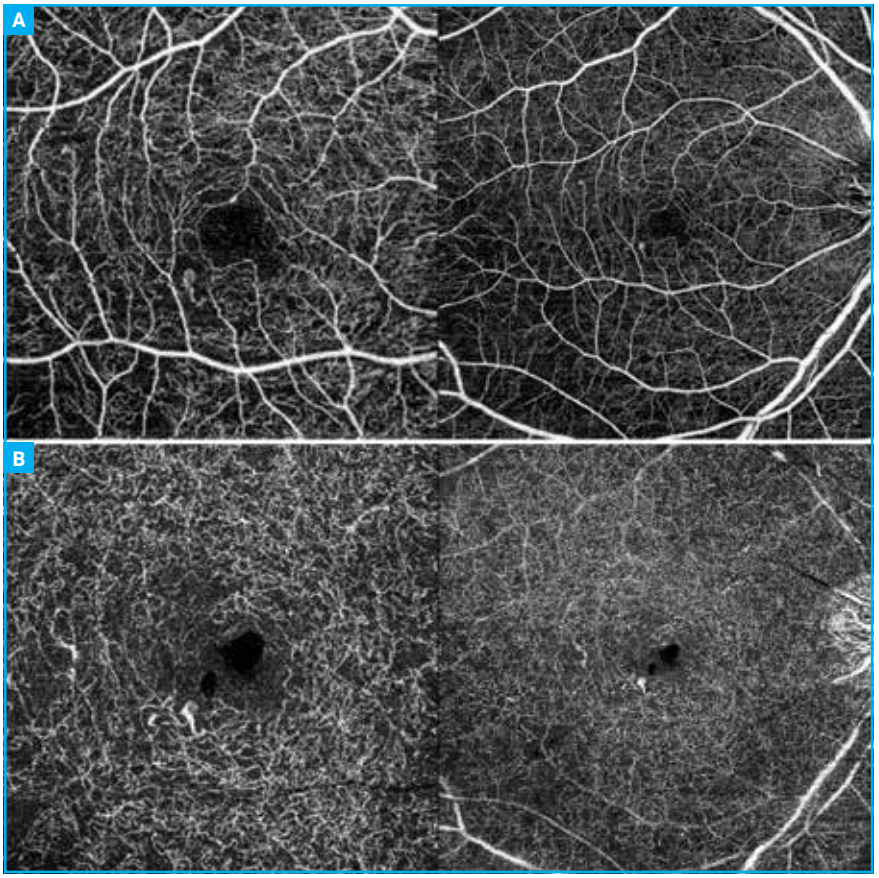

Fig. 3A : Exemple d'analyse du plexus capillaire superficiel (PCS) en 4,5 mm (**gauche**) et en 9 mm (**droite**). Les clichés du PCS permettent une excellente analyse de la zone avasculaire centrale (ZAC) et des zones de non-perfusion, ainsi qu'une bonne visualisation des microanévrysmes et des anomalies microvasculaires rétiniennes (AMIR). **B :** plexus capillaire profond (PCP) en 4,5 mm (**gauche**) et en 9 mm (**droite**). Noter la désorganisation systématique avec la perte de l'architecture normale en vortex, les microanévrysmes plus nombreux que dans le PCS et la bonne visualisation des kystes d'œdème maculaire diabétique (**noirs**). Dans les 2 cas, on remarque une meilleure analyse de la ZAC en 4,5 mm ainsi que les détails vasculaires (microanévrismes, AMIR) mieux analysés sur un petit champ avec une meilleure résolution. En revanche, l'étendue de la non-perfusion est bien mieux appréciée sur un champ plus large.

l'indication de photocoagulation panrétinienne (PPR). L'angiographie rétinienne à la fluorescéine ne semble pas indispensable et ne garderait au mieux qu'une place très accessoire, par exemple pour cibler les zones à traiter en premier en cas d'ischémie semblant localisée en OCT-A ou pour vérifier l'étendue des zones ischémiques restantes après la photocoagulation laser.

On rappellera que les AMIR sont un élément pronostique important (jusqu'à 50 % de risque de progression vers une rétinopathie proliférante à 1 an). Elles sont mieux identifiées en OCT-A par rapport à l'angiographie à la fluorescéine grâce à l'absence de diffusion, permettant un meilleur contraste. Elles se présentent sous forme de dilatations vasculaires localisées ou diffuses en bordure de zones ischémiques, de calibre variable et au flux souvent rapide (***fig. 4***). Elles sont retrouvées plus souvent au niveau du PCS. Plusieurs formes d'AMIR sont décrites (simple dilatation, boucles, boucles torsadées…) et elles pourraient évoluer vers des néovaisseaux intrarétiniens puis prérétiniens [19-20].

Si les AMIR peuvent être associées à une saillie ou "évagination" de la limitante interne (*outpouching*), une rupture de cette limitante interne signe le passage à une prolifération néovasculaire. L'OCT-A s'avère donc très utile pour distinguer AMIR et néovaisseaux. Elle permet ainsi d'identifier un éventuel flux prérétinien confirmant la présence de néovaisseaux. À noter que l'OCT-A pourrait également être très utile pour surveiller la réponse des néovaisseaux au traitement par photocoagulation laser et/ou anti-VEGF. En effet, on peut noter une régression du flux dans les néovaisseaux traités sur les clichés B-scans correspondants (***fig. 5***) [21].

POINTS **FORTS**

- L'OCT-A est un outil d'imagerie récent présentant, par rapport à l'angiographie à la fluorescéine, les avantages d'être à la fois non invasif, relativement rapide et reproductible, avec une vision en 3D et un meilleur contraste, tout en offrant une excellente visualisation des lésions décrites dans la RD.
- Sa principale limite est le champ d'exploration analysable (actuellement 12 x 12 mm) mais il est en augmentation constante. Un champ large (avec montage de plusieurs champs plus petits) est indispensable dans la RD pour bien identifier d'éventuelles zones de non-perfusion capillaire.
- L'OCT-A peut identifier les premiers signes de RD (généralement des altérations de la zone avasculaire centrale) avant l'apparition de tout signe clinique au fond d'œil. Elle permet également une excellente visualisation des anomalies microvasculaires intrarétiniennes et des néovaisseaux.
- En cas de de champ d'exploration insuffisant ou de doute sur l'indication thérapeutique sur la base de l'OCT-A, l'angiographie à la fluorescéine (de préférence en ultra-grand champ) reste indispensable.
- Malgré l'absence pour l'instant d'études longitudinales prospectives permettant de valider les indications thérapeutiques et le suivi sur la base de l'OCT-A, cet outil présente le potentiel de devenir le nouvel examen de référence dans la prise en charge de la RD à moyen terme.

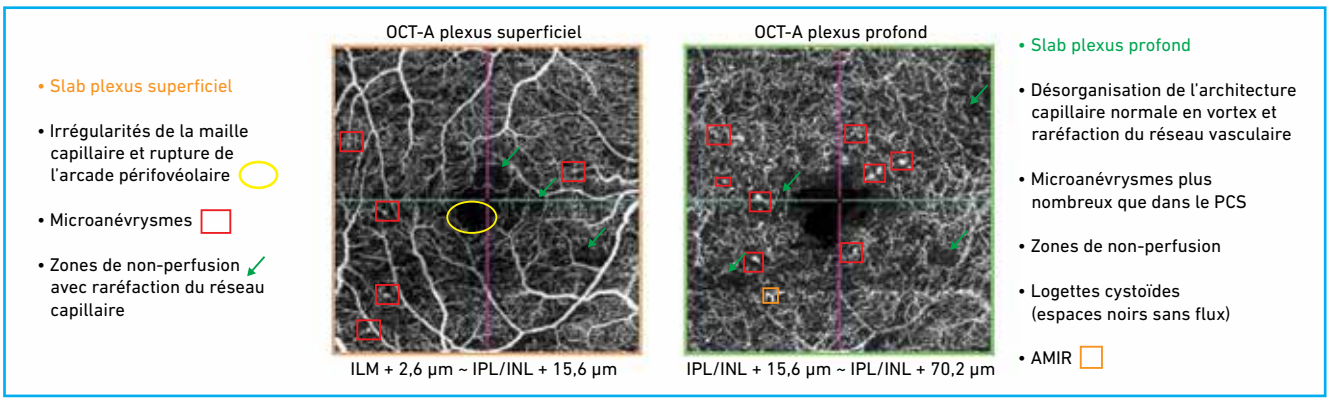

Fig. 4 : Analyse combinée d'une OCT-angiographie dans le cas d'une rétinopathie diabétique non proliférante sévère associée à une maculopathie diabétique œdémateuse (plexus capillaire superficiel **à gauche** et plexus capillaire profond **à droite**).

Revues générales

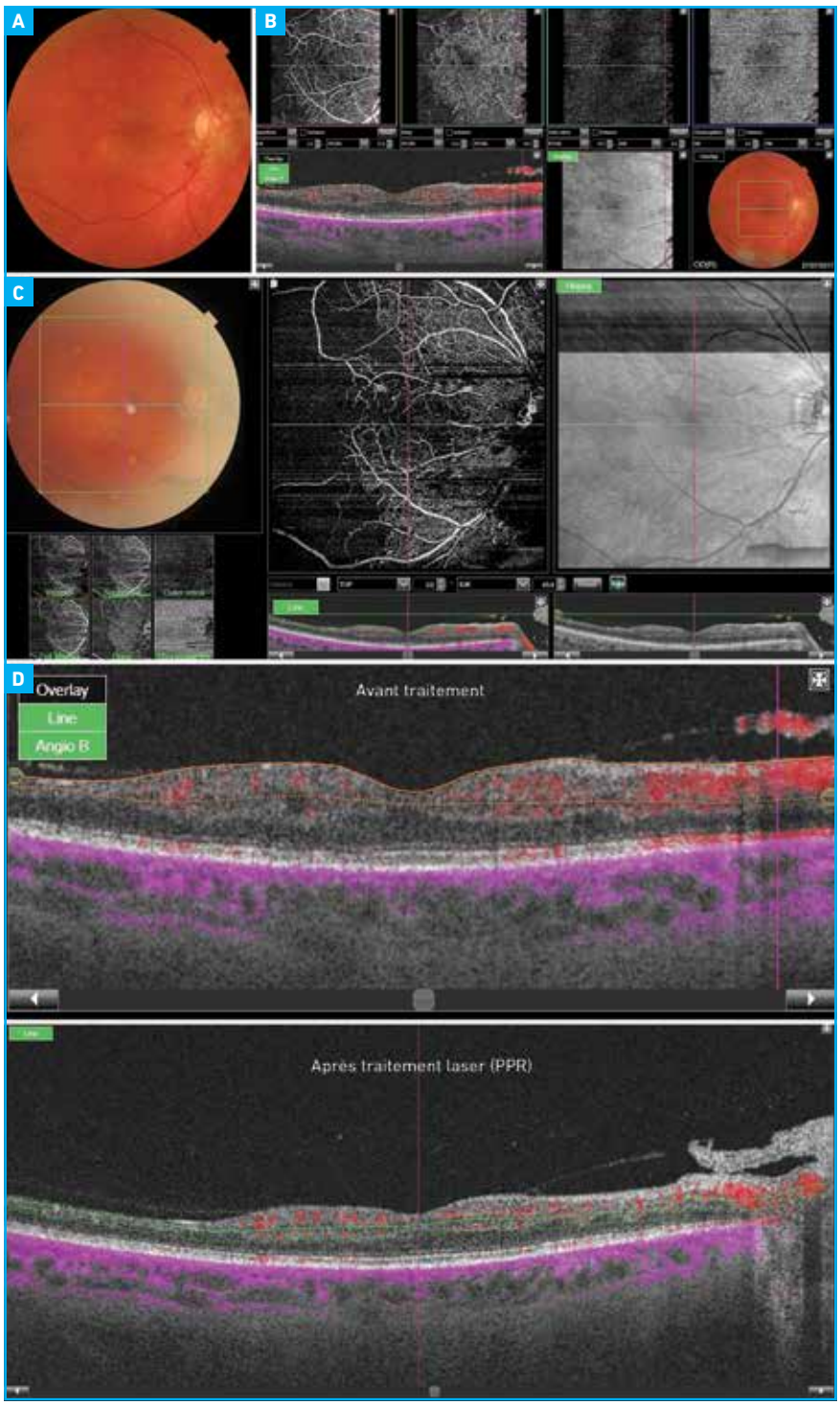

Fig. 5A : Rétinopathie proliférante avec des néovaisseaux (NV) prépapillaires bien identifiables. **B :** l'OCT-A montre le flux présent dans les NV (cliché B-scan **en bas à gauche**) mais aussi la non-perfusion au niveau des plexus capillaires superficiel et profond, même sur un champ de 6 x 6 mm. **C :** l'étendue de la non-perfusion rétinienne est bien mieux appréciée sur un champ plus large (9 x 9 mm). **D :** suivi des NV avant (**en haut**) et après (**en bas**) photocoagulation panrétinienne : le flux identifié sur les clichés de structure en B-scan n'est plus identifié après la photocoagulation.

Quant aux zones de non-perfusion, leur identification est évidemment très importante pour guider les indications thérapeutiques. Elles apparaissent sombres (absence de signal) et très bien délimitées en OCT-A, tout comme en angiographie à la fluorescéine. Là encore, l'absence de diffusion en OCT-A par rapport à l'angiographie à la fluorescéine est utile pour détecter certaines zones de non-perfusion susceptibles d'être masquées en angiographie par des diffusions, notamment en bordure des zones ischémiques. Ces zones de non-perfusion semblent plus étendues et mieux délimitées au niveau du PCS (***fig. 3 et 4***). Il semblerait que les zones de non-perfusion les plus étendues soient adjacentes à des veines tandis que celles de moindre étendue soient plus souvent adjacentes à des artères rétiniennes [22].

Une étude française très récente montre une meilleure détection des zones de non-perfusion en utilisant l'OCT-A en grand champ (en *swept-source*) par rapport à l'angiographie à la fluorescéine en ultra-grand champ [23]. La supériorité de l'OCT-A est liée à sa meilleure résolution, permettant une visualisation directe des capillaires rétiniens indépendamment de la fluorescence du fond choroïdien (grâce à l'analyse couche par couche de la circulation au fond d'œil) ou d'une éventuelle diffusion. En outre, aucune reperfusion de ces zones de non-perfusion n'a été identifiée en OCT-A comme en angiographie après 3 injections intravitréennes d'anti-VEGF [23].

Par ailleurs, l'OCT-A révèle à la fois la non-perfusion rétinienne sur les clichés de flux et le retentissement anatomique de cette ischémie sur le tissu rétinien sur les coupes de structure en B-scan (***fig. 6***). Elle a permis de préciser la corrélation entre le DRIL (désorganisation des couches rétiniennes internes) déjà décrit en OCT et l'altération de la circulation rétinienne. Ce DRIL, caractérisé par l'absence de séparation nette des différentes couches rétiniennes

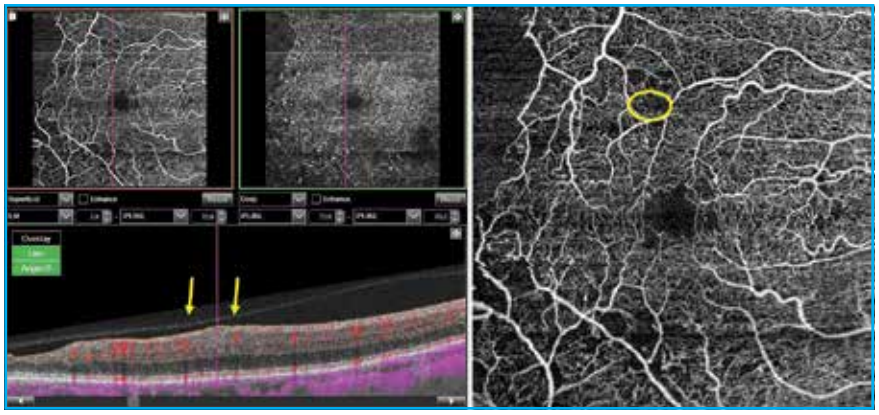

Fig. 6 : Corrélation entre la perfusion rétinienne et l'aspect morphologique. Zone de non-perfusion rétinienne (**cercle jaune**) sur les clichés en-face de l'OCT-A et aspect de DRIL (désorganisation des couches rétiniennes internes) sur le cliché de structure en B-scan (**en bas à gauche**).

internes (en particulier entre les cellules ganglionnaires, la plexiforme interne et la nucléaire interne), correspond en OCT-A à des zones ischémiques [24].

>>> OCT-A avec des signes de RD "modérée"

Il s'agit des cas intermédiaires, ne remplissant pas les critères des 2 catégories précédentes. Le clinicien pourra ici utilement recourir à l'angiographie à la fluorescéine (et en particulier à des clichés en périphérie rétinienne, de préférence en grand champ) pour préciser l'indication thérapeutique ou le rythme de suivi. Il s'agit par exemple de cas où les microanévrysmes semblent trop nombreux et/ou la densité vasculaire semble relativement abaissée ou si le champ d'exploration analysable reste trop limité (du fait de la coopération du patient ou des limites techniques de l'appareil), ou encore en cas de doute sur la présence et/ou l'étendue des zones ischémiques. Ces situations, fréquentes en pratique quotidienne, illustrent le caractère complémentaire de l'OCT-A et de l'angiographie à la fluorescéine.

3. Cas de l'œdème maculaire diabétique

L'OCT "conventionnelle" en B-scan et l'angiographie à la fluorescéine permettent déjà le diagnostic, la prise en charge et le suivi de l'œdème maculaire diabétique (OMD) focal ou diffus dans la pratique clinique quotidienne. Néanmoins, l'OCT-A a permis d'améliorer nos connaissances sur l'OMD. En effet, les logettes œdémateuses, mieux mises en évidence en OCT-A par rapport à l'angiographie à la fluorescéine du fait de l'absence de diffusion, apparaissent sous forme de zones noires (absence totale de flux ou *flow voids*), plus nombreuses et plus étendues dans le PCP (par rapport au PCS). Une colocalisation des logettes d'OMD et des zones de non-perfusion a été démontrée [4]. En outre, il existerait une corrélation entre la densité des microanévrysmes au niveau du PCP et le volume maculaire [25]. À noter aussi que l'OCT-A a montré que les zones occupées par les logettes restent dépourvues de capillaires après la régression de l'OMD sous traitement [4].

Cependant, l'œdème maculaire focal épargnant la fovéola, identifié en OCT et/ou en biomicroscopie, sans indication à un traitement anti-VEGF mais pour lequel une photocoagulation laser focale pourrait s'envisager, demeure une indication préférentielle de l'angiographie à la fluorescéine. Cette dernière reste le *gold standard* validé pour guider la photocoagulation laser. En effet, les microanévrysmes, souvent sources de diffusion alimentant l'œdème, ne sont pas toujours identifiés par l'OCT-A. Ils y apparaissent moins nombreux qu'en angiographie à la fluorescéine (jusqu'à 41 %, voire 50 % selon les études), mais l'OCT-A permet en revanche de les localiser de manière précise dans l'épaisseur rétinienne. L'OCT-A a montré que ces microanévrysmes peuvent être présents au niveau des 3 couches vasculaires rétiniennes (PCS, PCI et PCP) [26].

Les raisons potentielles de l'absence de concordance entre l'angiographie à la fluorescéine et l'OCT-A sont nombreuses : flux trop lent ou turbulent pour être détecté en OCT-A, confusion avec une vue verticale d'un capillaire rétinien sur les clichés "en-face", volume du microanévrysme parfois partiellement occupé par un thrombus (donc sans débit), très bonne imprégnation des parois vasculaires par la fluorescéine permettant une meilleure identification des microanévrysmes. Une éventuelle photocoagulation laser focale sera donc préférentiellement guidée par l'angiographie à la fluorescéine.

Limites actuelles de l'OCT-A dans la prise en charge de la rétinopathie diabétique

Elles sont de 2 ordres : techniques liées aux performances des appareils d'OCT-A disponibles et médicales avec l'absence d'études (en particulier avec des preuves de niveau 1) permettant de valider la conduite à tenir sur la base des données de l'OCT-A.

Les limites techniques sont en régression régulière avec l'amélioration de la performance des appareils. Elles sont d'abord liées à l'étendue du champ d'exploration disponible en OCT-A, dont l'importance a déjà été soulignée. En outre, même si des coupes d'une longueur suffisante étaient disponibles, la courbure du fond d'œil pourrait représenter un obstacle supplémentaire pour réaliser une segmentation correcte et des clichés interprétables (***fig. 1***), même si l'amélioration des

Revues générales

algorithmes d'analyse pourrait permettre de surmonter cet écueil.

Cependant, il ne sera peut-être pas indispensable de disposer en OCT-A d'un champ aussi large qu'en angiographie en ultra-grand champ (jusqu'à 200°). En effet, 2 études très récentes (une française et une américaine) suggèrent qu'un montage de 5 champs 12 × 12 ou 9 × 15 mm en OCT-A (équivalent à un champ d'environ 80°) serait aussi efficace que l'angiographie en ultra-grand champ pour détecter les zones de non-perfusion et d'éventuels néovaisseaux [9, 23]. Seuls 2 % des yeux présentant des néovaisseaux ne seraient pas identifiés en OCT-A selon un tel protocole, en majorité des yeux ayant déjà bénéficié d'une PPR insuffisamment complète en grande périphérie rétinienne et avec des néovaisseaux se développant au niveau de ces zones très périphériques non photocoagulées [9]. Cette dernière étude s'appuie néanmoins sur une simulation d'OCT-A grand champ et non sur des OCT-A effectivement réalisées.

Une autre contrainte technique est représentée par l'absence de fixation ou de coopération suffisante du patient, notamment pour la réalisation de champs larges. En effet, un champ 12 × 12 ou 15 × 9 mm ou même la répétition de plusieurs champs plus petits comme des 8 × 8 mm demande un effort de fixation pour le patient (même avec des modèles d'OCT avec une vitesse d'acquisition à 100 000 A-scans/seconde). Réaliser 5 champs de 12 × 12 ou 9 × 15 mm en OCT-A par œil (soit 10 au total) requiert encore aujourd'hui un temps de l'orthoptiste (et du patient) non négligeable, d'ailleurs impossible en pratique pour certains patients (mauvaise fixation, asthénie, pusillanimité, fatigue pendant l'examen, etc.). Par ailleurs, l'analyse des clichés OCT-A peut parfois être longue en raison d'un temps de chargement plus long, les clichés pesant des dizaines (voire des centaines) de méga-octets, et de la confrontation aux clichés OCT B-scans (plusieurs centaines aussi), en attendant l'aide future de l'intelligence artificielle !

Là encore, la situation s'améliore avec l'augmentation progressive de la vitesse d'acquisition des appareils et de la puissance d'analyse des logiciels associés. Cependant, en fonction de l'organisation de chaque centre d'ophtalmologie, la réalisation de quelques clichés en angiographie en ultra-grand champ (1 à 4 par œil) peut parfois être plus rapide (quelques clics quasi instantanés !) pour le patient (fixation < 1 seconde par cliché) et pour le praticien (des temps précoces et intermédiaires étant largement suffisants pour repérer une éventuelle ischémie ou des néovaisseaux, les temps très tardifs étant généralement moins utiles si une OCT est disponible), au prix certes d'une exposition aux risques, infimes mais réels, du produit de contraste (fluorescéine).

S'agissant des limites médicales, on peut là aussi espérer une amélioration (à moyen ou long terme) avec la publication d'études longitudinales permettant de valider une classification de la RD et des indications thérapeutiques en intégrant les données de l'OCT-A (et des progrès en grand champ). En attendant, l'expérience des équipes et la littérature déjà disponible permettent d'éclairer notre pratique.

Conclusion

La place de l'OCT-A dans la prise en charge de la RD est déjà centrale et en progrès constant. Les avantages représentés par le caractère non invasif, la relative facilité d'acquisition et de répétition, la très haute qualité de la visualisation des vaisseaux et des capillaires rétiniens grâce à l'absence de diffusion, l'excellent contraste et l'analyse en 3D permettant une étude indépendante de chaque couche de vaisseaux lui confèrent un intérêt exceptionnel dans la prise en charge de la RD. Les limites actuelles, qu'elles soient techniques ou liées à un manque d'études longitudinales et randomisées pour valider les indications thérapeutiques sur la base de l'OCT-A, sont sans cesse repoussées par les progrès des appareils et la publication de nouvelles données. Elles semblent pouvoir être dépassées à moyen terme.

Ainsi, même si l'angiographie à la fluorescéine et l'OCT-A restent pour l'instant 2 examens complémentaires dans beaucoup de cas, cette dernière pourrait s'imposer progressivement comme le nouvel examen de référence dans la prise en charge de la RD dans les années à venir.

BIBLIOGRAPHIE

1. Amalric P, Bonnin P. L'angiographie fluorescéinique. *Bull Soc Ophtalmol Fr*, 1969:1-412.
2. Couturier A, Mané V, Bonnin S *et al.* Capillary plexus anomalies in diabetic retinopathy on optical coherence tomography angiography. *Retina*, 2015;35:2384-2391.
3. Agemy SA, Scripsema NK, Shah CM *et al.* Retinal vascular perfusion density mapping using optical coherence tomography angiography in normals and diabetic retinopathy patients. *Retina*, 2015;35:2353-2363.
4. Mané V, Dupas B, Gaudric A *et al.* Correlation between cystoid spaces in chronic diabetic macular edema and capillary nonperfusion detected by optical coherence tomography angiography. *Retina*, 2016;36:S102-S110.
5. Wessel MM, Aaker GD, Parlitsis G *et al.* Ultra-wide-field angiography improves the detection and classification of diabetic retinopathy. *Retina*, 2012;32:785-791.
6. Silva PS, Cavallerano JD, Haddad NM *et al.* Peripheral lesions identified on ultrawide field imaging predict increased risk of diabetic retinopathy progression over 4 years. *Ophthalmology*, 2015;122:949-956.
7. Diabetic Retinopathy Study Group. Diabetic retinopathy study. Report number 6. Design, methods, and baseline results. Report number 7. A modification of the Airlie House classification of diabetic retinopathy. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 1981;21:1-226.

8. Jansson RW, Froystein T, Krohn J. Topographical distribution of retinal and optic disc neovascularization in early stages of proliferative diabetic retinopathy. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012;53:8246-8252.
9. Russell JF, Flynn HW Jr, Sridhar J *et al.* Distribution of diabetic neovascularization on ultra-widefield fluorescein angiography and on simulated widefield oct angiography. *Am J Ophthalmol*, 2019;207:110-120.
10. de Carlo TE, Chin AT, Bonini Filho MA *et al.* Detection of microvascular changes in eyes of patients with diabetes but not clinical diabetic retinopathy using optical coherence tomography angiography. *Retina*, 2015;35:2364-2370.
11. Takase N, Nozaki M, Kato A *et al.* Enlargement of foveal avascular zone in diabetic eyes evaluated by en face optical coherence tomography angiography. *Retina*, 2015;35:2377-2383.
12. Dimitrova G, Chihara E, Takahashi H *et al.* Quantitative retinal optical coherence tomography angiography in patients with diabetes without diabetic retinopathy. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2017;58:190-196.
13. Kim AY, Chu Z, Shahidzadeh A *et al.* Quantifying microvascular density and morphology in diabetic retinopathy using spectral-domain optical coherence tomography angiography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016;57:362-370.
14. Bhanushali D, Anegondi N, Gadde SG *et al.* Linking retinal microvasculature features with severity of diabetic retinopathy using optical coherence tomography angiography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016;57:OCT519-525.
15. Pedinielli A, Bonnin S, Sanharawi ME *et al.* Three different optical coherence tomography angiography measurement methods for assessing capillary density changes in diabetic retinopathy. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina*, 2017;48:378-384.
16. Samara WA, Shahlaee A, Adam MK *et al.* Quantification of diabetic macular ischemia using optical coherence tomography angiography and its relationship with visual acuity. *Ophthalmology*, 2017;124:235-244.
17. Zhang M, Hwang TS, Dongye C *et al.* Automated quantification of nonperfusion in three retinal plexuses using projection-resolved optical coherence tomography angiography in diabetic retinopathy. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016;57:5101-5106.
18. Lavia C, Couturier A, Erginay A *et al.* Reduced vessel density in the superficial and deep plexuses in diabetic retinopathy is associated with structural changes in corresponding retinal layers. *PLoS One*, 2019;14:e0219164.
19. Lee CS, Lee AY, Sim DA *et al.* Reevaluating the definition of intraretinal microvascular abnormalities and neovascularization elsewhere in diabetic retinopathy using optical coherence tomography and fluorescein angiography. *Am J Ophthalmol*, 2015;159:101-110.
20. Arya M, Sorour O, Chaudhri J *et al.* Distinguishing intraretinal microvascular abnormalities from retinal neovascularization using optical coherence tomography angiography. *Retina*, 2019 [Epub ahead of print].
21. Schwartz R, Khalid H, Sivaprasad S *et al.* Objective evaluation of proliferative diabetic retinopathy using OCT. *Ophthalmol Retina*, 2019 [Epub ahead of print].
22. Ishibazawa A, De Pretto LR, Alibhai AY *et al.* Retinal nonperfusion relationship to arteries or veins observed on widefield optical coherence tomography angiography in diabetic retinopathy. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2019;60:4310-4318.
23. Couturier A, Rey PA, Erginay A *et al.* Widefield OCT-angiography and fluorescein angiography assessments of nonperfusion in diabetic retinopathy and edema treated with antivascular endothelial growth factor. *Ophthalmology*, 2019;126:1685-1694.
24. Das R, Spence G, Hogg RE *et al.* Disorganization of inner retina and outer retinal morphology in diabetic macular edema. *JAMA Ophthalmol*, 2018;136:202-208.
25. Hasegawa N, Nozaki M, Takase N *et al.* New insights into microaneurysms in the deep capillary plexus detected by optical coherence tomography angiography in diabetic macular edema. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016;57:348-355.
26. Simonett JM, Scarinci F, Picconi F *et al.* Early microvascular retinal changes in optical coherence tomography angiography in patients with type 1 diabetes mellitus. *Acta Ophthalmol*, 2017;95:e751-755.

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