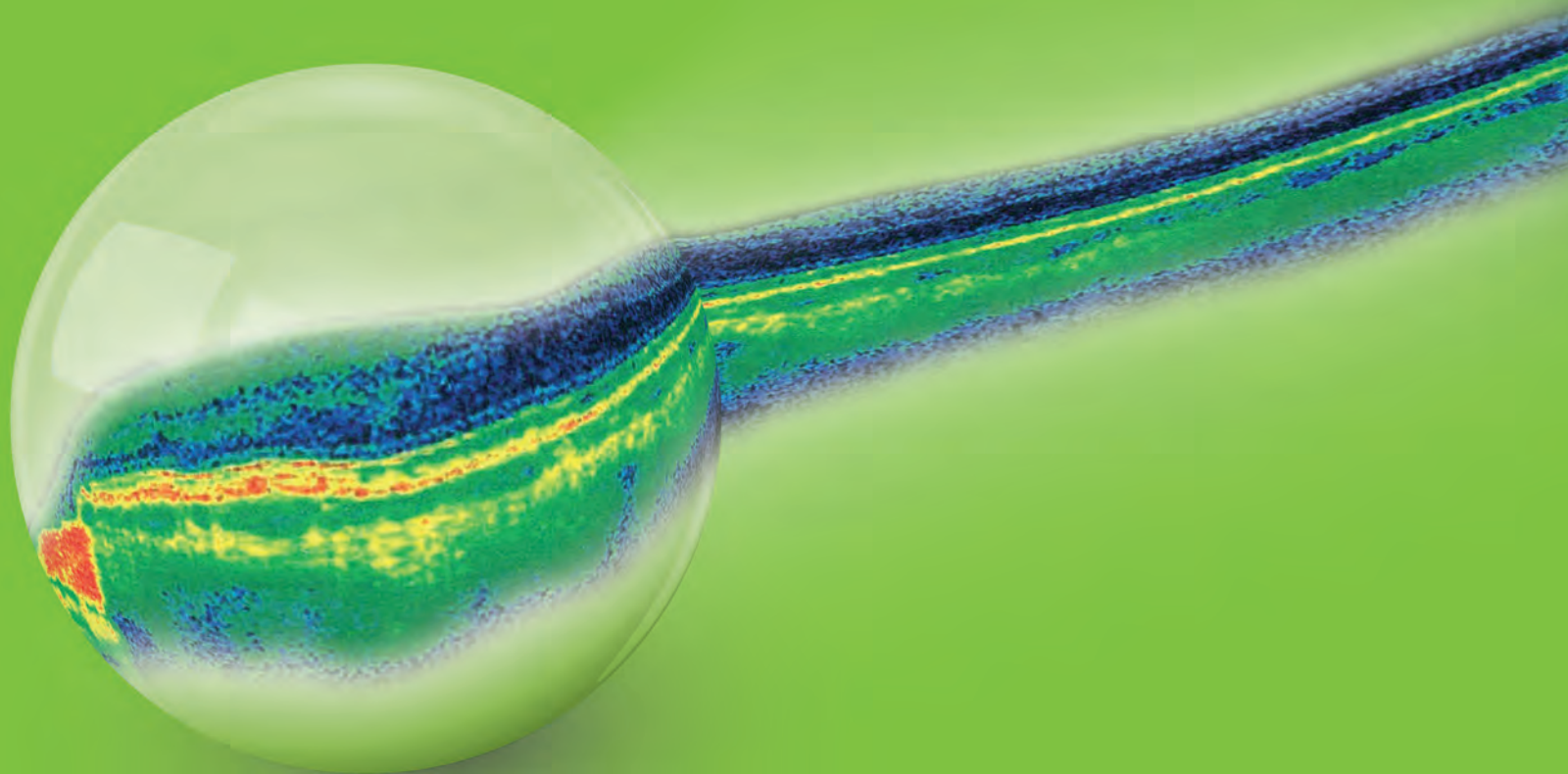


OCT & NERF OPTIQUE

Pr. Jean-Philippe Nordmann

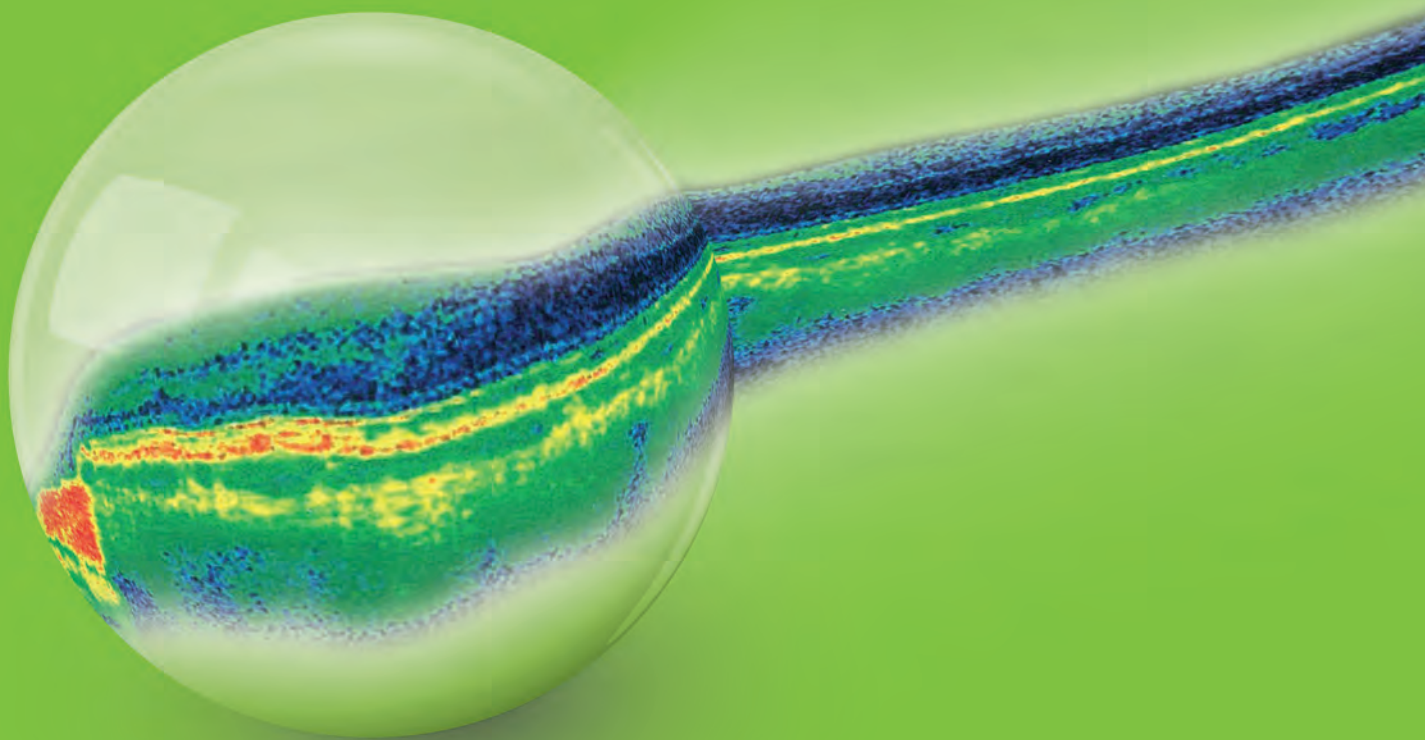
Centre du Glaucome - Hôpital des Quinze-Vingts, Paris



OCT & NERF OPTIQUE

Pr. Jean-Philippe Nordmann

Centre du Glaucome - Hôpital des Quinze-Vingts, Paris



Edition

Edité par :
Laboratoire Théa
12 Rue Louis Blériot
63000 Clermont-Ferrand
Tél : 04 73 98 14 36

Carl Zeiss Meditec France SAS
100 Route de Versailles
78160 Marly-le-Roi
Tél : 01 34 80 21 00

Le contenu de cet ouvrage présente le point de vue de l'auteur et ne reflète pas nécessairement les opinions du laboratoire Théa et de la société Carl Zeiss.

Conception - Réalisation : Elwood

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans autorisation préalable et écrite de l'éditeur est interdite et illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et d'autre part les analyses courtes et citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 11 mars 1957 art. 40 et 41. Et Code Pénal art. 425).

Pr. Jean-Philippe NORDMANN

Centre Hospitalier National d'Ophtalmologie des Quinze-Vingts
28, rue de Charenton
75012 Paris - France
j.p.nordmann@quinze-vingts.fr

Préface

Comme beaucoup d'examens complémentaires en ophtalmologie, l'OCT se conçoit dans le cadre d'une collaboration étroite entre ophtalmologistes et orthoptistes. Ce livre en est aussi le fruit. Je tiens à remercier l'équipe d'orthoptie de l'hôpital des Quinze-Vingts, et en particulier Mesdames Frédérique Brion, Audrey Payeras, Cybelle Blatrix et Monsieur Meddy Metref. Grâce à leur énergie, la plupart des pathologies du nerf optique a pu être présentée ici et les OCT mis en perspective avec d'autres examens complémentaires, en particulier les champs visuels et les photographies du nerf optique. Je tiens aussi à remercier le Pr. Philippe Denis, président de la Société Française d'Ophtalmologie pour son aide et en particulier l'apport d'exemples intéressants.

La connaissance n'a de sens que partagée. Les Laboratoires Théa et Carl Zeiss ont accepté d'éditer, de publier et de distribuer gracieusement ce livre. Je les en remercie très chaleureusement.

Introduction	Page 13
Principes de l'OCT	Page 16
Principes généraux	Page 18
Que montre réellement l'OCT ?	Page 20
Méthodes d'analyse des structures oculaires en OCT	Page 22
- Nerf optique	Page 22
- Fibres optiques autour de la papille	Page 23
- Complexe des cellules ganglionnaires maculaires	Page 24
Sources d'erreurs avec l'OCT	Page 26
- Erreurs de recueil du signal	Page 26
- Erreurs liées au positionnement de la tête	Page 26
- Erreurs liées à l'optique de l'œil	Page 29
- Erreurs liées à des images parasites	Page 30
Présentation des résultats en OCT	Page 32
Cirrus™ HD-OCT (Carl Zeiss)	Page 34
- Présentation « tête du nerf optique et analyse des fibres nerveuses rétiniennes » (RNFL et ONH : Optic Disc Cube)	Page 34
- Présentation « Analyse des cellules ganglionnaires maculaires : Macular Cube »	Page 37
OCT Optovue (RTVue).	Page 38
- Présentation « Couche des fibres nerveuses rétiniennes parapapillaires et nerf optique »	Page 38
- Présentation générale « Cellules ganglionnaires maculaires et couche des fibres nerveuses rétiniennes parapapillaires »	Page 39
Glaucome	Page 40
Les trois structures à analyser par OCT dans le glaucome	Page 42
- Nerf optique	Page 42
- Fibres nerveuses rétiniennes (RNFL)	Page 42
- Complexe des cellules ganglionnaires maculaires	Page 44
- Nerf optique ou fibres nerveuses rétiniennes : que regarder en premier dans le glaucome ?	Page 45
- Que penser s'il existe une atteinte isolée du nerf optique ?	Page 46
Glaucome pré-périmétrique	Page 48
- Glaucome pré-périmétrique : atteinte isolée de l'OCT	Page 48
- Glaucome pré-périmétrique : atteinte de la couche RNFL et du champ visuel FDT Matrix	Page 50
- Glaucome pré-périmétrique : atteinte de la couche RNFL, de la macula et du champ visuel FDT Matrix	Page 52
- Glaucome pré-périmétrique : atteinte du FDT Matrix, OCT à la limite de la normale	Page 54

Glaucome à angle ouvert débutant	Page 56
- Glaucome à angle ouvert débutant : localisation de l'atteinte concordante entre OCT et champ visuel	Page 56
- Glaucome à angle ouvert débutant : profondeur de l'atteinte concordante entre OCT et champ visuel	Page 58
- Glaucome à angle ouvert débutant : atteinte prédominante de l'OCT	Page 60
- Glaucome à angle ouvert débutant : atteinte prédominante du nerf optique sans atteinte des fibres optiques	Page 62
- Glaucome à angle ouvert débutant : comparaison entre OCT « Time Domain » et « Spectral Domain »	Page 64
Glaucome à angle ouvert modéré	Page 66
- Glaucome à angle ouvert modéré : atteinte concordante de l'OCT et du champ visuel	Page 66
- Glaucome à angle ouvert modéré : atteinte prédominante de l'OCT	Page 68
Glaucome à angle ouvert avancé	Page 70
- Glaucome à angle ouvert avancé : atteinte concordante de l'OCT et du champ visuel	Page 70
- Glaucome à angle ouvert avancé : atteinte prédominante du champ visuel	Page 72
- Glaucome à angle ouvert avancé : atteinte discordante entre OCT et champ visuel	Page 74
Glaucome à pression normale	Page 76
- Glaucome à pression normale : déficit fasciculaire isolé	Page 76
- Glaucome à pression normale débutant	Page 78
- Glaucome à pression normale modéré	Page 80
Glaucome à angle fermé ou séquelle d'une hypertonie aiguë	Page 82
Suivi du glaucome à angle ouvert	Page 84
- L'OCT peut-il s'améliorer dans le glaucome ?	Page 87
- Comparaison entre les OCT « Spectral Domain » dans le glaucome	Page 87
- OCT et analyse de la lame criblée	Page 87
Neuropathies optiques non glaucomateuses	Page 88
Sclérose en plaques	Page 91
- Neuropathie aigüe et SEP	Page 91
- Corrélation OCT et Champ visuel dans la SEP	Page 92
- Localisation de l'atteinte de l'OCT dans la SEP	Page 93
- Séquelle importante de neuropathie de SEP	Page 94
- Peut-on détecter une neuropathie infra-clinique de SEP par l'OCT ?	Page 96
Neuropathie optique aigüe non liée à la SEP	Page 98
Neuropathie optique toxique	Page 100
- Neuropathie optique toxique sans atteinte papillaire apparente	Page 100
- Neuropathie optique toxique avec atteinte papillaire et maculaire	Page 102
Neuropathie antérieure ischémique	Page 104

Neuropathie optique et uvéo-papillite	Page 106
Œdème de la papille	Page 107
- Œdème de la papille isolé, sans diffusion rétinienne	Page 108
- Œdème de la papille avec œdème sous rétinien	Page 110
Compression du nerf optique	Page 112
Atteinte du chiasma	Page 114
Amblyopie	Page 116
Atteinte périnatale du système nerveux central	Page 118
Atteinte du système nerveux central chez l'adulte	Page 120
Détermination du caractère organique d'une atteinte visuelle	Page 122
Pathologies neuro-dégénératives non ophtalmologiques	Page 124
Aspects atypiques du nerf optique pouvant évoquer une neuropathie optique en OCT	Page 126
Myopie	Page 128
Dysversion de la papille	Page 130
Excavation physiologique	Page 132
Colobome de la papille	Page 134
Aspects atypiques de la rétine pouvant évoquer une neuropathie optique en OCT	Page 136
Séquelle d'occlusion veineuse	Page 138
Rétinopathie pigmentaire	Page 140
Conclusion	Page 143
Références	Page 145

L'OCT (pour Optical Coherence Tomography) est une technique relativement récente qui permet d'obtenir des images de tissus biologiques en mesurant la réflexion de la lumière sur la structure concernée. En fonction de la longueur d'onde utilisée, les détails discernables sont de l'ordre de 1 à 15 μm , soit au moins deux fois plus fins que ce qui est accessible avec les plus performantes des méthodes conventionnelles comme l'IRM ou l'échographie à ultrasons à haute résolution. Sa principale limite est la nécessité d'analyser des structures laissant suffisamment passer la lumière pour obtenir une image réfléchie.

L'œil est à l'évidence un organe « idéal » dans ce sens, car un très grand nombre de structures oculaires sont principalement ou partiellement transparentes : cornée, cristallin, vitré, rétine neuro-sensorielle, mais aussi couches antérieures de l'iris. D'autres structures très réfléchissantes en surface comme l'épithélium pigmentaire de la rétine peuvent être étudiées.

L'OCT en 10 ans a pris une place essentielle dans le diagnostic et le suivi d'affections rétinienne et en particulier maculaires. Ceci est dû au caractère très descriptif des images OCT qui semblent reproduire un aspect presque histologique des lésions observées. Les générations plus récentes d'OCT, en multipliant les mesures, permettent non seulement de reproduire ce côté descriptif, mais aussi de réaliser une analyse quantitative des structures : épaisseur de la rétine et de chacune de ses composantes comme la couche des cellules ganglionnaires, analyse de l'anneau neuro-rétinien,...

L'imagerie rétinienne par OCT est ainsi apparue comme un élément capital pour l'analyse de l'atteinte glaucomateuse puisqu'il est dorénavant possible de quantifier l'épaisseur de la couche des fibres optiques (appelée indifféremment couche des fibres optiques ou couche des fibres nerveuses rétiniennes ou RNFL en anglais pour « Retinal Nerve Fiber Layer »), structure touchée au premier plan dans cette affection. Le nerf optique a aussi bénéficié de cette quantification (surface de l'anneau neuro-rétinien, volume de l'excavation...), si bien que toutes les régions de l'œil potentiellement modifiées dans le glaucome sont devenues accessibles avec l'OCT. L'obtention de valeurs quantitatives et la comparaison de celles-ci avec des normes permettent de préciser l'existence éventuelle et l'importance d'une atteinte glaucomateuse et autorisent un suivi.

Il est aussi possible d'analyser l'angle irido-cornéen, mais de façon moins précise il est vrai, en particulier parce que ce qui se passe à l'arrière de l'épithélium pigmentaire de l'iris reste inaccessible à l'OCT.

Le glaucome est une neuropathie optique parmi d'autres et l'OCT apparaît aussi très utile dans l'analyse de l'ensemble des affections du nerf optique et, dans une certaine mesure, du système nerveux central lorsqu'un retentissement oculaire est présent.

Cependant, comme avec toute nouvelle technique, l'analyse des résultats de l'OCT nécessite une certaine prudence d'interprétation car le mode d'acquisition des données est complexe et ne réalise pas une simple photographie des structures étudiées. Il est toujours souhaitable de regarder la qualité des résultats non seulement de façon globale, mais aussi de manière plus détaillée, lorsqu'une zone apparaît douteuse.

Une fois ces écueils évités, un nouveau champ d'explorations et surtout de réflexions s'ouvre. Quel est la signification clinique de telle ou telle atteinte ? Comment interpréter une aggravation de l'atteinte des fibres optiques si tous les autres examens sont stables ? Comment expliquer qu'au contraire telle ou telle structure ne se modifie plus en OCT alors que le glaucome s'aggrave indiscutablement ?

L'OCT évolue tellement rapidement qu'il n'est pas possible d'en dessiner clairement le profil d'utilisation et que tout document est condamné à être assez rapidement obsolète. Hier indispensable dans l'analyse de la rétine, il le devient dans le glaucome et dans les autres neuropathies optiques. Ce petit livre souhaite simplement faire le point sur l'OCT dans le glaucome et dans les pathologies du nerf optique. Un premier chapitre sur les principes et l'interprétation de l'OCT a un objectif uniquement pratique, afin d'aider le lecteur à comprendre les relevés. Le glaucome est évidemment une partie importante de ce livre, mais une part est faite à d'autres pathologies ophtalmologiques et surtout neuro-ophtalmologiques car celles-ci peuvent mimer un glaucome ou être une source de confusion si elles sont aussi présentes. Indépendamment de cet aspect de diagnostic différentiel, l'OCT a toute sa place dans l'évaluation du nerf optique en général.



Cirrus™ HD-OCT (Carl Zeiss)



Principes de l'OCT

L'OCT fonctionne en analysant la lumière réfléchiée par les zones traversées par une lumière incidente créée par un laser dont la longueur d'onde est dans l'infra-rouge autour de 840 nm. Très logiquement, lorsqu'un faisceau lumineux traverse une structure, une part de la lumière va poursuivre son chemin (surtout si la structure est assez transparente), une part va être absorbée par la structure, une part sera reflétée en tous sens et une dernière partie va être réfléchiée vers la zone d'émission.

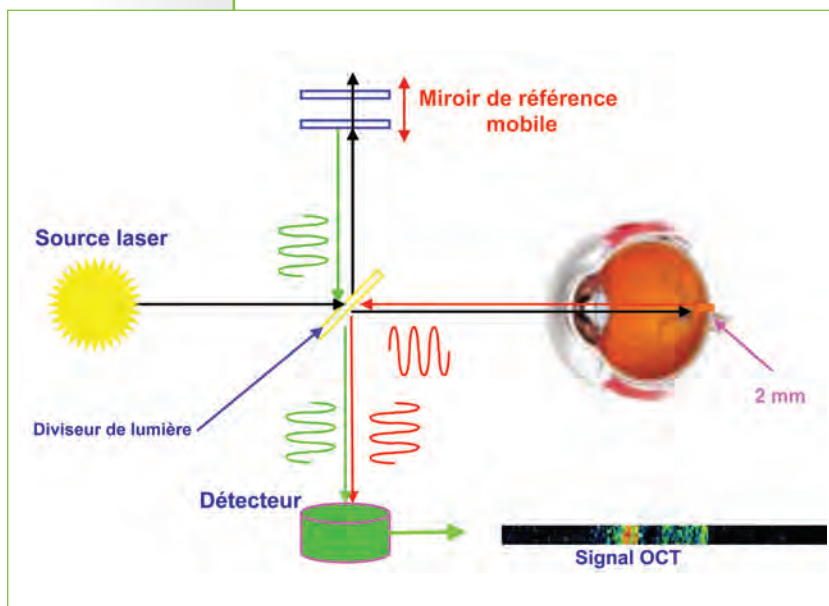
C'est cette dernière partie de la lumière qui est analysée en OCT. Elle correspond entre un milliardième et un millionième de la lumière incidente, ce qui est très faible.

Principes généraux

Les ondes sonores se propagent relativement lentement (300m/sec dans l'air) et il est possible d'enregistrer le délai de retour de cette onde directement, comme avec l'UBM. En revanche, la rapidité de la propagation d'ondes lumineuses (300.000 km/sec) ne permet pas d'enregistrer ce délai qui est de l'ordre de 30 femto secondes (30×10^{-15} sec).

L'OCT utilise le principe de l'interférométrie pour analyser ce retard. Une onde incidente est divisée en deux, l'une allant se projeter sur un miroir plan et l'autre sur l'œil. Les deux ondes ainsi créées se reflètent, l'onde envoyée sur le miroir revenant sous la forme d'un écho simple, l'onde envoyée dans l'œil sous la forme d'une multitude d'échos en fonction de la structure traversée. Ces ondes sont comparées par un interféromètre qui mesure la cohérence entre celles-ci (d'où le terme OCT pour Optical Coherence Tomography). Ceci permet de déduire l'épaisseur de la structure traversée par l'onde envoyée sur l'œil.

Cette simple mesure en un point donné et à une profondeur donnée s'appelle un A-Scan. Avec la technologie « Time Domain », le miroir se déplace à plusieurs reprises en profondeur pour analyser les différentes couches de la rétine.

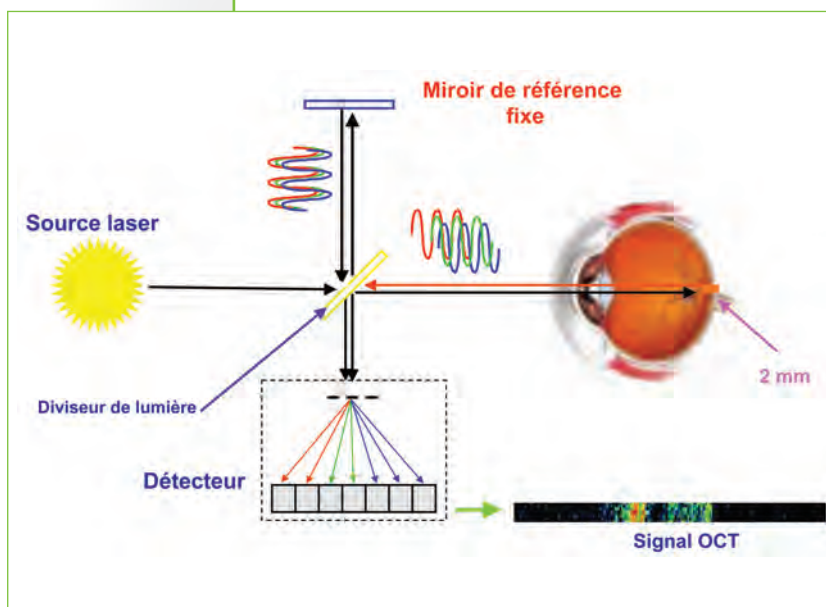


*Acquisition d'un A-scan :
Time Domain*

*Technologie OCT « Time Domain »
un miroir de référence se déplace
pour étudier successivement les
différentes profondeurs de la ré-
tine.*

Les appareils les plus rapides en Time Domain permettent une mesure de 17.000 A-Scan par sec. Ces mesures en une dimension sont ensuite recomposées en 2 dimensions pour obtenir une coupe de rétine en un endroit donné (B-Scan). La technologie Time Domain est limitée par ces mouvements de miroirs, sachant qu'un examen ne peut pas raisonnablement durer plus de quelques secondes puisqu'il est nécessaire que l'œil reste relativement fixe.

Une technologie très différente a apporté une amélioration spectaculaire à la qualité des images OCT, la technologie « Spectral Domain ». Elle utilise non plus la cohérence entre deux ondes, mais le spectre d'interférence entre les deux faisceaux réfléchis d'ondes à large spectre. Cette interférence est étudiée par analyse mathématique en utilisant la transformée de Fourier. L'énorme avantage de cette technologie « Spectral/Fourier Domain » est qu'il est possible d'analyser le rayon réfléchi non pas successivement à chaque profondeur, mais en même temps. Le miroir de référence n'a donc plus à se déplacer et ceci permet une accélération de la procédure de 50 à 100 fois.



Acquisition d'un A-scan : Spectral Domain

Technologie OCT « Spectral Domain » le miroir de référence est fixe et les différentes profondeurs de la rétine sont analysées dans un même temps.

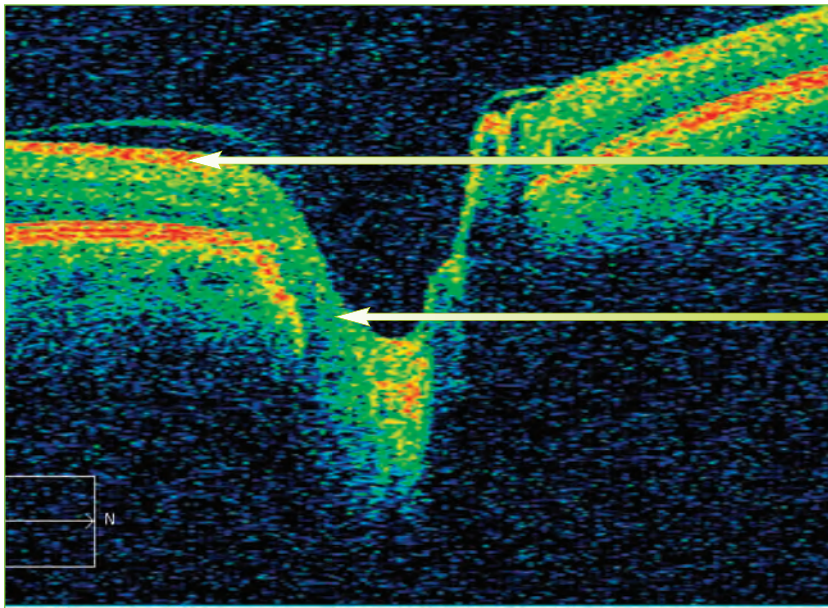
Il est ainsi possible de réaliser des mesures beaucoup plus précises (de l'ordre de $2\ \mu\text{m}$) durant un temps raisonnable d'examen. Il n'en reste pas moins que l'examen lui-même n'est pas instantané comme une simple photographie et que la qualité des résultats peut être perturbée par un mouvement oculaire. Il n'est pas instantané, parce que si les différentes profondeurs de la rétine peuvent être étudiées en même temps, il est nécessaire que le faisceau laser balaye successivement les différentes régions de cette rétine.

L'OCT montre la réflexion de la lumière dans les différentes structures oculaires. Cette réflexion est particulièrement forte lorsqu'il existe des bords nets entre deux milieux ayant des indices de réfraction différents. C'est particulièrement évident au niveau de la cornée parfaitement bien dessinée en OCT. Par ailleurs ces réflexions sont plus nettes lorsque la structure traversée est perpendiculaire à la lumière incidente, un peu comme une vitre qui reflète partiellement la lumière. De manière générale, la réflexion de la lumière (dont une partie seulement se fait vers la source incidente) est la propriété de structures inhomogènes responsables de micro-changements de l'indice de réfraction, comme les membranes cellulaires, les noyaux, le cytoplasme, les axones des cellules... Les structures les plus réfléchissantes dans la rétine sont la couche des fibres nerveuses rétiniennes (RNFL ou fibres optiques), l'épithélium pigmentaire et les couches inter-plexiformes. Plus une structure est réfléchissante, plus elle apparaît en rouge, compte tenu du code couleur décidé en OCT.

Certaines structures contiennent de la mélanine absorbant fortement la lumière. A ce niveau, réflexion et absorption sont responsables d'une réduction exponentielle de la puissance du faisceau incident interdisant à celui-ci d'explorer des régions plus lointaines. C'est la raison pour laquelle l'OCT ne permet pas l'étude précise de structures au-delà de l'épithélium pigmentaire de la rétine qui a la double propriété d'être très réfléchissant dans sa partie rencontrée en premier par la lumière, puis très absorbant dans sa zone plus basale.

A partir de ces données de réflexions lumineuses, l'OCT mesure l'épaisseur de la couche étudiée par un calcul tenant compte du délai de retour du rayon incident et de l'indice de réfraction connu de la structure traversée.

Il est donc très important de noter que les images en OCT ne sont pas des images directes de la rétine, mais une reconstitution à partir de calculs mathématiques transposés secondairement en images de fond d'œil. On peut s'en rendre compte très simplement en regardant par exemple les modifications de l'aspect des fibres optiques au niveau du nerf optique lorsque ces fibres changent de direction pour sortir de l'œil. La réflexion de la lumière sur la couche des fibres optiques apparaît en rouge. Lorsque ces fibres changent de direction en allant vers le nerf optique, cette couleur change. L'OCT n'est donc pas une coupe anatomique de la rétine.



Forte réflexion car la couche des fibres optiques est perpendiculaire à la lumière.

Faible réflexion car la couche des fibres optiques devient parallèle à la lumière

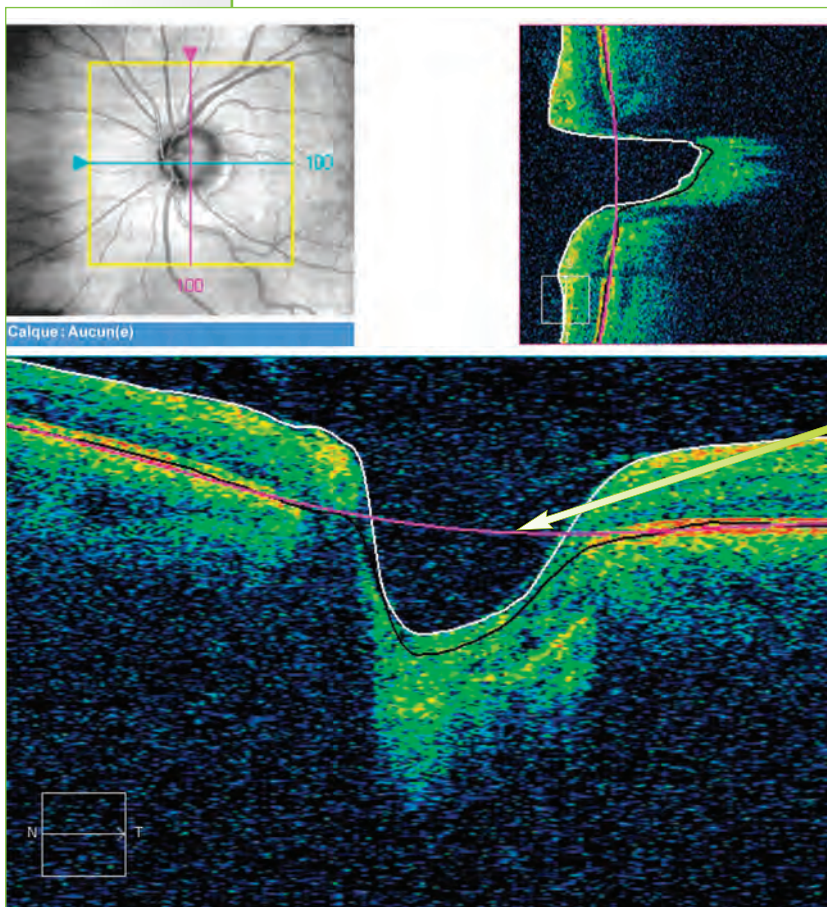
Ces remarques simples permettent, en cas de doute sur un résultat, de regarder les images obtenues et de se faire une idée sur la réalité ou non d'une atteinte.

Lorsque l'OCT analyse une couche de cellules (par exemple la couche des cellules ganglionnaires de la macula), il faut avoir en tête que la mesure correspond à l'ensemble de la couche (cellules ganglionnaires, cellules de soutien, liquide interstitiel,...) Ceci explique que, lorsqu'un glaucome est très avancé voir dépassé, la couche concernée ne disparaît pas complètement, puisque certaines cellules de soutien restent en place.

Dans ce court chapitre, ne sont revues que les structures susceptibles d'être modifiées dans le glaucome et les pathologies du nerf optique, à savoir la tête du nerf optique, la couche des fibres optiques parapapillaires et le complexe des cellules ganglionnaires maculaires.

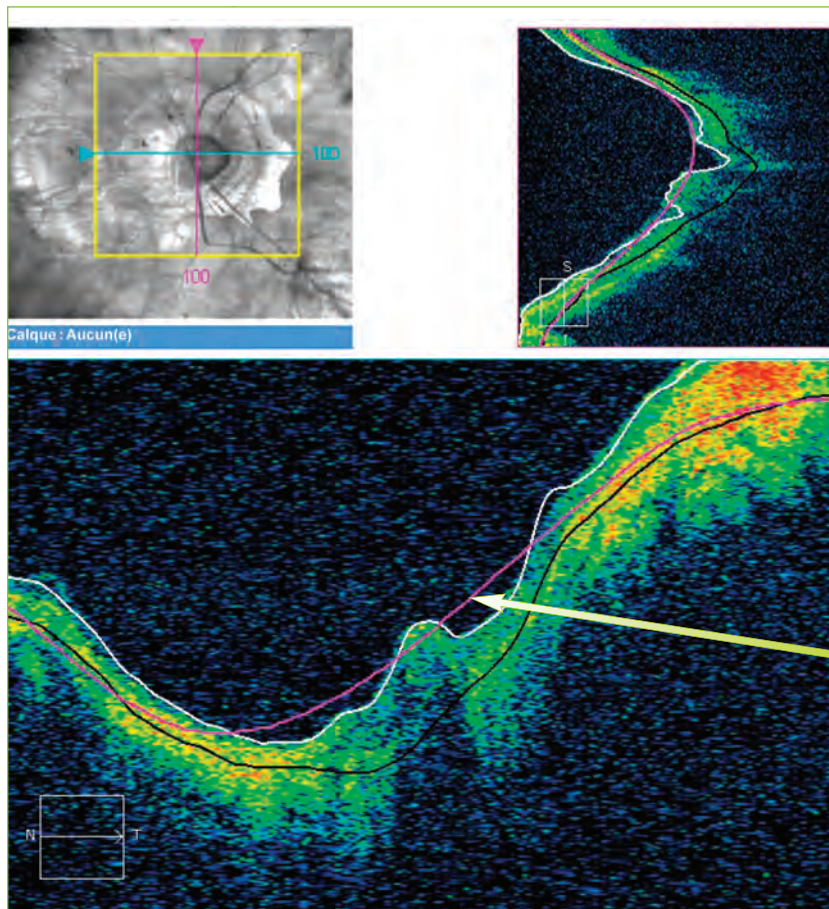
Nerf optique

Le problème initial de l'analyse du nerf optique est celui de définir les contours du nerf optique et ce qui peut être considéré comme le début de l'excavation. Un choix a été fait de définir un plan de référence qui est arbitrairement placé 150 μm au-dessus du niveau de l'épithélium pigmentaire péripapillaire. A partir de ce niveau, tout ce qui est en dessous est considéré comme correspondant à une excavation, physiologique ou pas. Il est alors possible de mesurer les paramètres papillaires : largeur et surface de l'anneau neuro-rétinien sur les différents méridiens, taille du disque et de l'excavation, rapport C/D,... Il est important de comprendre ces points car, lorsque la papille est irrégulière, les mesures peuvent être faussées par un repérage erroné de ce plan.



La région papillaire est régulière, la ligne rose détermine bien la limite entre rétine et excavation.

Œil de configuration normale

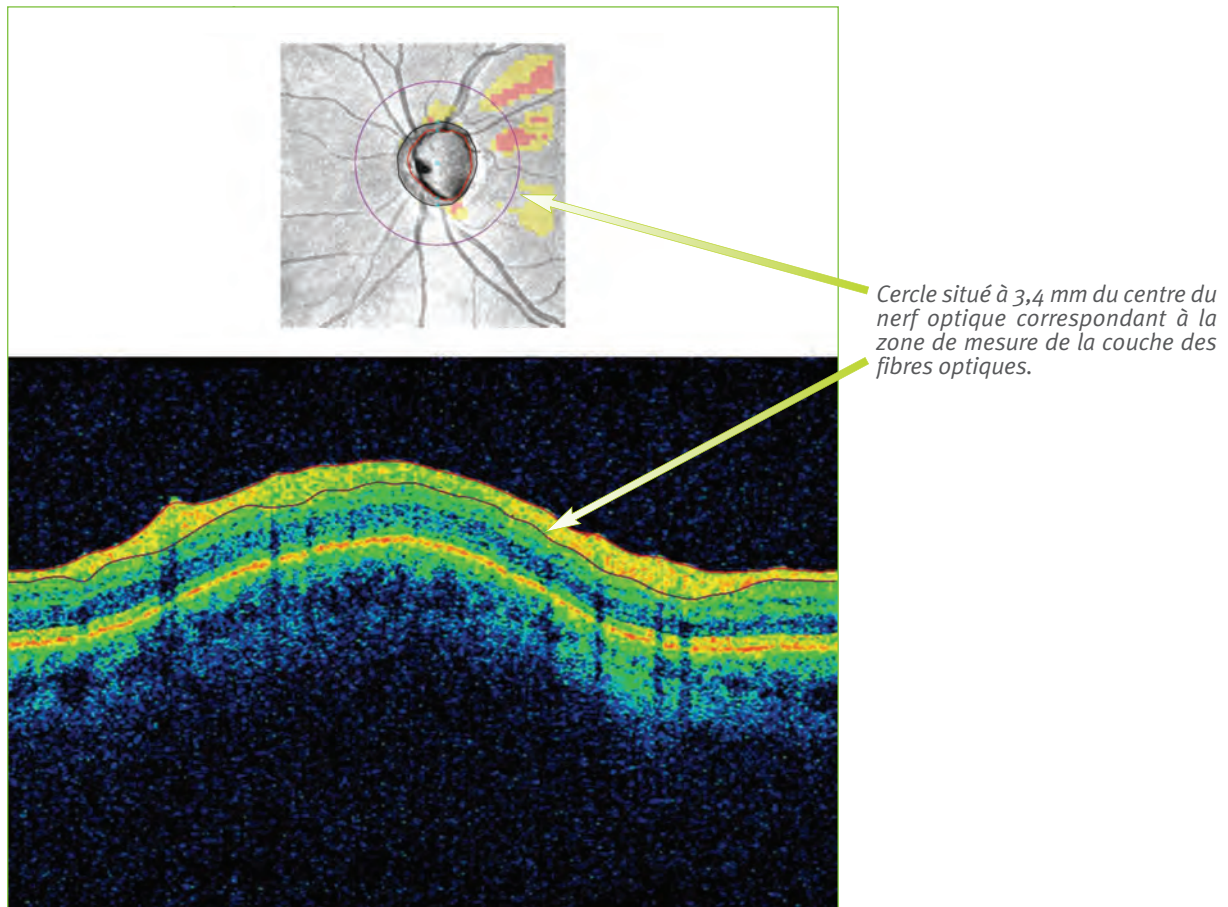


La région papillaire est irrégulière, la ligne rose détermine mal la limite entre rétine et excavation.

Forte myopie

Fibres optiques autour de la papille

Dans un premier temps, le programme de l'appareil repère les deux zones les plus réfringentes de la rétine que sont la face antérieure de la couche des fibres optiques et l'épithélium pigmentaire. Puis il va évaluer l'endroit où la réflexion de la couche des fibres optiques diminue fortement, permettant ainsi d'en mesurer l'épaisseur. La rapidité de l'examen OCT en « Spectral Domain » permet de mesurer un cube autour du nerf optique, mais il est nécessaire de choisir quelle zone va être détaillée. En fait, l'épaisseur des fibres optiques est mesurée à 3,4 mm du centre de la papille. Cette distance a été choisie car elle correspond au meilleur compromis « Epaisseur de la couche des fibres optiques/variabilité interindividuelle ». En effet, plus on est proche de la papille, plus la couche est importante et on pourrait s'attendre donc à pouvoir y détecter de petites variations. Mais, à proximité de la papille, les résultats varient d'un sujet à l'autre et en fonction de la localisation des vaisseaux et de la forme de la papille. Au contraire, si la mesure est faite loin de la papille, les résultats sont plus homogènes entre les sujets, mais la couche des fibres s'amenuise rapidement et de petites altérations deviennent moins détectables. En pratique, il a donc été décidé de mesurer la couche des fibres à 3,4 mm du centre de la papille.



Ce n'est cependant pas forcément à ce niveau-là que les premières atteintes seront retrouvées ou que le suivi se fera le mieux. Pour le suivi, des zones plus rapprochées de la papille seraient susceptibles de permettre une meilleure analyse de l'évolution.

Complexe des cellules ganglionnaires maculaires

Grâce à la technologie « Spectral Domain », il est possible de mesurer l'épaisseur de chaque couche de la rétine et en particulier la couche des cellules ganglionnaires dans la région maculaire.

Cette zone est particulièrement intéressante car ces cellules correspondent dans cette région à environ 30 % de l'ensemble de l'épaisseur de la structure. La région fovéale est peu intéressante car elle est au contraire faiblement pourvue en cellules ganglionnaires.

La plupart des appareils mesurent un ensemble comprenant « couche interplexiforme interne-corps des cellules ganglionnaires - axones des cellules ganglionnaires passant au dessus d'elles »

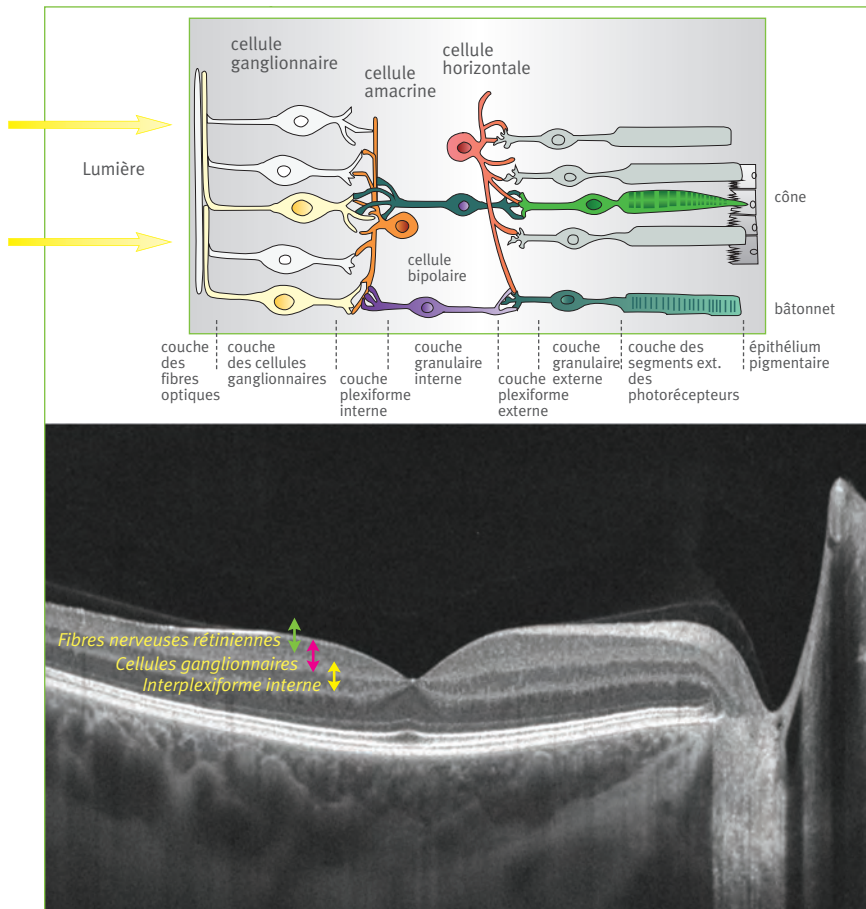


Schéma de la rétine

Les 3 couches étudiées dans le complexe des cellules ganglionnaires.

Il est possible d'affiner cette mesure afin de mieux localiser l'atteinte, en éliminant les axones des cellules ganglionnaires qui correspondent à des corps cellulaires situés à distance. Ceci est proposé par certains appareils (comme le Cirrus™ HD-OCT (Carl Zeiss)) qui élimine cette couche d'axones en ne mesurant donc plus que la couche « interplexiforme interne-corps des cellules ganglionnaires ».

L'OCT apparaît comme un examen objectif, donc moins sujet aux erreurs liées aux patients. Cependant de nombreuses erreurs peuvent survenir, liées soit à la prise de l'image, soit à la structure de l'œil.

Erreurs de recueil du signal

La qualité de la prise de l'image est capitale et n'est pas simple, puisque seulement moins d'un millionième de la lumière incidente envoyée par le laser est réfléchi vers le capteur. Cette qualité est exprimée sur les relevés sous l'expression de « Signal Strength » et doit être supérieure à 6/10 avec le Cirrus™ HD-OCT (Carl Zeiss) ou de 50 avec l'Optovue (RTvue). Un mauvais signal est souvent responsable d'une sous-estimation de l'épaisseur des fibres optiques.

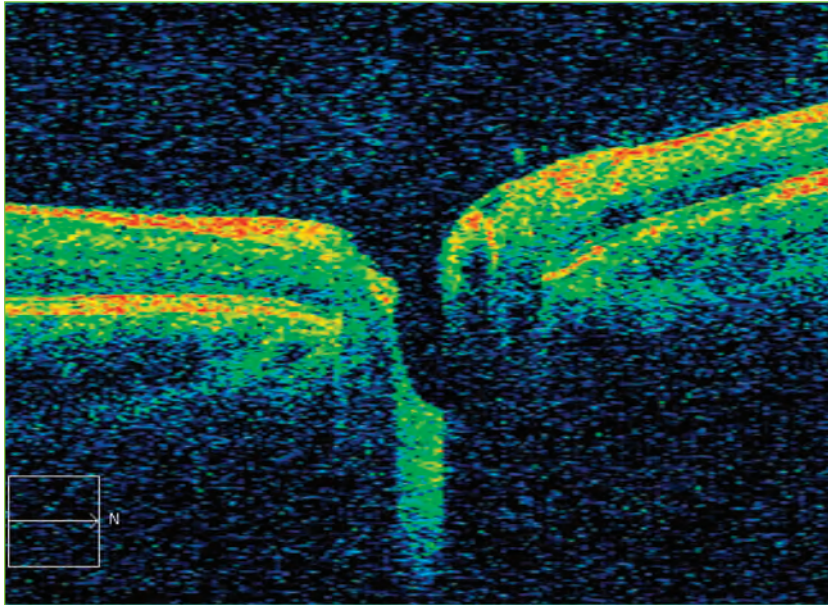
Erreurs liées au positionnement de la tête

Le principe de mesure de l'OCT repose sur la réflexion d'une lumière incidente qui dépend principalement de deux choses : les micro-modifications de l'indice de réfraction du milieu traversé et l'orientation de la structure traversée, plus celle-ci étant perpendiculaire au faisceau incident, plus la réflexion étant grande. Les erreurs de positionnement de la tête entraînent à l'évidence des modifications de l'axe de l'œil et sont donc responsables de variations des résultats.

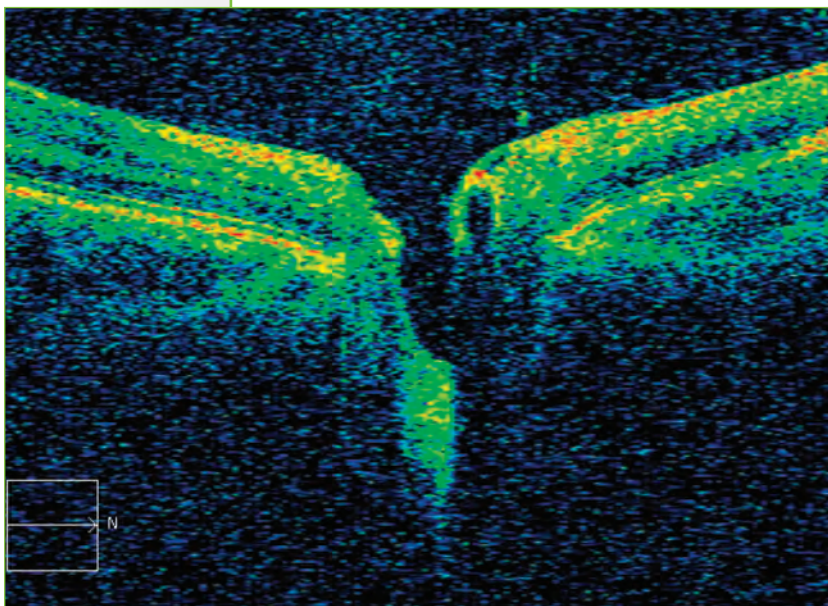
Ceci peut facilement être observé dans l'exemple ci-après en se souvenant que le code couleur de l'OCT indique que plus une couleur est rouge, plus elle est réfléchissante. Sur la présentation bien réalisée, la couche des fibres optiques parapapillaire est importante.

Lorsque le réglage en profondeur est incorrect (par exemple en étant trop loin), cette couche semble diminuer fortement, ou lorsque la tête est penchée en arrière.

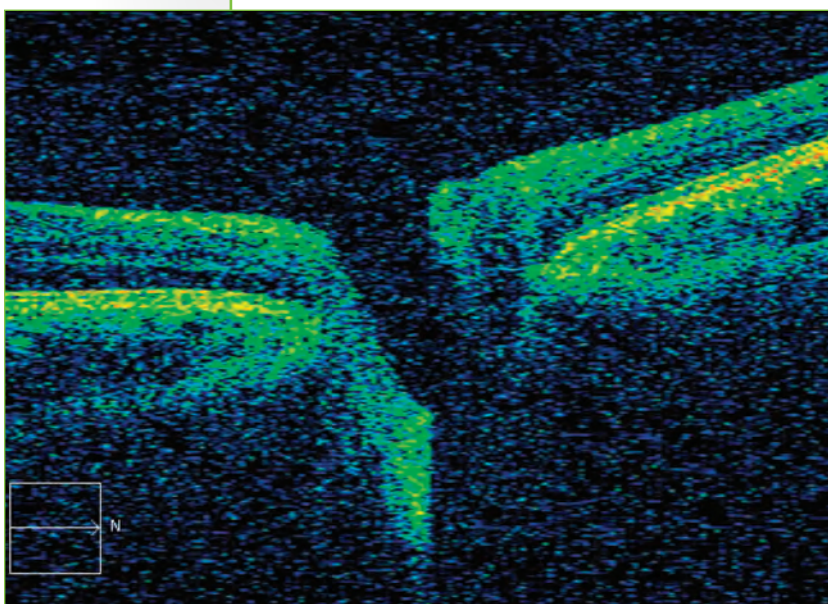
Ceci ne se traduit pas forcément sous la forme d'une qualité de signal insuffisante et ne peut donc pas être détecté facilement.



Position de la tête correcte. La couche des fibres optiques (en rouge) est normale.

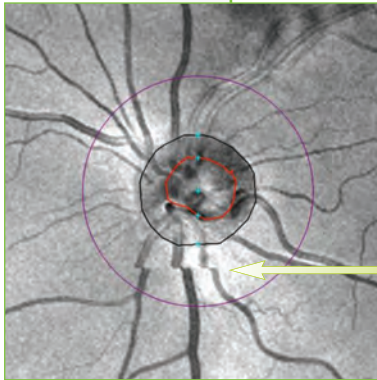


Tête penchée en arrière. La couche des fibres optiques est réduite. Même œil que le patient précédent.



Mauvais réglage en myopie. La couche des fibres optiques est réduite. Même œil que le patient précédent.

Un autre facteur responsable d'une mauvaise qualité est l'artefact lié aux mouvements de l'œil puisque le temps d'examen est d'environ 1,5 sec. Les OCT proposent des programmes de correction de ces artefacts ou, mieux, de suivi du regard pendant l'examen. Il faut néanmoins s'assurer qu'il n'y a pas de discontinuités sur les relevés.

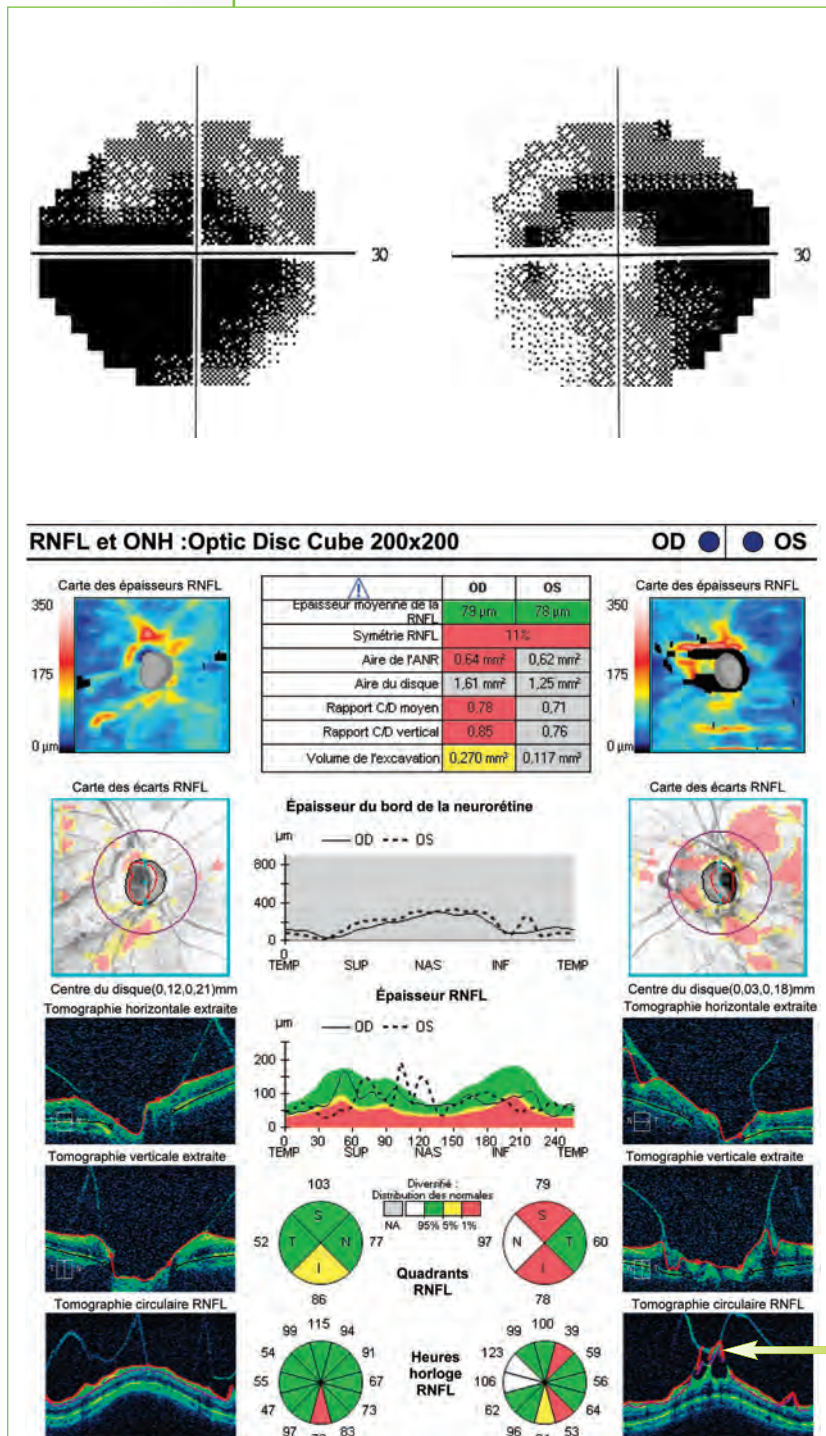


*Décalage de l'image
Discontinuité de l'image en cours
d'examen dû à un mouvement
oculaire. Ceci est responsable
d'erreurs dans le calcul des
paramètres RNFL.*

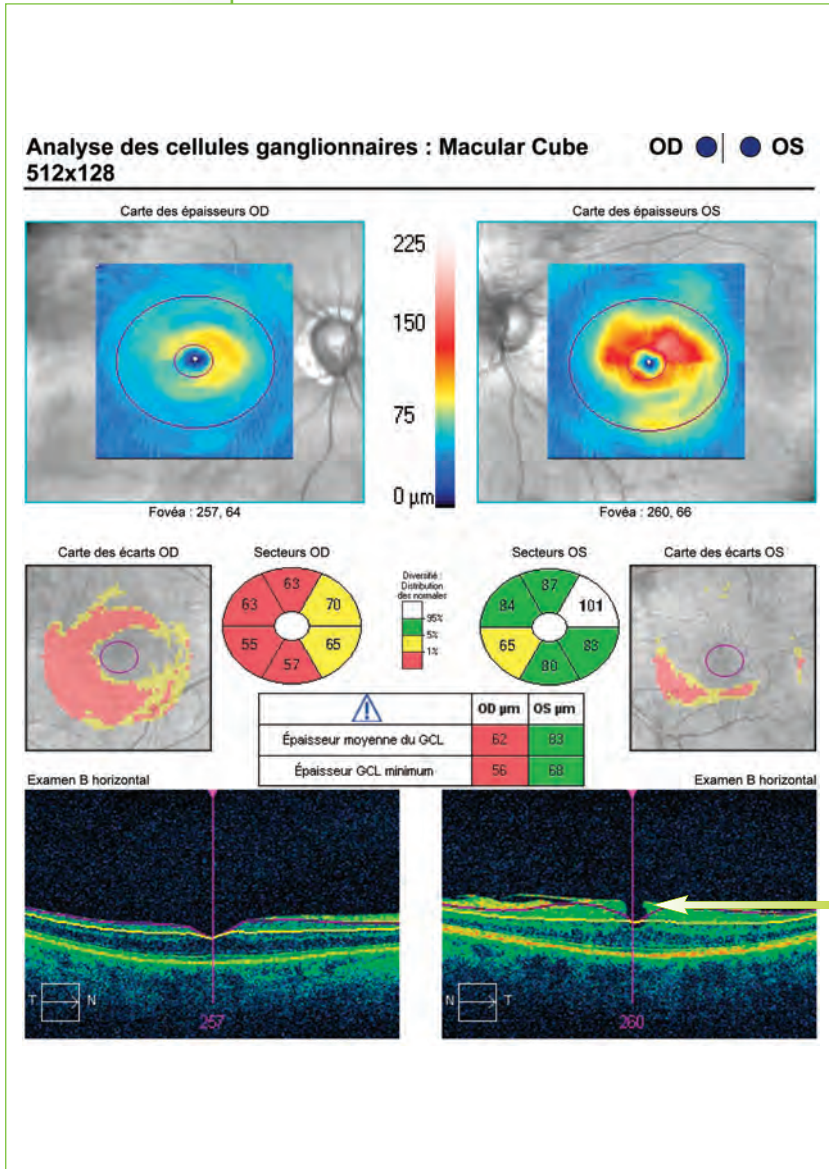
Avec l'OCT en « Spectral Domain » des phénomènes d'artefact en miroir peuvent survenir lorsque l'œil est mal positionné ou lorsque d'importantes variations de profondeur de la rétine sont présentes, chez le fort myope. La limite supérieure des images d'OCT correspond à une réflexion immédiate (aucun retard de réflexion) et donc rien ne peut être plus faible. Si l'œil est mal positionné, une image plus rapprochée encore sera détectée en miroir et donc totalement inversée, la partie externe de l'œil apparaissant vers le haut et la partie interne vers le bas. Outre le nerf optique, les couches rétinienne seront donc totalement inversées.

Erreurs liées à des images parasites

Parfois l'OCT peut confondre des structures très réfléchissantes et proches l'une de l'autre. C'est par exemple le cas de la hyaloïde postérieure et de la limitante interne de la rétine.



Dans la plupart des pathologies du nerf optique on observe un amincissement de la couche des fibres optiques. Cependant il faut se référer aux images OCT en cas de doute car cet amincissement peut être caché par un œdème de la structure ayant une autre origine. C'est le cas lorsque des phénomènes de tractions sont constatés.



Patiente présentant un glaucome bilatéral avec une atteinte du champ visuel effleurant les 10° centraux. A droite, on constate une atteinte du complexe des cellules ganglionnaires. A gauche, il existe un trou maculaire. Les tractions à ce niveau et l'œdème qui s'en suit cachent l'amincissement de cette couche qui semble normale.

Présentation des résultats en OCT

De nombreux appareils existent actuellement. Aux Etats-Unis, plus de 30 appareils ont obtenu une autorisation de commercialisation. Il n'est donc pas possible de détailler la présentation de tous les OCT disponibles. En France, les plus courants sont le Stratus et le Cirrus™ HD-OCT (Carl Zeiss) et l'Optovue (RTVue). La plupart des exemples proposés ont été réalisés avec ces deux appareils. Dans la mesure où les deux zones les plus importantes dans le glaucome sont la région papillaire et parapapillaire d'une part et le complexe des cellules ganglionnaires maculaires d'autre part, ces relevés font l'objet d'une interprétation détaillée.

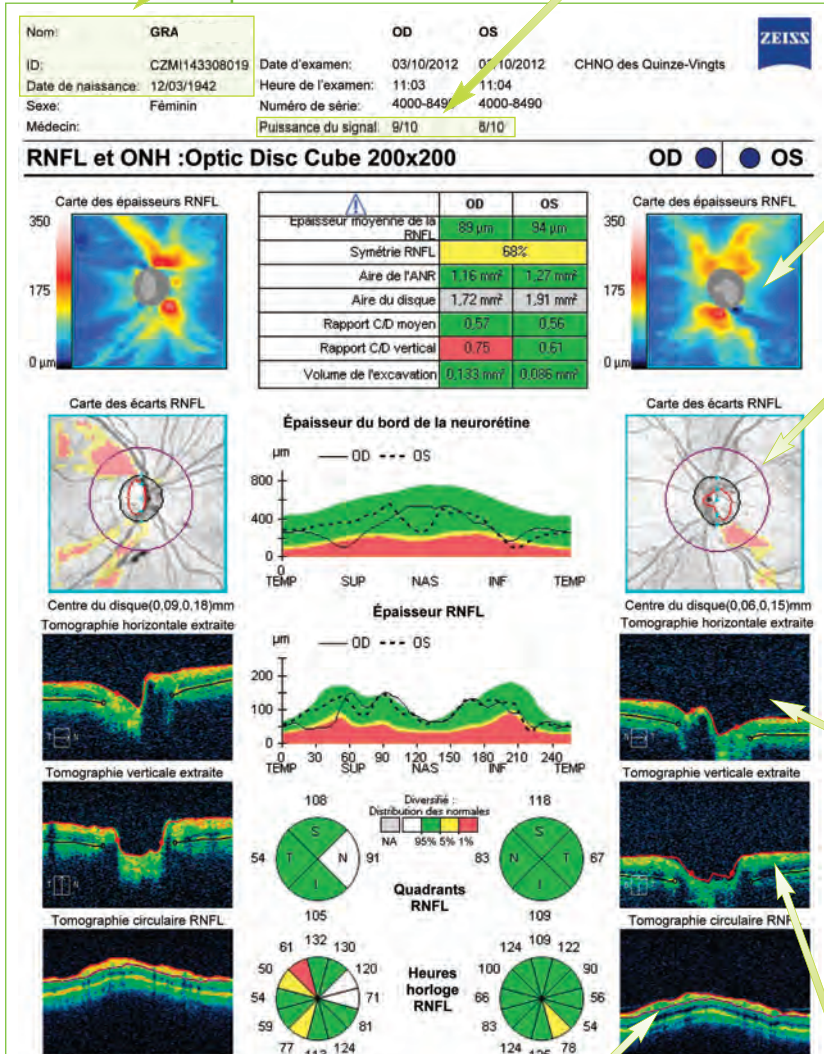
Présentation « tête du nerf optique et analyse des fibres nerveuses rétiniennes » (RNFL et ONH : Optic Disc Cube)

L'examen représente sur une même page les deux yeux (OU), l'œil droit (OD) étant situé à gauche et l'œil gauche (OS) situé à droite. Sur l'ensemble des présentations statistiques, la couleur jaune indique une anomalie à $p < 5\%$ et la couleur rouge une anomalie à $p < 1\%$. Certains schémas sont petits et difficiles à analyser ainsi, mais il est possible des les agrandir sur une page à part.

Les valeurs obtenues sont comparées au sujet du même âge et de la même taille de disque optique. Les limites de taille du disque optique vont de $1,3\text{ mm}^2$ à $2,5\text{ mm}^2$. En dehors de ces limites, tous les paramètres mesurés sont présentés en gris, car non comparés à une norme. Pour chaque valeur, ce chiffre apparaît sur fond blanc s'il correspond à 5% des meilleures valeurs, sur fond vert pour 90% des cas. La couleur jaune indique une anomalie à $p < 5\%$ et la couleur rouge une anomalie à $p < 1\%$.

Nom exact du patient. Il doit être correctement orthographié, afin de pouvoir assurer un suivi. La date de naissance est importante, car les résultats sont comparés à des normes dépendant de l'âge.

Puissance du signal (Signal Strength). Elle permet de savoir si les résultats sont bien acquis. Des valeurs supérieures à 6/10 sont nécessaires. Même si le signal est bon, les résultats peuvent être erronés si l'œil est mal positionné.



Épaisseur de la couche des fibres optiques. Plus cette couche est importante, plus la couleur est chaude. Compte tenu de la physiologie des fibres optiques, un aspect en aiguilles de montre centré sur la papille est normal.

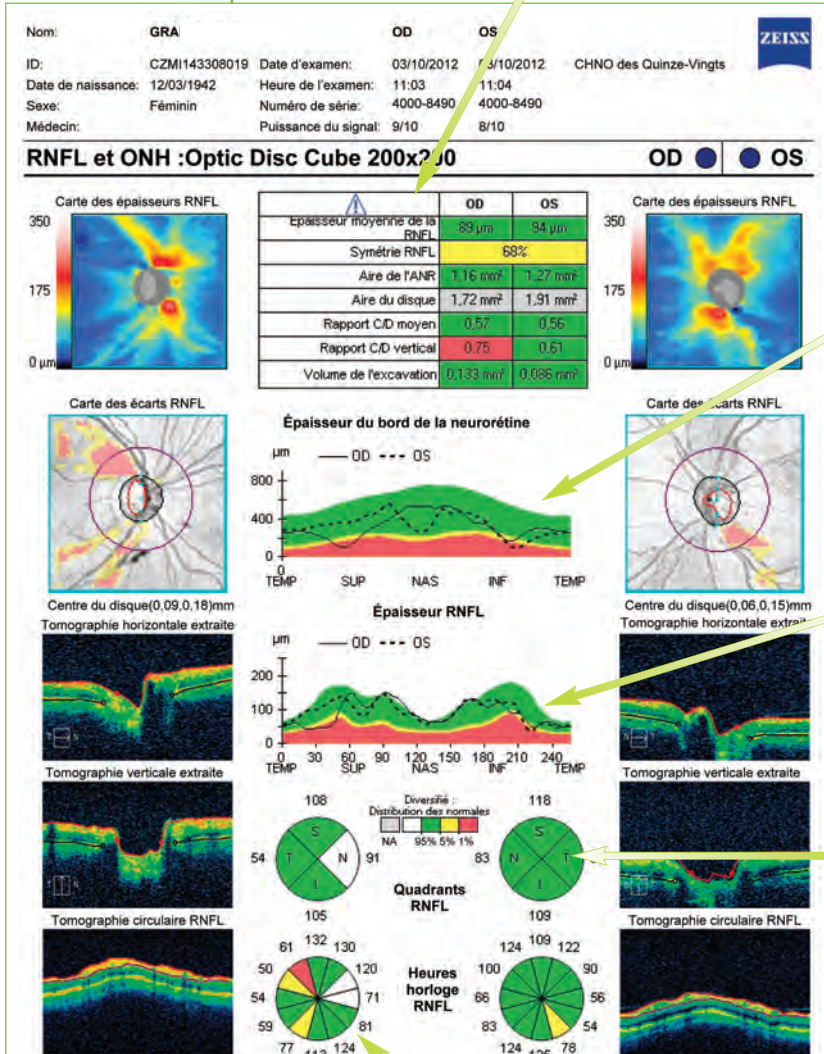
Image du fond d'œil sur laquelle sont colorées les valeurs statistiques d'anomalies de la couche des fibres optiques. Le disque optique est délimité, ainsi que la zone située à 3,4 mm du centre du disque où est mesurée l'épaisseur des fibres nerveuses parapapillaires. Il importe que ce cercle ne soit pas situé dans une zone d'atrophie péripapillaire car la réflectance de l'épithélium pigmentaire serait alors mal évaluée et les résultats pourraient être faussés.

Coupe horizontale du pôle postérieur. Il est important que la rétine ne touche pas la partie supérieure du carré, car cela fausserait les résultats. La réflectance des différentes couches apparaît, ainsi que les limites de la rétine et la membrane de Bruch. Deux petits points indiquent une zone située à 150 µm au-dessus de cette membrane de Bruch et délimitent le début de l'excavation.

Coupe verticale du pôle postérieur. Éléments dessinés identiques à la présentation précédente.

Déroulé de la rétine à 3,4 mm du centre optique, correspondant à la région où les fibres nerveuses rétiniennes sont étudiées.

Épaisseur moyenne de la couche des fibres optiques (RNFL).
 Symétrie de cette couche entre les 2 yeux (Symétrie RNFL).
 Surface de l'anneau neuro-rétinien (Aire de l'ANR).
 Aire du disque optique.
 Rapport C/D moyen.
 Rapport C/D vertical.
 Volume de l'excavation.



Épaisseur de l'anneau neuro-rétinien dans les différentes régions (temporale, supérieure, nasale, inférieure, TSNIT), l'œil droit étant en trait continu, l'œil gauche en pointillé, et les zones normales en vert, anormales en jaune puis en rouge. Ceci permet de repérer aisément une encoche.

Épaisseur de la couche des fibres optiques dans les différentes régions (temporale, supérieure, nasale, inférieure), à 3,4 mm du centre du nerf optique, l'œil droit étant en trait continu, l'œil gauche en pointillé, et les zones normales en vert, anormales en jaune puis en rouge.

Représentation pour chaque œil de l'épaisseur des fibres optiques, par section de 6 hr de large. Dans le glaucome, les zones les plus touchées sont supérieures et inférieures.

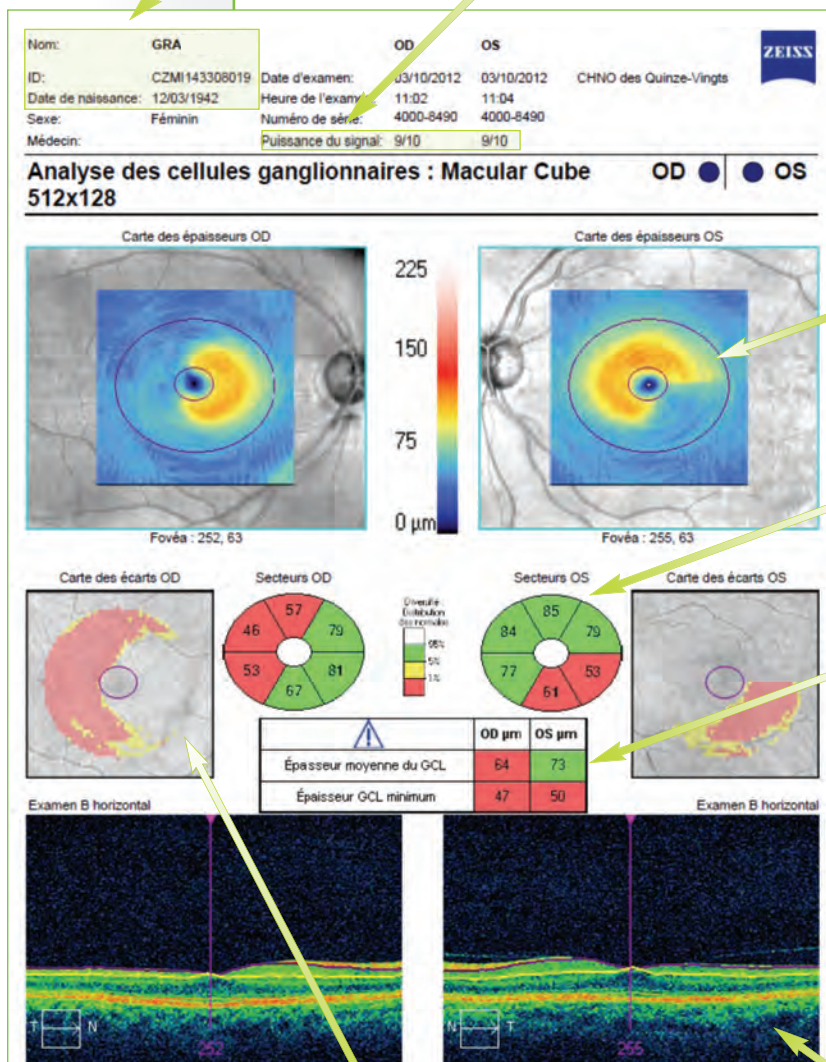
Représentations pour chaque œil de l'épaisseur des fibres optiques, par section de 2 hr de large. Dans le glaucome, les zones les plus touchées sont situées à 7 hr pour l'œil droit et 5 hr pour l'œil gauche.

Présentation « Analyse des cellules ganglionnaires : Macular Cube » (Ganglion Cell OU Analysis)

L'examen représente sur une même page les deux yeux (OU), l'œil droit (OD) étant situé à gauche et l'œil gauche (OS) situé à droite. Pour chaque valeur, ce chiffre apparaît sur fond blanc s'il correspond à 5 % des meilleures valeurs, sur fond vert pour 90 % des cas. La couleur jaune indique une anomalie à $p < 5\%$ et la couleur rouge une anomalie à $p < 1\%$.

Nom exact du patient. Il doit être correctement orthographié, afin de pouvoir assurer un suivi.

Puissance du signal. Elle permet de savoir si les résultats sont bien acquis. Des valeurs supérieures à 6/10 sont nécessaires.



Épaisseur de la couche du complexe des cellules ganglionnaires, plus cette couche est importante, plus la couleur est chaude.

Présentation en secteur de la région maculaire, sans étude de la fovea, avec valeur moyenne d'épaisseur dans chaque zone.

Tableau des valeurs moyennes et minimales de l'épaisseur de la couche « cellule ganglionnaires + interplexiforme interne », sans la couche des fibres des cellules ganglionnaires. La valeur minimale correspond au secteur de 1° de large le plus fin.

Valeurs statistiques d'anomalies de cette couche. La couleur jaune indiquant une anomalie à $p < 5\%$ et la couleur rouge une anomalie à $p < 1\%$.

Scan horizontal de la macula passant par la fovea.

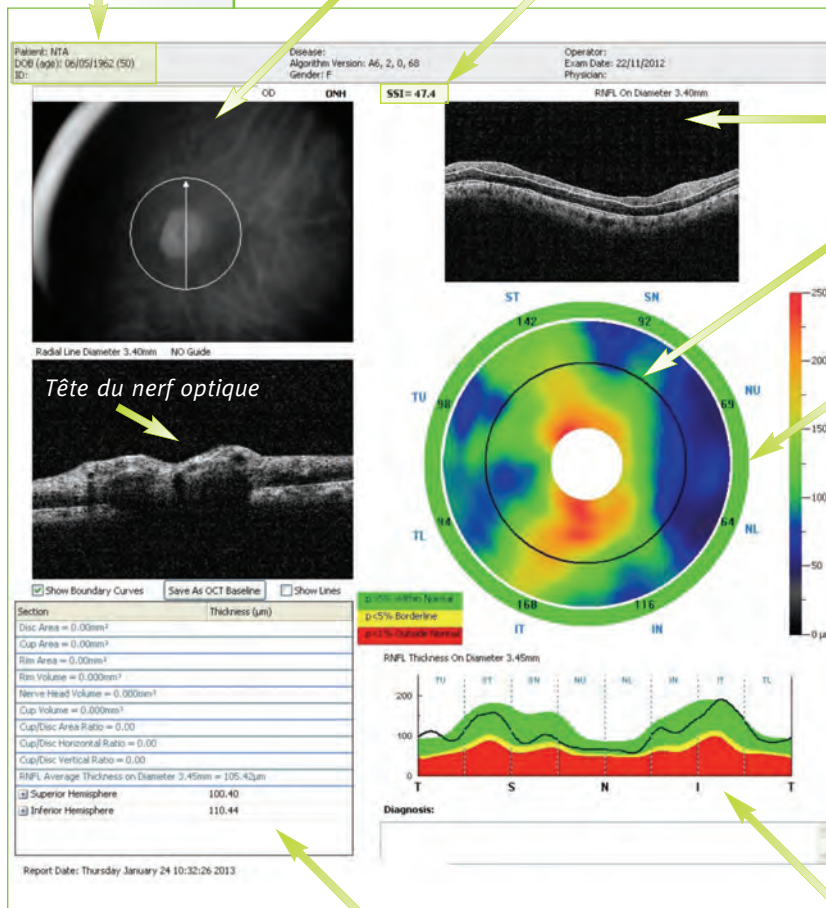
Présentation « Couche des fibres nerveuses rétinienne parapapillaires et nerf optique »

L'examen montre l'ensemble des résultats concernant la tête du nerf optique et de la région parapapillaire, pour un œil, avec analyse statistique.

Nom exact du patient. Il doit être correctement orthographié, afin de pouvoir assurer un suivi.

Image du fond d'œil, le cercle indique la zone où la couche des fibres optiques est mesurée.

Force du signal (SSI : Signal Strength Intensity).



Région d'analyse des fibres optiques à 3,4 mm du centre optique.

Épaisseur de la couche des fibres optiques dans les différentes régions. Plus la couleur est chaude, plus l'épaisseur est importante.

Épaisseur par région de la couche des fibres optiques avec valeurs statistiques. Les zones normales sont en vert, anormales en jaune puis en rouge.

Paramètres de la tête du nerf optique.

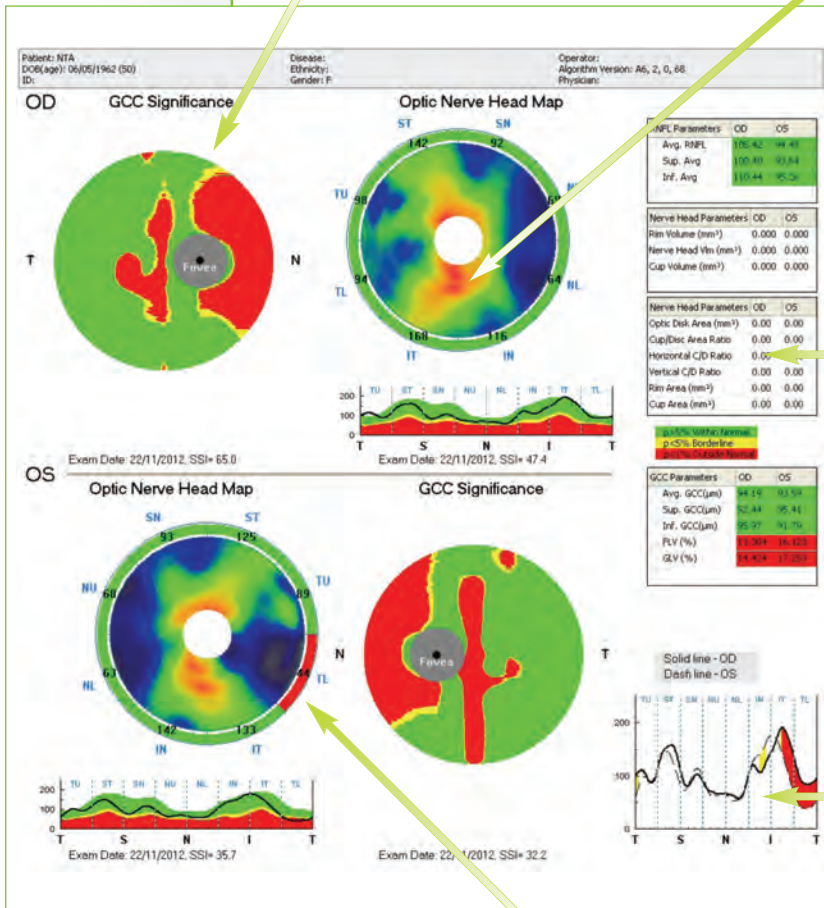
Épaisseur de la couche des fibres optiques dans les différentes régions (temporale, supérieure, nasale inférieure TSNIT), à 3,4 mm du centre du nerf optique.

Présentation générale « Cellules ganglionnaires maculaires et couche des fibres nerveuses rétiniennes parapapillaires »

Sur une même page est présenté l'ensemble des relevés, sans ajout d'une image directe d'OCT. De nombreux éléments décrits dans le relevé précédent sont repris ici.

Complexe des cellules ganglionnaires maculaires « couches des axones des fibres optiques + cellule ganglionnaires + interplexiforme interne ». Représentation statistique.

Épaisseur de la couche des fibres optiques dans les différentes régions. Plus la couleur est chaude, plus l'épaisseur est importante.



Paramètres de la tête du nerf optique.

Différences inter-oculaires, couche des fibres parapapillaires.

Épaisseur par région de la couche des fibres optiques avec valeurs statistiques. Les zones normales sont en vert, anormales en jaune puis en rouge.

Glaucome

Le glaucome est une neuropathie optique lentement évolutive associée le plus souvent à une hypertonie oculaire. La déformation progressive de la tête du nerf optique induite par cette hypertonie entraîne une excavation et une destruction des fibres nerveuses rétiniennes passant à travers la lame criblée. Cette destruction est responsable d'une altération du champ visuel. Cette succession « atteinte structurale induisant une atteinte fonctionnelle » permet d'estimer qu'en théorie au moins l'analyse de la structure devrait mettre en évidence une première atteinte précédant l'altération du champ visuel⁶. Pendant longtemps, les moyens disponibles pour étudier la structure n'ont pas permis de confirmer cette approche.

Avec l'OCT de nouvelle génération « Spectral Domain », les modifications structurelles peuvent le plus souvent être mises en évidence avant l'atteinte du champ visuel. Cependant, dans certains cas, on constate que le champ visuel est modifié avant que l'on puisse détecter une atteinte structurelle. Chaque œil possède entre 800.000 et 1.200.000 fibres optiques. Si le « point de départ » est proche de la limite supérieure, une atteinte notable peut apparaître alors que le sujet reste dans les normes statistiques. En revanche, si la structure initiale de l'œil est plus usuelle, une destruction de fibres par le glaucome est plus rapidement visible.

Nerf optique

Au niveau de la tête du nerf optique, les paramètres atteints en premier lieu en OCT sont dans l'ordre :

- l'épaisseur verticale de l'anneau neuro-rétinien (non représenté sur le relevé),
- la surface globale de cet anneau (Aire de l'ANR),
- le rapport vertical du C/D.

Si ces paramètres détectent bien le glaucome ils sont peu efficaces pour différencier glaucome débutant et glaucome modéré⁷.

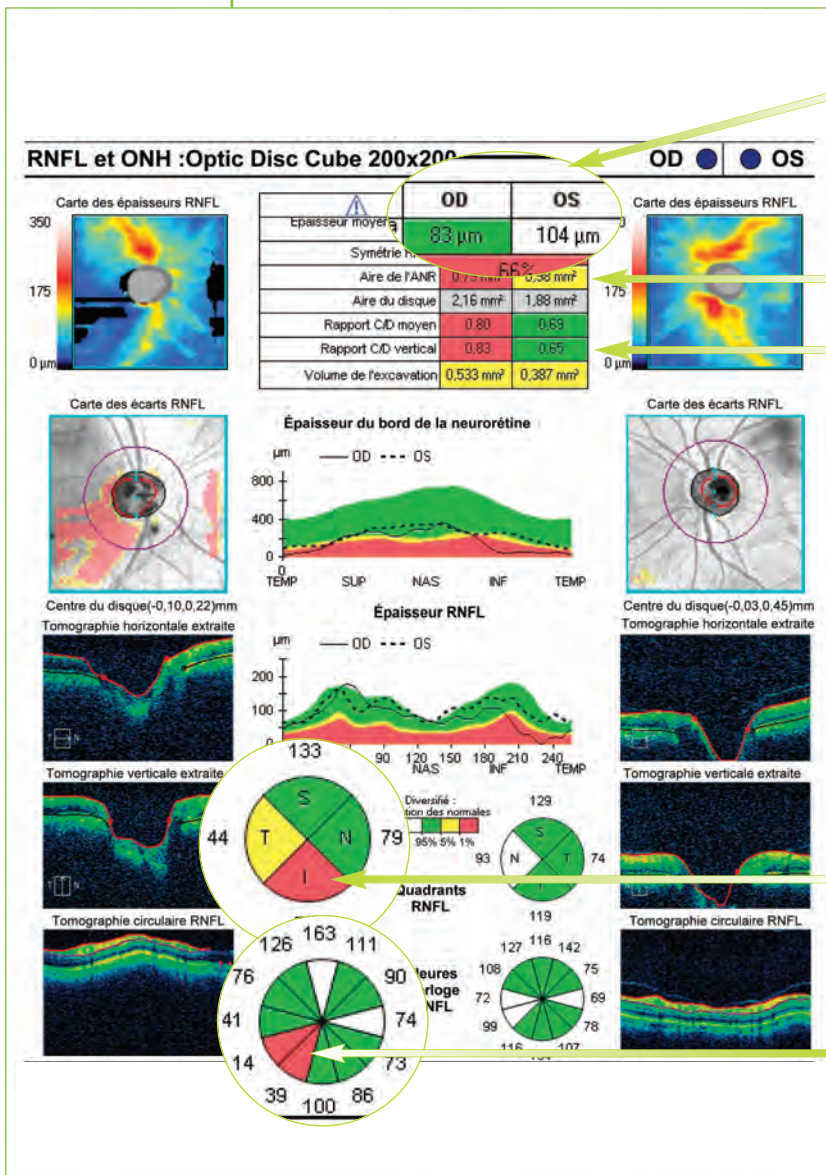
Fibres nerveuses rétiniennes (RNFL)

Les paramètres qui distinguent le mieux sujets normaux et glaucomes débutants sont dans l'ordre :

- l'épaisseur des fibres nerveuses rétiniennes dans la zone temporale inférieure,
- • l'épaisseur des fibres nerveuses rétiniennes dans le quadrant inférieur,
- l'épaisseur moyenne des fibres nerveuses rétiniennes.

Quelques études semblent montrer que le secteur temporel supérieur serait aussi discriminant que le quadrant temporel inférieur⁸.

Critères principaux d'une atteinte glaucomateuse en OCT



Fibres nerveuses rétinienne
- Épaisseur RNFL moyenne.

Nerf optique
- Épaisseur verticale de l'anneau neuro-rétinien,
- Surface globale de l'anneau neuro-rétinien

- Rapport vertical du C/D.

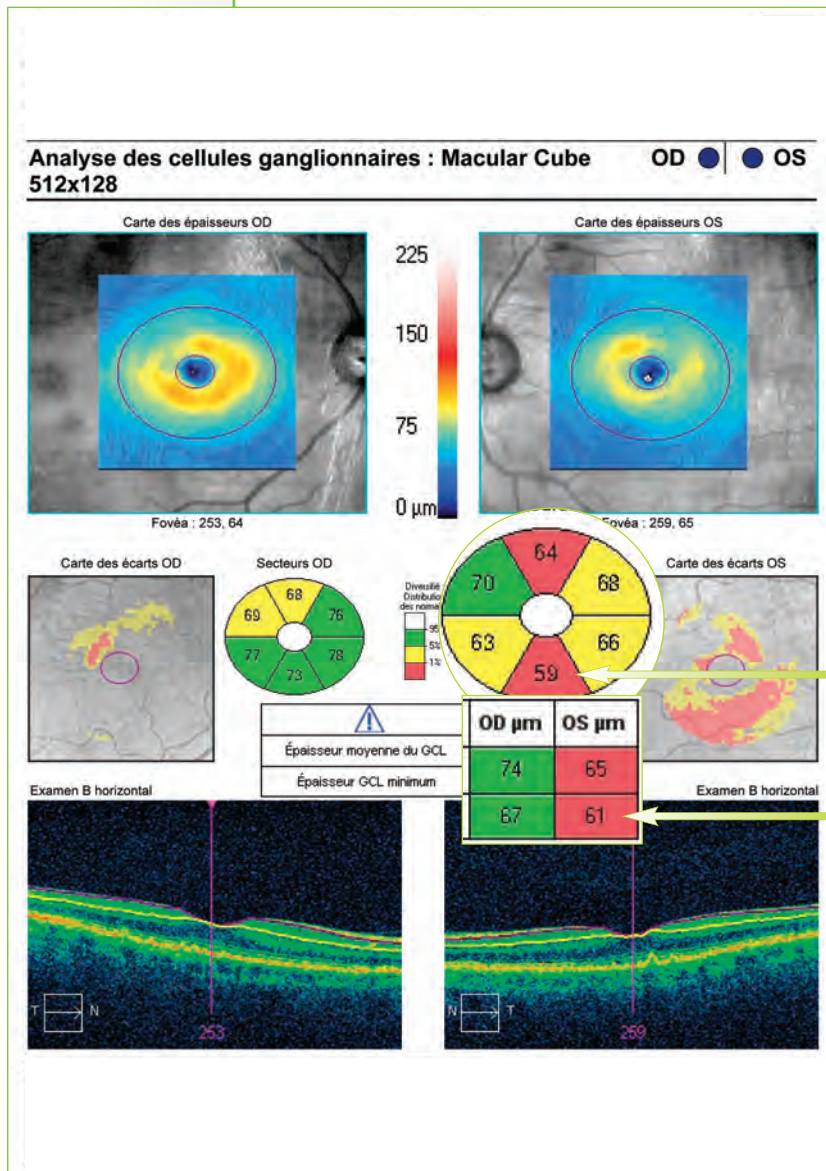
Fibres nerveuses rétinienne
- Épaisseur RNFL dans le quadrant inférieur

Fibres nerveuses rétinienne
- Épaisseur RNFL la zone temporelle inférieure

Complexe des cellules ganglionnaires maculaires

L'étude des cellules ganglionnaires maculaires est plus récente puisqu'elle est disponible uniquement en OCT « Spectral Domain ». Les paramètres les plus évocateurs d'un glaucome débutant sont l'épaisseur minimum moyenne, puis l'épaisseur temporelle inférieure.

La macula est divisée en 360 secteurs de un degré de large. L'épaisseur minimum moyenne est celle du plus fin de ces secteurs (Épaisseur GCL minimum).



Nerf optique ou fibres nerveuses rétiniennes : que regarder en premier dans le glaucome ?

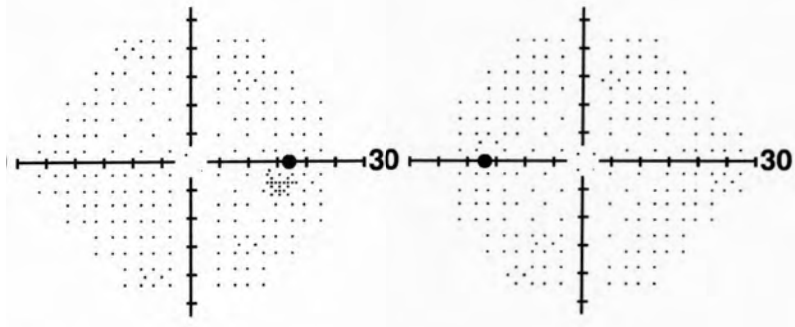
Les informations fournies par l'OCT sont nombreuses et se pose la question de savoir quels sont les paramètres les plus fiables pour la détection précoce du glaucome et en particulier s'il vaut mieux analyser la tête du nerf optique ou les fibres ganglionnaires parapapillaires. On peut en effet imaginer que, lorsqu'il existe un contingent important de fibres optiques, il soit facile de les analyser et que, lorsque cette épaisseur tend à s'amenuiser, le bord postérieur de cette couche soit plus difficile à différencier des structures adjacentes et donne donc des mesures plus variables. En opposition, il serait plus facile de déterminer les paramètres du nerf optique puisque seul le vitré est en regard de ces fibres et que la détermination de la tête du nerf optique par analyse de la fin de la membrane de Bruch est bien faite en OCT.

Cependant, l'aspect du nerf optique lui-même varie beaucoup d'un sujet à l'autre et les comparaisons statistiques sont difficiles. Ceci est particulièrement le cas lorsque le nerf optique est irrégulier (myopie, dysversion,...).

En général, il est plus facile de détecter un glaucome pré-périmétrique au niveau des fibres nerveuses rétiniennes (RNFL). Plus rarement, l'analyse du nerf optique est préférable. Pour certains, l'analyse des fibres ganglionnaires maculaires serait aussi performante que l'analyse de la couche RNFL⁹.

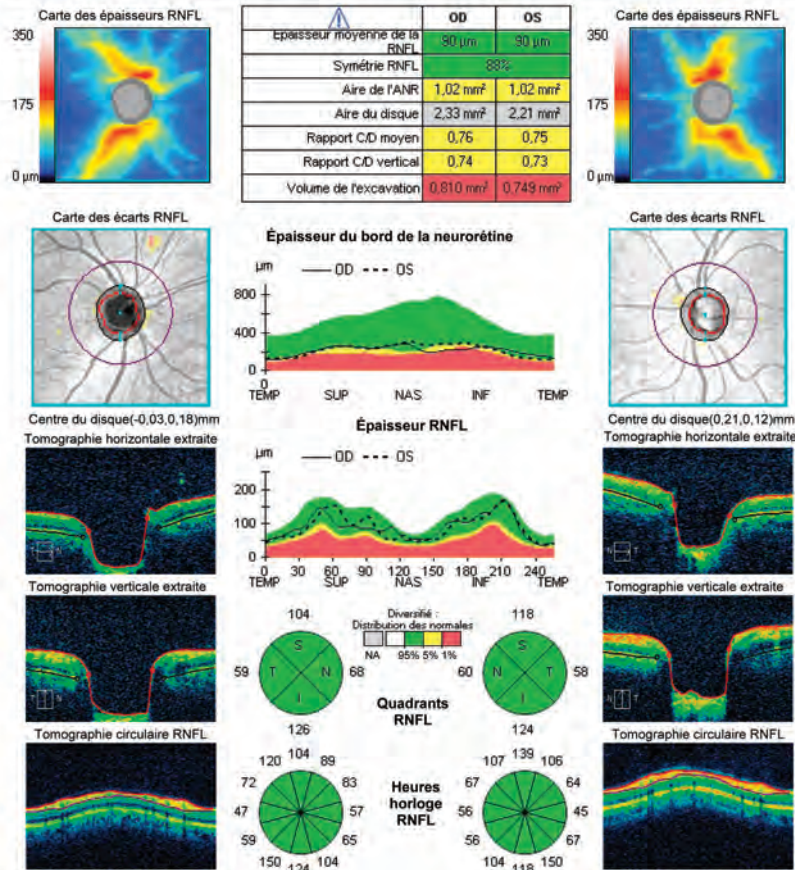
Que penser en cas d'une atteinte isolée du nerf optique ?

De manière générale, l'analyse du nerf optique en OCT est plus sujette à discussion que celle des fibres optiques en raison de la diversité d'aspect du nerf optique d'un sujet à l'autre, diversité non parfaitement couverte par les bases de données normatives des appareils. Il en résulte qu'on retrouve parfois une atteinte isolée du nerf optique alors que les fibres nerveuses rétiniennes apparaissent normales, aussi bien au niveau parapapillaire qu'au niveau des cellules ganglionnaires maculaires et que le champ visuel est aussi normal. Dans cette situation, on doit privilégier l'analyse des fibres optiques. En revanche, il reste souhaitable d'analyser l'évolution des paramètres du nerf optique puisque la comparaison est alors faite à partir du sujet lui-même.



RNFL et ONH :Optic Disc Cube 200x200

OD ● OS ●

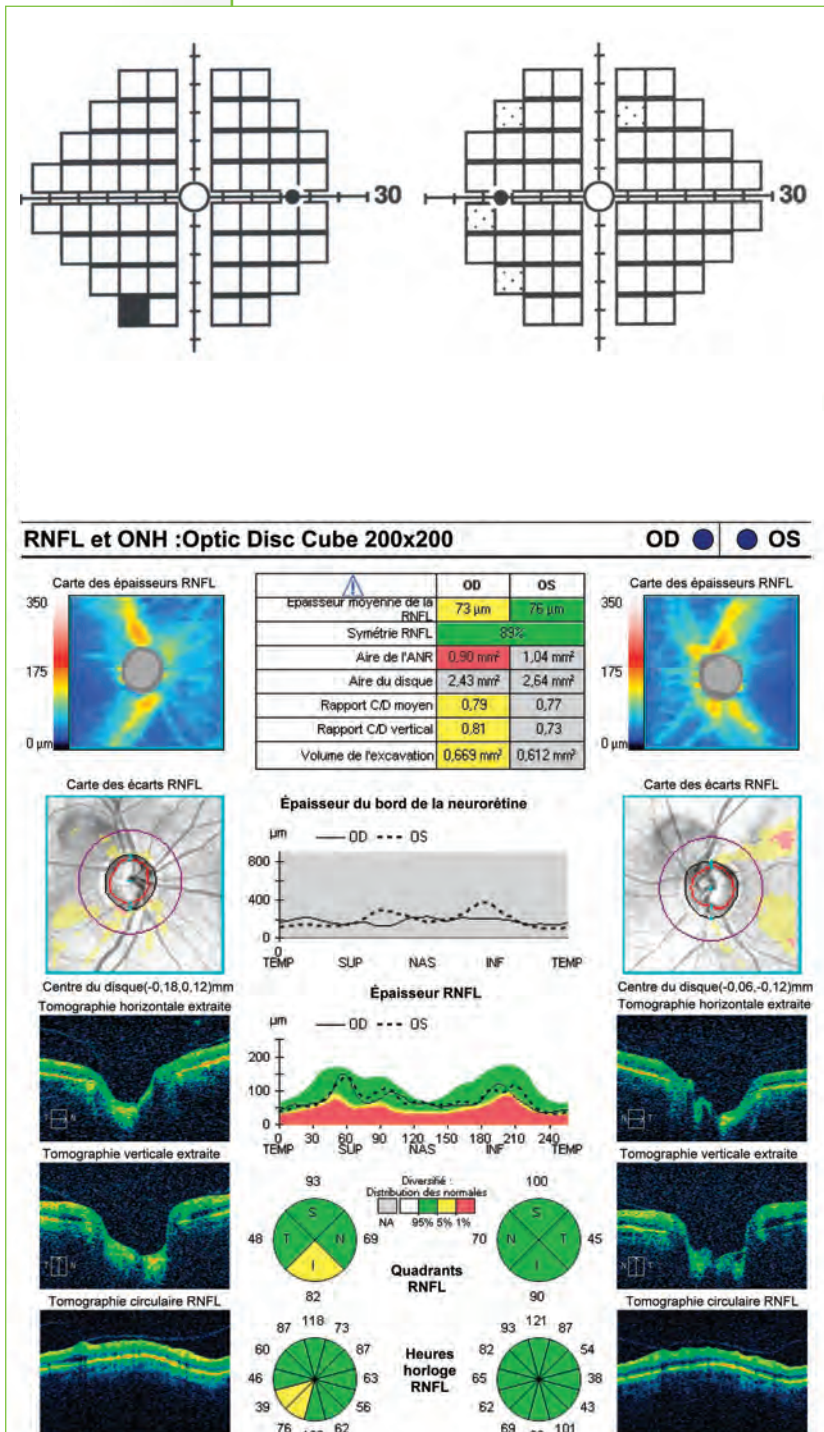


Patiente présentant un aspect évoquant une excavation physiologique. L'ensemble du bilan est normal, en dehors d'un volume d'excavation anormal pour chaque œil. Le glaucome n'est pas établi. Une surveillance simple doit être proposée.

Glaucome pré-périmétrique

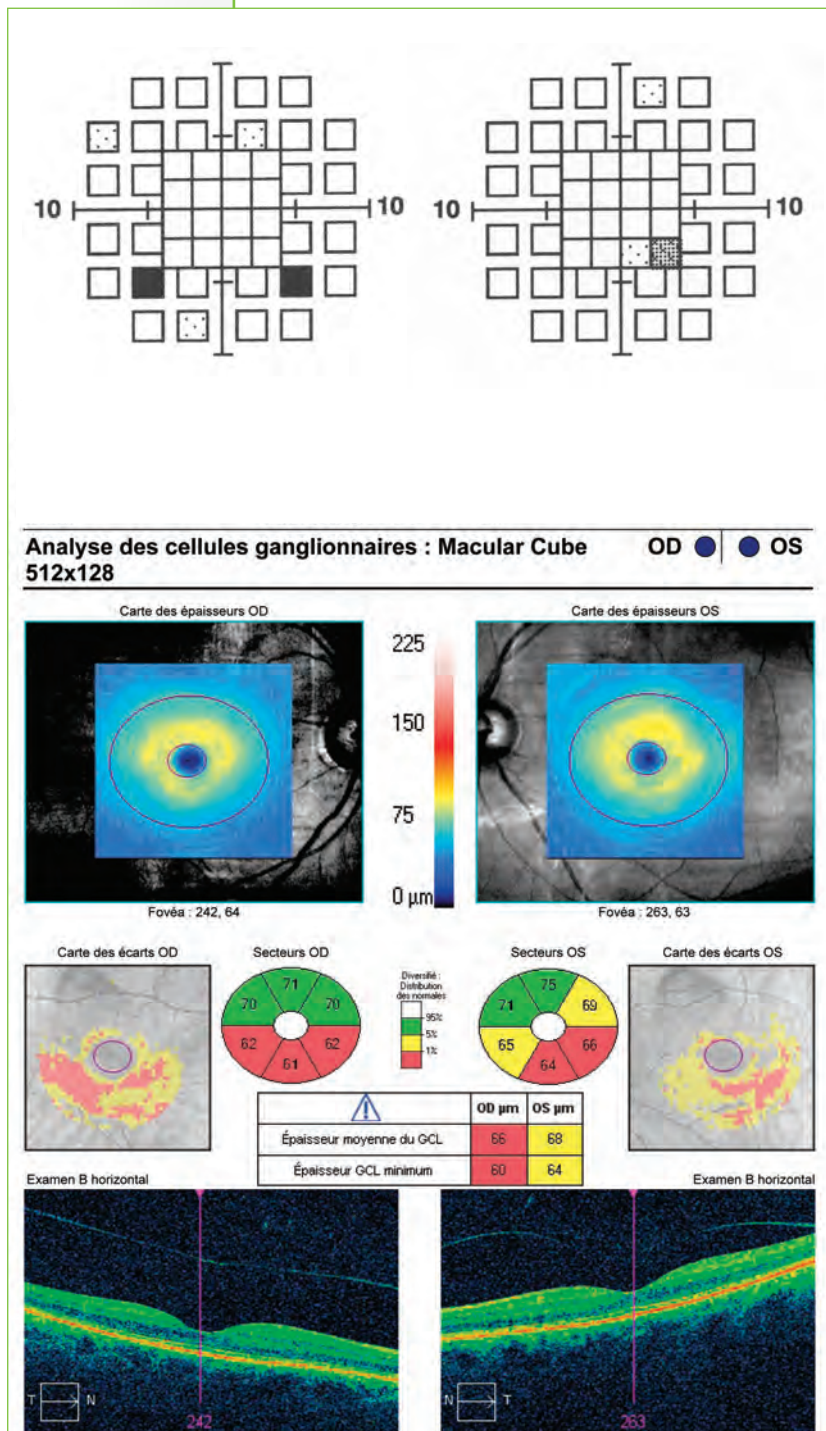
De façon générale, on appelle « glaucome pré-périmétrique » un glaucome qui est mis en évidence par une atteinte de la structure ou par une altération des tests de détection précoce du champ visuel comme le champ visuel bleu-jaune ou le FDT Matrix alors que le champ visuel conventionnel, c'est-à-dire la périmétrie automatique type Humphrey ou Octopus, est normal.

Glaucome pré-périmétrique : atteinte isolée de l'OCT



Patient de 60 ans présentant une hypertension à 23 mmHg. Le FDT Matrix et l'OCT du nerf optique sont à la limite de la normale.

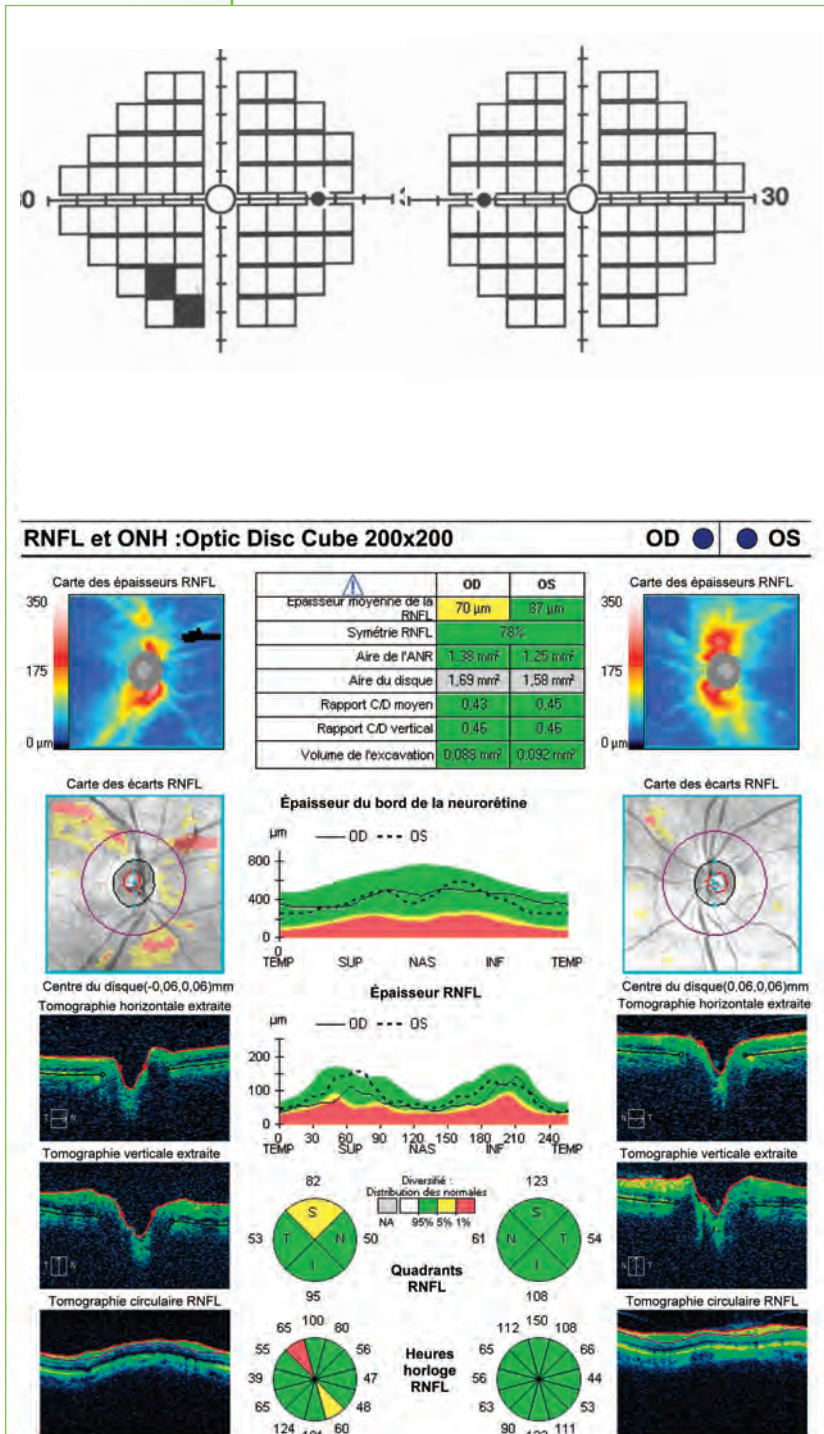
L'OCT peut être le seul examen modifié dans un glaucome pré-périmétrique. En général, dans cette situation, une simple surveillance suffit, mais un traitement est une alternative envisageable, surtout si le déficit en OCT est important..



Même patient que page précédente. L'OCT maculaire montre une atteinte nette et bien systématisée à l'œil droit. Le test des 10° Matrix est irrégulier.

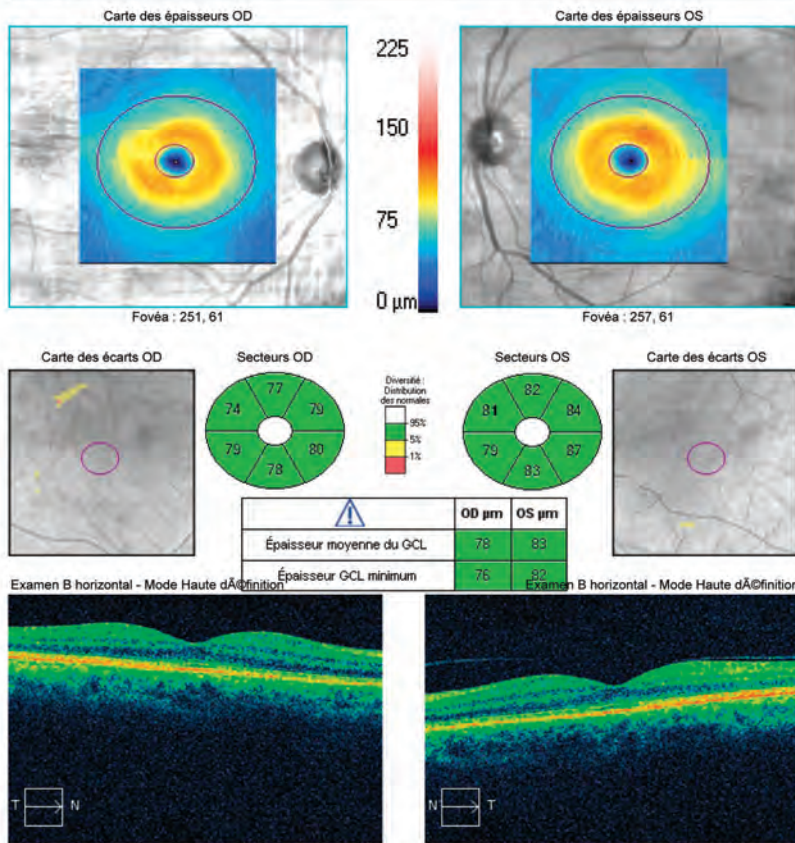
Glaucome pré-périmétrique : atteinte de la couche RNFL et du champ visuel FDT Matrix

Une atteinte débutante du champ visuel par FDT Matrix et de l'OCT correspond à un début de glaucome, en particulier si les déficits sont concordants. Ces déficits peuvent précéder de 5 ans l'apparition d'un déficit en périmétrie classique.



Patient de 74 ans, hypertension oculaire à 24 mmHg. Nerf optique normal. L'OCT et le FDT Matrix montrent une atteinte concordante de l'œil droit.

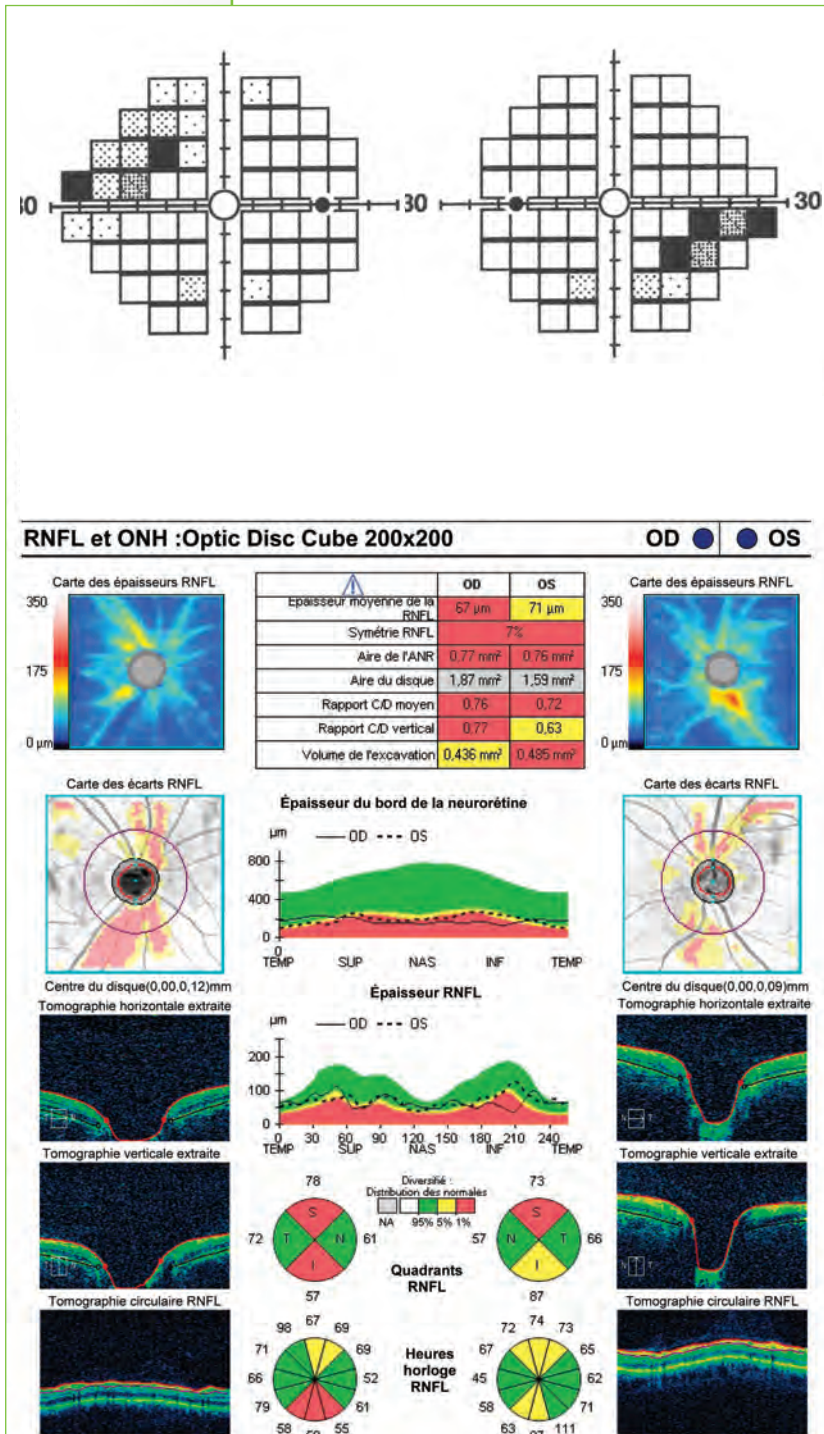
Analyse des cellules ganglionnaires : Macular Cube 512x128 OD ● | ● OS



Même patient que sur la page précédente. Il n'y a aucune atteinte centrale.

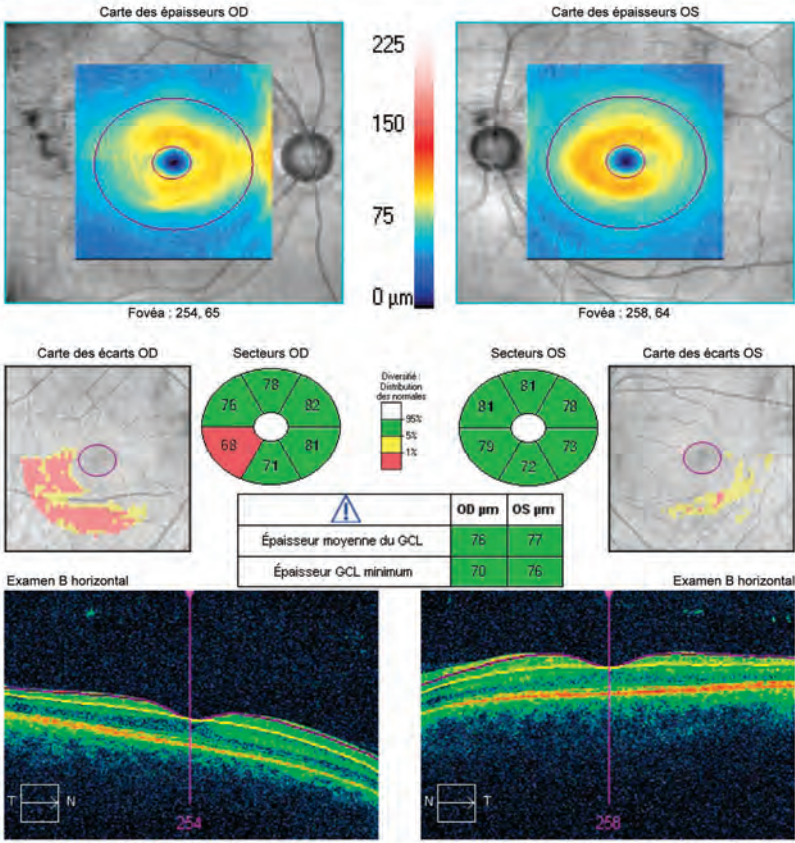
Glaucome pré-périmétrique : atteinte de la couche RNFL, de la macula et du champ visuel FDT Matrix

Il existe souvent une atteinte à la fois de la couche RNFL et du complexe de cellules ganglionnaires maculaire en OCT. Si le déficit est plus présent dans la région parapapillaire, on peut penser que l'hypertonie joue un rôle important. Dans le cas contraire, on évoquera des problèmes plus vasculaires.



Patient de 55 ans présentant une hypertension oculaire à 26 mmHg. La périmétrie automatique est normale, mais le Matrix montre une altération bilatérale. L'OCT confirme l'atteinte, à la fois au niveau du nerf optique et de la couche des RNFL.

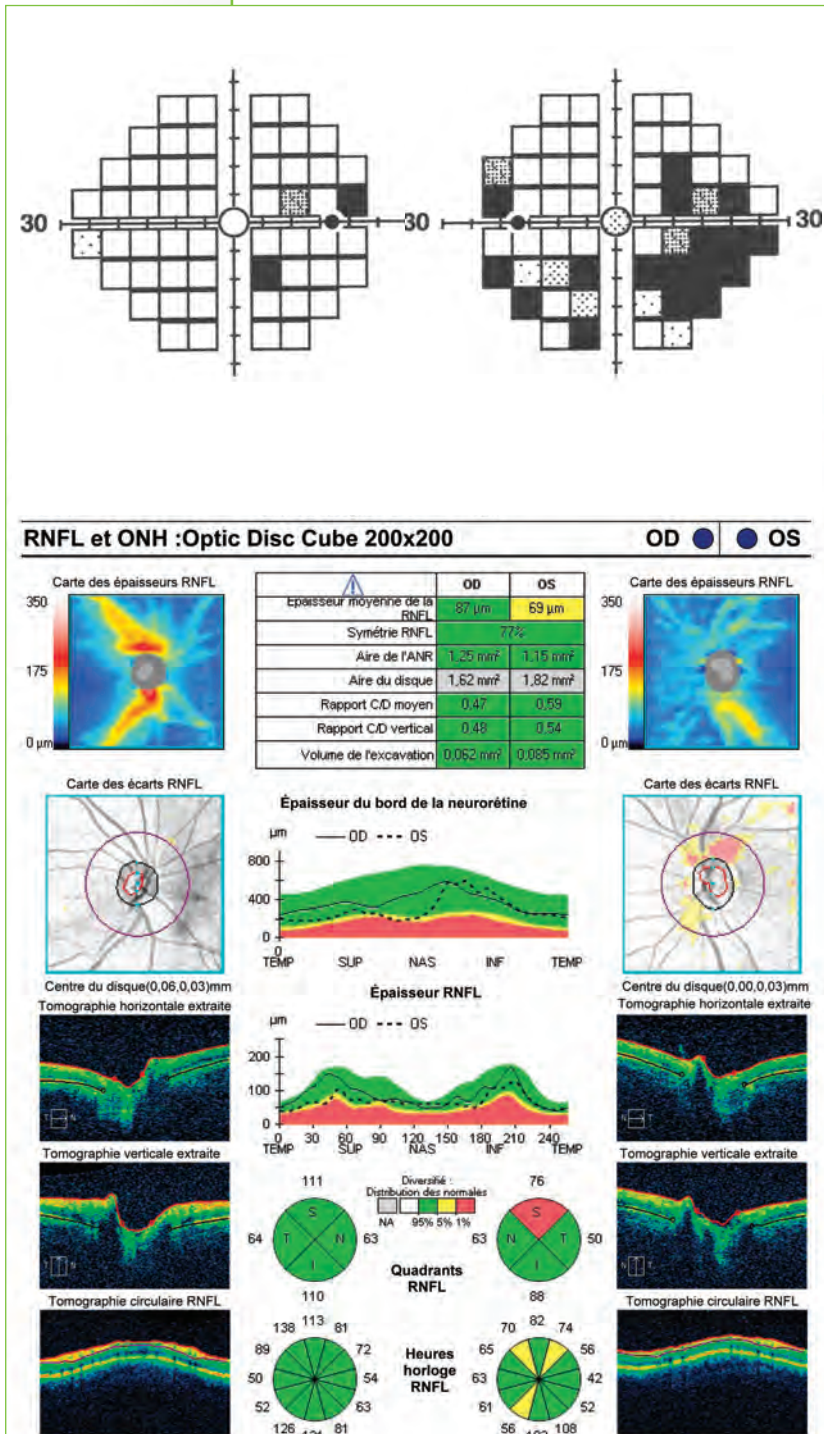
Analyse des cellules ganglionnaires : Macular Cube 512x128 OD OS



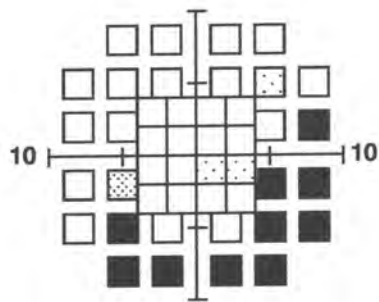
Même patient que page précédente. Il y a peu d'atteinte maculaire à droite et un résultat normal à gauche. Ce profil évoque plutôt un glaucome hypertonique débutant.

Glaucome pré-périmétrique : atteinte du FDT Matrix, OCT à la limite de la normale

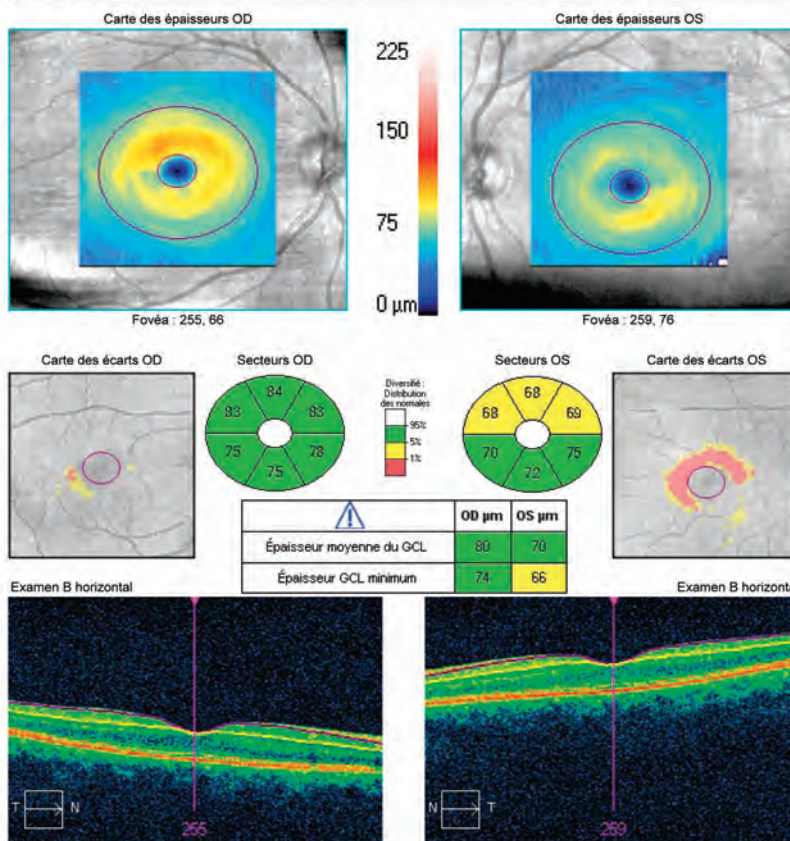
Il est rare de constater un OCT normal chez un sujet présentant déjà une atteinte périmétrique. Cependant, ce cas de figure peut exister dans le glaucome. Il faut cependant évoquer alors une atteinte plus centrale et réaliser d'autres examens au moindre doute.



Patiente de 60 ans présentant une hypertension oculaire à 24 mmHg. Le champ visuel Matrix montre une atteinte marquée à gauche, alors que l'OCT n'est que peu atteint.



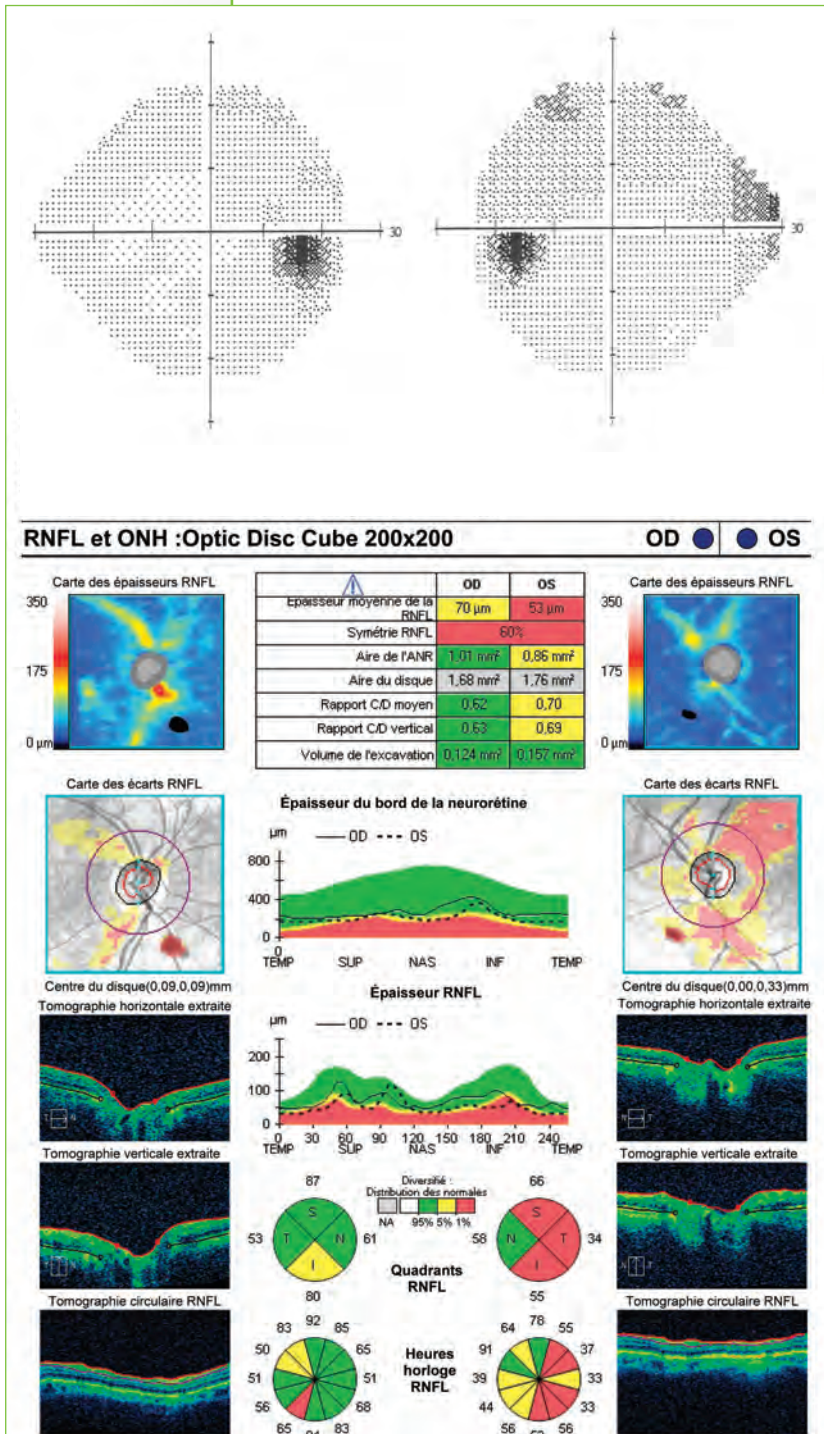
Analyse des cellules ganglionnaires : Macular Cube 512x128 OD ● | ● OS



Même patiente que sur la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. Le complexe des cellules ganglionnaires maculaires est normal à droite et à la limite de la normale à gauche, alors que le test des 10° centraux Matrix est pathologique.

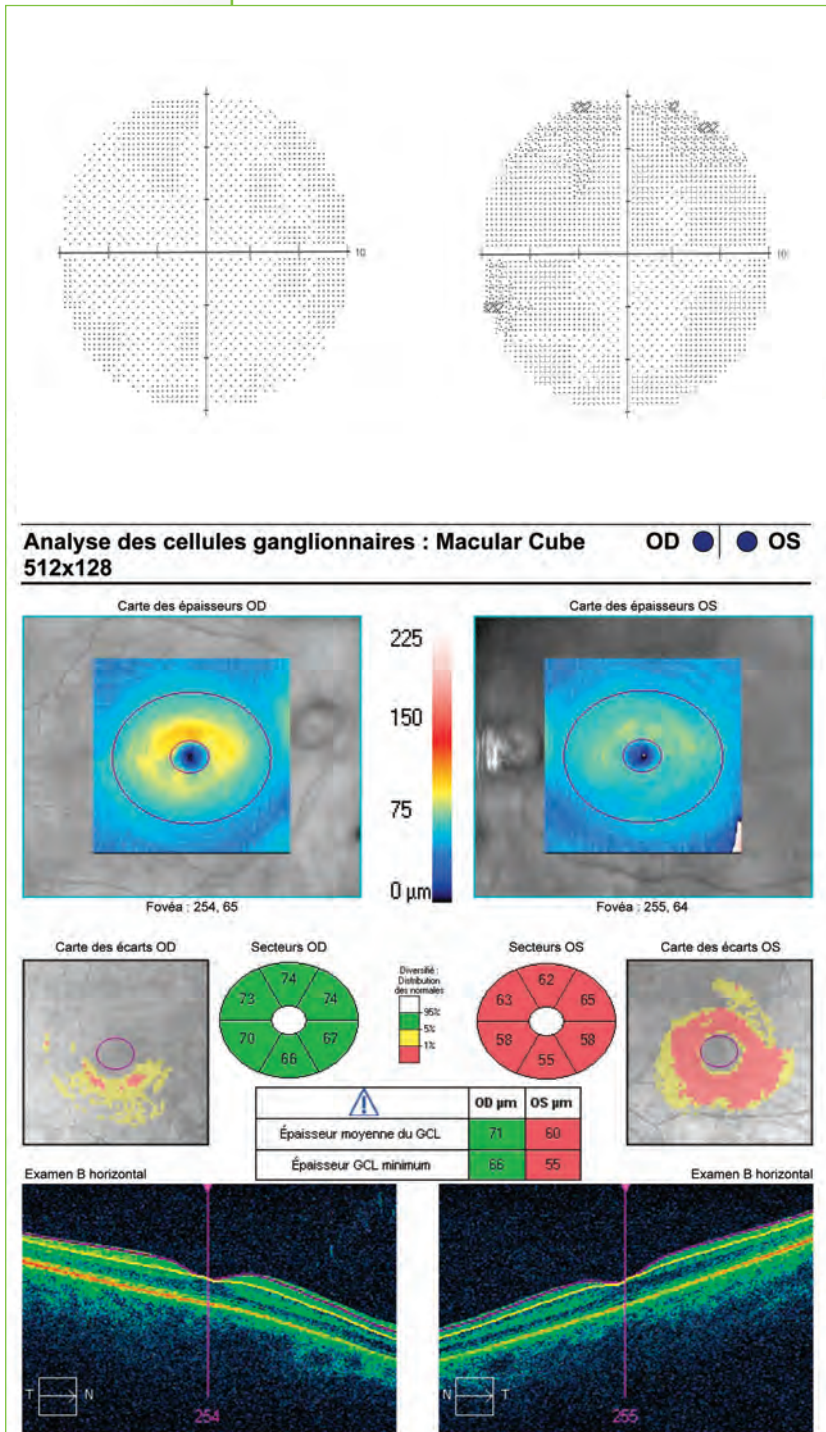
Glaucome à angle ouvert débutant : localisation de l'atteinte concordante entre OCT et champ visuel

L'OCT est souvent concordant avec le champ visuel dans les glaucomes débutants et modérés, sauf chez les sujets jeunes chez qui l'atteinte OCT est plus marquée que ne l'est celle du champ visuel.



Patiente de 79 ans présentant un tonus oculaire à 22mmHg à droite et 26 mmHg à gauche. A droite, le champ visuel est normal et l'OCT montre un déficit temporel inférieur typique de début de glaucome. A gauche, l'atteinte est plus marquée et globale.

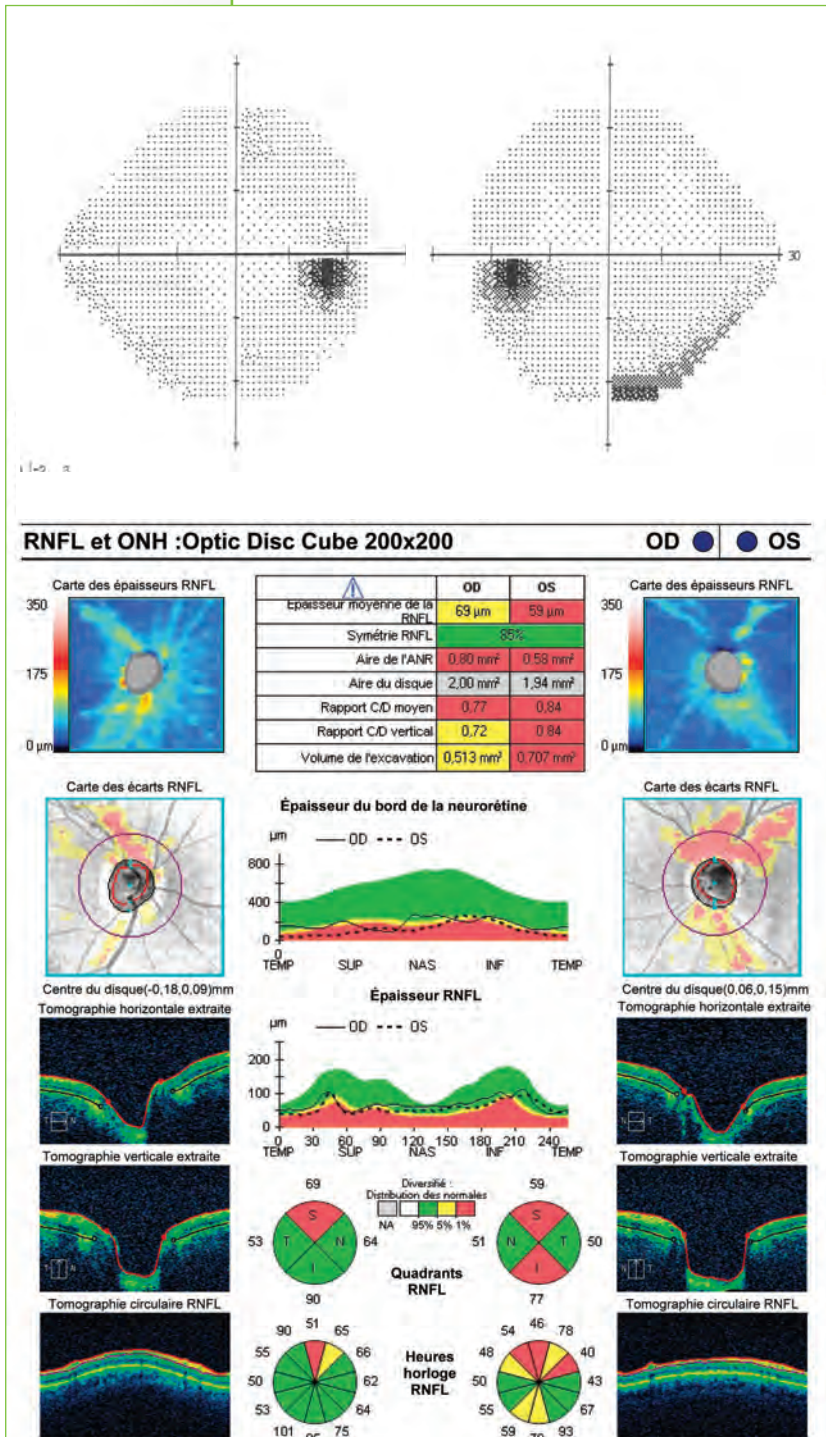
En OCT, une atteinte plus importante dans la région maculaire que péripapillaire n'est pas un facteur de gravité, si le déficit reste modéré.



Même patiente que sur la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. Une atteinte de la région maculaire de l'œil gauche est retrouvée. Les paramètres d'épaisseur moyenne et minimale sont anormaux. Les champs visuels des 10° centraux sont normaux.

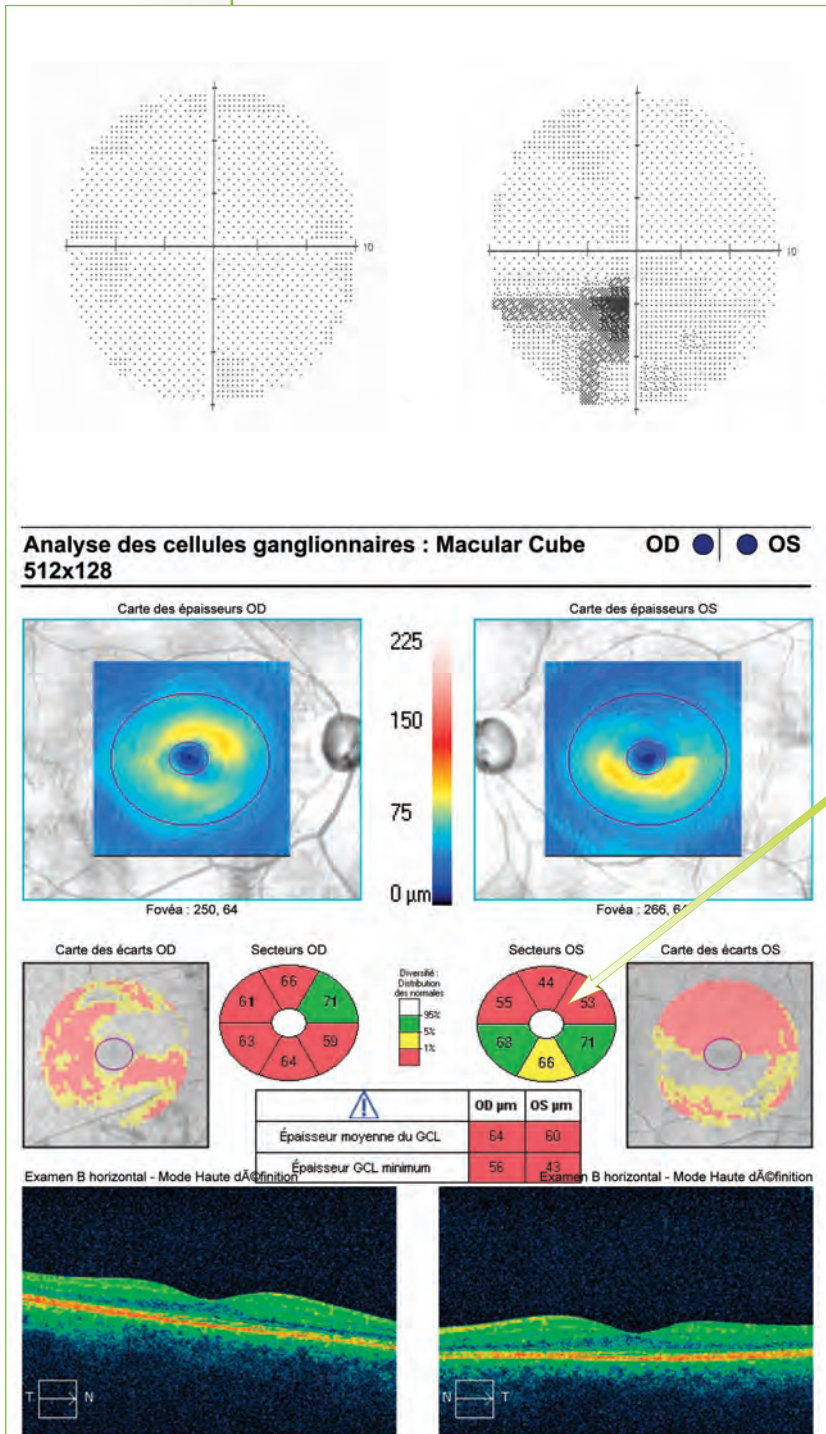
Glaucome à angle ouvert débutant : profondeur de l'atteinte concordante entre OCT et champ visuel

Le retentissement sur le champ visuel d'une réduction de l'épaisseur des fibres dépend de l'importance de l'atteinte. Il faut donc regarder précisément l'épaisseur dans les différents secteurs.



Patiente de 70 ans atteinte de glaucome à angle ouvert depuis 8 ans. L'atteinte est à peu près concordante entre le champ visuel et l'OCT, avec des altérations plus marquées à gauche aussi bien au niveau des fibres nerveuses rétiniennes qu'à celui de l'excavation.

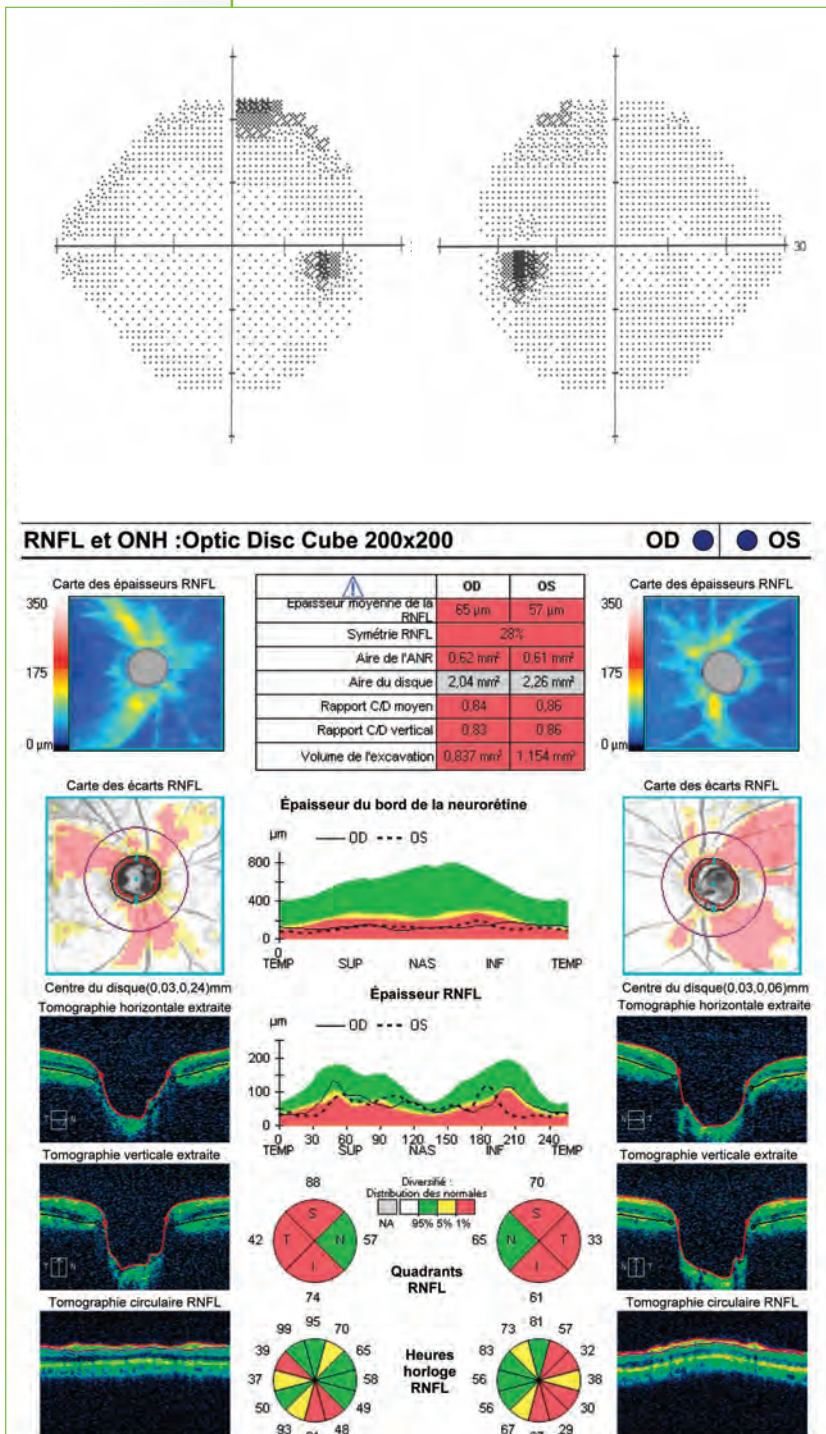
Ceci peut expliquer pourquoi une atteinte puisse ne pas être notable sur le champ visuel dans la région centrale si le point le plus déficitaire reste relativement bon. Pour cette raison, l'épaisseur minimale est présentée sur l'OCT maculaire, en plus de l'épaisseur moyenne.



Même patiente que sur la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. Atteinte maculaire importante des deux côtés, sans retentissement notable sur le champ visuel à droite. Ceci est lié au fait que dans la zone correspondante, le complexe ganglionnaire maculaire garde une épaisseur élevée de plus de 60 μm . À gauche, l'épaisseur dans le secteur supérieur est réduite à 44 μm et entraîne un scotome para-central profond inférieur.

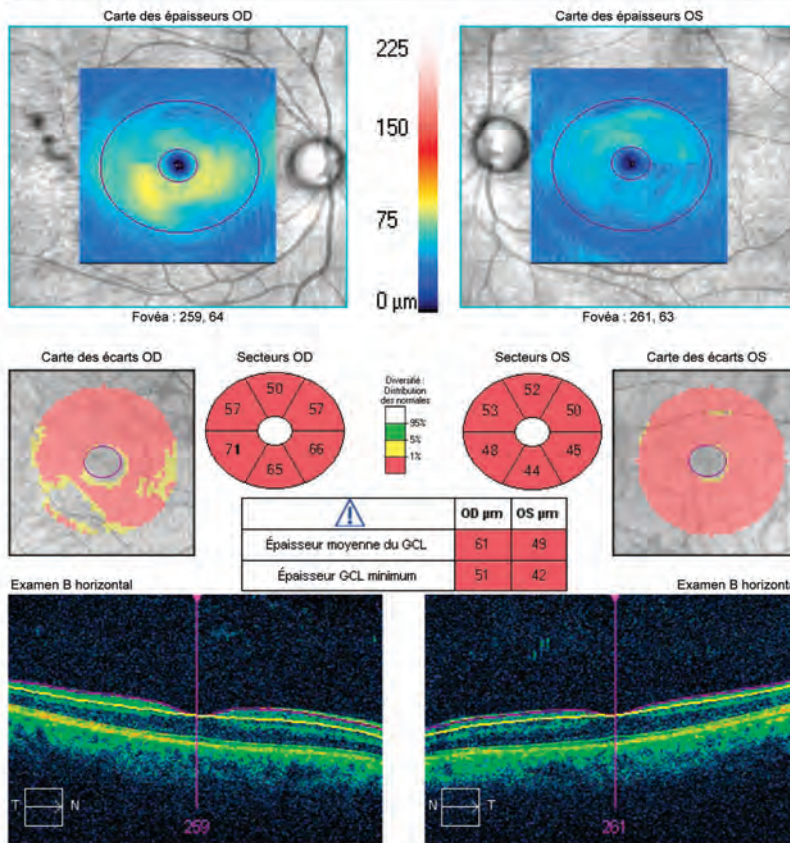
Glaucome à angle ouvert débutant : atteinte prédominante de l'OCT

Plus un sujet est jeune, plus l'OCT est perturbé avant que ne se modifie le champ visuel. Ceci est lié à la redondance des champs récepteurs des cellules ganglionnaires. Pour chaque région du champ visuel, plusieurs cellules ganglionnaires sont présentes et traitent la même zone. Ce phénomène diminue avec l'âge.



Patiente de 31 ans atteinte de glaucome à angle ouvert depuis 4 ans. Atteinte importante et presque isolée de l'OCT. Tous les paramètres concernant le nerf optique sont anormaux, de même que la plupart des éléments concernant la couche des fibres nerveuses rétiniennes.

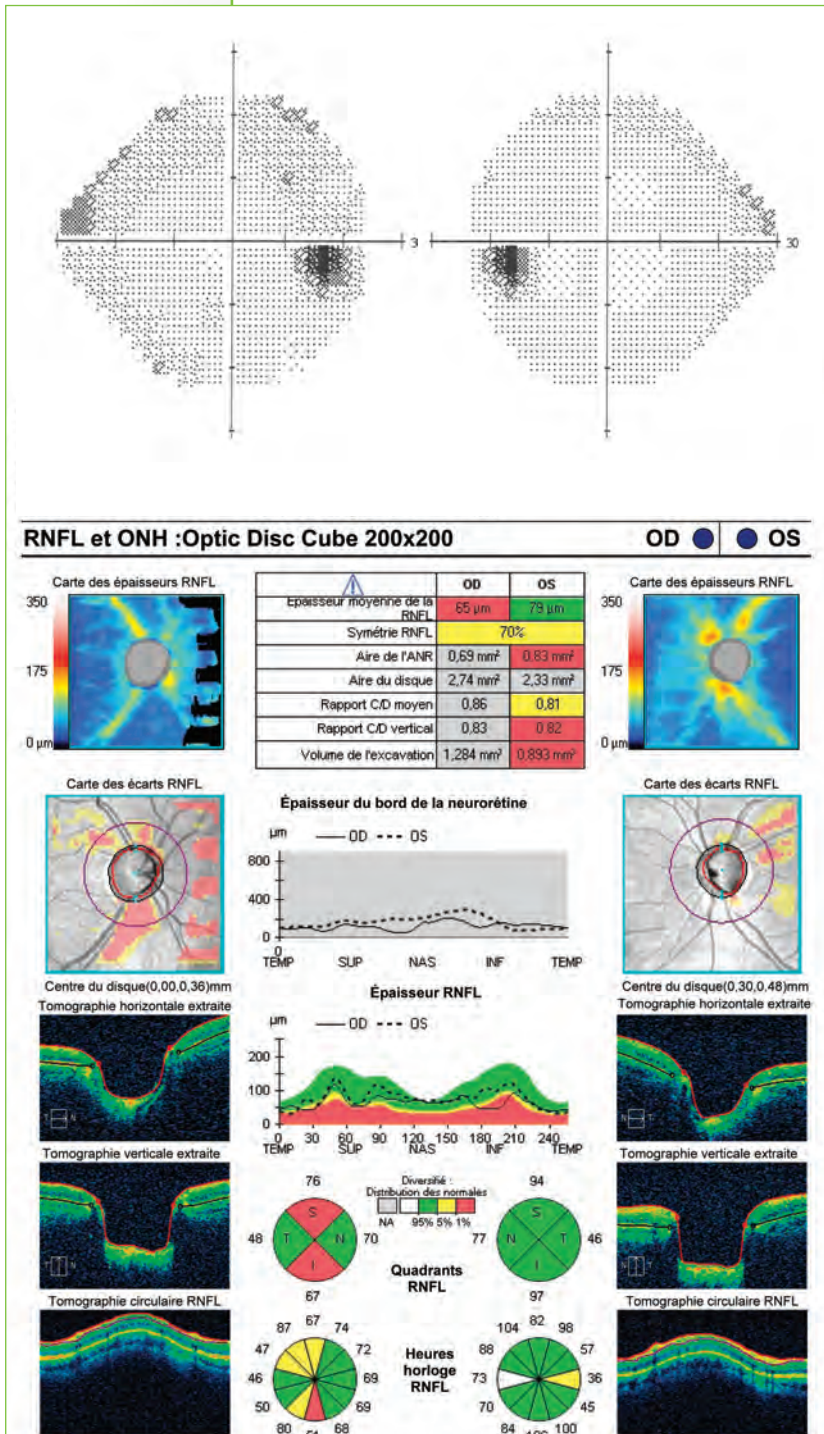
Analyse des cellules ganglionnaires : Macular Cube 512x128 OD ● | ● OS



Même patiente que sur la page précédente. Atteinte maculaire importante, sans atteinte de l'acuité visuelle, ni du champ visuel central.

Glaucome à angle ouvert débutant : atteinte prédominante du nerf optique sans atteinte des fibres optiques

L'absence d'atteinte de la couche des RNFL ne permet pas d'éliminer un glaucome. S'il existe une excavation notée en clinique ou en OCT et que celle-ci est associée à une petite atteinte du champ visuel, le diagnostic de glaucome vrai doit être retenu.

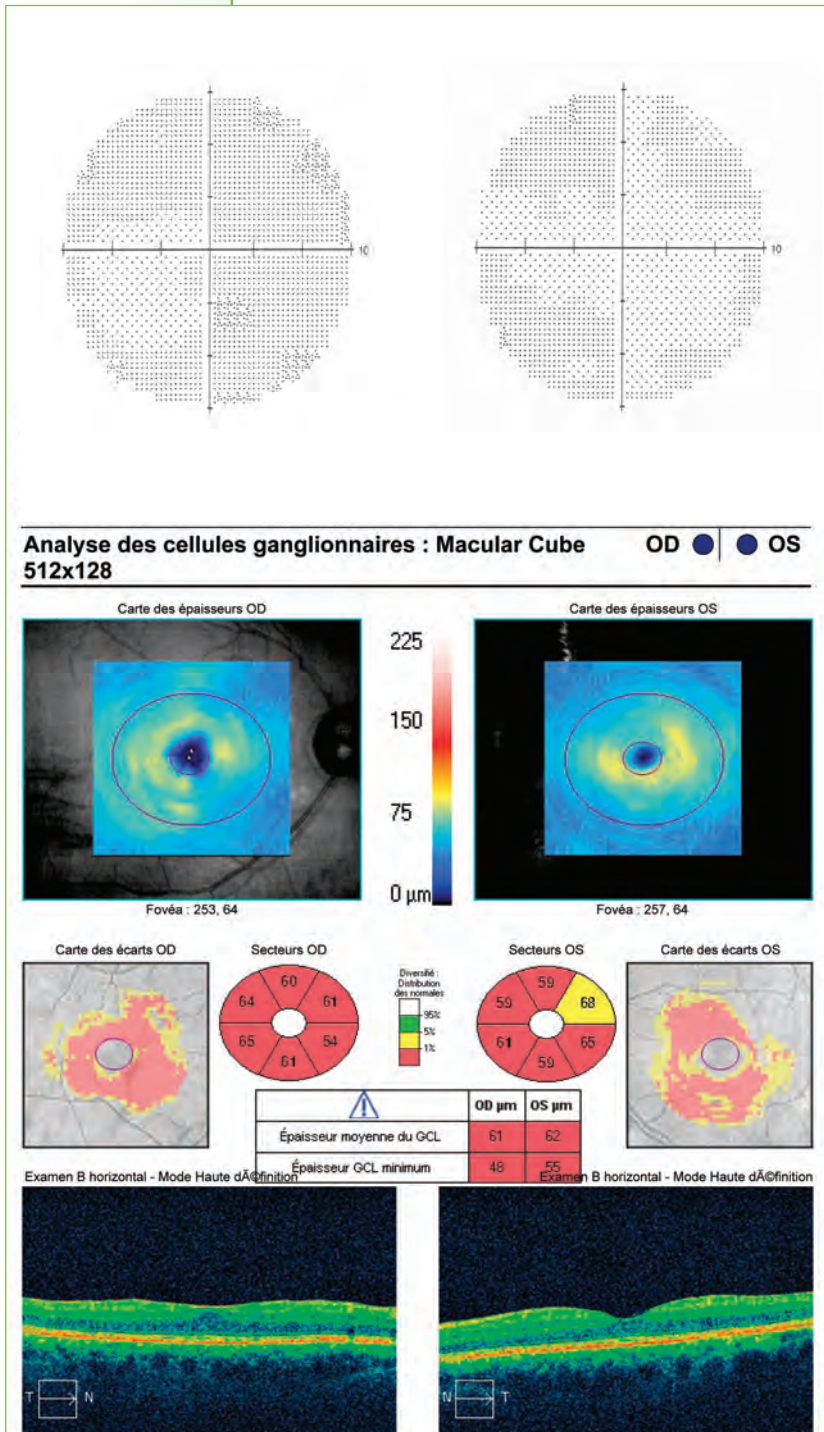


Patient de 68 ans présentant une hypertension oculaire.

A droite le diagnostique de glaucome ne fait pas de doute aussi bien au niveau de la couche RNFL que dans la région maculaire.

A gauche, on ne note pas d'atteinte de la couche RNFL mais les paramètres OCT du nerf optique sont anormaux. Le glaucome est bien bilatéral. Les champs visuels légèrement anormaux soutiennent le diagnostic.

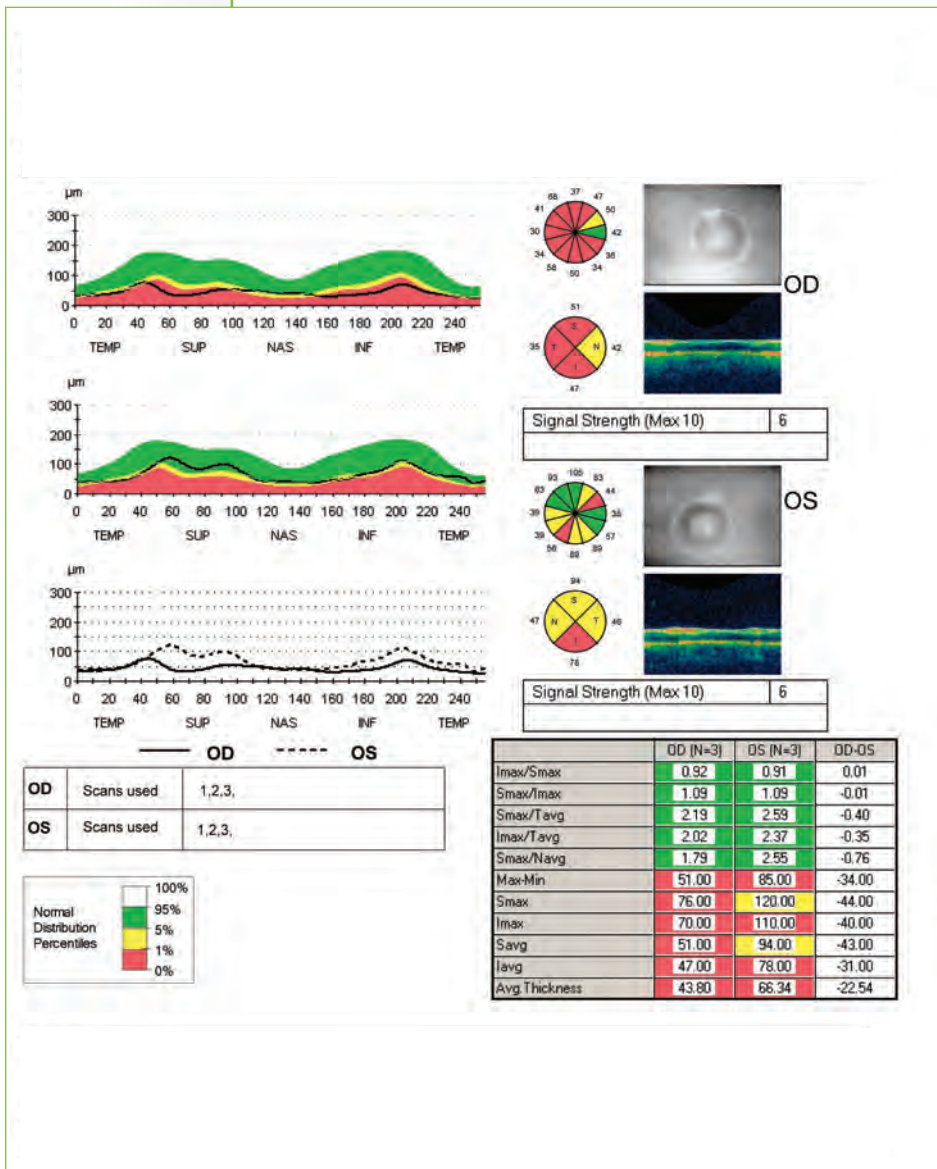
Lorsque la couche RNFL est normale, l'analyse des cellules ganglionnaires, maculaires permet de distinguer hypertonie isolée et début de souffrance des fibres optiques.



Même patient. OCT et champs visuels des 10° centraux. Atteinte bilatérale de la couche des cellules ganglionnaires maculaires. Le champ visuel central est normal.

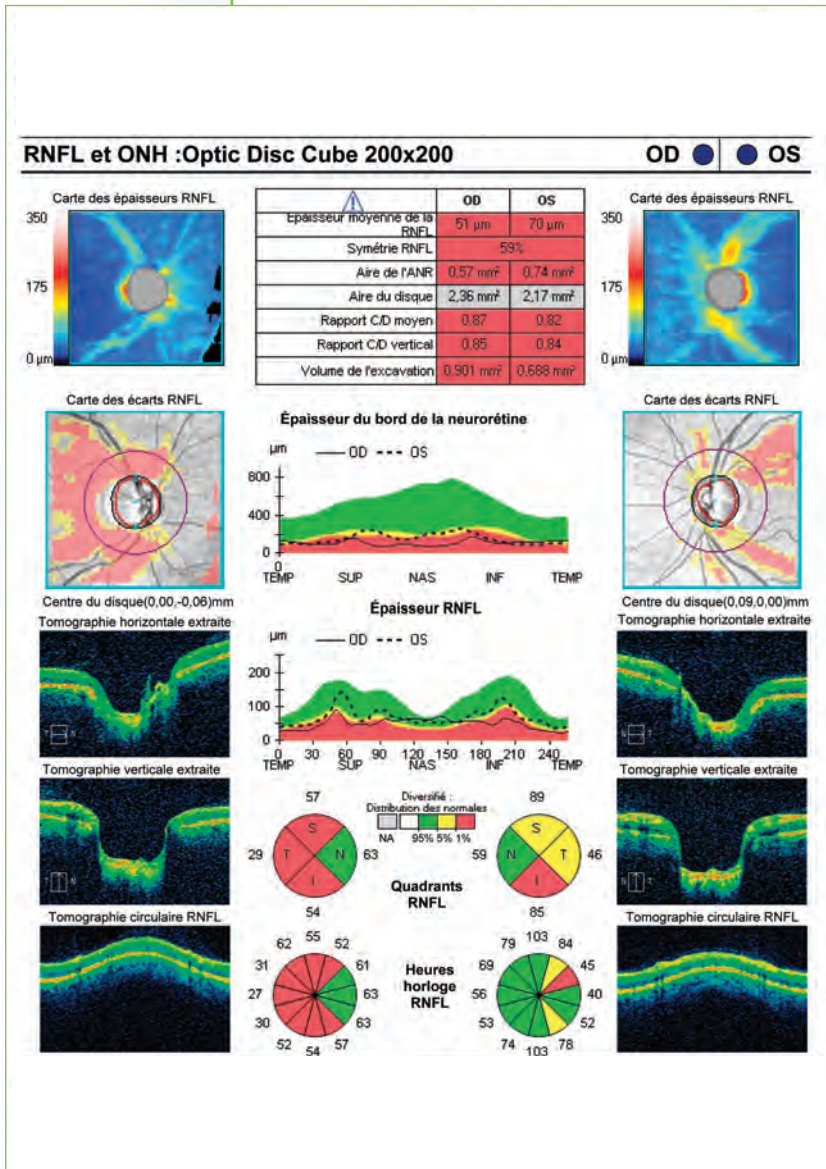
Glaucome à angle ouvert débutant : comparaison entre OCT « Time Domain » et « Spectral Domain »

La comparaison de l'OCT Time Domain (Stratus OCT, Carl Zeiss) et Spectral Domain (Cirrus™ HD-OCT, Carl Zeiss) montre que ces deux méthodes ont la même capacité de détection du glaucome débutant. La principale différence réside dans le fait que le Spectral Domain est plus reproductible et permettrait donc un meilleur suivi que le Time Domain ¹⁰.



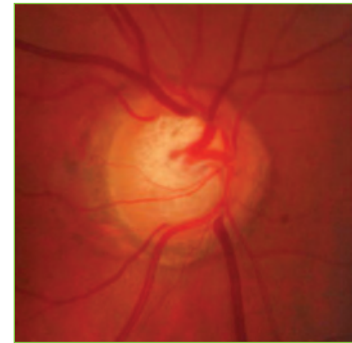
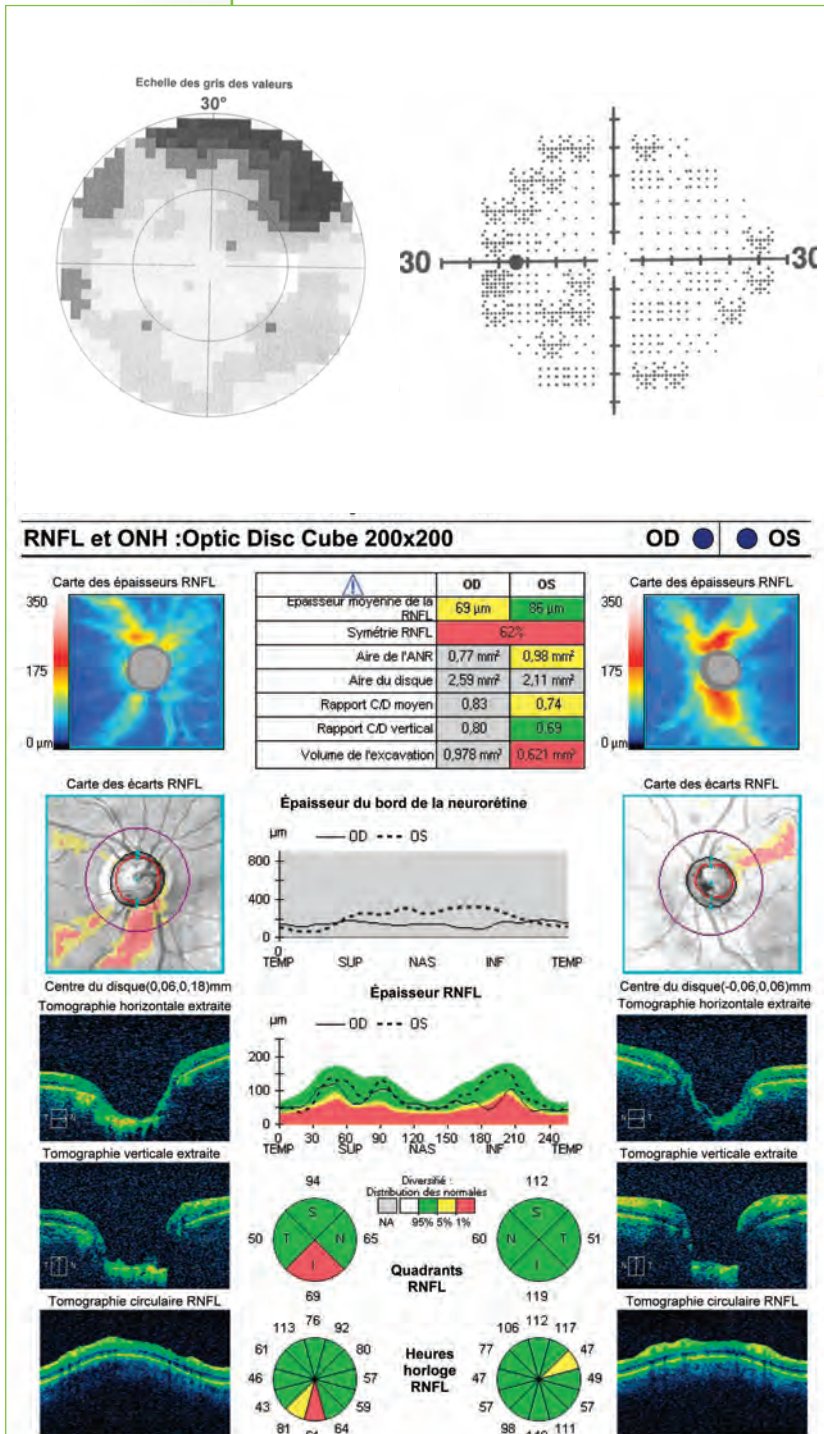
Glaucome. OCT Time Domain

Les résultats obtenus par un OCT Time Domain et par un Spectral Domain ne sont pas identiques. On constate une variation des résultats de l'ordre de 10 à 20 %, en particulier dans les glaucomes sévères. Les « codes couleurs » du Stratus OCT et du Cirrus™ HD-OCT ne sont pas interchangeables. En général, l'épaisseur de la RNFL est plus faible avec le Cirrus qu'avec le Stratus.

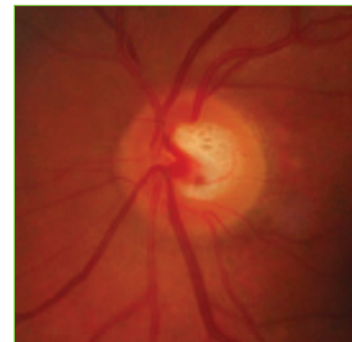


Glaucome à angle ouvert modéré : atteinte concordante de l'OCT et du champ visuel

Une parfaite concordance entre OCT et champ visuel est rarement retrouvée, dans la mesure où l'OCT permet souvent de détecter une atteinte légèrement plus importante que la périmétrie.



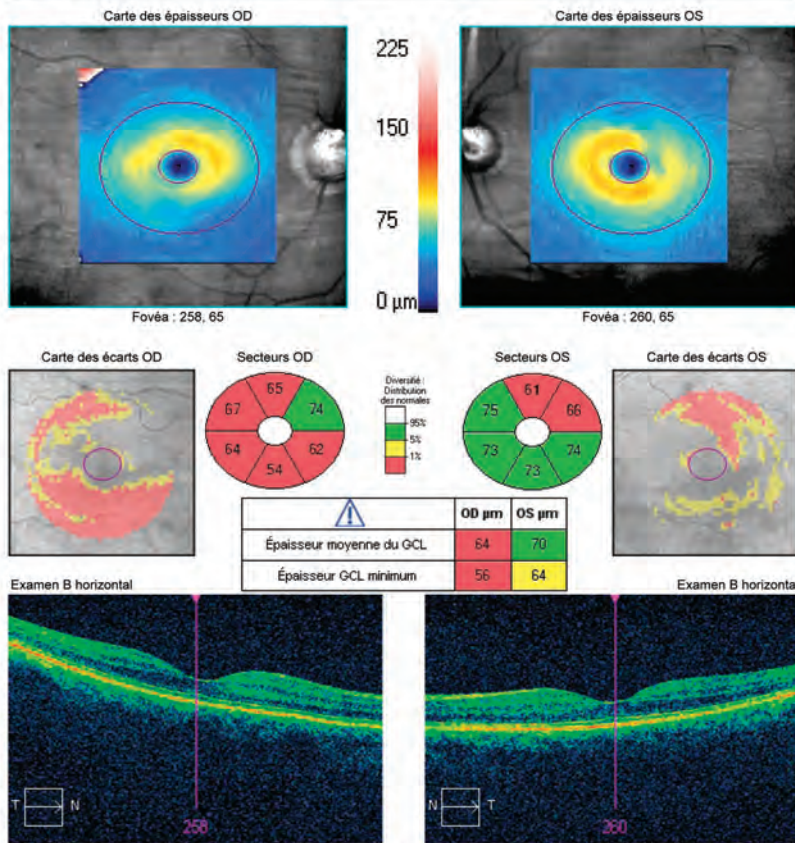
Œil droit



Œil gauche

Glaucome modéré à droite. Le champ visuel met en évidence un déficit supérieur. Les fibres optiques sont atteintes uniquement dans la région inférieure concordante.

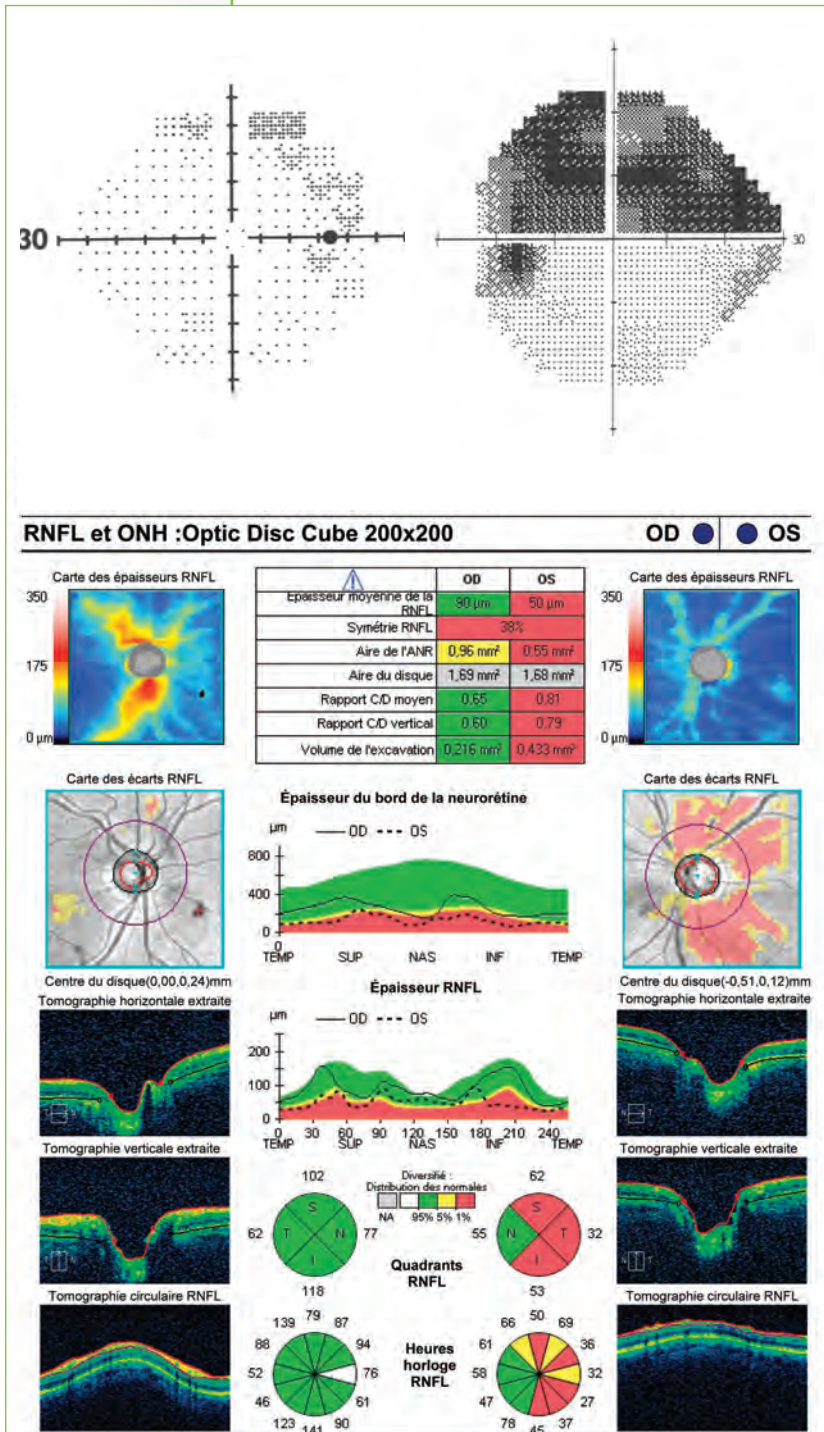
Analyse des cellules ganglionnaires : Macular Cube 512x128 OD ● | ● OS



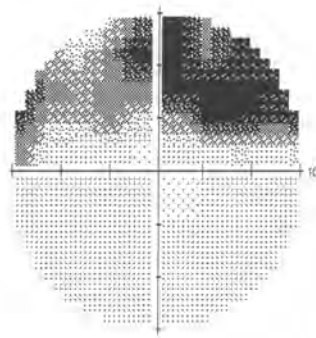
Même patient que sur la page précédente. L'analyse des cellules ganglionnaires maculaires confirme cette atteinte concordante avec le champ visuel, mais montre aussi une atteinte infraclinique dans la région supérieure et au niveau de l'autre œil.

Glaucome à angle ouvert modéré : atteinte prédominante de l'OCT

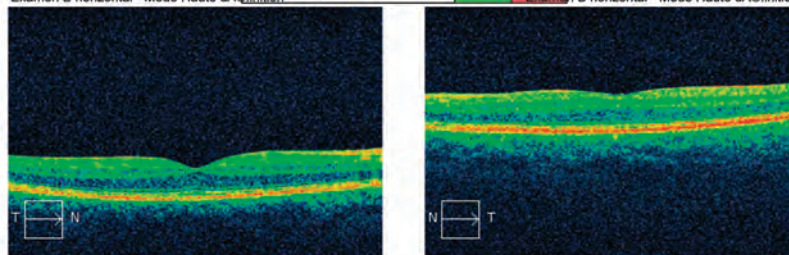
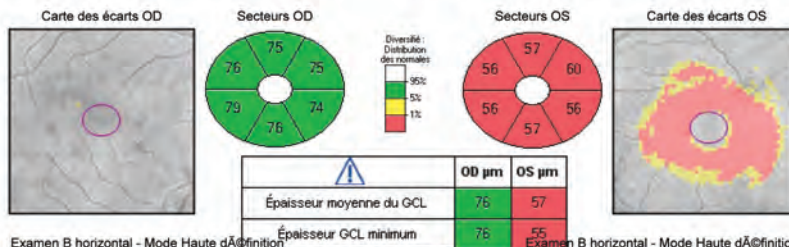
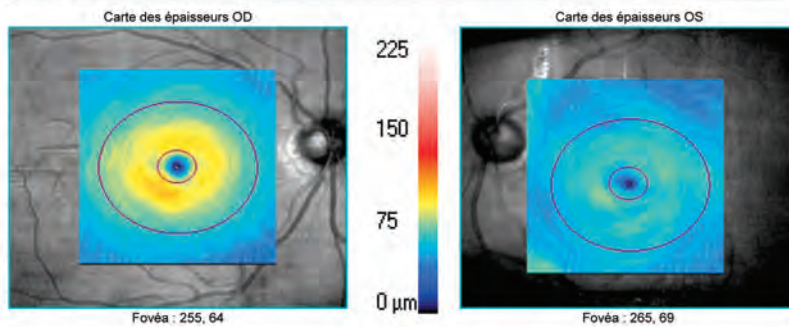
L'atteinte de l'OCT dans un glaucome modéré est parfois plus importante que ne pourrait le prévoir le champ visuel. L'OCT apparaît ainsi très utile non pas seulement pour confirmer le déficit périmétrique, mais aussi pour analyser d'autres régions semblant normales sur le champ visuel.



Glaucome modéré. Le champ visuel met en évidence un déficit essentiellement supérieur. Les fibres optiques sont atteintes dans la région inférieure concordante, mais aussi dans la région supérieure. L'œil droit est normal en champ visuel Matrix et en OCT.



Analyse des cellules ganglionnaires : Macular Cube 512x128 OD ● | ● OS



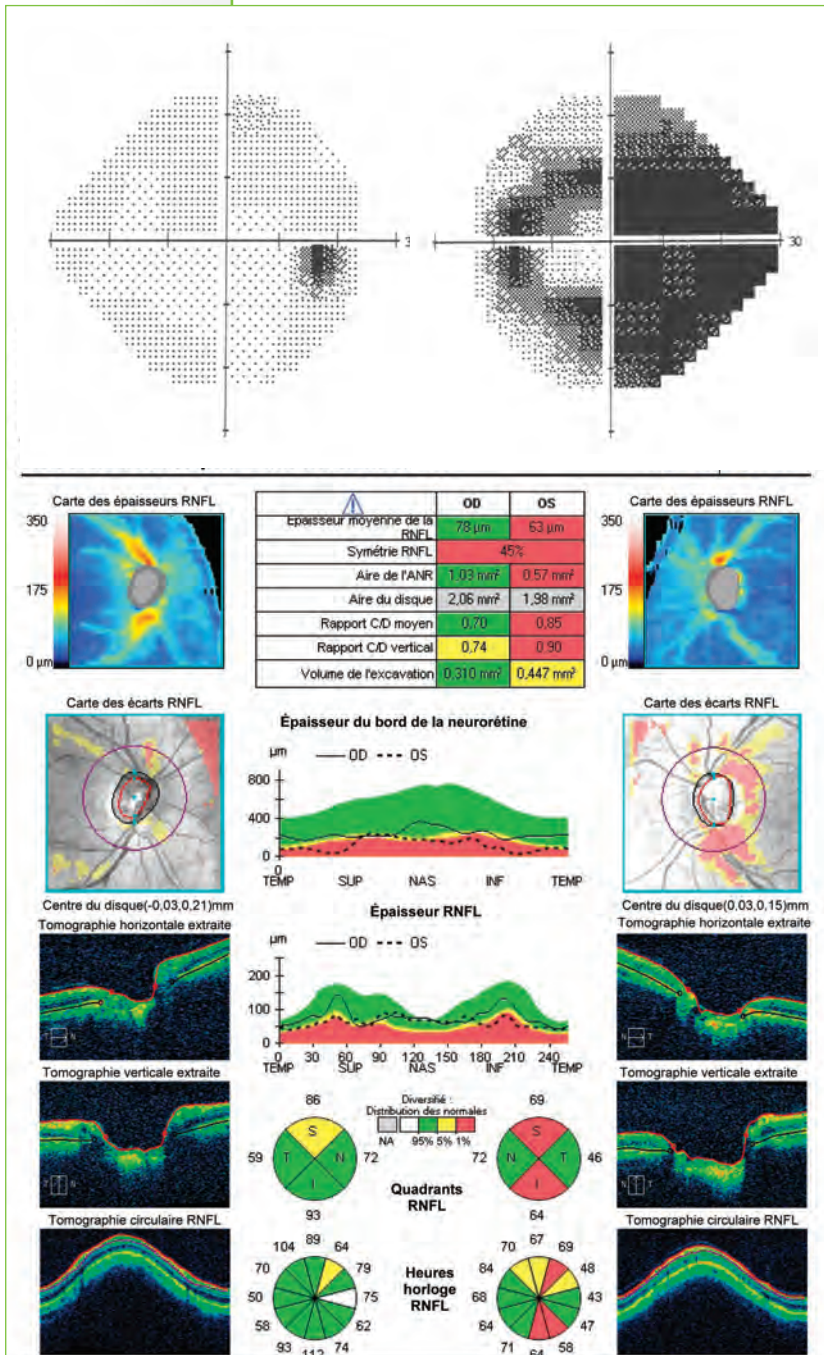
Même patient que sur la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. L'analyse des cellules ganglionnaires maculaires confirme que l'atteinte concorde avec le champ visuel, mais montre aussi une atteinte infraclinique dans la région supérieure. L'œil droit est entièrement normal.

Glaucome à angle ouvert avancé

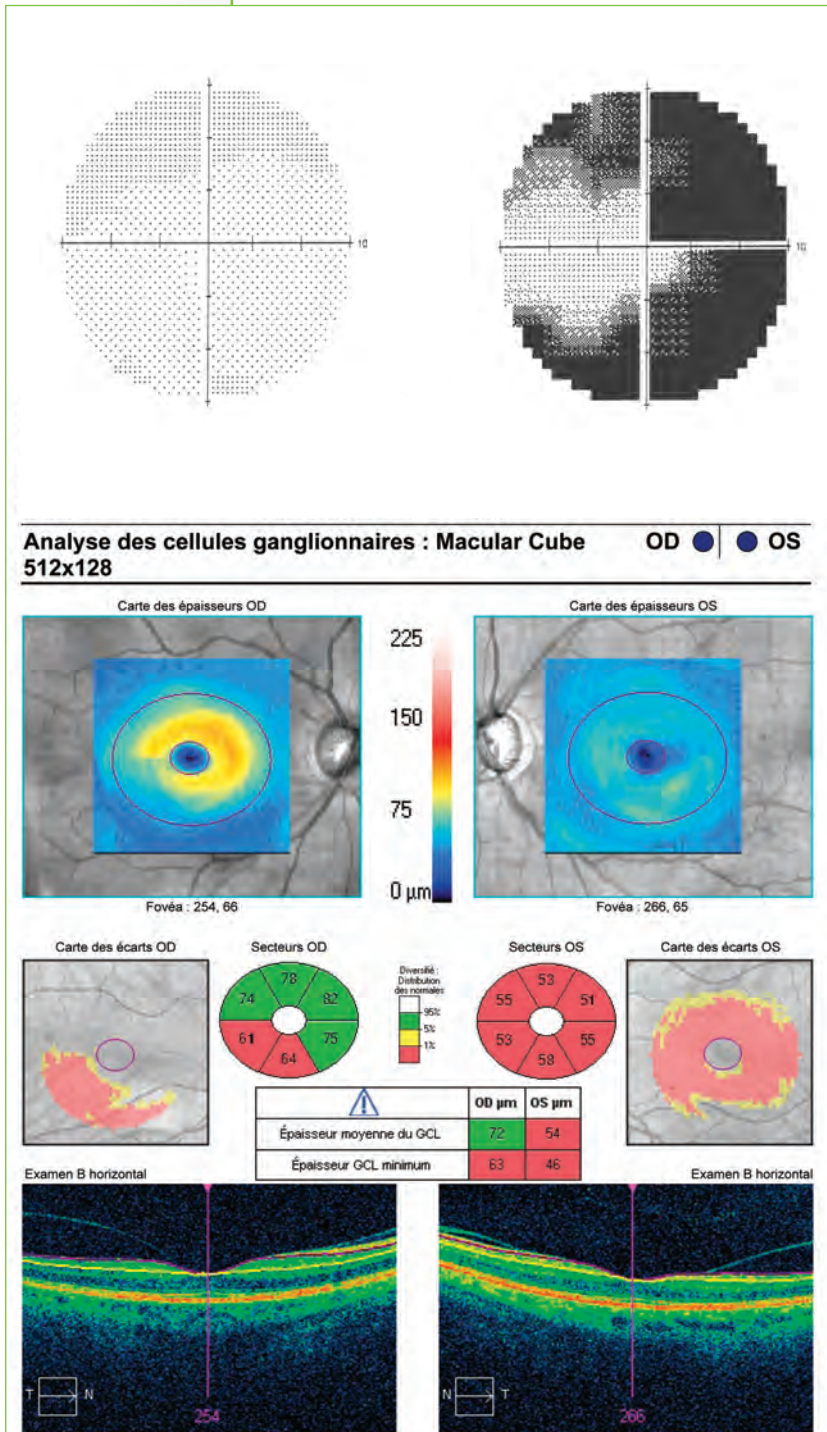
Dans le glaucome avancé, l'OCT confirme l'atteinte, mais le champ visuel garde sa place prédominante. En effet, au-delà d'une certaine gravité, l'épaisseur des couches des fibres optiques ou celle des cellules ganglionnaires maculaires ne diminue plus en raison de la présence, malgré l'atrophie optique, de structures de soutien rendant compte de l'épaisseur résiduelle de la couche RNFL.

Glaucome à angle ouvert avancé : atteinte concordante de l'OCT et du champ visuel

Dans le glaucome avancé, une épaisseur de 50 µm environ correspond à des régions de déficits absolus du champ visuel.



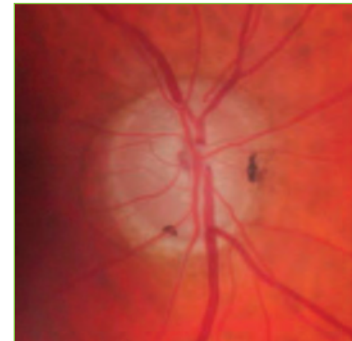
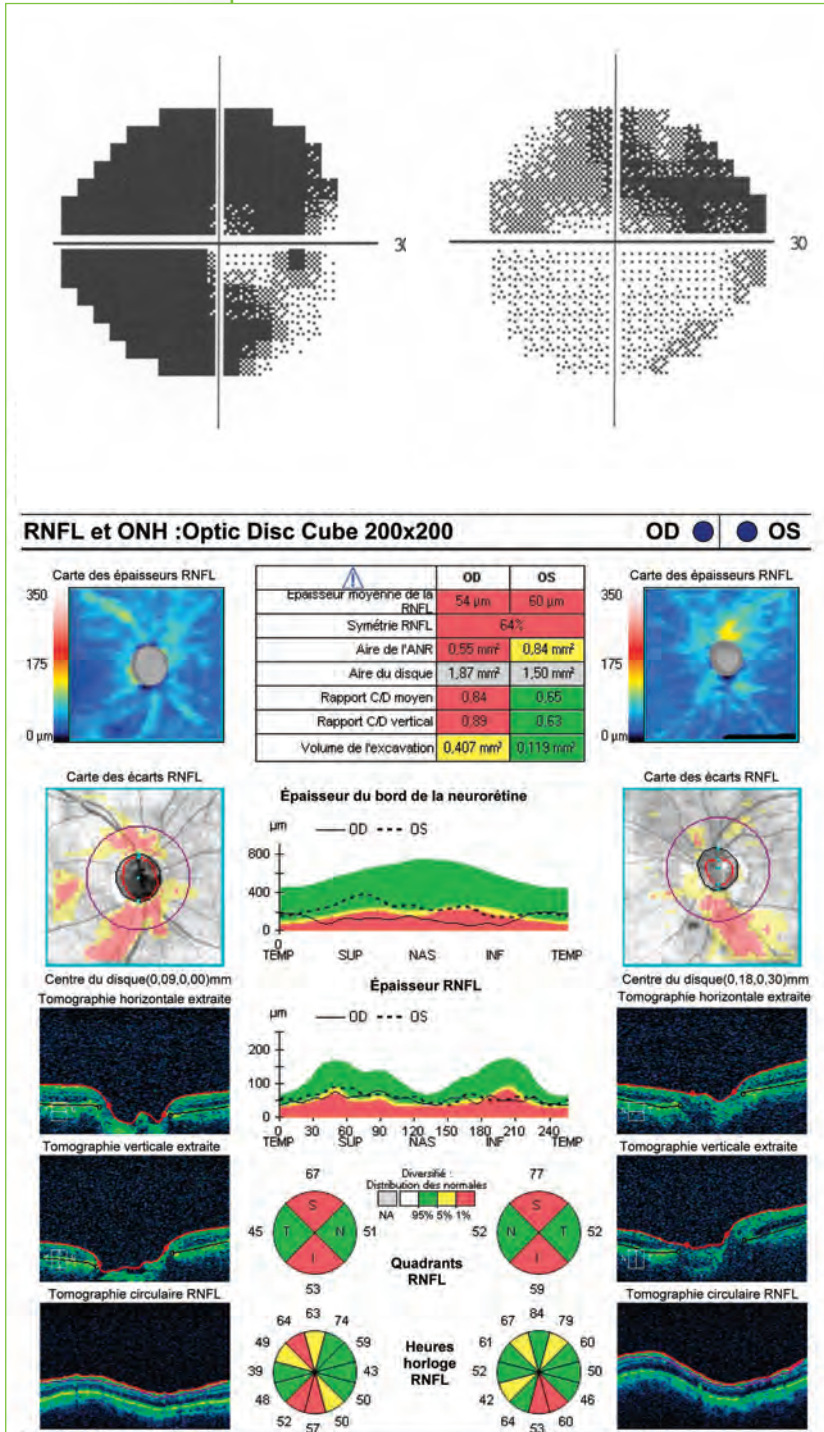
Patiente de 61 ans présentant un glaucome prédominant à gauche. Le profil OCT conserve une atteinte préférentielle dans les secteurs supérieurs et inférieurs avec une relative conservation du faisceau temporal.



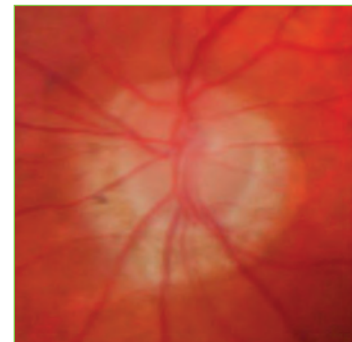
Même patiente que sur la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. Une atteinte modérée est présente à droite. Toutes les régions maculaires sont atteintes à gauche. Notez qu'une simple différence de 15 μm à 20 μm sépare des zones de déficit débutant (œil droit) et de déficit absolu (œil gauche).

Glaucome à angle ouvert avancé : atteinte prédominante du champ visuel

Dans les stades les plus avancés de glaucome, il est difficile de se baser sur l'épaisseur des fibres optiques, aussi bien au niveau papillaire que maculaire. Cette épaisseur ne se réduit que faiblement dans cette situation.

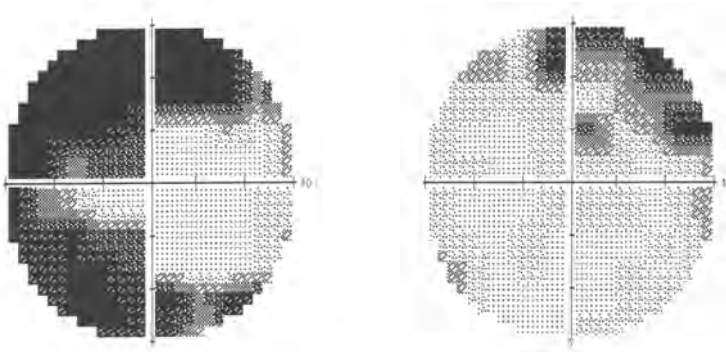


Oeil droit

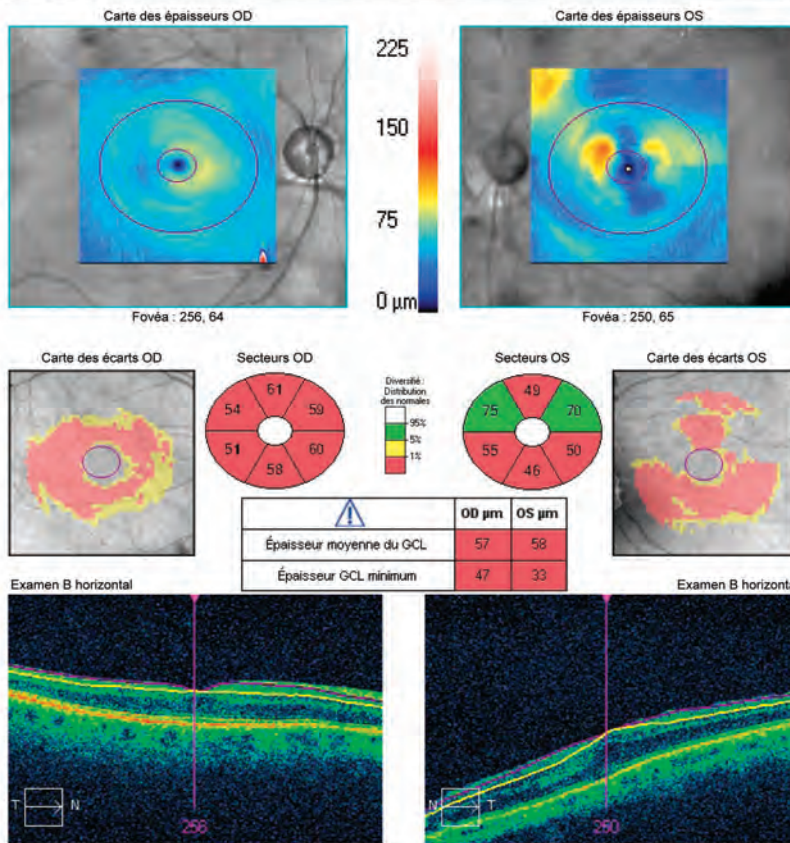


Oeil gauche

Patiente de 84 ans présentant un glaucome avancé avec baisse d'acuité visuelle à droite. De ce côté, le MD du champ visuel est de -26dB. Il est de -11dB à gauche. En OCT, cette différence est moins marquée, l'épaisseur moyenne de la couche RNFL étant de 54 µm à droite contre 60 µm à gauche.



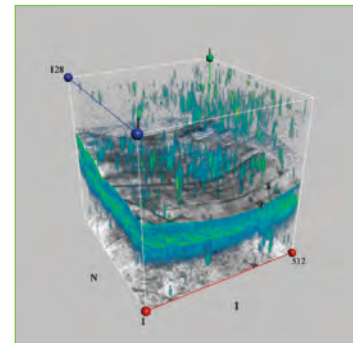
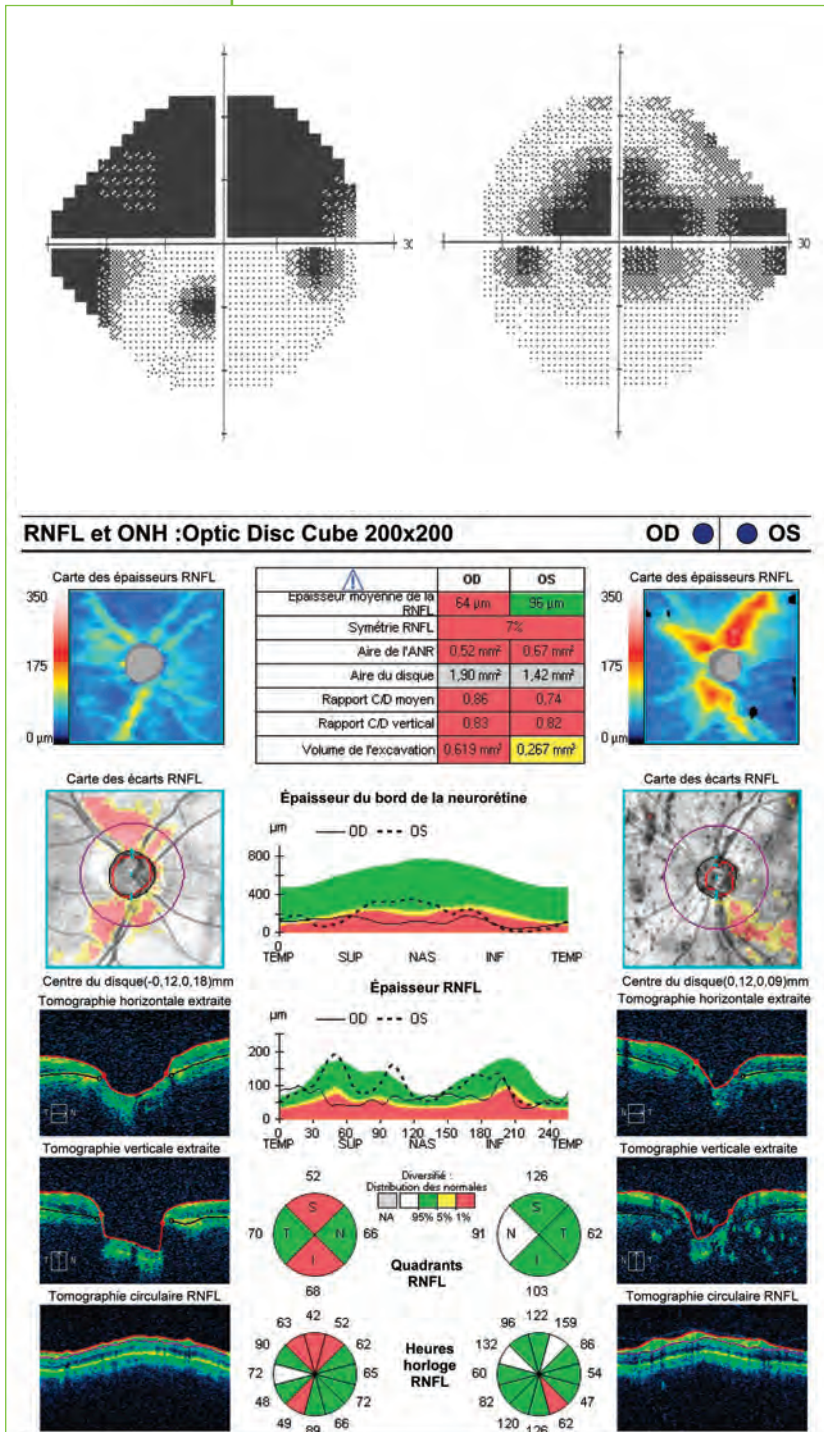
Analyse des cellules ganglionnaires : Macular Cube 512x128 OD ● | ● OS



Même patiente que sur la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. Le même constat est fait concernant l'absence de corrélation nette entre déficit du CV et épaisseur du complexe des cellules ganglionnaires. Le MD est à -20dB à droite et -9dB à gauche. Les épaisseurs moyennes de fibres maculaires sont de 57 μm à droite et 58 μm à gauche.

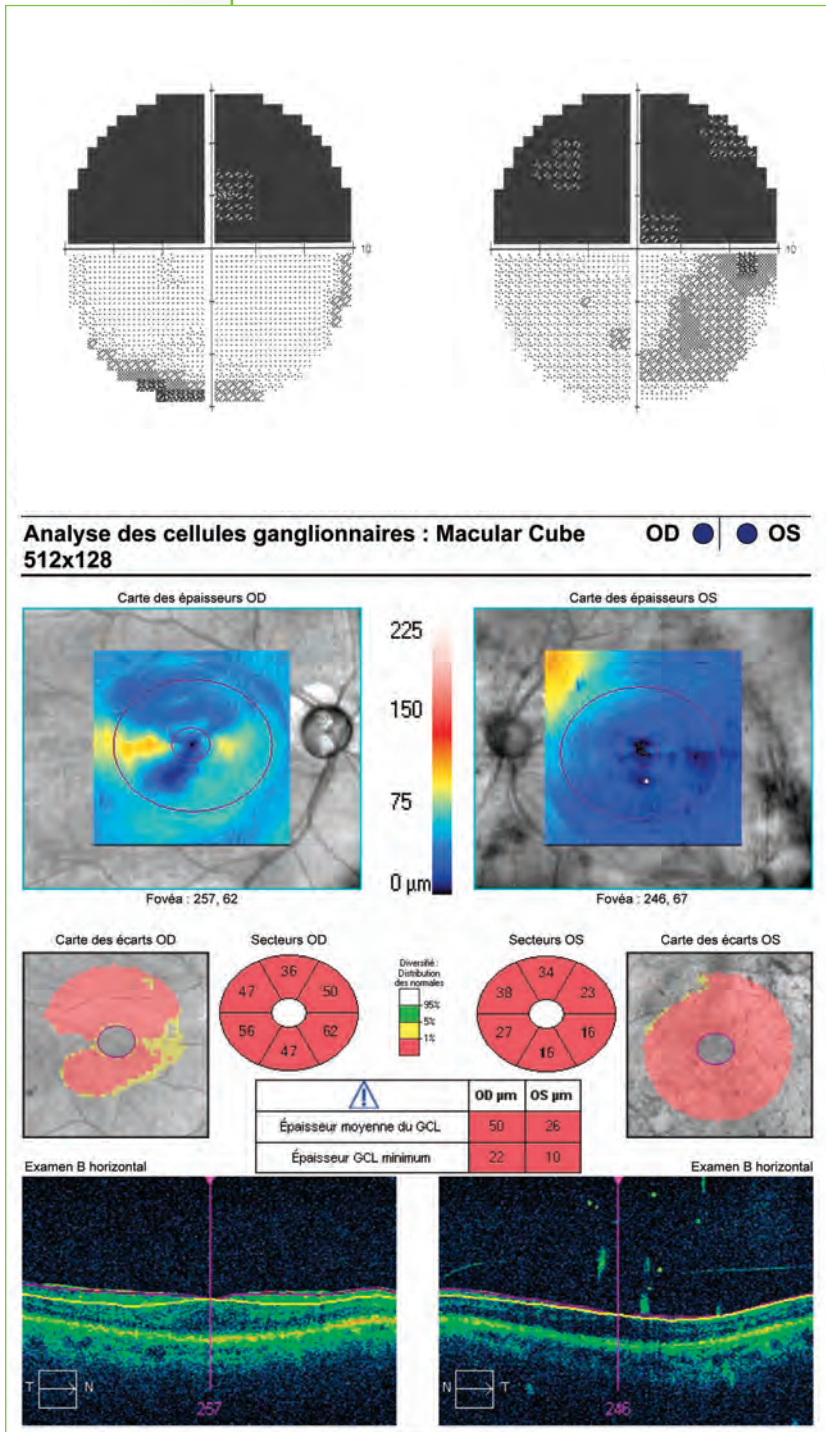
Glaucome à angle ouvert avancé : atteinte discordante entre OCT et champ visuel

L'OCT ne montre parfois qu'une atteinte modérée malgré un champ visuel manifestement anormal. Il peut s'agir d'erreurs de mesure ou d'une discordance vraie.



Aspect « en gouttes » liées aux opacités vitréennes de l'œil gauche.

Patiente de 65 ans présentant un glaucome bilatéral à peu près symétrique. Pourtant la couche des RNFL ne semble être vraiment anormale qu'à droite. Peut être s'agit-il d'erreurs de mesure liées à la présence d'un important synchisis étincelant de l'œil gauche, bien individualisable en OCT et responsable d'une médiocre qualité de signal.

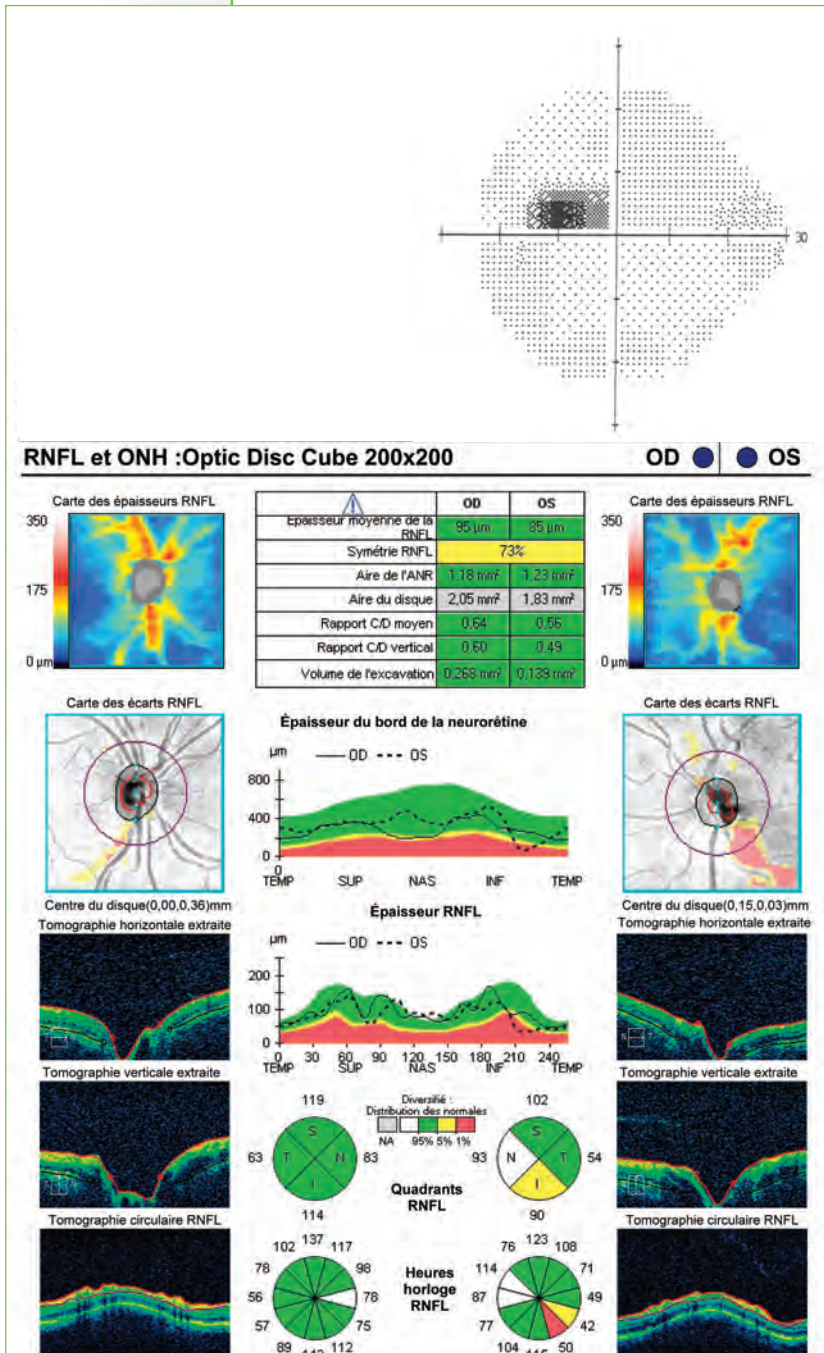


Même patiente que sur la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. L'OCT maculaire est atteint des 2 côtés.

Dans le glaucome à pression normale, on constate souvent une atteinte du champ visuel dans les 10° centraux. Compte tenu du grand nombre de cellules ganglionnaires dans cette région centrale, cela se traduit par une réduction notable de la surface de l'anneau rétinien et donc une excavation importante au stade avancé. L'OCT tend aussi à retrouver des caractéristiques identiques. Une atteinte isolée ou prédominante de la région maculaire est souvent retrouvée.

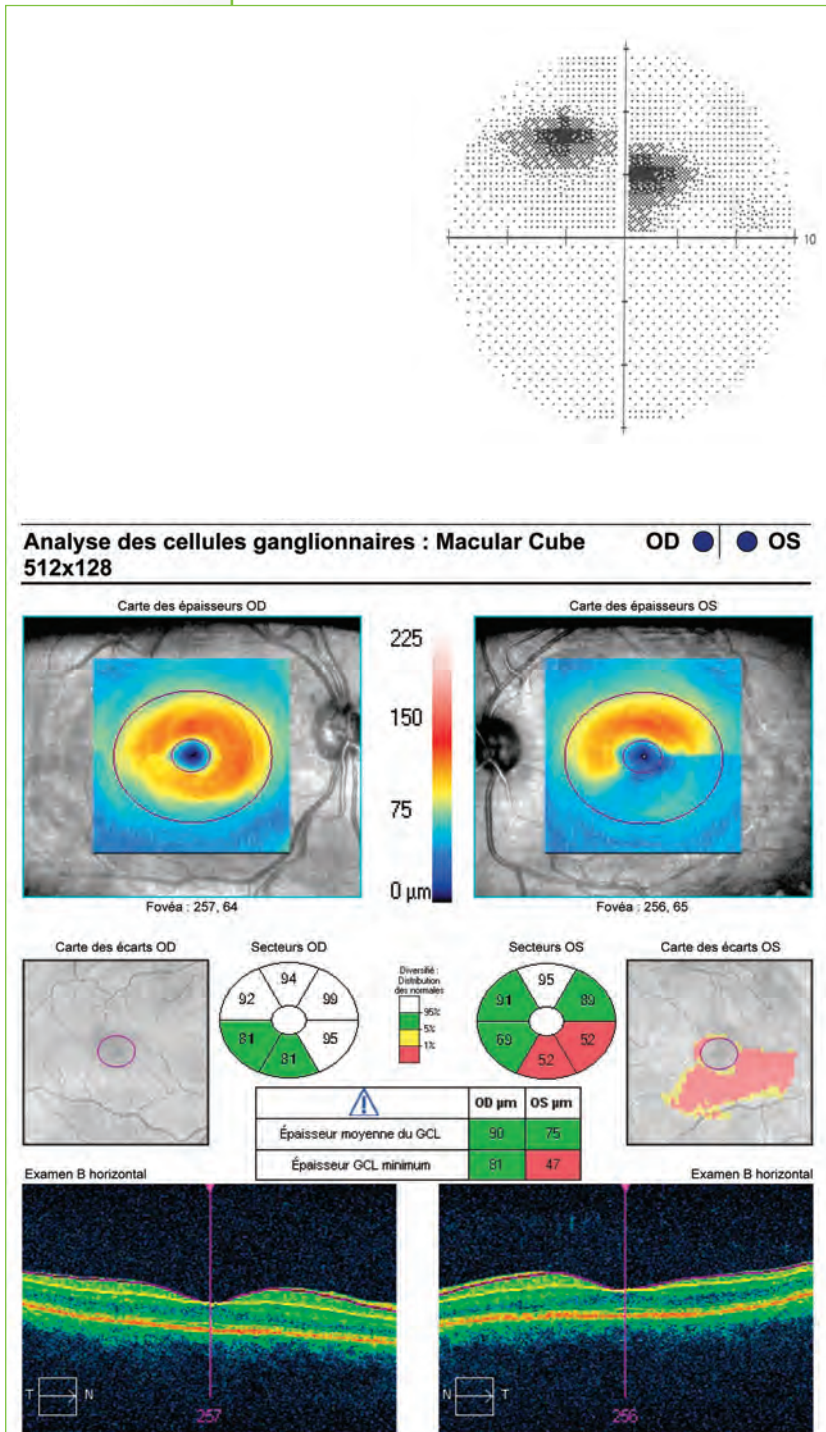
Glaucome à pression normale : déficit fasciculaire isolé

Un déficit isolé peut être constaté dans le glaucome à pression normale, se traduisant par une encoche aussi bien au niveau de la tête du nerf optique que sur la couche des RNFL.



Patiente de 60 ans, pression oculaire de 15 mmHg sans traitement. Les résultats sont normaux à droite. Un fin déficit fasciculaire est retrouvé à gauche, aussi bien au niveau du nerf optique que des fibres parapapillaires. Les paramètres du nerf optique sont normaux.

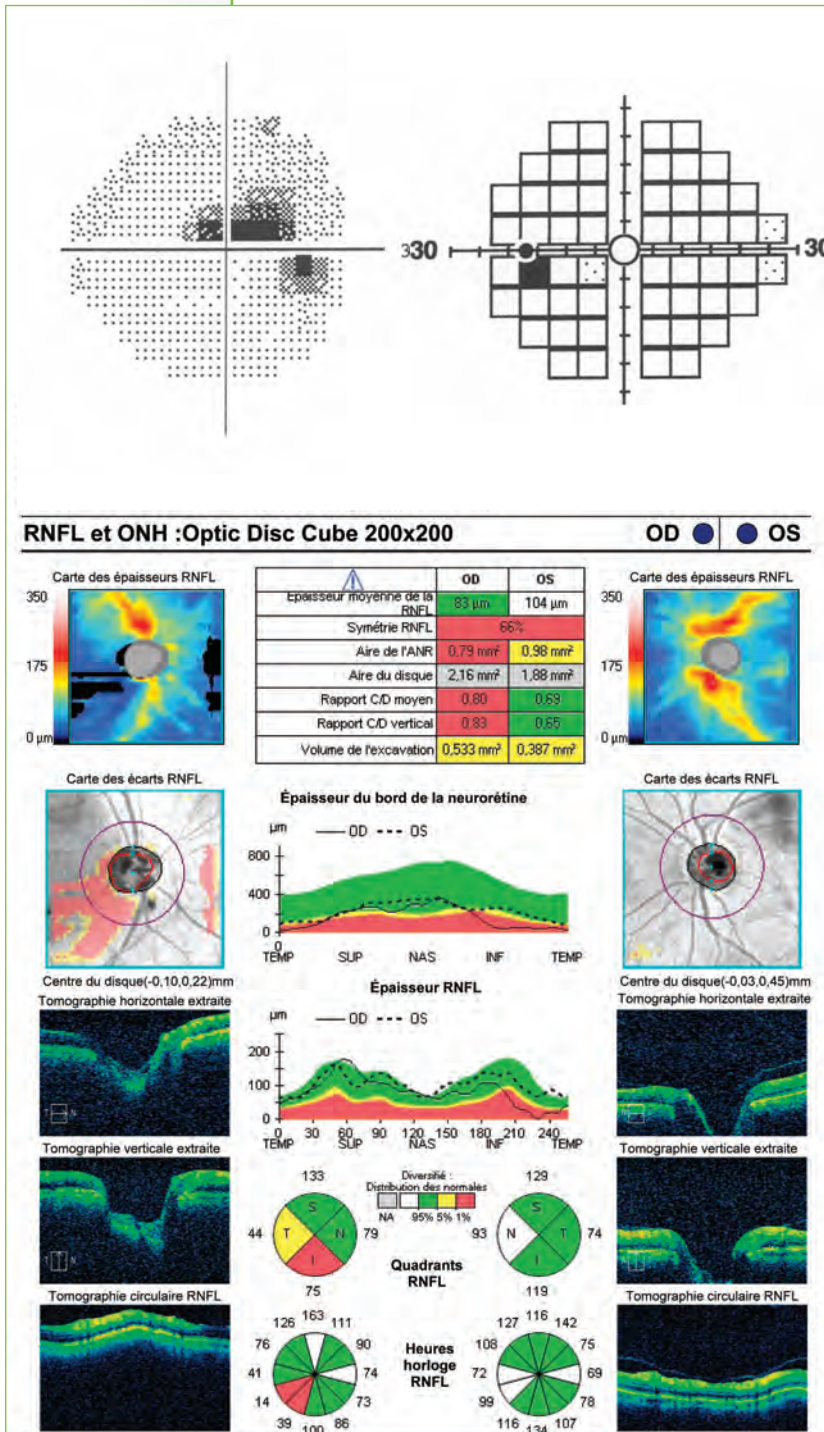
Les caractéristiques en OCT d'un glaucome à pression normale sont, au stade précoce, une atteinte prédominante ou isolée de la région maculaire.



Même patiente que sur la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. Atteinte très localisée du complexe ganglionnaire maculaire à gauche.

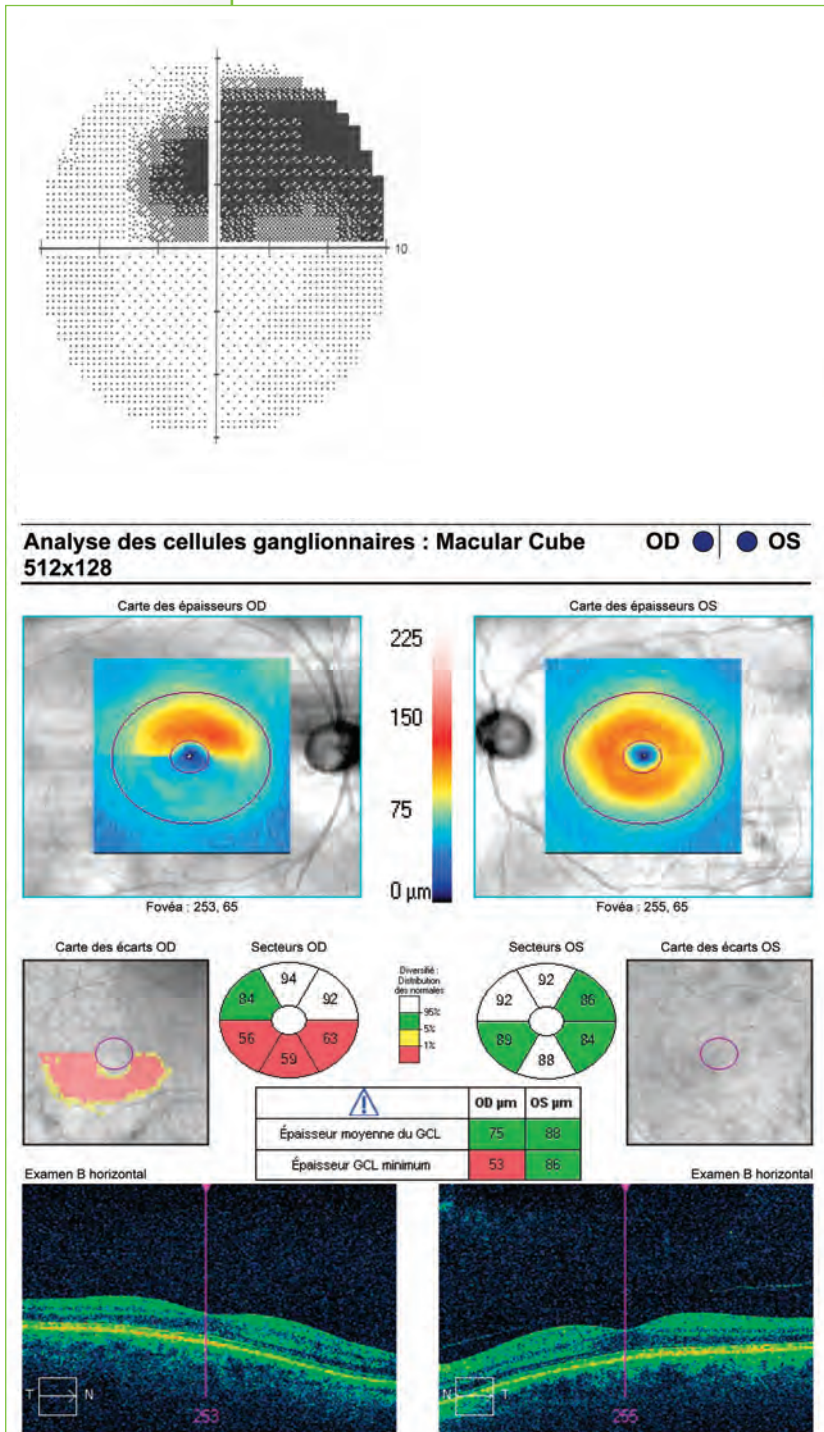
Glaucome à pression normale débutant

Dans les phases débutantes, le RNFL moyen est moins atteint dans le glaucome à pression normale que dans le glaucome hypertonique, ce qui est logique puisque les faisceaux touchés sont plus fins¹².



Patiente de 68 ans, pression oculaire de 16 mmHg sans traitement. L'OCT montre une atteinte très localisée à droite. L'épaisseur RNFL moyenne n'est pas perturbée, mais les paramètres du nerf optiques sont touchés à droite.

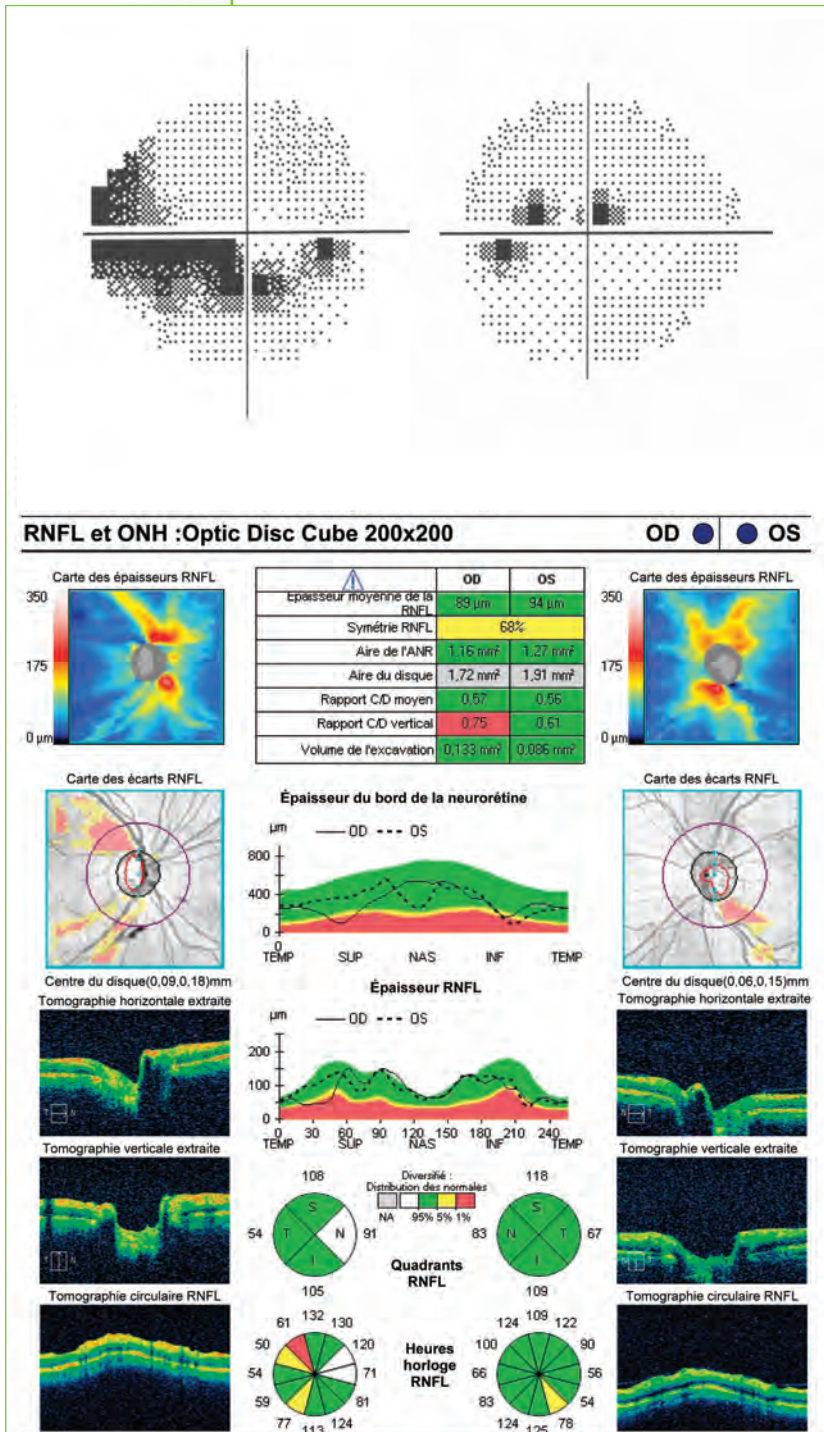
Dans le GPN, les scotomes paracentraux sont d'emblée profonds et absolus et ne passent que brièvement par une phase de scotome relatif. L'OCT au contraire permet une quantification de la couche des fibres optiques de la région maculaire qui peut se réduire progressivement alors qu'aucun signe fonctionnel n'est présent.



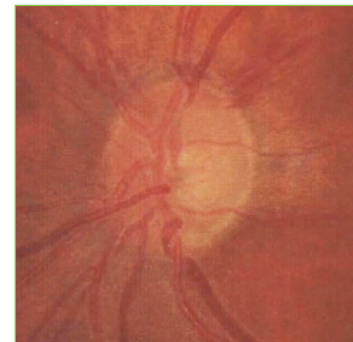
Même patiente que sur la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. Une atteinte maculaire inférieure très localisée est retrouvée, en OCT, en concordance avec le déficit permétrique.

Glaucome à pression normale modéré

La distinction en OCT entre glaucome à pression normale et glaucome à pression élevée est retrouvée essentiellement dans les phases initiales de l'affection. Lorsque le glaucome est plus avancé et que le champ visuel est touché de manière moins spécifique, cette différence entre glaucome à pression normale et glaucome hypertonique s'estompe peu à peu.



Œil droit

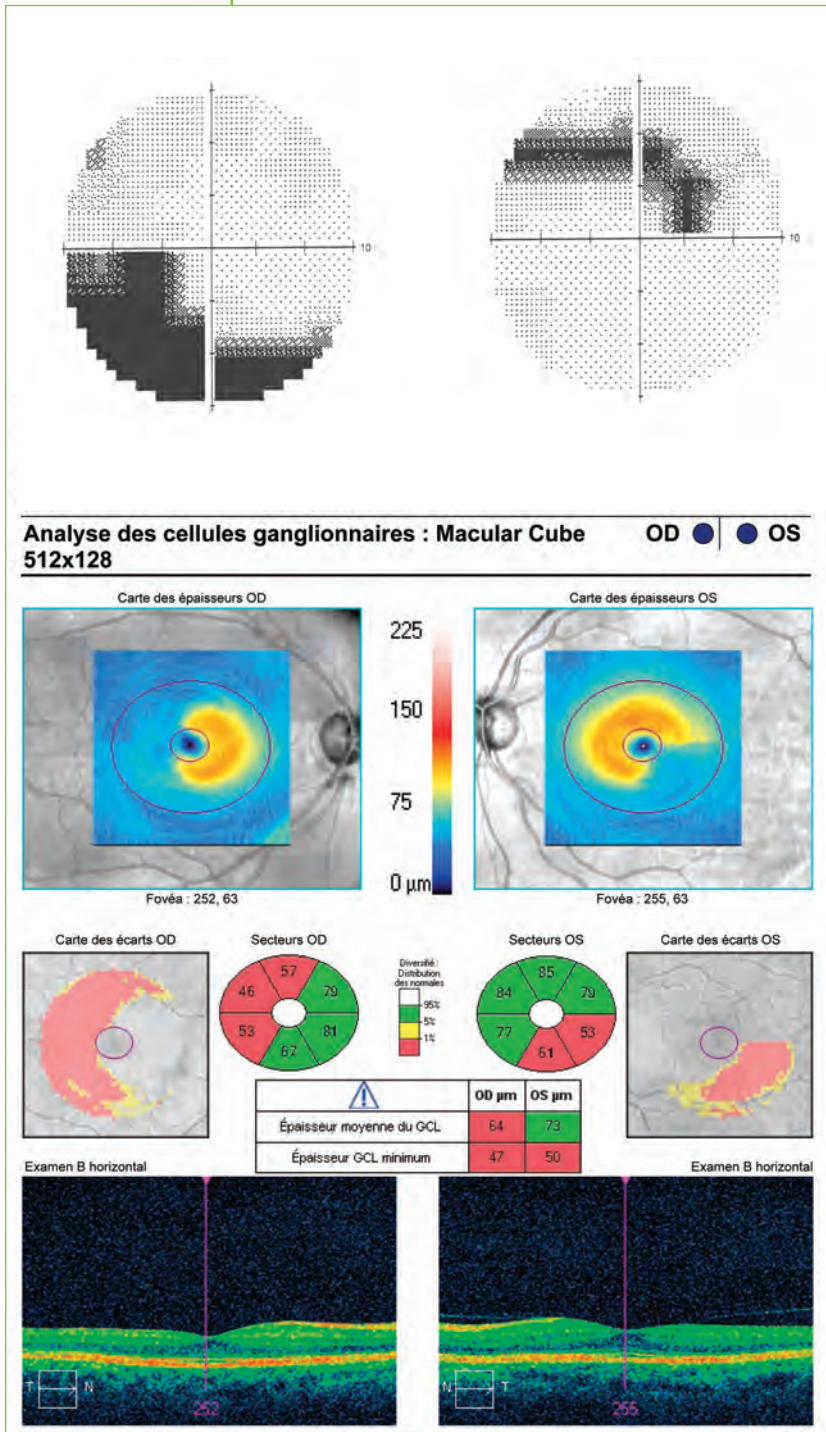


Œil gauche

Patiente de 60 ans atteinte de glaucome à pression normale. L'œil droit associe les signes usuels de glaucome à angle ouvert avec un ressaut nasal et un scotome arciforme. La couche des RNFL reste relativement peu perturbée.

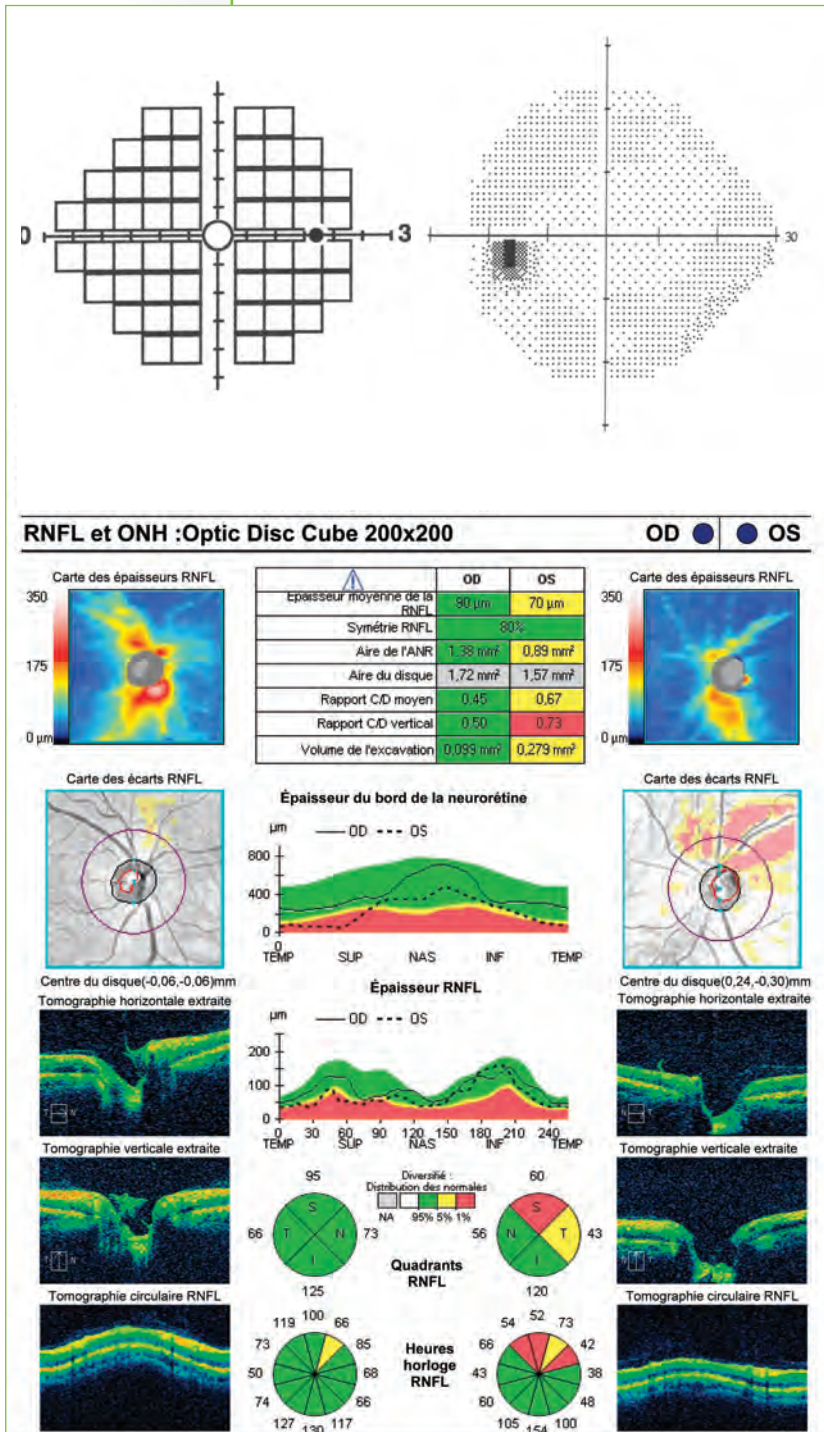
A gauche apparaît un petit scotome paracentral qui ne modifie que légèrement l'épaisseur de la couche des fibres optiques.

L'analyse du complexe des cellules ganglionnaires maculaires disponible en « Spectral Domain » permet de détecter un début d'atteinte qui se traduit par une réduction très localisée des fibres, avec moins d'atteinte maculaire globale que dans le GPAO.



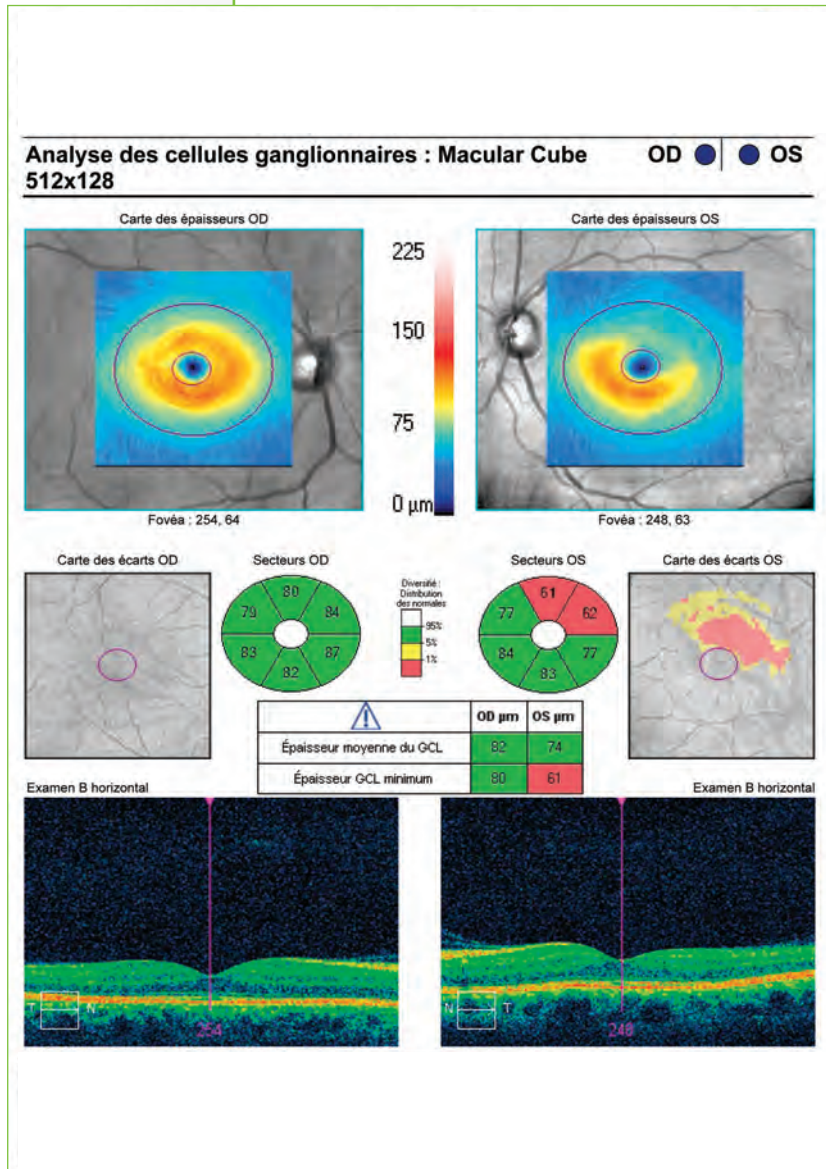
Même patiente que sur la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. L'examen des 10° centraux et l'OCT sont concordants. Contrairement à ce que l'on constate souvent dans glaucome hypertonique, il n'y a pas une atteinte de tous les secteurs maculaires.

Immédiatement après une crise de glaucome par fermeture de l'angle, l'OCT ne se modifie pas significativement. Cependant, entre 3 et 9 mois plus tard survient une réduction de la couche des fibres optiques à la fois localisée dans les régions supérieures et inférieures et globale, alors que la plupart du temps la périmétrie reste normale. Il pourrait donc être intéressant de comparer l'OCT immédiatement et à distance de la crise aiguë pour savoir si une atteinte séquellaire est survenue¹³.



Patient de 58 ans ayant présenté un an auparavant une crise de glaucome à angle fermé de l'œil gauche, résolutif sous traitement médical et iridectomie. La pression est à 16 mmHg de chaque côté. Matrix et OCT sont normaux à droite. A gauche, le champ visuel semble normal, mais il existe une atteinte supérieure en OCT. Les paramètres du nerf optique montrent des résultats légèrement anormaux à gauche.

Même en l'absence de toute crise aiguë et devant une pression normale, l'épaisseur des fibres optiques dans la région temporale inférieure est parfois plus faible chez les sujets ayant des angles étroits, en particulier asiatiques¹⁴. Ceci laisse suggérer un retentissement de poussées pressionnelles nocturnes.



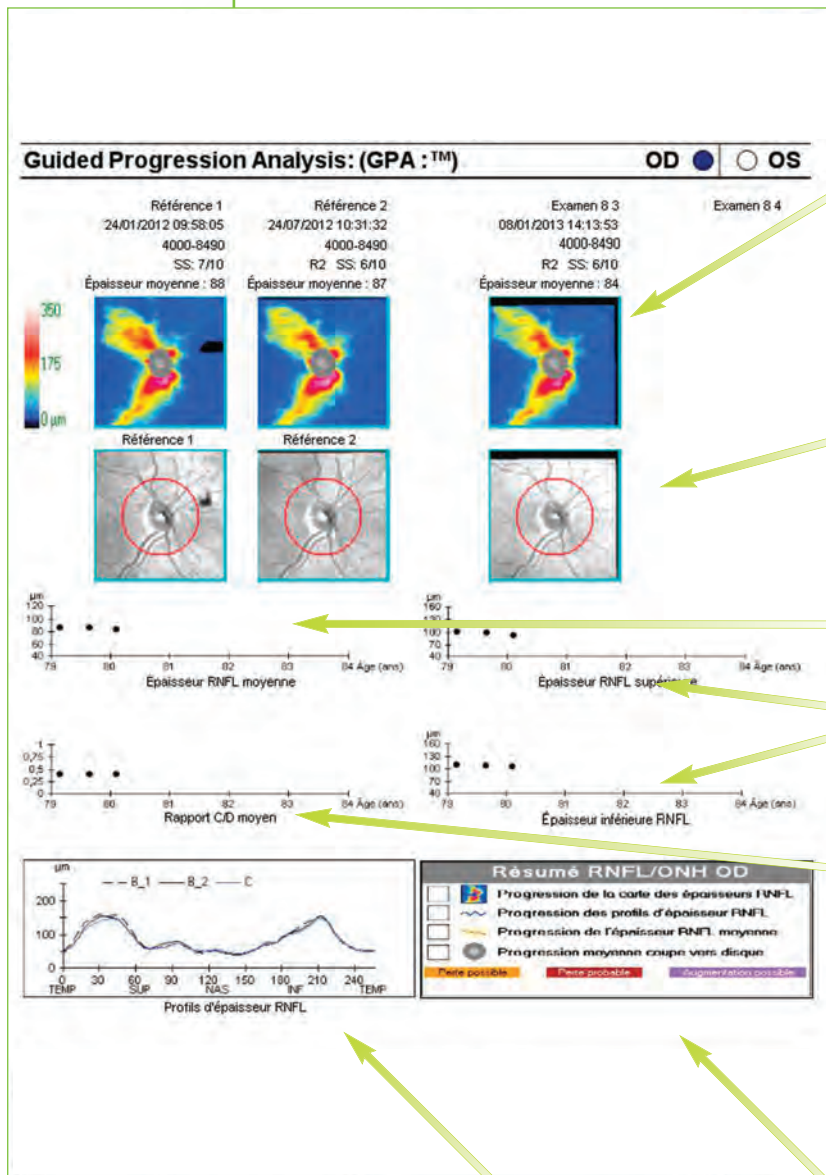
Même patient. Une atteinte de la région maculaire de l'œil gauche est retrouvée. Le paramètre d'épaisseur moyenne minimale est anormal.

Suivi du glaucome à angle ouvert

L'OCT permet de détecter et de suivre l'évolution du glaucome. Le « Spectral Domain » étant d'apparition récente, il est difficile de trouver des études longitudinales longues, la plus récente ayant suivi des patients pendant 4 ans¹⁵. Plusieurs types d'évolution sont possibles. La plus fréquente est de loin l'extension de la surface du déficit, tendant à s'approcher de la macula. Moins souvent, on constate un approfondissement de l'atteinte ou la survenue d'une autre atteinte dans une région différente. Pour détecter cette aggravation, la zone habituellement choisie à 3,4 mm du centre du nerf optique est trop périphérique, une région à 2 mm étant plus discriminante. Dans plus de 50 % des cas, cette aggravation en OCT n'est pas confirmée en périmétrie automatique, soulignant la faible corrélation entre ces deux examens, au moins pendant un temps d'évolution court. A l'opposé, dans 20 % des cas, une aggravation isolée de la périmétrie est constatée sans évolution de l'OCT.

Le Cirrus HD-OCT propose un programme de suivi du glaucome et une analyse d'évolution d'évènements (GPA Report).

Paramètres de suivi du GPA



Épaisseur des fibres optiques.

Modifications de l'épaisseur des fibres optiques d'un examen sur l'autre, lorsqu'un premier changement est détecté, il est dessiné en jaune, lorsqu'il est confirmé lors de l'examen suivant, il apparaît en rouge.

Modifications au cours du temps de l'épaisseur moyenne de la couche des fibres nerveuses rétiniennes de manière globale, dans la région supérieure et dans la région inférieure (3 tracés).

Evolution du rapport C/D moyen.

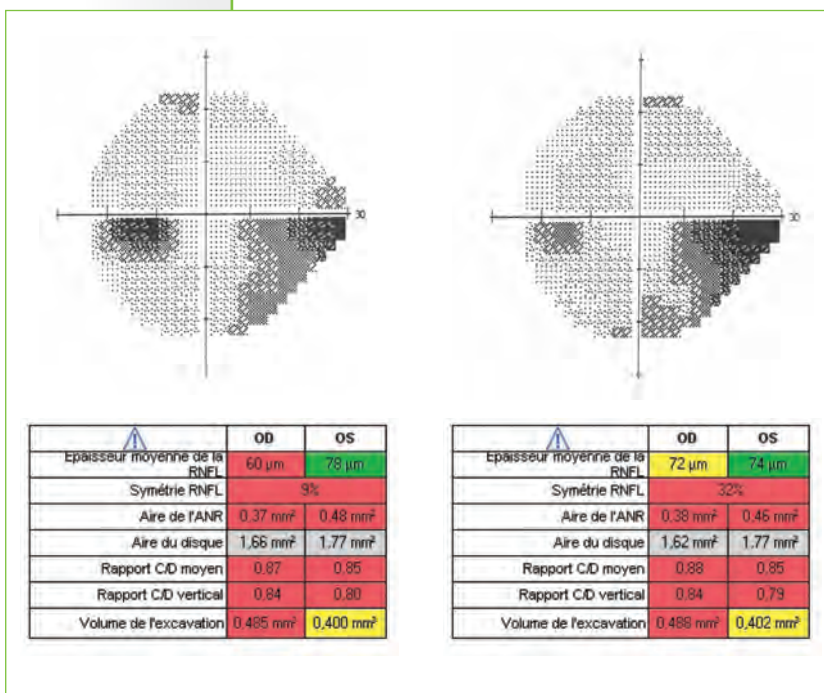
Profil de l'épaisseur des fibres dans les différentes régions (TSNIT), en utilisant le même code couleur en cas d'aggravation.

Synthèse de probabilité de stabilité ou d'aggravation pour trois principaux paramètres, l'épaisseur des fibres et la représentation TSNIT (progression focale) et l'épaisseur moyenne (progression diffuse), ainsi que pour le C/D moyen.

Ce programme GPA permet comme en périmétrie de détecter une évolution significative¹⁶. Cependant il persiste d'importantes limites car une évolution est considérée comme réelle chez un patient glaucomeux lorsque le nouvel examen est en dehors des limites de variabilité telles que déterminées chez les sujets sains. On ne sait pas si cette variabilité est en réalité plus faible ou plus forte chez les patients glaucomeux. Dans l'étude de Leung et col¹⁷, une augmentation du volume de la couche des fibres optiques est même retrouvée dans 13 % des cas, ce qui est difficilement acceptable car ceci signifierait une amélioration du glaucome. Ce résultat correspond sans doute à des erreurs de mesures initiales. La même équipe avait réalisé 3 ans auparavant une étude similaire avec l'OCT Stratus. Celle-ci montrait une moindre capacité de détecter une progression avec l'OCT de précédente génération.

Aggravation de l'atteinte structurale et de l'atteinte fonctionnelle n'évoluent donc pas de façon parallèle. Ces travaux montrent ainsi clairement qu'il n'est pas possible de se passer de la périmétrie automatique, lorsque cet examen est anormal, dans le suivi du glaucome, mais que l'OCT apparaît aussi comme très utile, au moins dans les phases de glaucome débutant et modéré.

Lorsque l'on évalue l'aggravation d'un glaucome par la réduction de l'épaisseur des fibres optiques, il faut tenir compte du stade du glaucome. La relation entre perte des fibres optiques et aggravation du champ visuel n'est en effet pas linéaire¹⁸. Dans les phases initiales du glaucome, une perte des fibres optiques peut s'accroître sans changement important du champ visuel. A un stade plus avancé, une modification modérée de l'épaisseur des fibres optiques se traduit par une aggravation importante du champ visuel. Enfin, dans les phases tardives, l'épaisseur des fibres ne se modifie pratiquement plus alors que le champ visuel continue de s'aggraver. La persistance d'une certaine épaisseur de la couche des fibres optiques ne signifie pas qu'il existe toujours un contingent notable de cellules ganglionnaires, mais plutôt que des cellules de soutien de cette couche sont toujours présentes.



Aggravation concomitante du champ visuel et de l'OCT en 6 mois. Une diminution de 3 microns de l'épaisseur moyenne de la couche RNFL est considérée comme significative. Ici elle passe pour l'œil gauche de 78 µm à 74 µm.

L'OCT peut-il s'améliorer dans le glaucome ?

En pratique, l'OCT ne s'améliore pas dans le glaucome. Cependant, après une réduction importante de la pression oculaire par chirurgie, il arrive que l'OCT puisse montrer une augmentation de l'épaisseur des couches des fibres optiques, mais ce phénomène est transitoire et ne dure que 3 mois environ¹⁹. Le plus souvent, l'amélioration de l'OCT est la conséquence d'une meilleure acquisition des images qui n'était pas optimale lors des premières mesures.

Comparaison entre les OCT « Spectral Domain » dans le glaucome

Outre les OCT 1^{ère} génération (Time Domain), il existe de nombreux appareils OCT Spectral Domain : Cirrus™ HD-OCT (Carl Zeiss), 100RTVue (Optovue), Spectralis (Heidelberg).... Ces appareils utilisent le même principe de fonctionnement, mais varient par la vitesse d'acquisition, l'existence d'un système de suivi du regard et la méthode de segmentation des couches de la rétine.

Il n'est pas possible d'utiliser les valeurs brutes d'un OCT Spectral Domain et de les transposer à un autre. Les résultats avec ces appareils sont très proches mais différents, le Cirrus HD-OCT donnant par exemple des valeurs plus réduites de la RNFL que le RTvue²⁰. Ceci est lié en particulier à la zone de mesure, légèrement décalée d'un appareil à un autre.

OCT et analyse de la lame criblée

L'OCT est en constant progrès. L'OCT permet d'analyser pratiquement toutes les structures pouvant être éclairées. En dehors de l'atteinte des fibres optiques, on sait que le glaucome entraîne une déformation de la lame criblée. Grâce à un programme spécifique (Enhanced Depth Imaging-Optical Coherence Tomography (EDI-OCT)) on peut voir cette lame criblée se déformer vers l'arrière dans le glaucome, mais aussi décaler en arrière son insertion par rapport à la sclère sur certains méridiens²¹. On ne sait pas si ceci correspond à une cause ou une conséquence de l'atteinte de cette structure, mais il semble bien qu'après une réduction chirurgicale de la pression oculaire, la lame criblée retrouve une adhérence plus antérieure et s'épaissit à nouveau²². Un axe de développement important semble donc être cette analyse non plus du contenu (fibres optiques), mais de la structure traversée (position de la lame criblée, amincissement sectoriel, forme des pores)²³. En revanche, il ne semble pas qu'il y ait grand intérêt à mesurer l'épaisseur de la choroïde, peu modifiée dans le glaucome²⁴. Cependant, en cas d'atrophie péripapillaire, il existe une réduction de cette épaisseur²⁵.

Neuropathies optiques non glaucomateuses

Par essence, les neuropathies optiques sont responsables d'une détérioration des axones des fibres optiques et entraînent donc une modification de l'OCT. Cette atteinte touche à la fois les fibres parapapillaires et maculaires. L'OCT est ainsi devenu un outil diagnostique très important en neuro-ophtalmologie²⁶. Dans un grand nombre de cas, le profil OCT apporte à la fois une aide diagnostique et une évaluation de l'importance de la neuropathie optique. Cependant, le « profil » OCT de certaines affections ressemble à celui du glaucome. Il apparaît donc important de connaître la sémiologie OCT de ces différentes neuropathies.

Dans la sclérose en plaques, l'analyse de la couche des fibres ganglionnaires rétiniennes est très intéressante car elle est mieux corrélée avec la symptomatologie fonctionnelle des patients (baisse d'acuité ou réduction du champ visuel) que d'autres examens complémentaires, comme l'IRM²⁷.

Neuropathie aigüe et SEP

Lors de la phase aigüe de la neuropathie optique de la SEP, la couche RNFL est parfois plus volumineuse que la normale. Ceci témoigne d'un léger œdème papillaire qui n'est pas perceptible cliniquement. Cet œdème est présent même si la plaque de démyélinisation est très postérieure.

L'amincissement de la couche des fibres optiques survient entre le 1^{er} et le 3^{ème} mois après la crise aigüe et se stabilise vers le 6^{ème} mois. En l'absence de nouvelle crise, il n'y a pas d'aggravation au-delà de 6 à 8 mois.

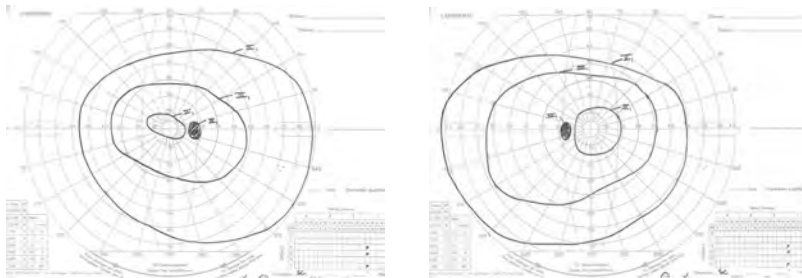
Le lieu le plus atteint est l'aire maculaire où environ 34 % du volume rétinien est composé par la couche des cellules ganglionnaires. Dans cette pathologie, un œil atteint de neuropathie optique présente une baisse d'environ 35 à 45 % de l'épaisseur des fibres optiques maculaires, soit 20 µm à 40 µm, pour une épaisseur normale de 110 µm à 120 µm²⁸. L'œil controlatéral est le plus souvent aussi atteint, mais à un moindre degré (réduction d'épaisseur de 20 %). Pour qu'une atteinte apparaisse en périmétrie, il faut une réduction de 75 µm environ.

Il est donc très important d'analyser l'OCT en fonction de la dynamique de la neuropathie²⁹. Dans la phase aigüe, l'absence d'amincissement de la couche est faussement rassurante. L'atteinte est en fait retardée.

Papille et macula sont touchées par la SEP. Dans les phases initiales il arrive que la couche des RNFL soit artificiellement augmentée par l'œdème papillaire, ce qui n'est pas le cas des cellules ganglionnaires maculaires. A distance les deux structures évoluent en parallèle³⁰.

Corrélation OCT et champ visuel dans la SEP

Lorsque l'atteinte OCT est minimale, le champ visuel et l'acuité visuelle restent en général normaux à distance de la crise aiguë. En revanche, si un seuil d'épaisseur résiduelle de 75 µm est atteint au niveau péripapillaire, le champ est perturbé.

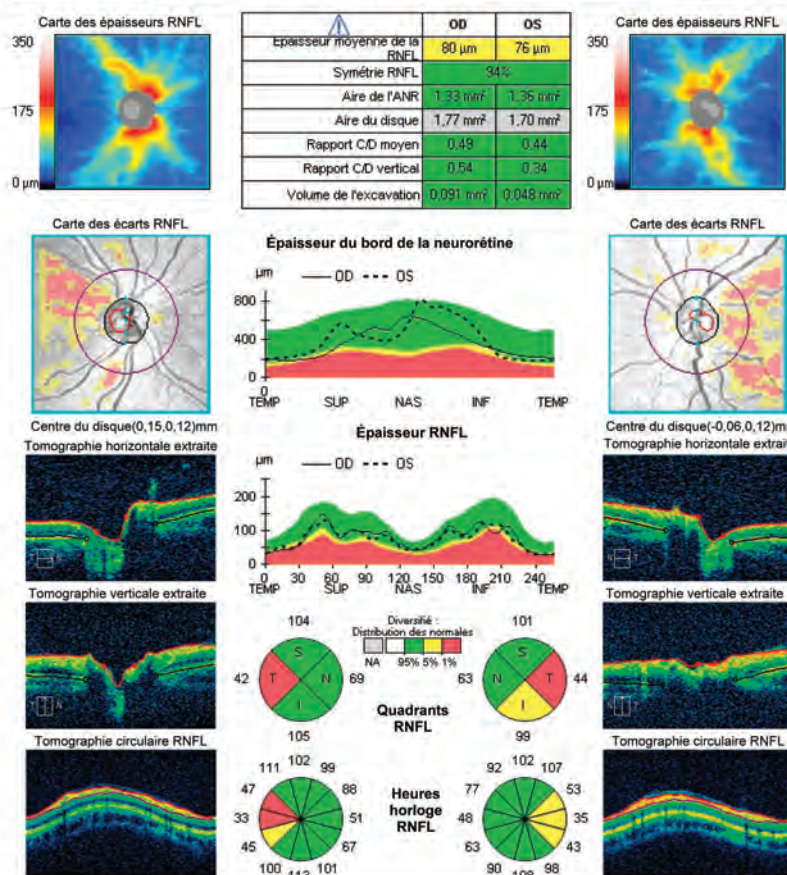


Oeil droit



Oeil gauche

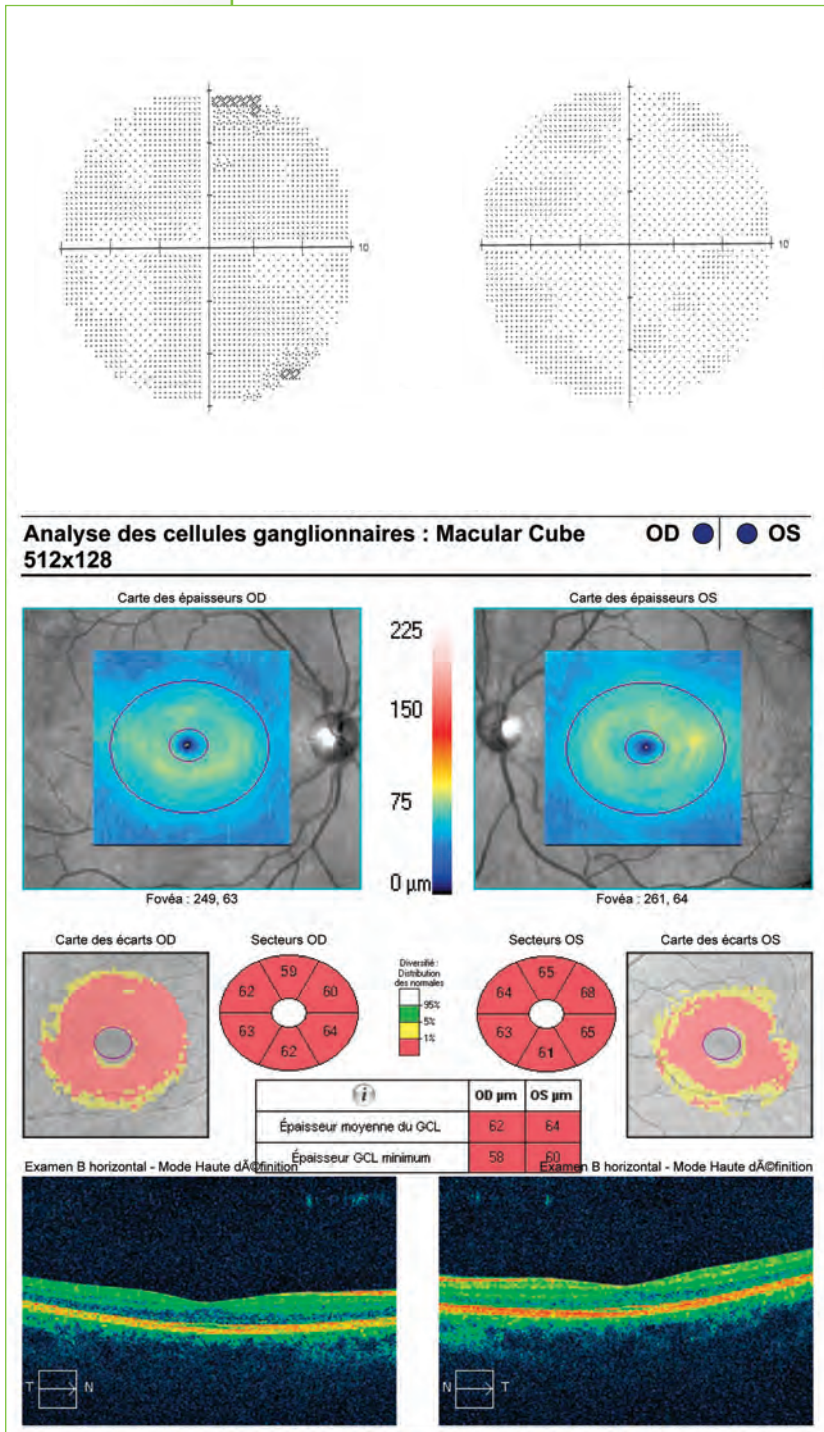
RNFL et ONH :Optic Disc Cube 200x200



Sclérose en plaques à distance d'une poussée. Les nerfs optiques sont normaux. L'OCT montre une atteinte prédominante dans les secteurs temporaux pour chaque œil. Ce déficit n'apparaît pas en périmétrie cinétique de Goldmann. L'atteinte temporelle est typique des neuropathies non glaucomateuses.

Localisation de l'atteinte de l'OCT dans la SEP

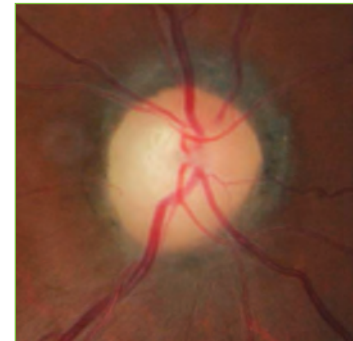
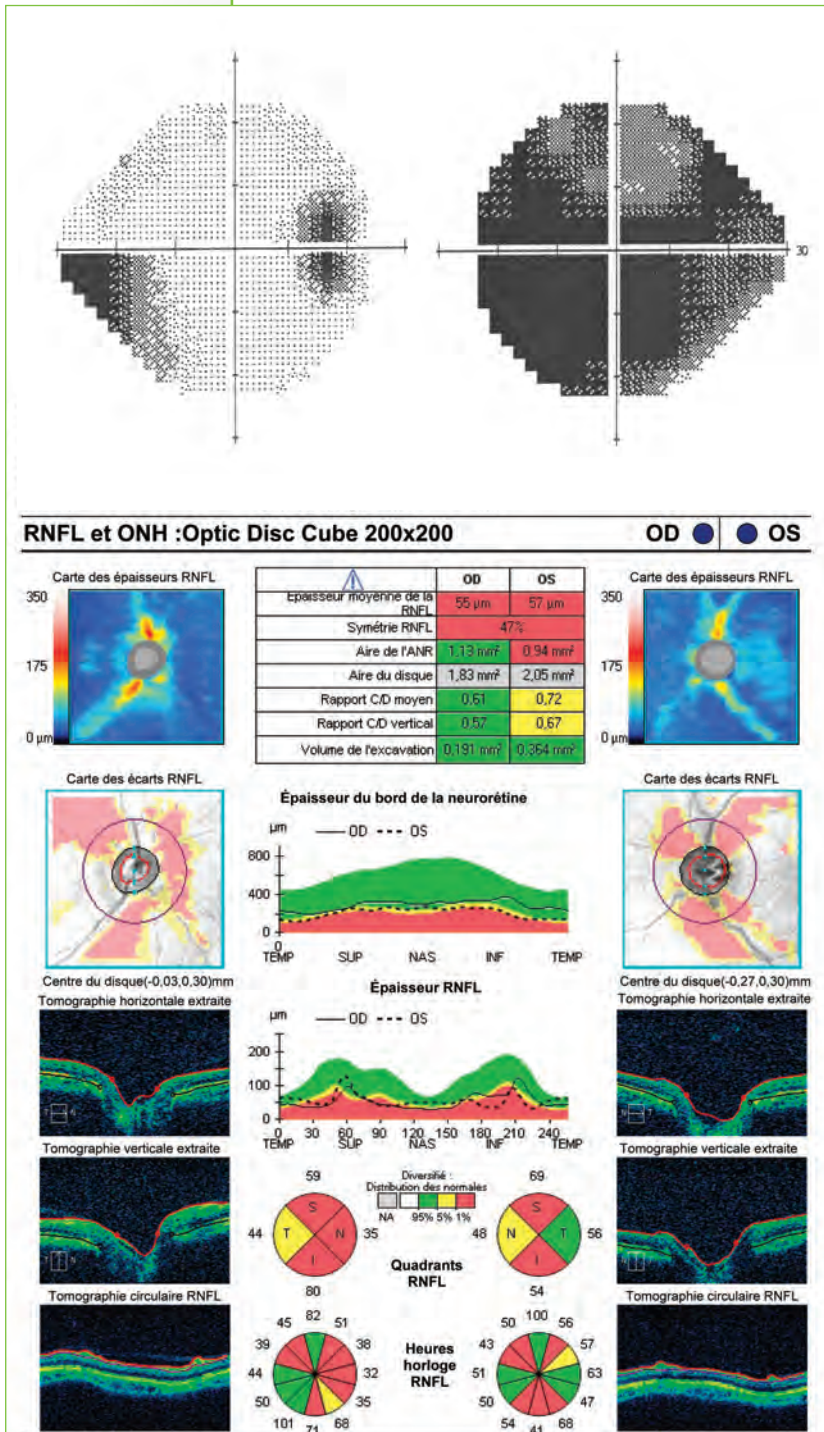
La localisation la plus fréquente est le quadrant temporal. Ceci permet de la distinguer du glaucome où l'atteinte est plutôt supérieure ou inférieure.



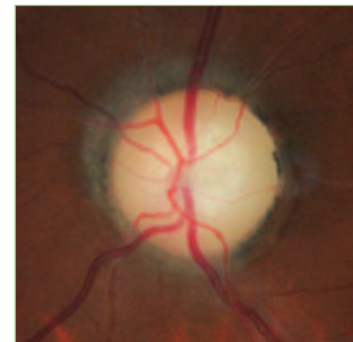
Même patient que sur la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. L'atteinte de la couche des cellules ganglionnaires maculaires est majeure pour chaque œil, malgré un champ visuel central peu touché. Ce type d'atteinte diffuse est fréquemment retrouvé.

Séquelle importante de neuropathie de SEP

Lorsqu'une sclérose en plaques évolue, le champ visuel et l'OCT se détériorent. Cette évolution n'est pas toujours parallèle, l'OCT pouvant apparaître plus atteint que le champ visuel.



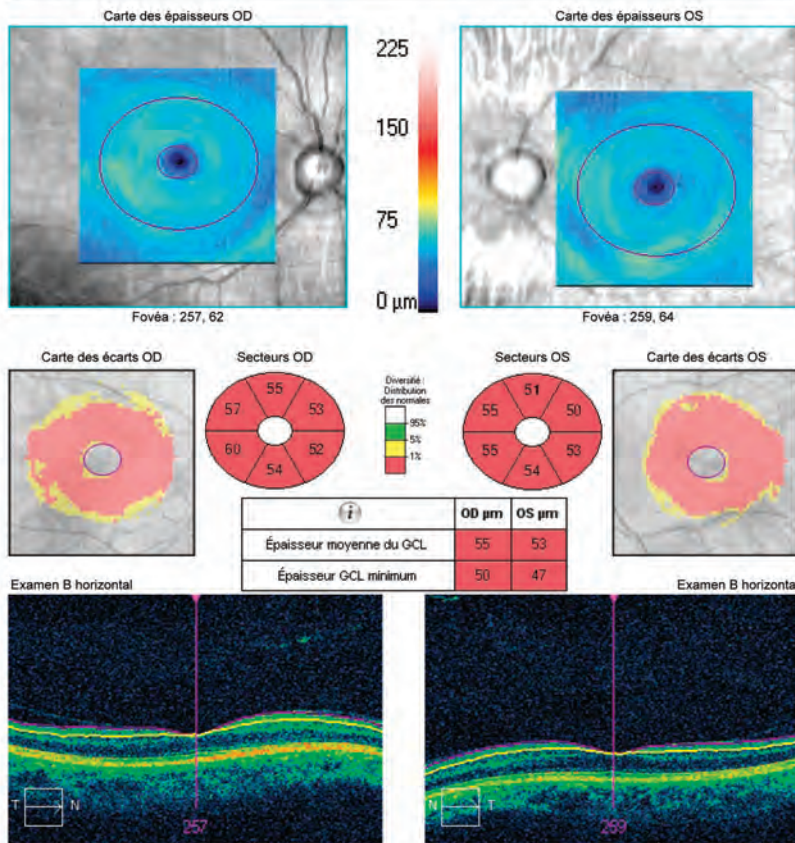
Œil droit



Œil gauche

Patiente atteinte de SEP avec plusieurs poussées de neuropathies optiques. Le champ visuel de l'œil gauche est très atteint. L'OCT confirme cette atteinte et met aussi en évidence une altération presque identique de l'œil droit. Les nerfs optiques montrent une atrophie optique bilatérale prédominant à gauche. Il n'y a pas d'excavation pathologique.

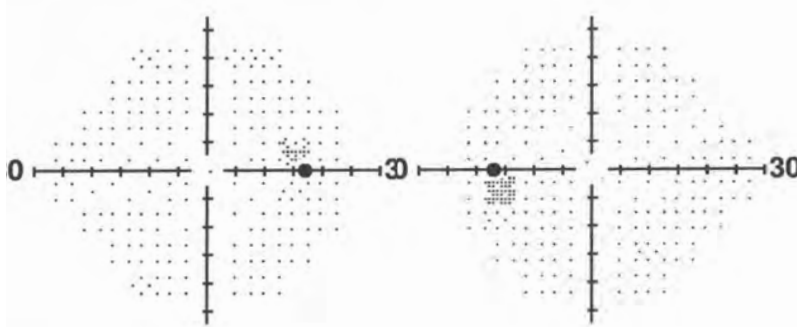
Analyse des cellules ganglionnaires : Macular Cube 512x128 OD ● | ● OS



Même patiente que sur la page précédente. L'atteinte des cellules ganglionnaires est majeure des deux côtés.

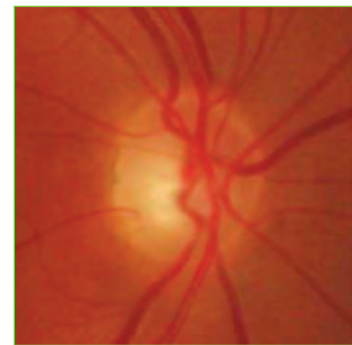
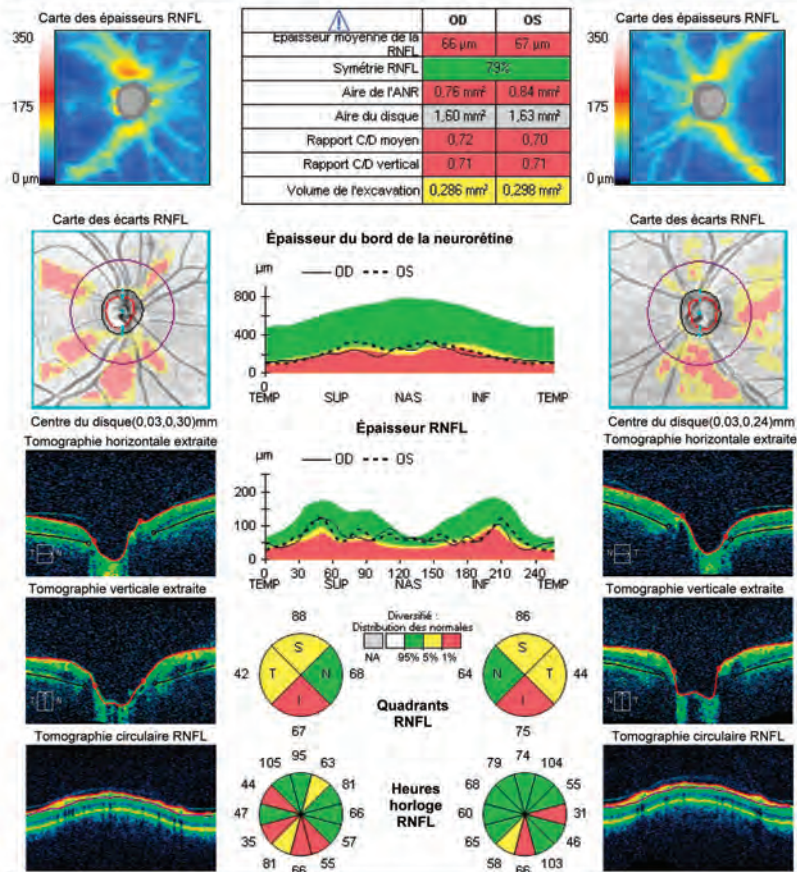
Peut-on détecter une neuropathie infra-clinique de SEP par l'OCT ?

L'OCT est très utile pour analyser l'œil controlatéral de l'œil touché par une neuropathie aigüe et en l'absence de toute atteinte oculaire chez des patients ayant une SEP en connue. Il permet en effet de détecter une atteinte infra-clinique et autoriserait même un suivi de l'état neurologique des patients, puisqu'une atteinte des voies optiques est presque toujours existante dans cette affection³¹.



RNFL et ONH :Optic Disc Cube 200x200

OD OS



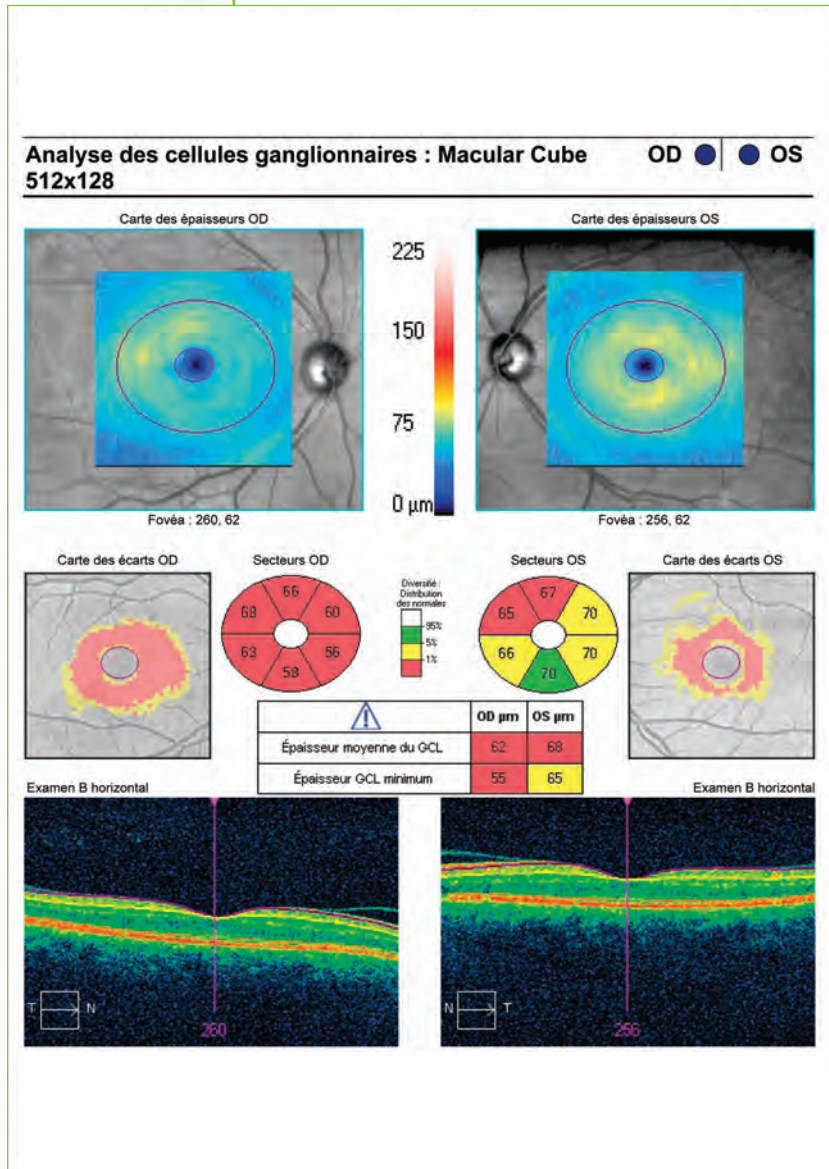
Œil droit



Œil gauche

Patiente atteinte de SEP sans épisode de neuropathie optique connu. L'OCT montre une atteinte irrégulière dans les différents secteurs, alors que le champ visuel est normal.

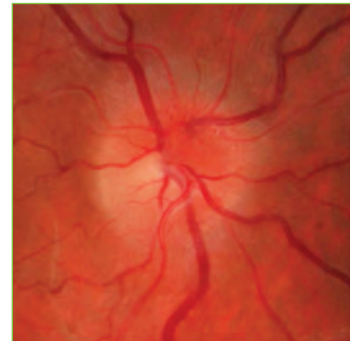
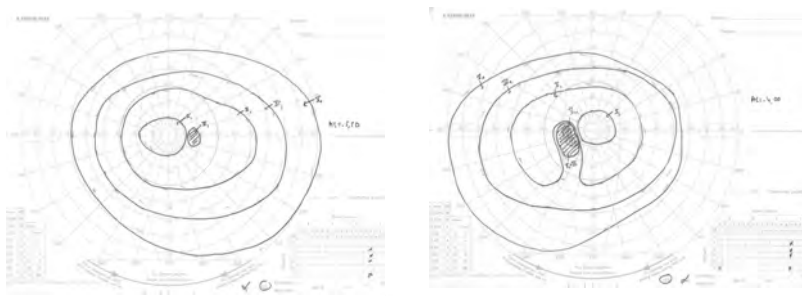
On pourrait même réaliser des OCT pour suivre l'évolution de thérapeutiques données par voie générale, en l'absence d'antécédents oculaires. Cet examen fournirait ainsi une évaluation générale du retentissement d'une SEP.



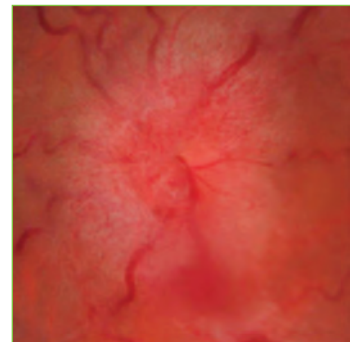
Même patiente que sur la page précédente. Une atteinte diffuse est visible. L'acuité visuelle est normale.

Neuropathie optique aigüe non liée à la SEP

L'ophtalmologiste est souvent confronté à la présence d'une neuropathie optique aigüe chez qui se pose la question de son origine, démyélinisante ou pas. L'OCT aide-t-il à distinguer neuropathie optique démyélinisante isolée ou liée à une autre pathologie ? Le contexte clinique est essentiel. En faveur d'une étiologie démyélinisante : âge de survenue entre 20 et 50 ans, douleurs oculaires en particulier aux mouvements de l'oeil, caractère strictement unilatéral, aggravation progressive en une semaine environ, début de récupération au bout d'un mois.

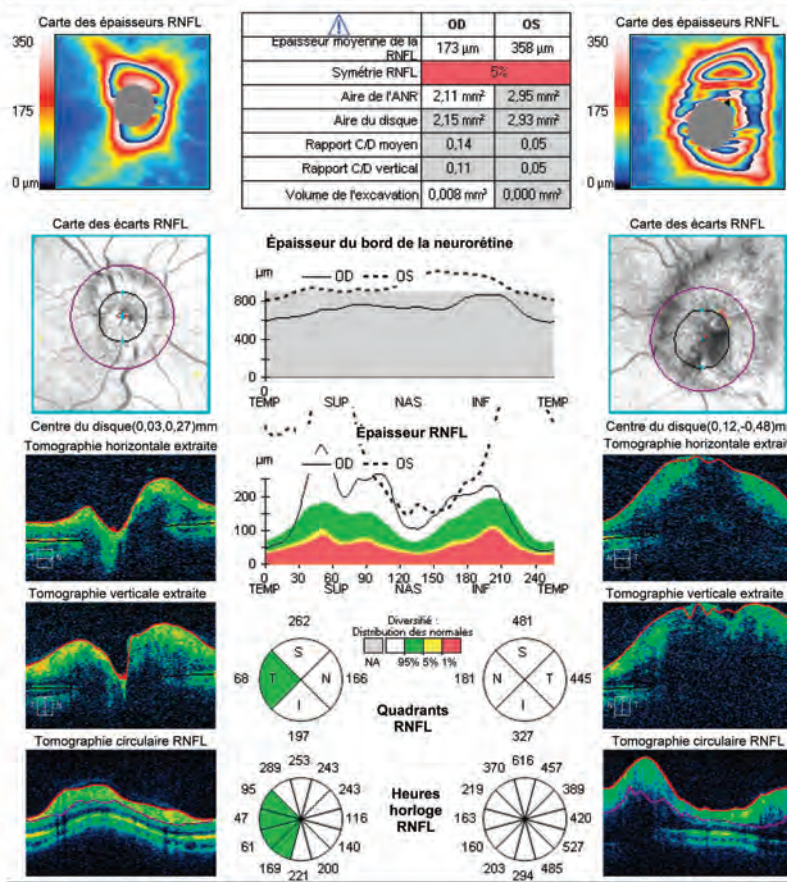


Oeil droit



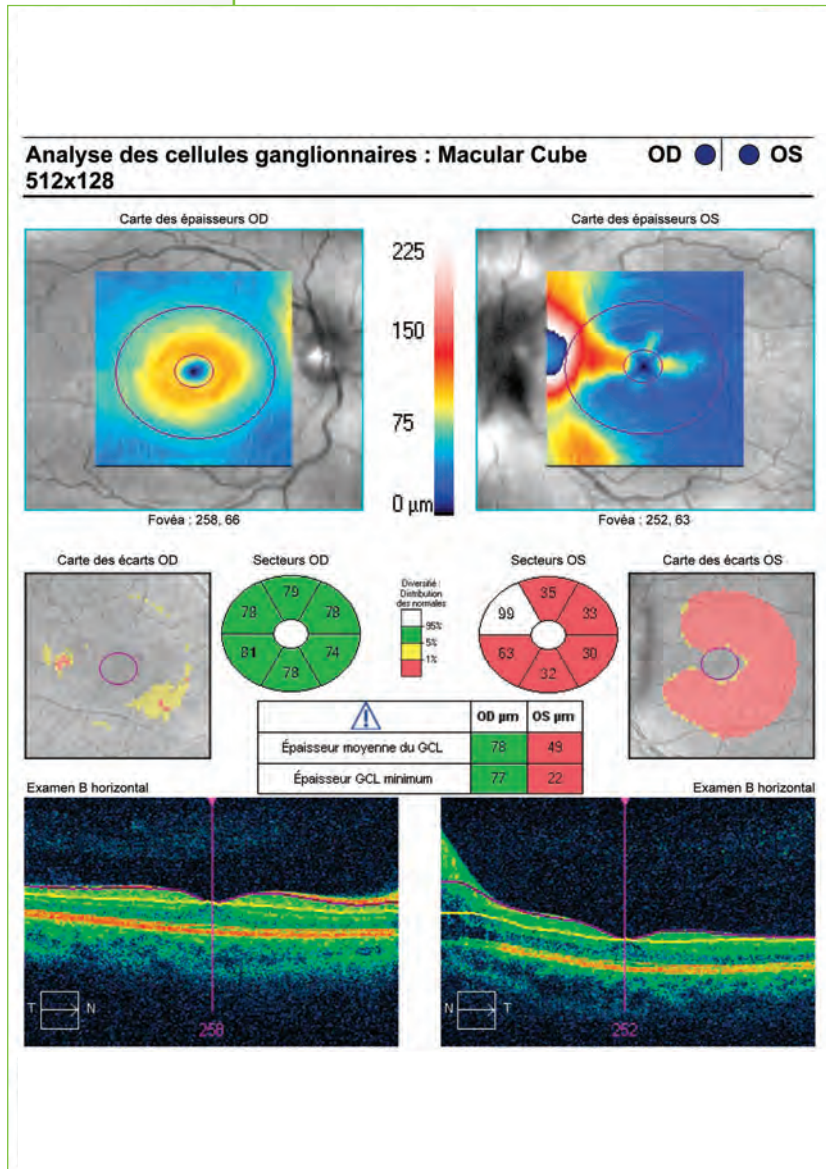
Oeil gauche

RNFL et ONH :Optic Disc Cube 200x200



Patiente de 30 ans présentant un flou visuel bilatéral sans baisse d'acuité. L'IRM ne montre pas d'argument en faveur d'une SEP. Le fond d'œil met en évidence un œdème papillaire plus important à gauche qu'à droite. L'OCT confirme ce résultat par une augmentation majeure de l'épaisseur des fibres optiques parapapillaires des deux côtés. Ce résultat n'indique pas que les fibres optiques sont saines.

Malheureusement, le profil OCT ne permet pas de différencier l'origine de ces atteintes qui se traduisent toutes par une augmentation initiale de l'épaisseur des fibres en cas d'œdème, puis une réduction ultérieure de la couche des RNFL.



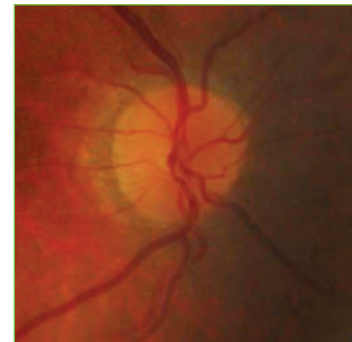
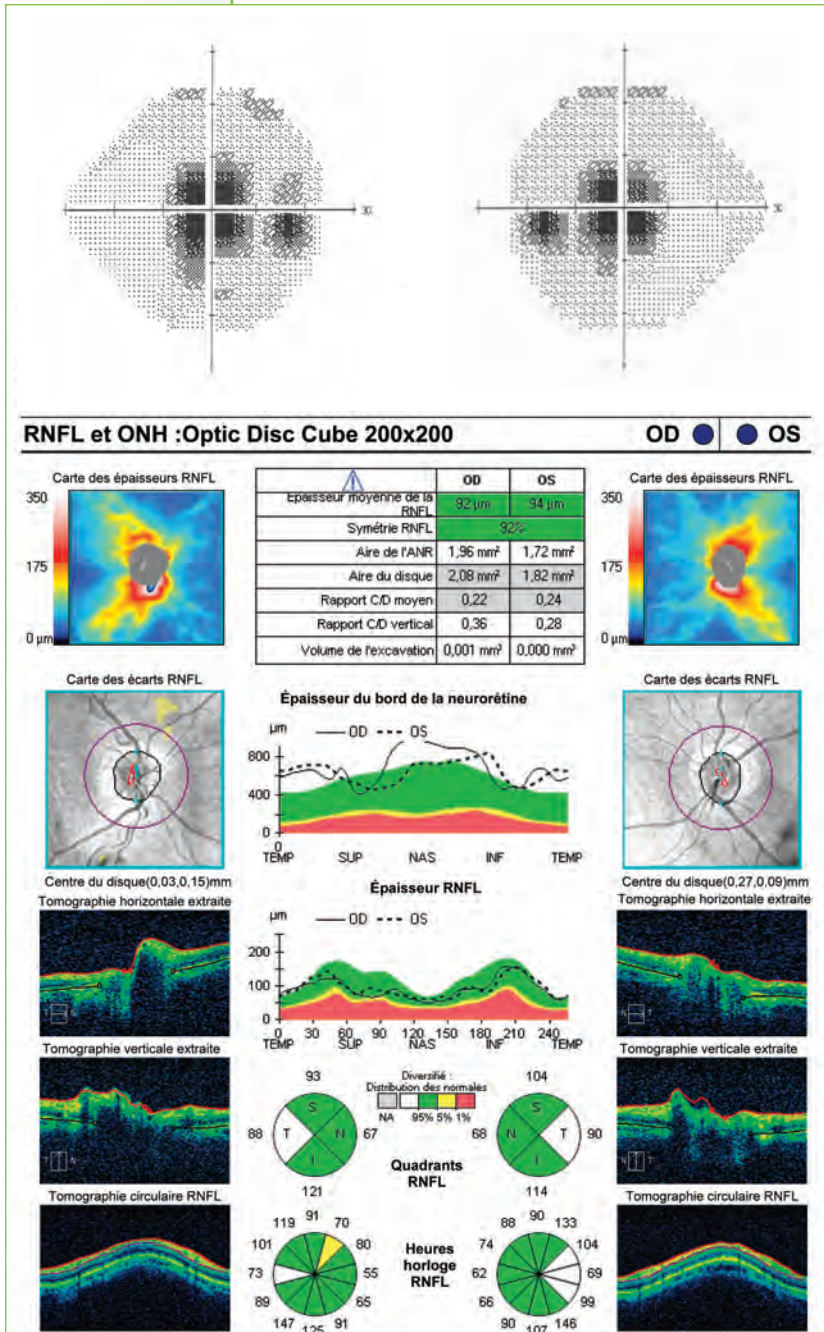
Même patiente que sur la page précédente. L'analyse des cellules ganglionnaires montre une atteinte importante à gauche, alors que l'acuité visuelle est à 10/10^{ème}. L'examen maculaire, éloigné de la papille, permet un suivi précis du retentissement de la neuropathie optique.

Neuropathie optique toxique

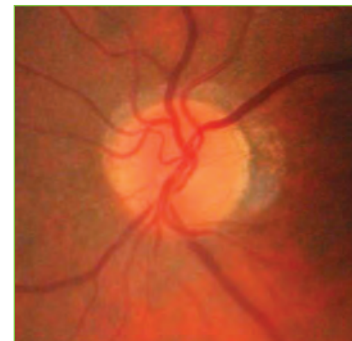
Les neuropathies optiques toxiques ou nutritionnelles sont évoquées lors d'une atteinte souvent bilatérale, symétrique et indolore, classiquement associée à un scotome centro-caecal. L'OCT relève souvent une atteinte bilatérale et progressive de la couche des RNFL³². Au niveau des fibres optiques péri-papillaires, on constate surtout un déficit purement temporel avec relative conservation des secteurs supérieurs et inférieurs.

Neuropathie optique toxique sans atteinte papillaire apparente

Lorsqu'il existe un œdème papillaire associé, l'aspect des fibres parapapillaires peut sembler normal, car l'épaisseur de la couche est artificiellement augmentée par l'œdème.



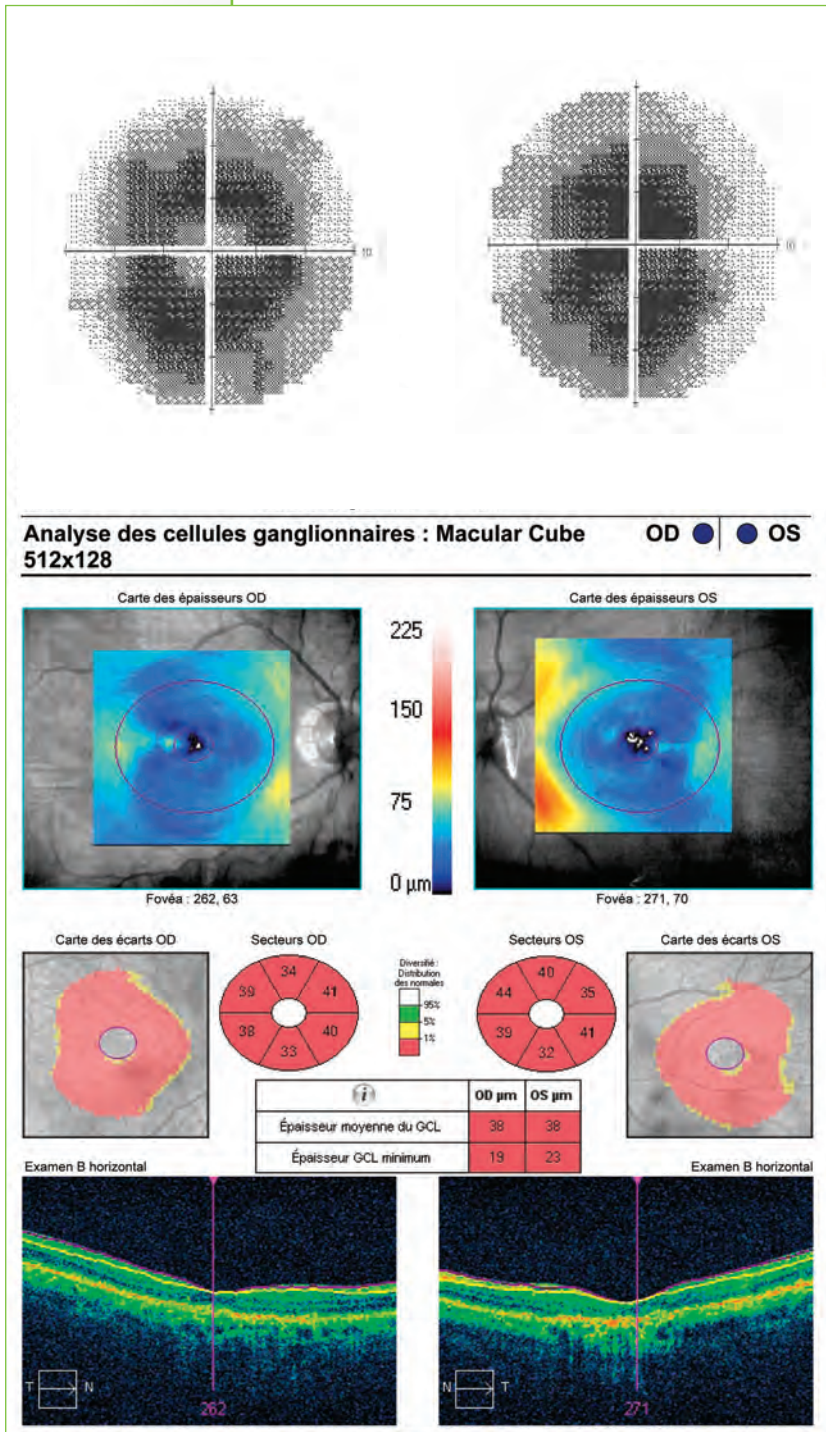
Œil droit



Œil gauche

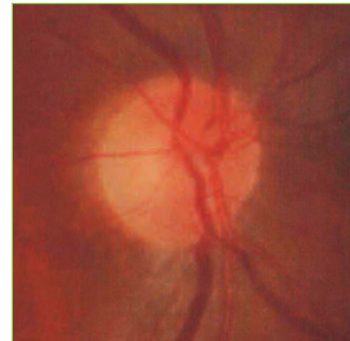
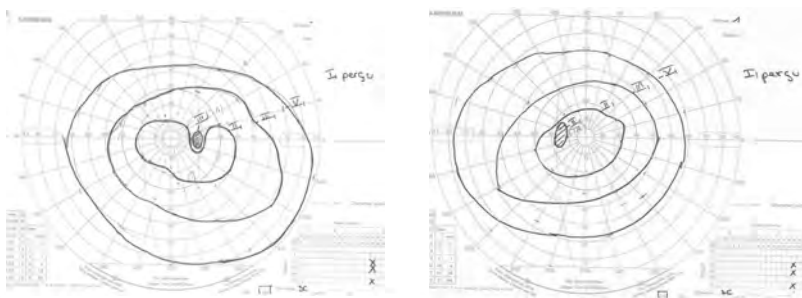
Patient de 61 ans atteint d'une neuropathie optique sans doute alco-tabagique. Les nerfs optiques semblent normaux. Les champs visuels montrent un déficit centro-caecal bilatéral. L'OCT met en évidence un œdème papillaire. La couche RNFL semble normale, car artificiellement augmentée par l'œdème.

S'il existe un œdème papillaire associé, on retrouve un contraste entre des fibres optiques parapapillaires normales et une atteinte majeure du complexe des cellules ganglionnaires.



Même patient que page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. Le champ visuel des 10° centraux confirme l'atteinte centrale. L'OCT maculaire montre une atteinte importante, bilatérale, symétrique et homogène.

Neuropathie optique toxique avec atteinte papillaire et maculaire

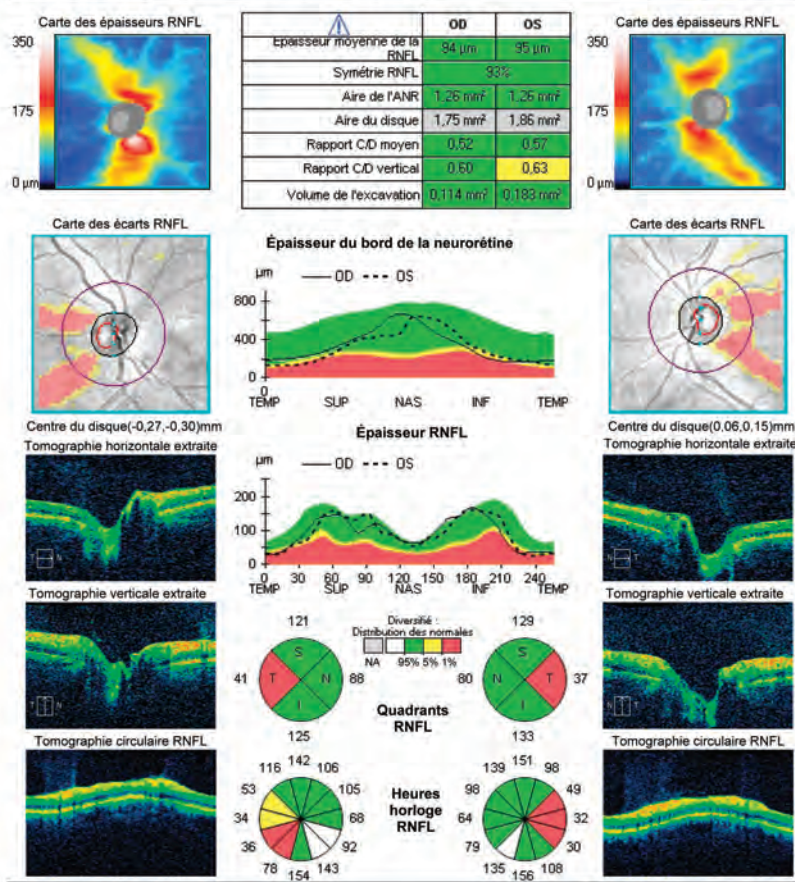


Œil droit



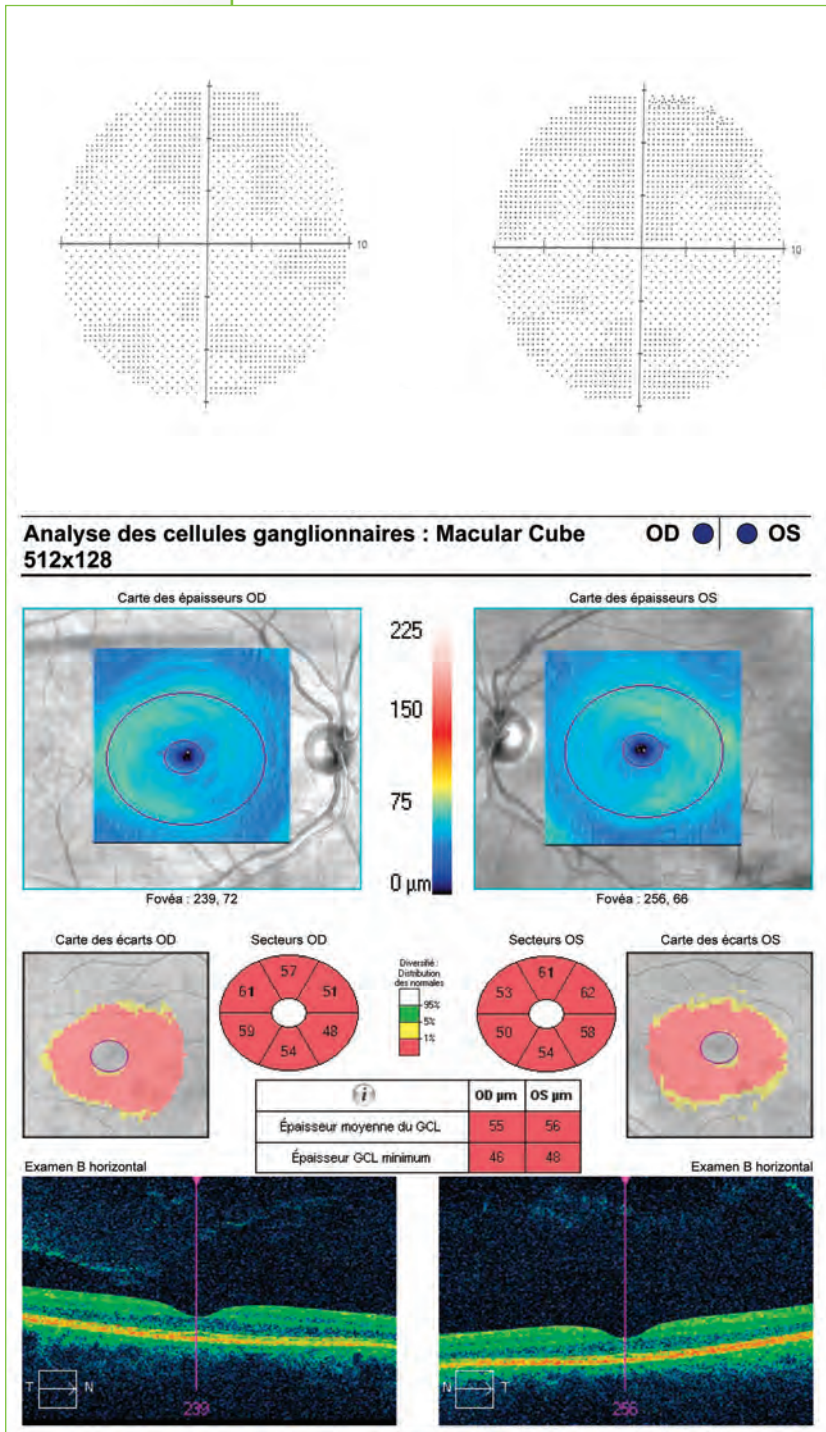
Œil gauche

RNFL et ONH : Optic Disc Cube 200x200



Patient de 42 ans atteint d'une neuropathie optique alcoolo-tabagique. Les nerfs optiques sont normaux. Les champs visuels de Goldmann montrent une déformation de la tâche aveugle à droite et un résultat normal à gauche. L'OCT met en évidence l'atteinte typique avec déficit bi-temporal. Les secteurs supérieurs et inférieurs sont épargnés. Il n'y a pas d'excavation pathologique.

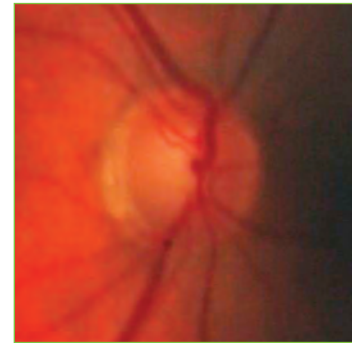
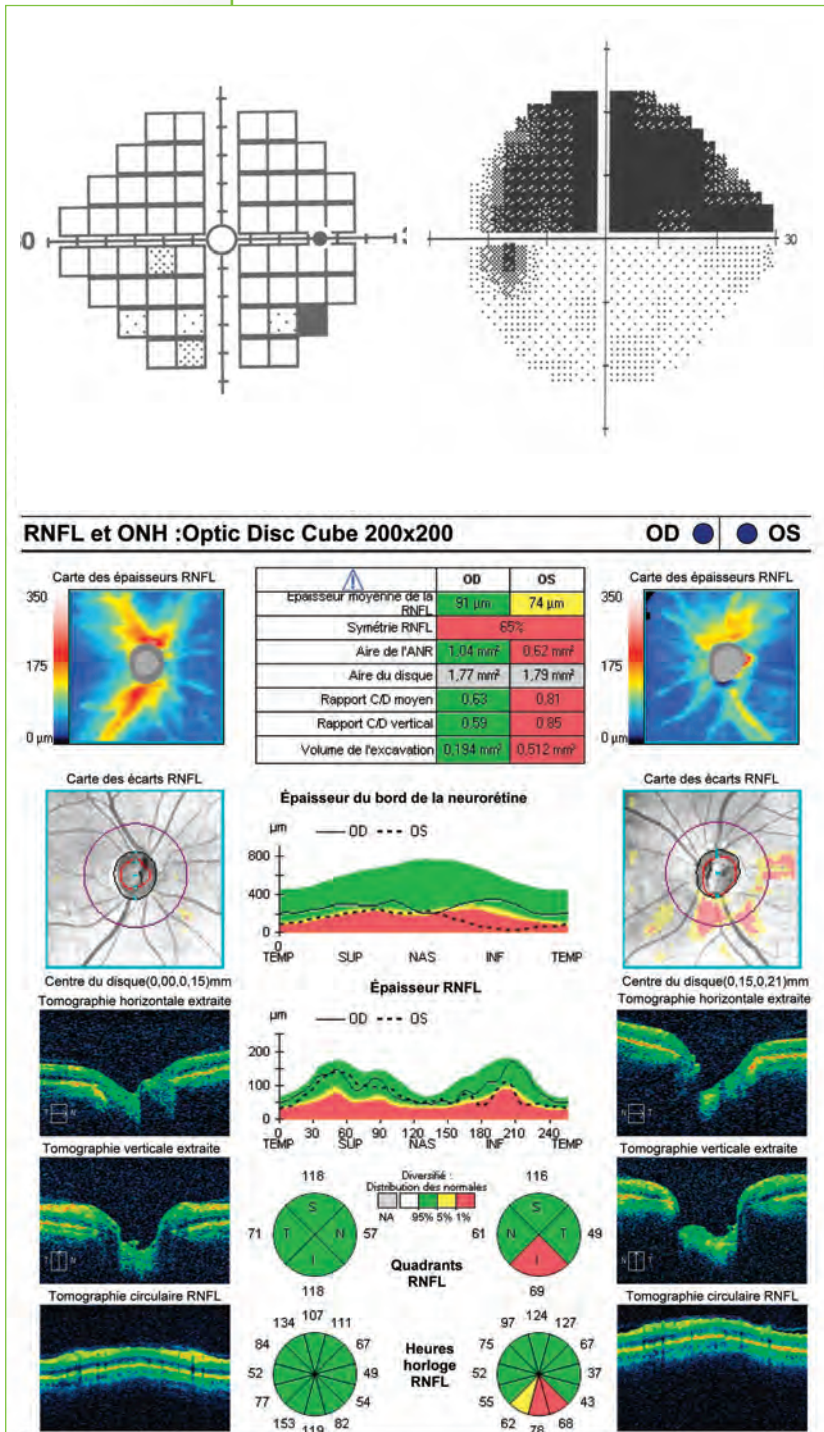
Dans les neuropathies optiques toxiques débutantes, l'atteinte peut être plus évidente au niveau des cellules ganglionnaires maculaires, même en cas d'acuité visuelle conservée. Elle est en général diffuse et symétrique.



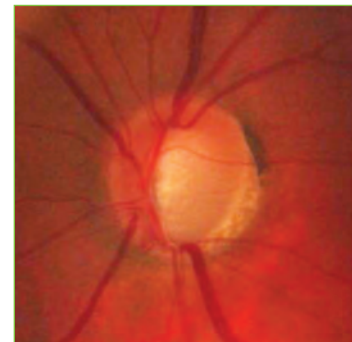
Même patient que page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. Un léger déficit diffus du champ visuel 10° central est présent des deux côtés. L'OCT maculaire montre une atteinte importante, bilatérale, symétrique et homogène. Cet aspect est très évocateur d'une NORB toxique.

Neuropathie antérieure ischémique

Il est parfois difficile de distinguer à distance séquelle de neuropathie antérieure ischémique (NOIA) et glaucome par OCT. L'atteinte des RNFL est temporale dans les deux cas³³. Le déficit OCT dans une NOIA est plus altitudinal que dans le glaucome, ne touchant pas seulement le secteur temporal inférieur (7hr pour l'œil droit, 5hr pour l'œil gauche), mais décrivant une atteinte plus large³⁴. On peut en outre s'attendre à ce que le volume de l'excavation soit plus faible lors d'une NOIA³⁵.



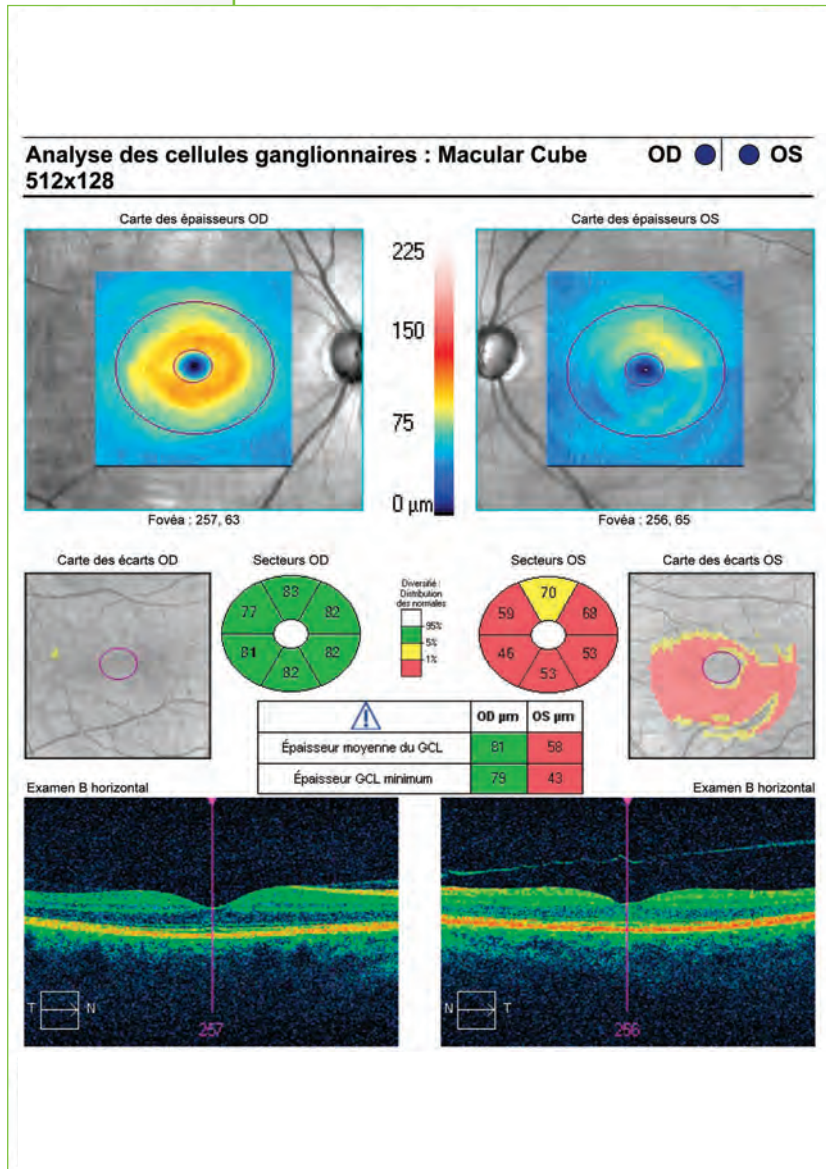
Œil droit



Œil gauche

Patiente de 63 ans, hypermétrope, ayant présenté 1 an plus tôt une neuropathie antérieure ischémique de l'œil gauche. Le champ visuel de l'œil droit est normal, alors que celui de l'œil gauche montre un déficit altitudinal supérieur caractéristique de cette pathologie. L'OCT est cohérent avec cette atteinte unilatérale et montre en outre une excavation secondaire à gauche.

Lors de la phase aigüe d'une NOIA, l'œdème papillaire initial entraîne une augmentation spectaculaire de l'épaisseur des fibres optiques parapapillaires, alors que la couche des cellules ganglionnaires n'est pas modifiée.

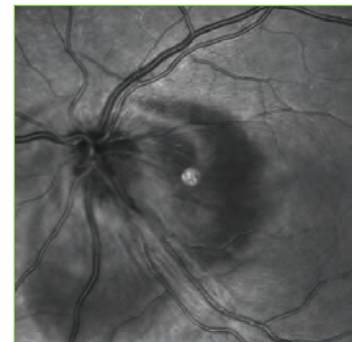
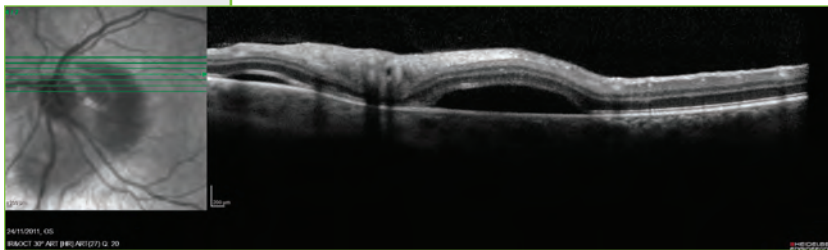


Même patiente que sur la page précédente. L'OCT maculaire montre une atteinte globale de l'œil gauche. C'est aspect n'est peut être pas le plus typique, car on pourrait s'attendre à un déficit plus altitudinal à ce niveau.

Les neuropathies optiques inflammatoires dans le cadre des uvéo-papillites entraînent dans un premier temps une forte augmentation de la couche des fibres optiques, avant une atrophie secondaire dans la moitié des cas³⁶. L'OCT permet de détecter l'œdème et sa localisation intra et sous rétiniennes.



Œil droit

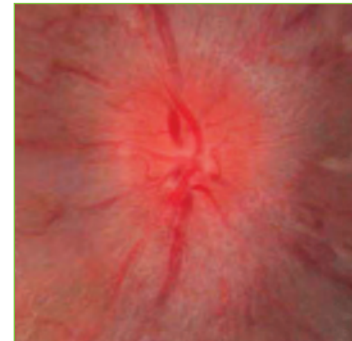
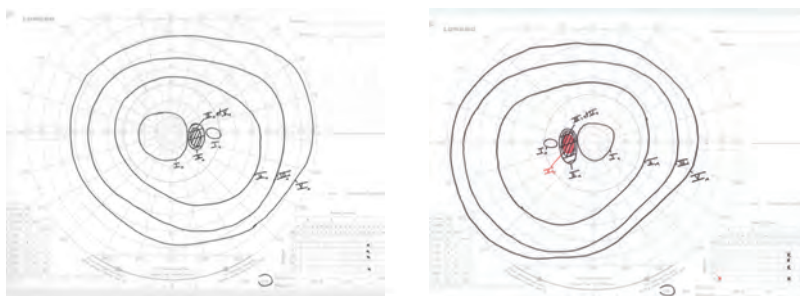


Œil gauche

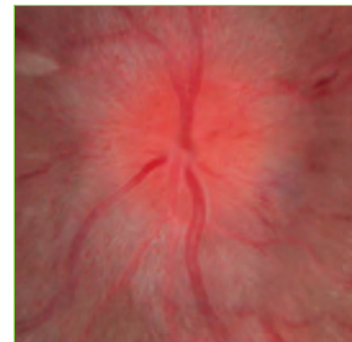
Uvéo-papillite unilatérale gauche, d'origine probablement toxoplasmique, chez une jeune femme de 19 ans. L'OCT permet au mieux de déterminer l'importance de l'œdème papillaire et précise l'importance d'un œdème sous rétiniens associé et la proximité de celui-ci par rapport à la fovéa.

Œdème de la papille

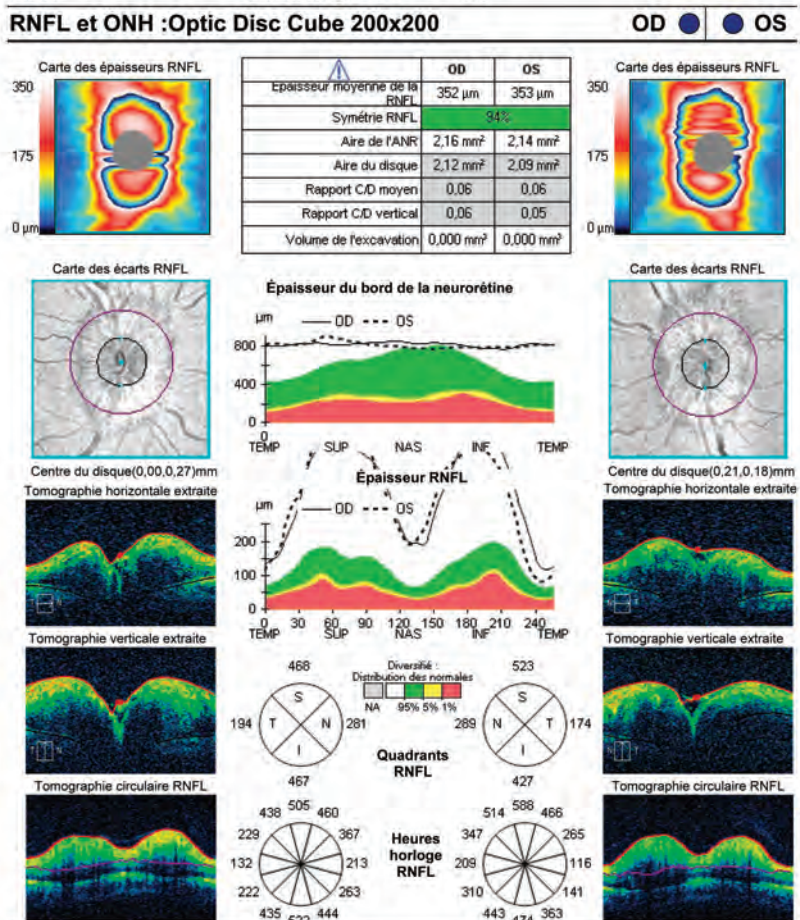
Un œdème de la papille, quel qu'en soit la cause, est responsable d'une augmentation spectaculaire de la couche des fibres optiques puisque l'OCT mesure de façon non spécifique cette couche. Lors de la régression de l'œdème, la couche RNFL apparaîtra diminuée, signant les séquelles de l'œdème papillaire. La cinétique de l'atteinte est donc capitale. La vitesse d'apparition des déficits séquellaires dépend de l'étiologie de l'œdème.



Œil droit



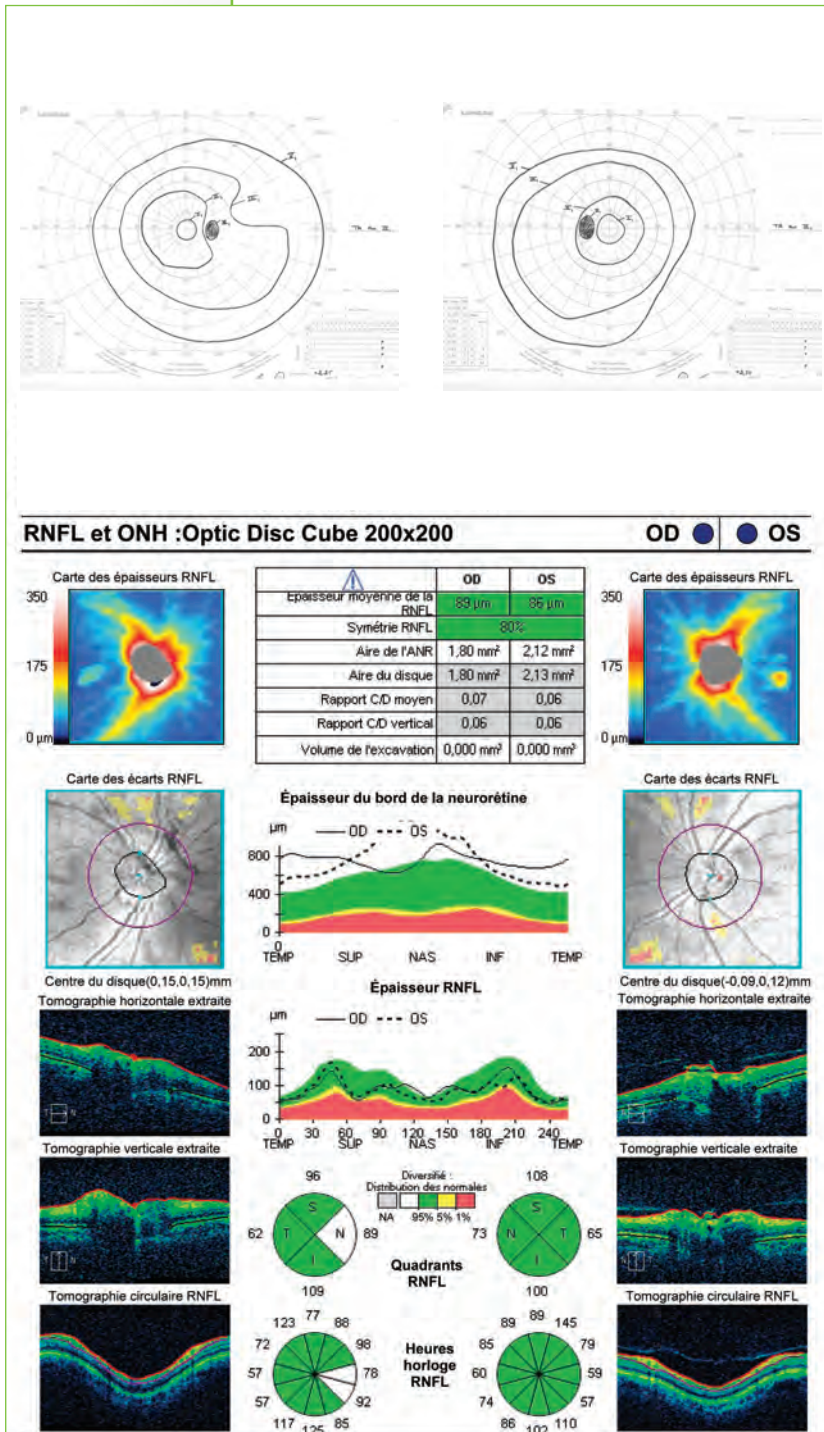
Œil gauche



Patient de 20 ans présentant une hypertension intracrânienne en raison d'un processus expansif cérébral. L'OCT met en évidence une augmentation du volume du nerf optique et de l'épaisseur de la couche RNFL. Un suivi des paramètres de cette couche permet de mesurer l'évolution de cet œdème.

Œdème de la papille isolé, sans diffusion rétinienne

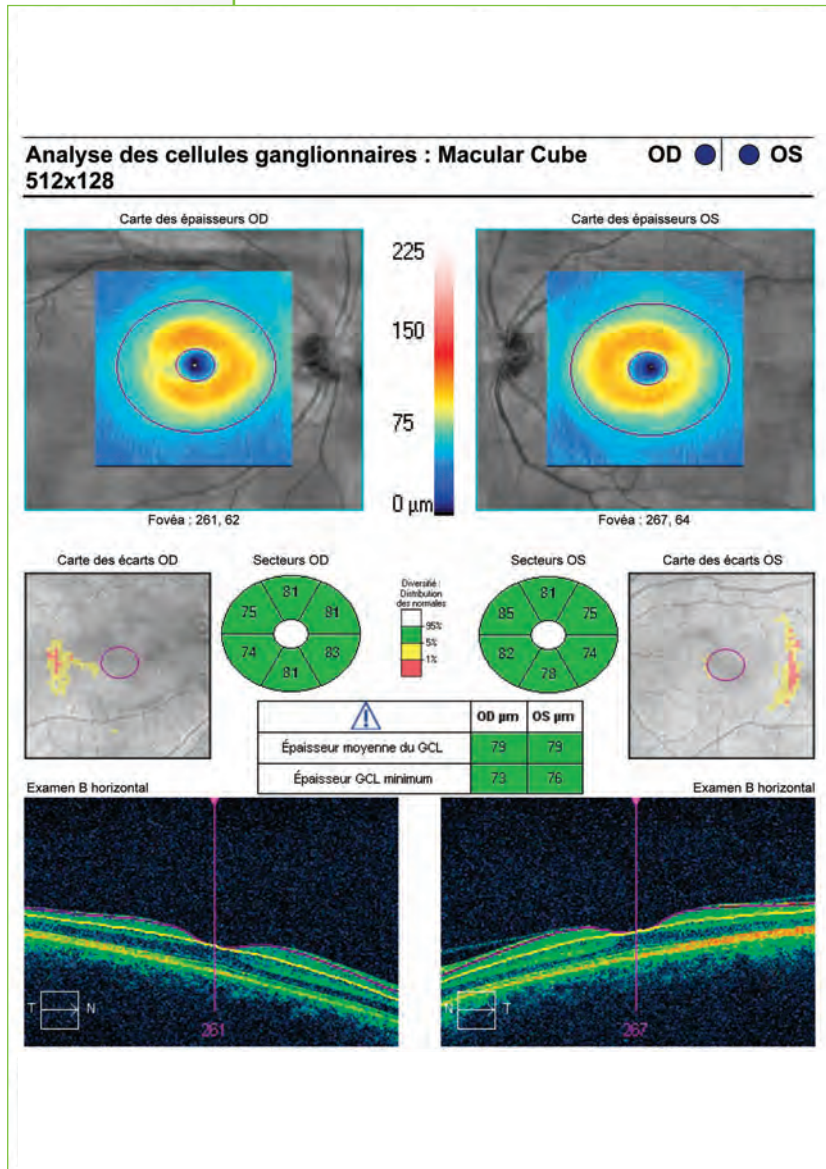
Lorsqu'un œdème est isolé, les paramètres du nerf optique décrivent une augmentation du volume du nerf optique, alors que la couche des RNFL est normale. Cependant, une épaisseur normale peut être la conséquence d'un œdème associé à une atrophie optique débutante. Un bilan à distance est nécessaire.



Patiente de 54 ans présentant une hypertension intracrânienne.

L'OCT révèle une augmentation des volumes du nerf optique sans atteinte rétinienne associée.

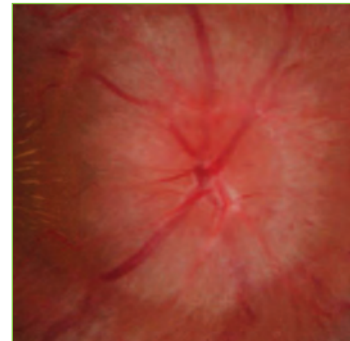
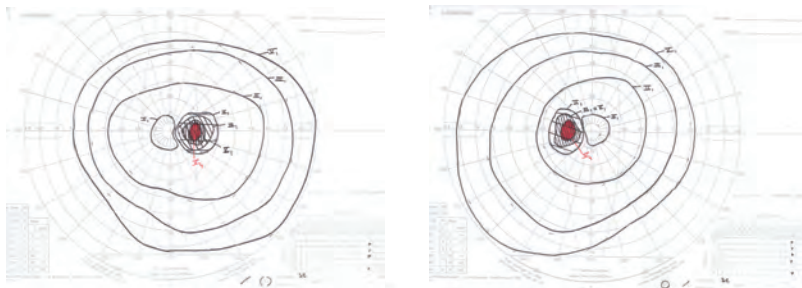
L'absence d'atteinte des fibres optiques est plutôt de bon pronostic devant un œdème maculaire. Un nouveau bilan à distance de l'épisode aigu permettra de s'assurer de la stabilité des résultats.



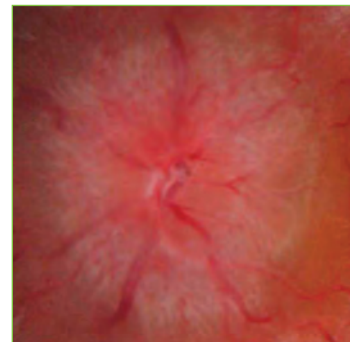
Même patiente que sur la page précédente. L'OCT maculaire est normal.

Œdème de la papille avec œdème sous rétinien

Il est important de noter s'il existe un œdème sous rétinien associé car, dans ce cas on peut prévoir une amélioration de la fonction visuelle lors de la régression de celui-ci. Si l'œdème n'est qu'intra-rétinien, la récupération sera plus faible. L'OCT permet facilement de distinguer œdème intra- et sous-rétinien dans la région péripapillaire.

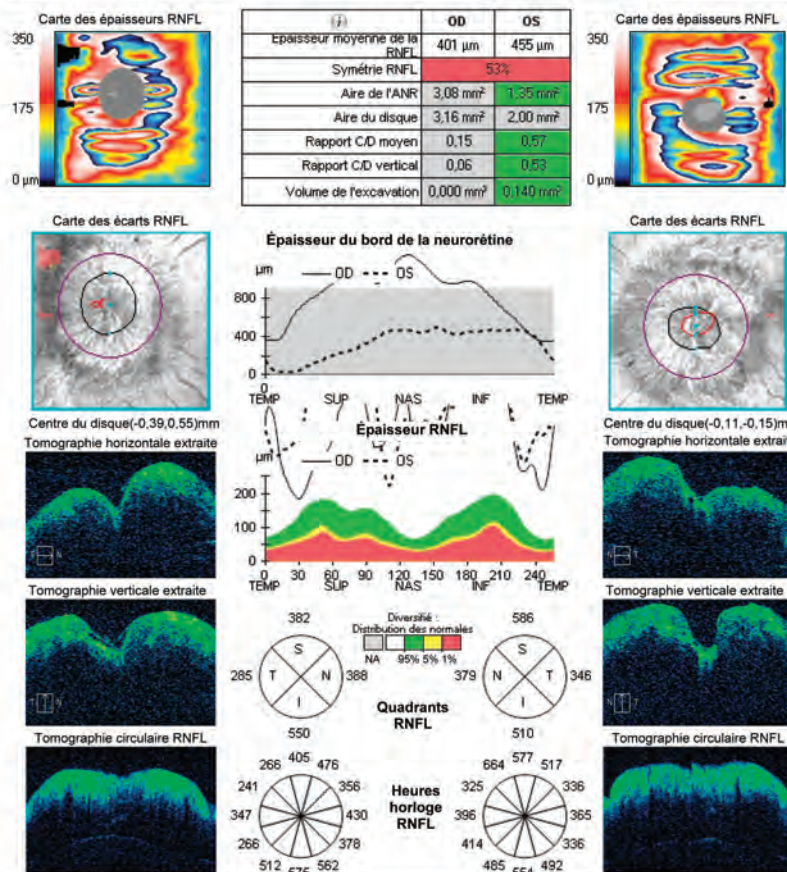


Œil droit

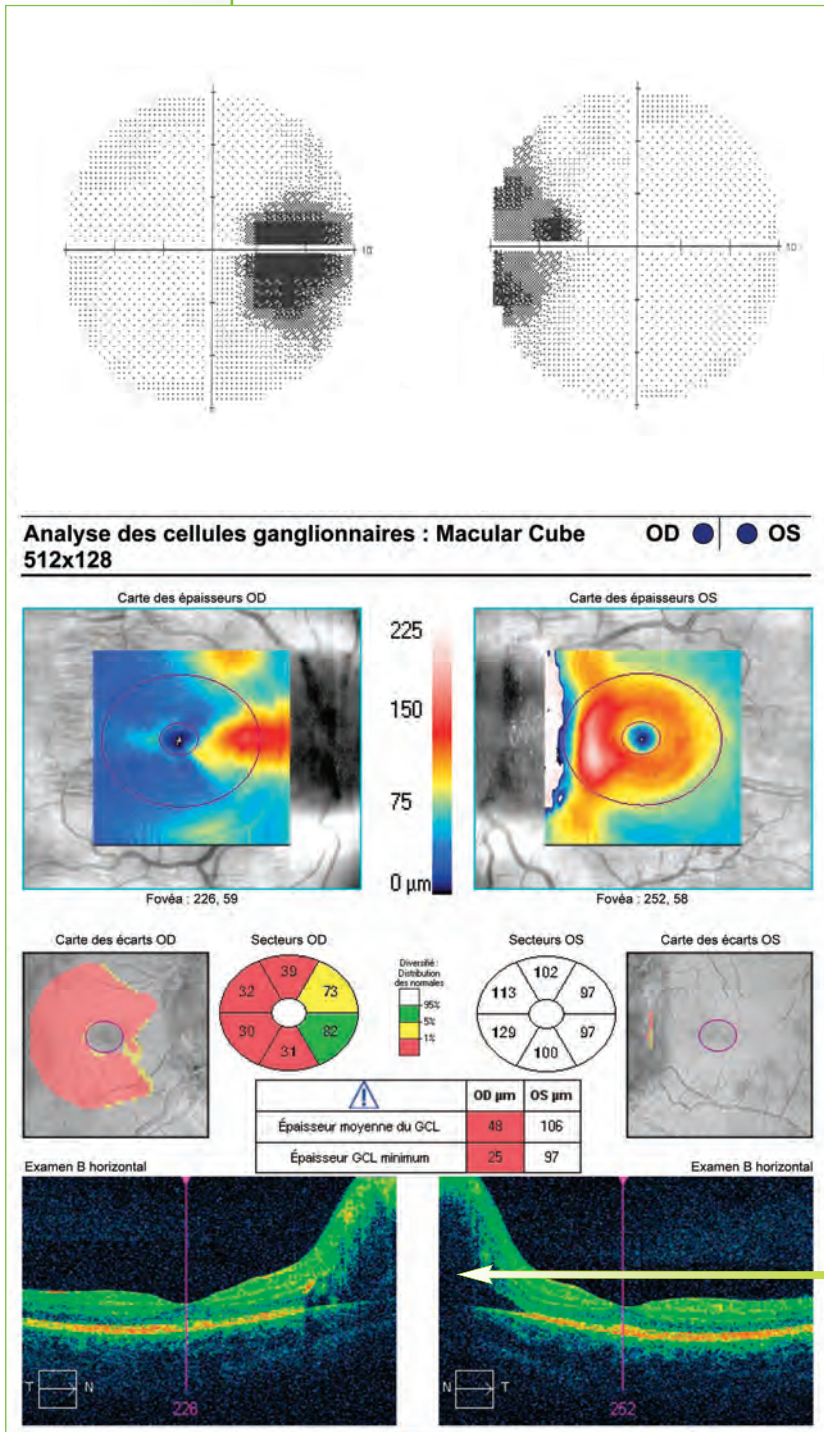


Œil gauche

RNFL et ONH :Optic Disc Cube 200x200



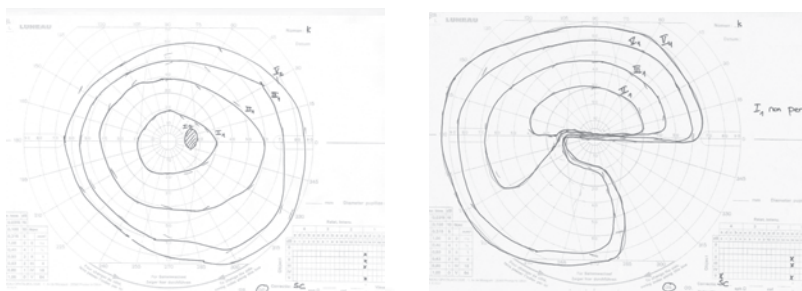
Patiente de 23 ans présentant une discrète baisse d'acuité visuelle d'origine inexpliquée. Le fond d'œil révèle un œdème papillaire bilatéral et les champs visuels un élargissement de la tâche aveugle des deux côtés. L'OCT révèle une augmentation de l'épaisseur de la couche RNFL. L'absence d'atteinte des fibres optiques est liée à cet œdème.



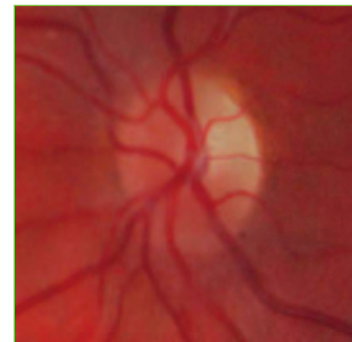
Même patiente que la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. Dans la région maculaire, le complexe des cellules ganglionnaires est déjà altéré à droite. A gauche, cette atteinte est masquée par l'œdème. On note la présence d'un œdème sous-rétinien de bon pronostic.

Compression du nerf optique

En cas d'atteinte compressive du nerf optique, une atteinte purement unilatérale est présente. Le nerf optique est parfois d'examen difficile car l'atrophie optique peut se compléter par une excavation secondaire. Une hypothèse glaucomateuse est donc parfois évoquée.

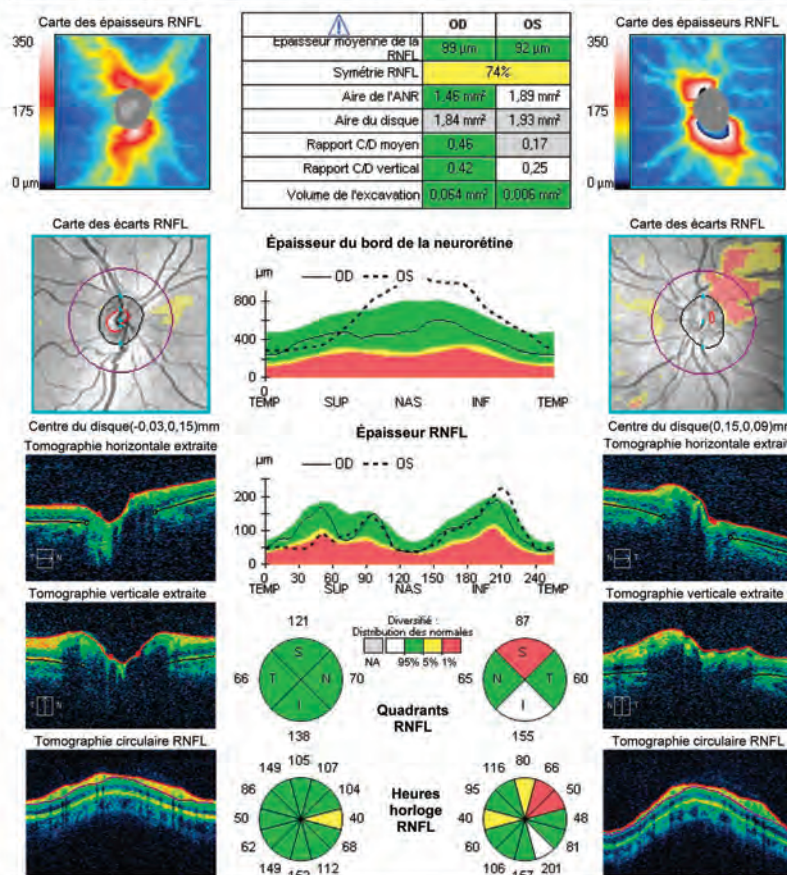


Œil droit



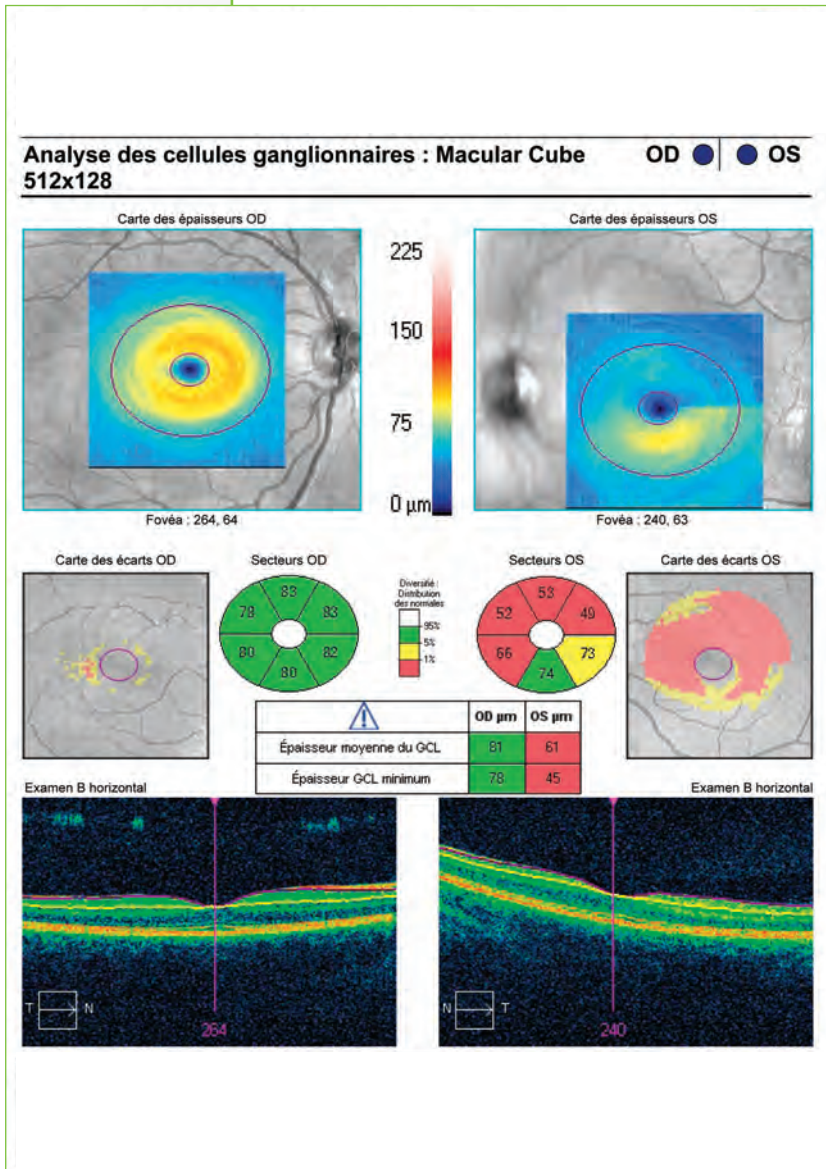
Œil gauche

RNFL et ONH :Optic Disc Cube 200x200



Patiente de 23 ans atteinte d'un gliome du nerf optique gauche. L'atteinte est purement unilatérale, soulignant l'absence de compression de l'autre œil. Bien que le nerf optique donne une impression d'excavation, l'OCT ne confirme pas celle-ci.

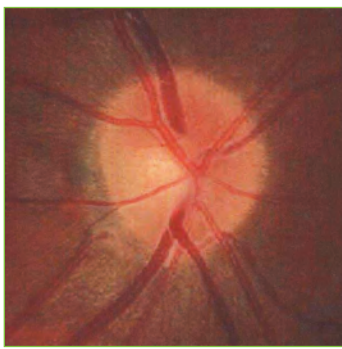
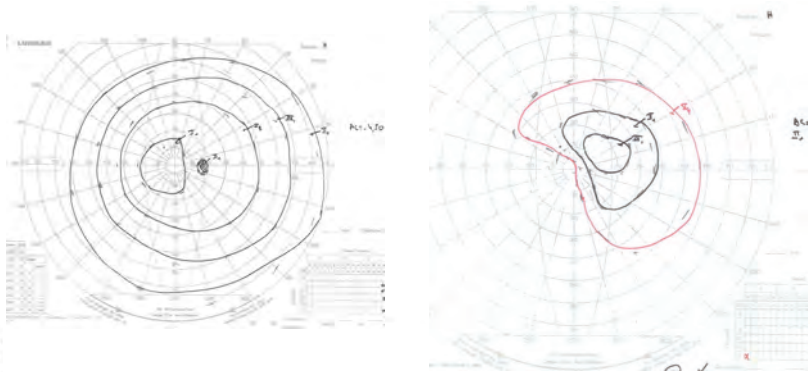
En cas de compression du nerf optique, la normalité de l'œil controlatéral permet de préciser le retentissement purement localisé de cette compression.



Même patiente que sur la page précédente. Une atteinte maculaire diffuse et isolée de l'œil gauche est constatée.

Atteinte du chiasma

En cas d'atteinte du chiasma, des lésions du champ visuel et de l'OCT sont présentes. Un facteur favorable de récupération fonctionnelle après chirurgie est le fait que, dans la zone atteinte, il persiste au moins une épaisseur de 80 μm de RNFL³⁷. Même si l'épaisseur est plus faible, une amélioration post chirurgicale est en général constatée. Lors de neuropathies compressives, le volume de la couche des fibres optiques est ainsi un indicateur de la probabilité de régression des signes cliniques après chirurgie. Plus l'épaisseur des fibres est importante avant le traitement, meilleure sera la récupération.

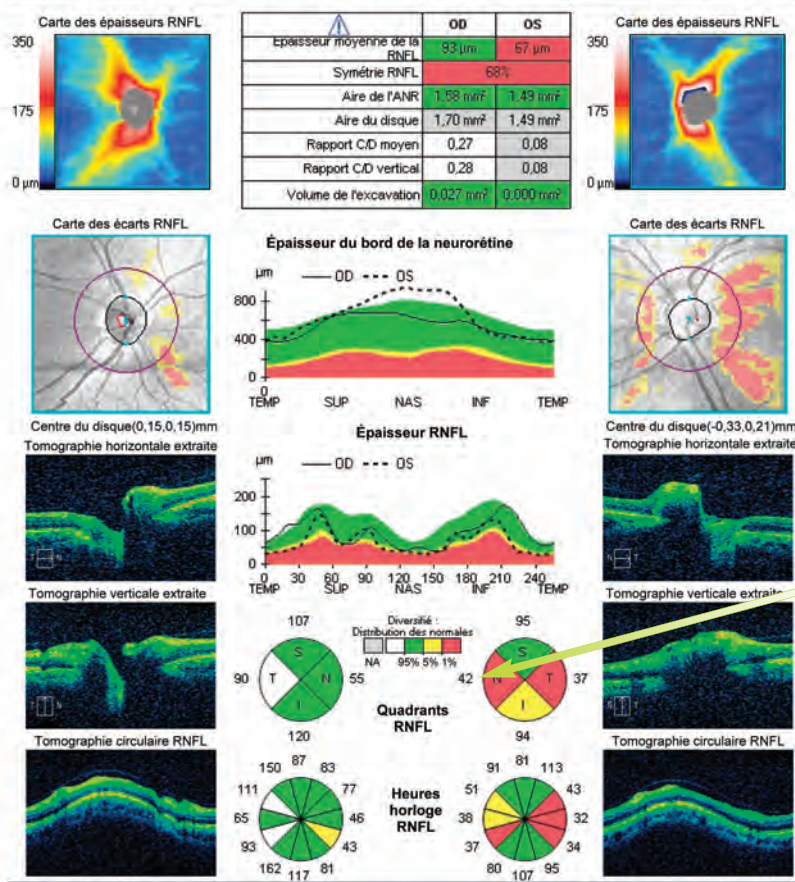


Oeil droit



Oeil gauche

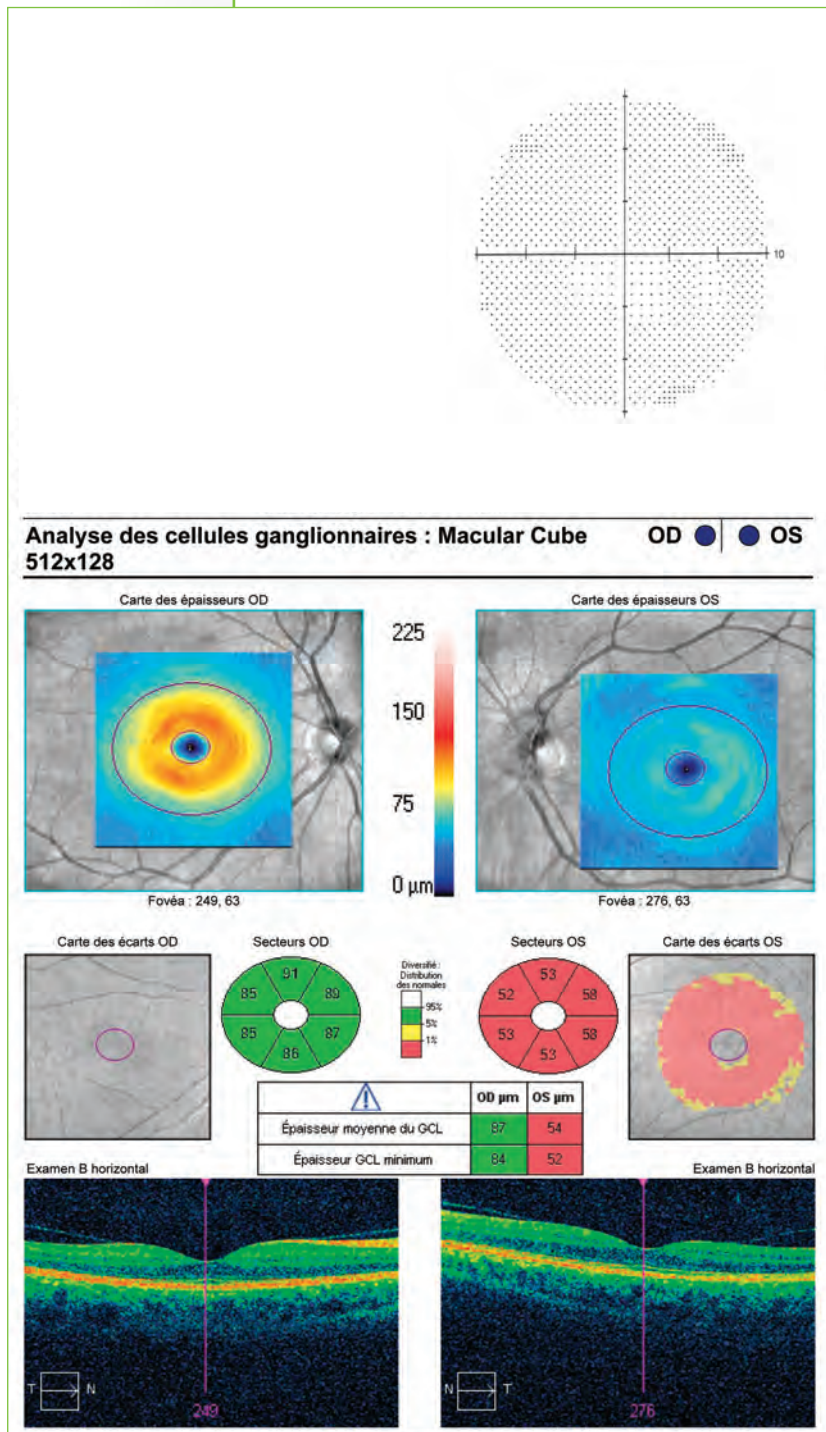
RNFL et ONH :Optic Disc Cube 200x200



Patiente atteinte d'un méningiome préchiasmatique comprimant principalement le nerf optique gauche. L'acuité à droite est normale et à gauche inférieure à 1/20^{ème}. Le nerf optique est normal à droite et légèrement pâle à gauche. L'OCT de la tête du nerf optique montre une atteinte nasale et temporale avec une épaisseur des fibres très faible (42 μm et 37 μm). Il n'y a pas d'excavation.

Alors que le champ visuel de Goldmann semble montrer un début d'atteinte à droite, l'OCT reste normal.

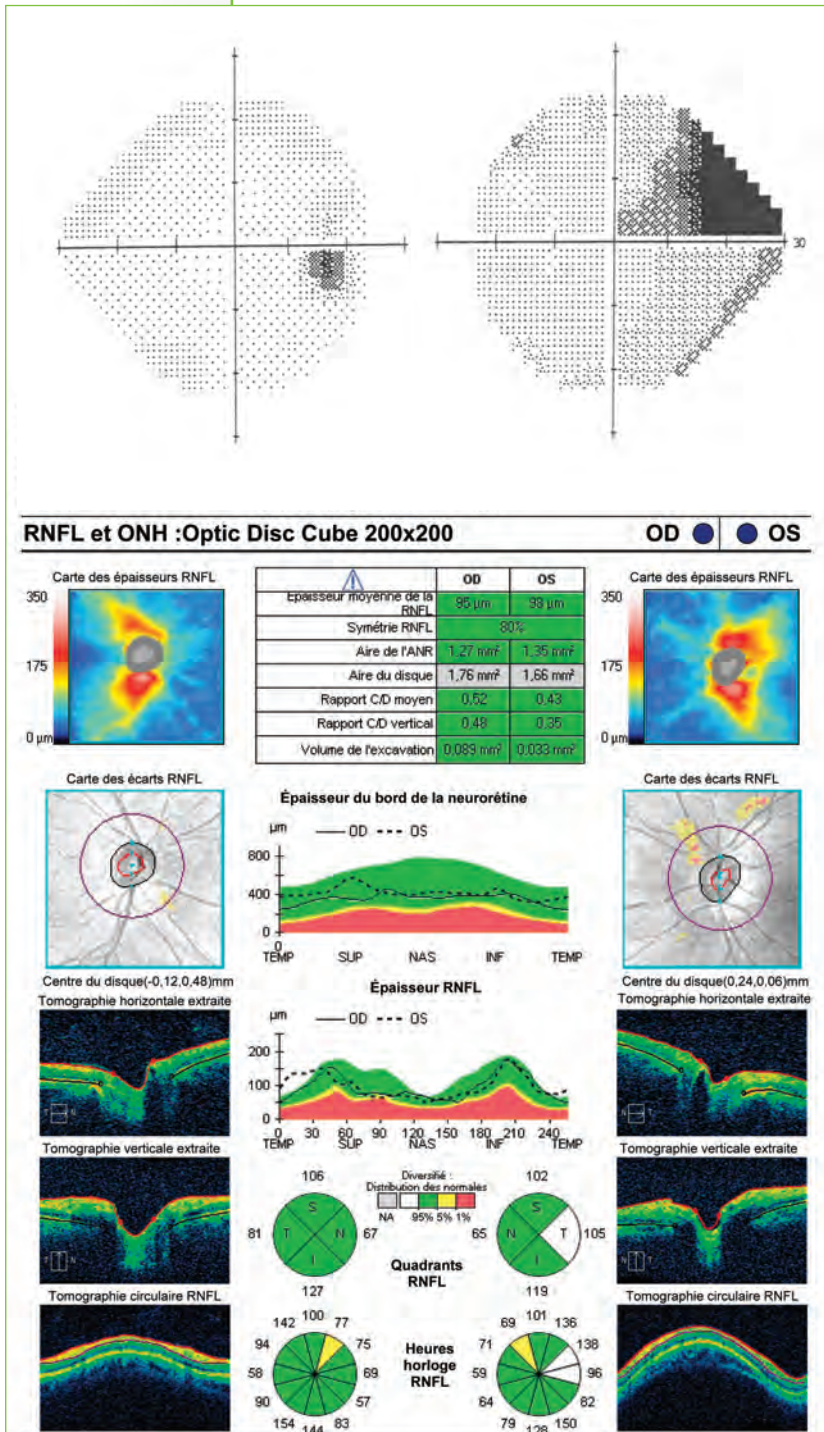
La couche des RNFL n'est pas toujours atteinte de façon précoce dans les compressions du nerf optique ou du chiasma, une modification du champ visuel étant parfois le premier signe d'atteinte. Ceci constitue un des rares cas où une absence d'atteinte des fibres ne signe pas une situation saine.



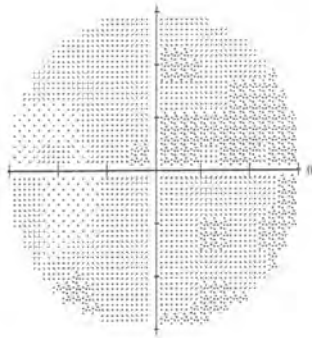
Même patient que page précédente. Une atteinte maculaire diffuse et isolée de l'œil gauche est constatée. En cas de compression, ce caractère diffus est souvent observé.

Amblyopie

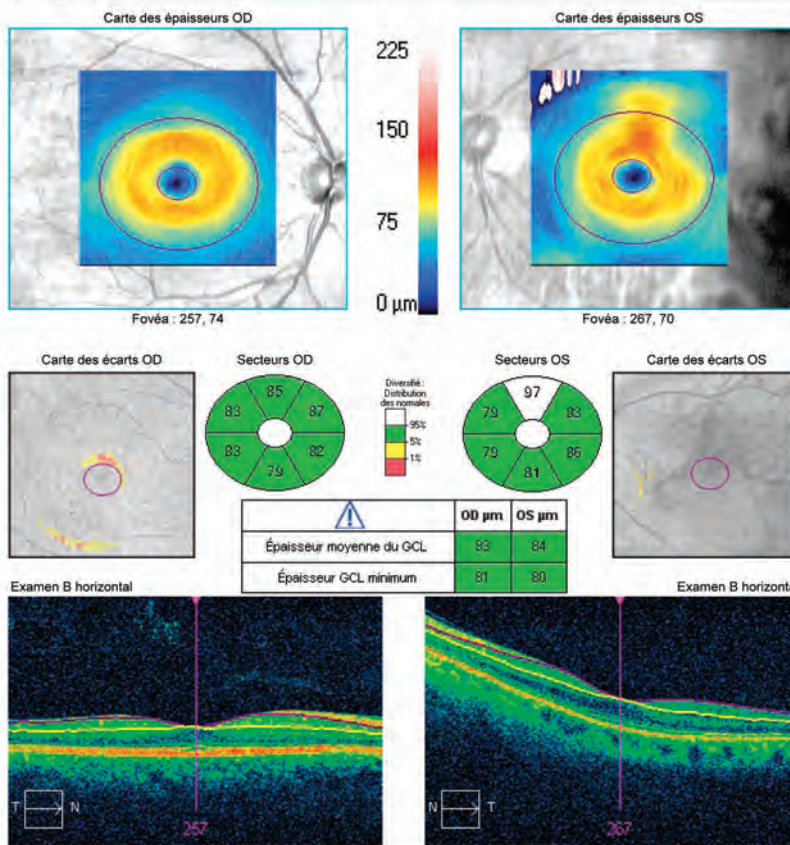
L'amblyopie se traduit par une baisse de l'acuité visuelle de l'œil concerné. Les cellules ganglionnaires ne sont pas fonctionnelles sur le plan morphoscopique, mais elles restent présentes. L'OCT apparaît peu modifié dans cette situation.



Patiente de 48 ans présentant une amblyopie de l'œil gauche (acuité visuelle 2/10^{ème}). Le champ visuel montre un déficit nasal d'origine inexpliquée. L'OCT péripapillaire est normal, de même que les paramètres concernant le nerf optique.



Analyse des cellules ganglionnaires : Macular Cube 512x128 OD ● | ● OS

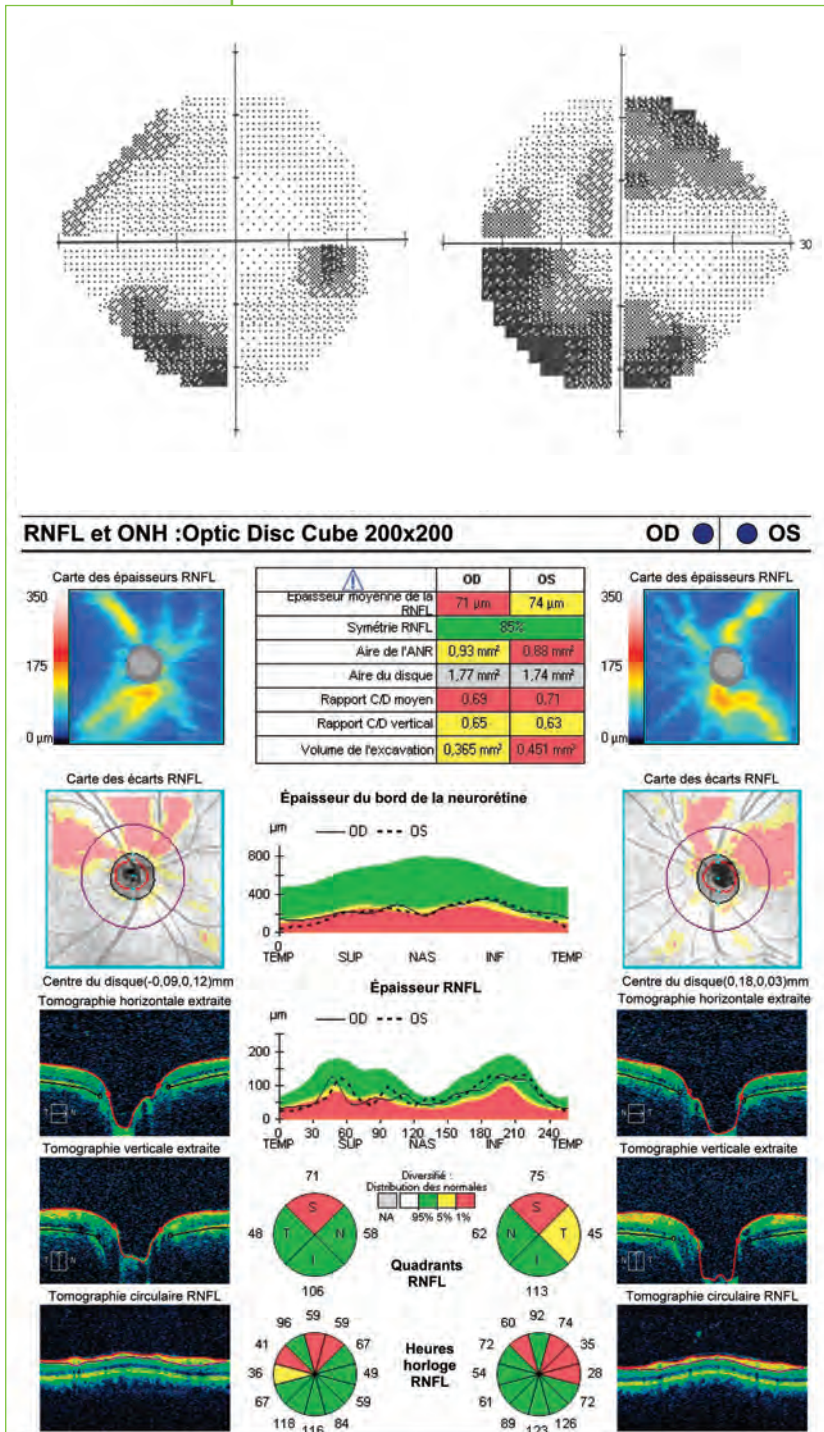


Même patiente que sur la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. Le champ visuel central de l'œil gauche montre un déficit diffus cohérent avec l'acuité de 2/10^{ème}. L'OCT est normal.

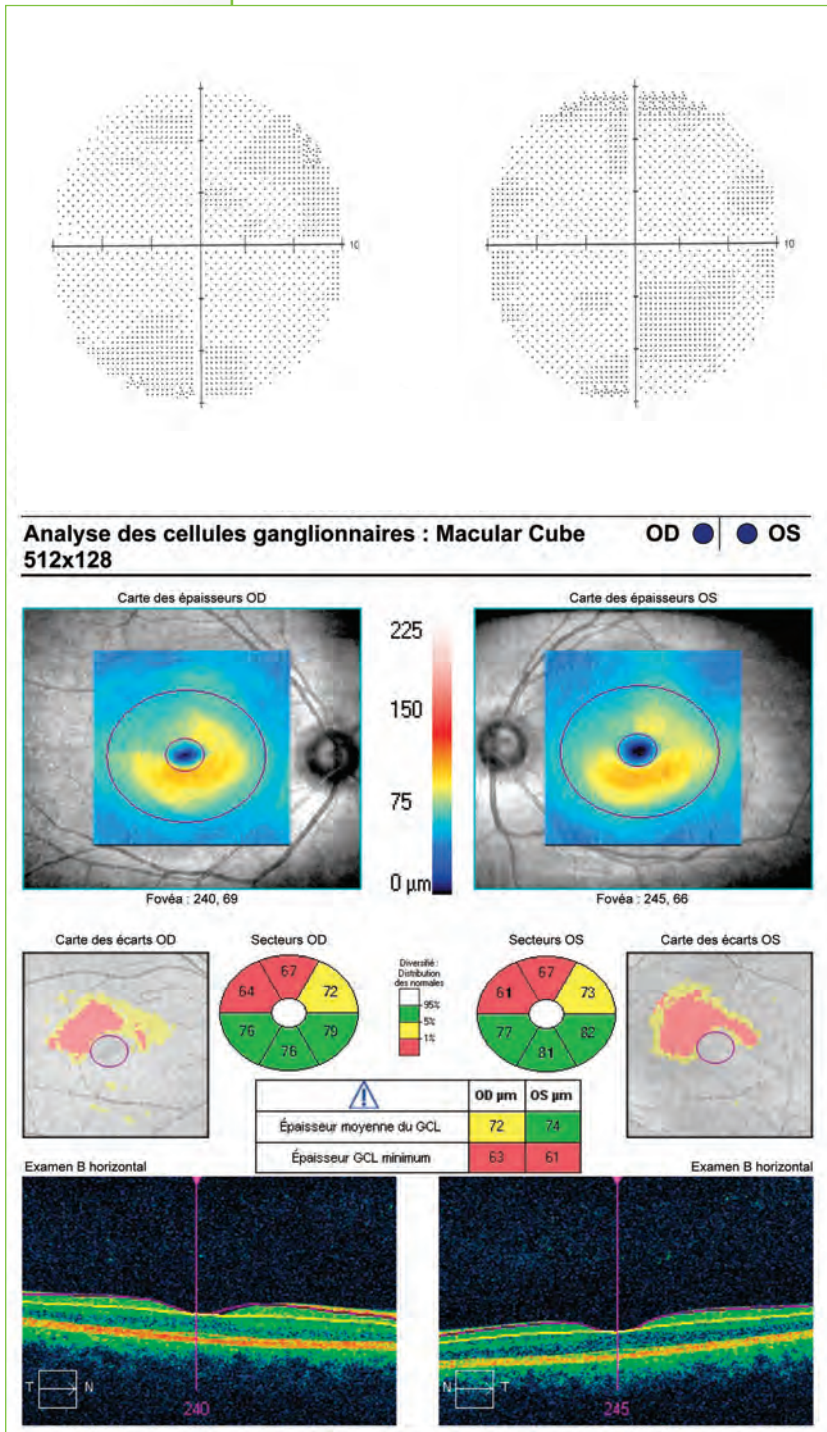
Atteinte périnatale du système nerveux central

On pourrait penser qu'une réduction de la couche des fibres optiques ne puisse se rencontrer que si une atteinte directe de ces cellules existe, au niveau du corps cellulaire ou de l'axone.

Il semble que même une lésion isolée du cortex occipital, comme une hémianopsie puisse se traduire par une réduction latérale homonyme des fibres optiques en OCT. Ceci a été initialement mis en évidence pour des pathologies congénitales ou périnatales. Il n'est pas sûr que ce soit le cas pour des lésions acquises.



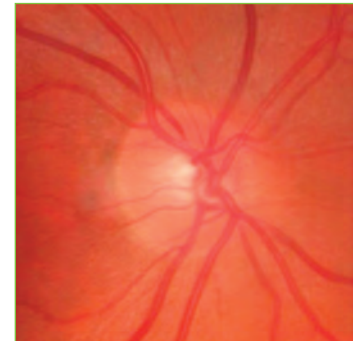
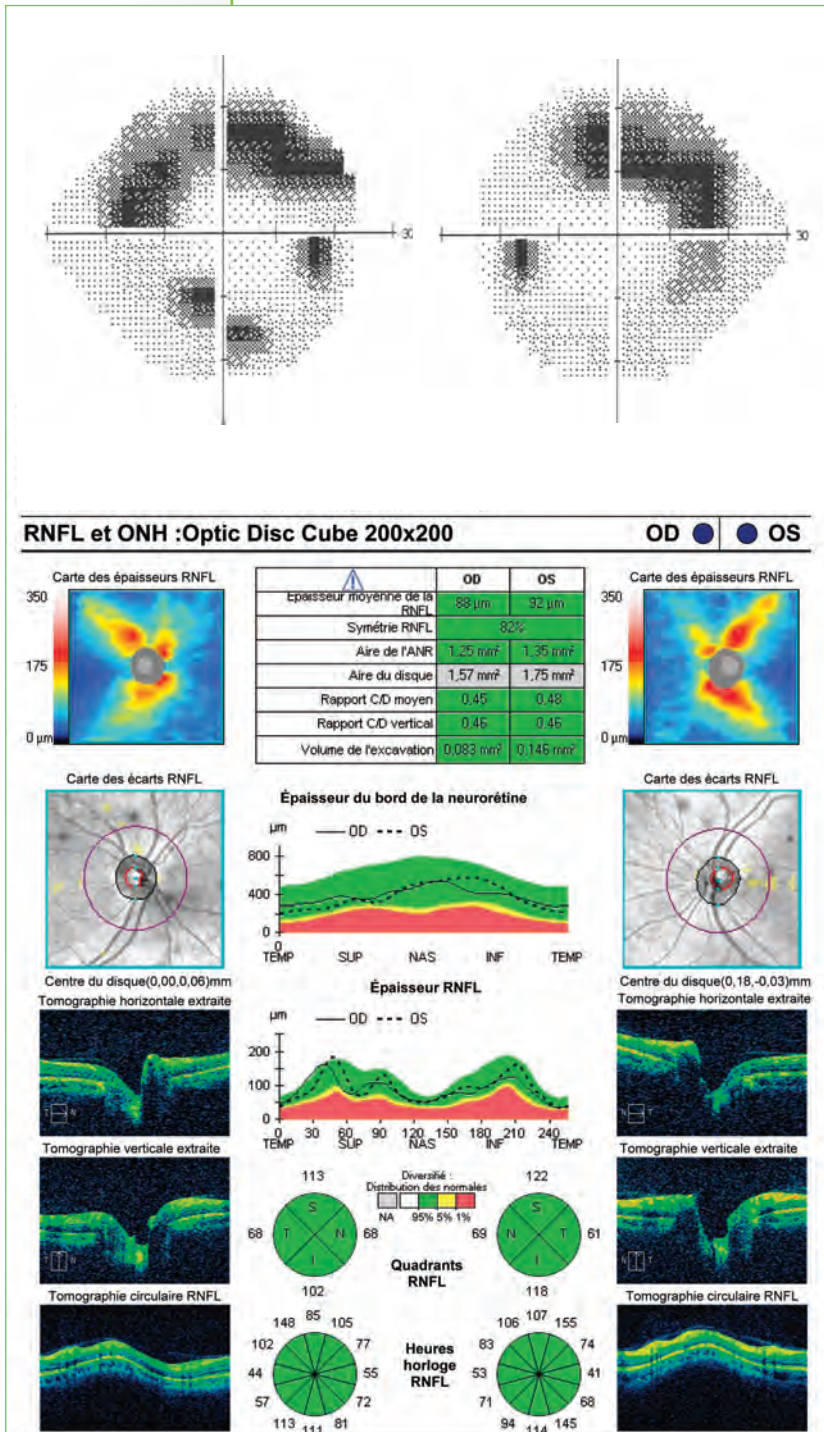
Patiente de 42 ans présentant des séquelles d'épilepsie et un léger retard mental en rapport avec une souffrance périnatale. Le champ visuel est irrégulier avec un déficit latéral homonyme inférieur. Les nerfs optiques sont normaux. Bien qu'il s'agisse d'une pathologie centrale, l'OCT des fibres optiques est atteint.



Même patiente que sur la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. Le champ visuel central est irrégulier et l'OCT maculaire montre une atteinte bilatérale.

Atteinte du système nerveux central chez l'adulte

Le retentissement visuel d'une atteinte isolée du système nerveux central chez l'adulte se traduit par une altération beaucoup plus importante du champ visuel que de l'OCT. Il est possible cependant que l'OCT soit perturbé par dégénération trans-synaptique depuis le lobe occipital jusqu'au nerf optique³⁸.



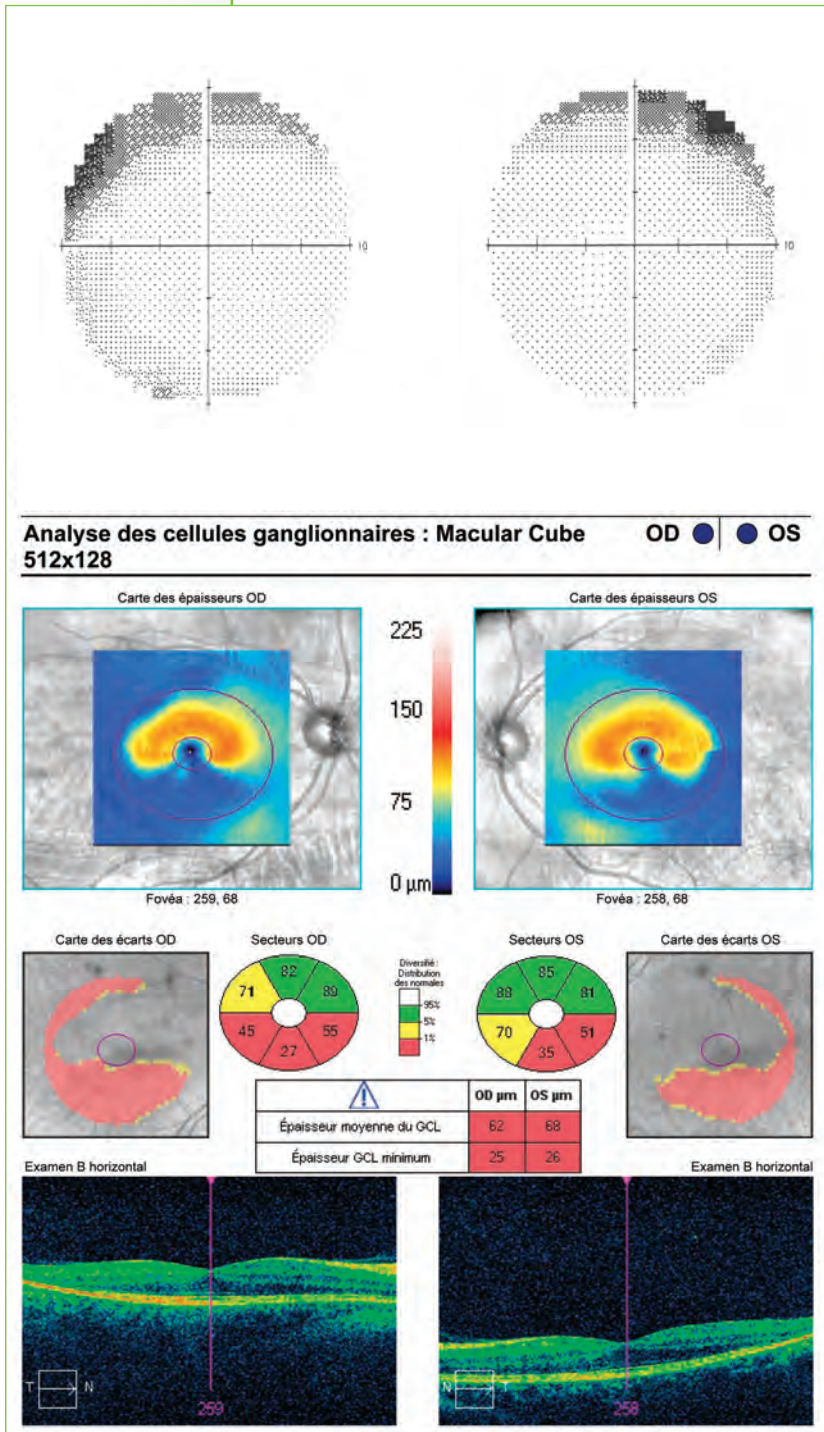
Œil droit



Œil gauche

Patiente de 49 ans. Les champs visuels montrent un déficit bilatéral inexpliqué et relativement symétrique dans le champ supérieur. L'OCT est normal. Les nerfs optiques semblent aussi cliniquement normaux.

L'OCT est ainsi d'une grande aide lorsqu'il est normal. Devant un baisse d'acuité visuelle ou une atteinte du champ visuel, la constatation éventuelle d'une absence de déstructuration de la rétine en OCT permet d'affirmer une cause neuro-ophtalmologique de la symptomatologie.

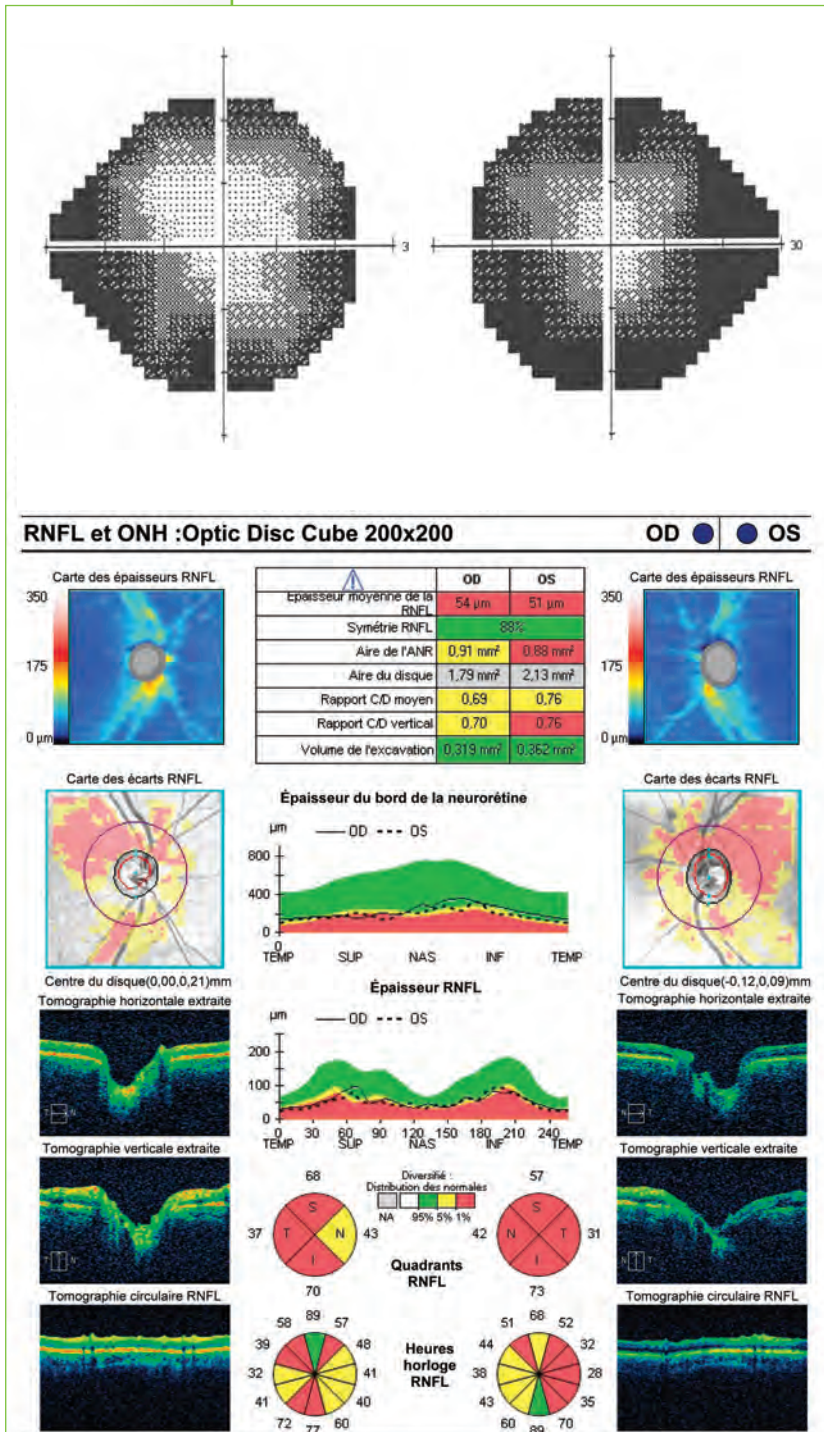


Même patiente que sur la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. La petite atteinte du complexe des cellules ganglionnaires contraste avec l'importance du déficit périmétrique. Une origine centrale reste l'étiologie la plus probable.

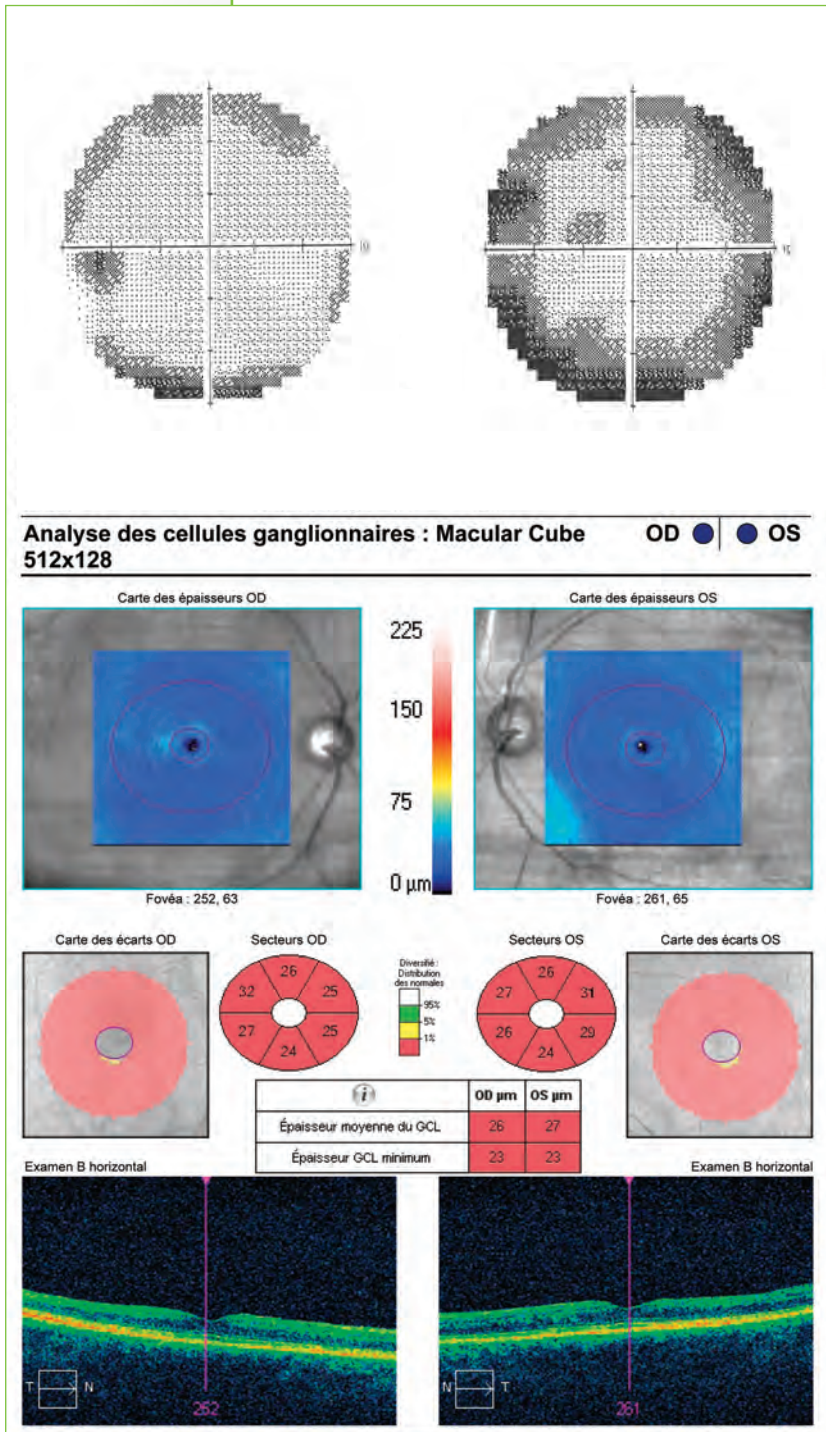
Détermination du caractère organique d'une atteinte visuelle

Dans de nombreuses situations il est difficile d'établir l'origine organique d'une symptomatologie fonctionnelle importante. C'est le cas du syndrome des post traumatisés crâniens, des déficits périmétriques d'origine hystérique ou de pathologies mal définies.

L'OCT permet de préciser le caractère organique ou non de cette plainte fonctionnelle.



Patient de 60 ans se plaignant d'une baisse d'acuité visuelle à 6/10^{ème} à l'issue d'une anesthésie générale. Les champs visuels montrent un déficit concentrique bilatéral inexpliqué. Une neuropathie par bas débit choroidien est évoquée. L'OCT met en évidence une atteinte diffuse majeure de la couche RNFL sans excavation. Les nerfs optiques semblent cliniquement normaux.



Même patient que sur la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. Le complexe des cellules ganglionnaires est atteint de façon majeure, confirmant le caractère organique de la plainte du patient.

Dans des pathologies plus générales comme la maladie d'Alzheimer ou le Parkinson, on constate aussi une réduction des fibres optiques à l'OCT. Cette réduction est dans certains cas diffuse, et parfois localisée plutôt dans la région supérieure³⁹.

Dans la maladie d'Alzheimer, une réduction de la couche des RNFL et de la couche des cellules ganglionnaires maculaires est observée, mais sans relation directe avec le niveau des fonctions cognitives.

Dans la maladie de Parkinson, une certaine correspondance entre réduction de la couche des fibres optiques et retentissement fonctionnel du Parkinson a été trouvée.

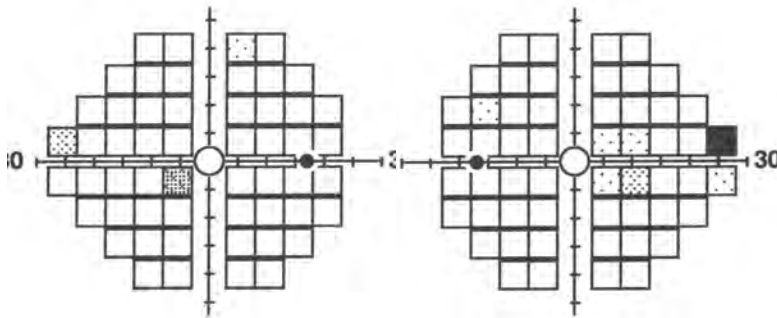


Aspects atypiques du nerf optique pouvant évoquer une neuropathie optique en OCT

De nombreux aspects atypiques du nerf optique sont responsables de modifications de l'OCT de la papille. Ils peuvent prendre en défaut les méthodes de mesure et donner à tort un résultat pathologique. Les OCT mesurent l'excavation à partir d'un plan situé référence arbitrairement placé 150 μm au-dessus du niveau de l'épithélium pigmentaire péri-papillaire. Si l'OCT n'arrive pas à évaluer correctement l'épithélium pigmentaire, l'ensemble des résultats peuvent être faussés. C'est la raison pour laquelle des coupes de la papille avec localisation par un point rouge du début théorique de l'excavation sont imprimées. L'ophtalmologiste pourra ainsi déterminer si ces points sont placés de façon cohérente.

Myopie

La myopie modérée n'entraîne pas de modification de l'OCT. En cas d'atrophie péripapillaire, il faut s'assurer que la mesure faite à 3,4 mm du centre du nerf optique est située en dehors de cette atrophie, pour une bonne qualité des mesures.



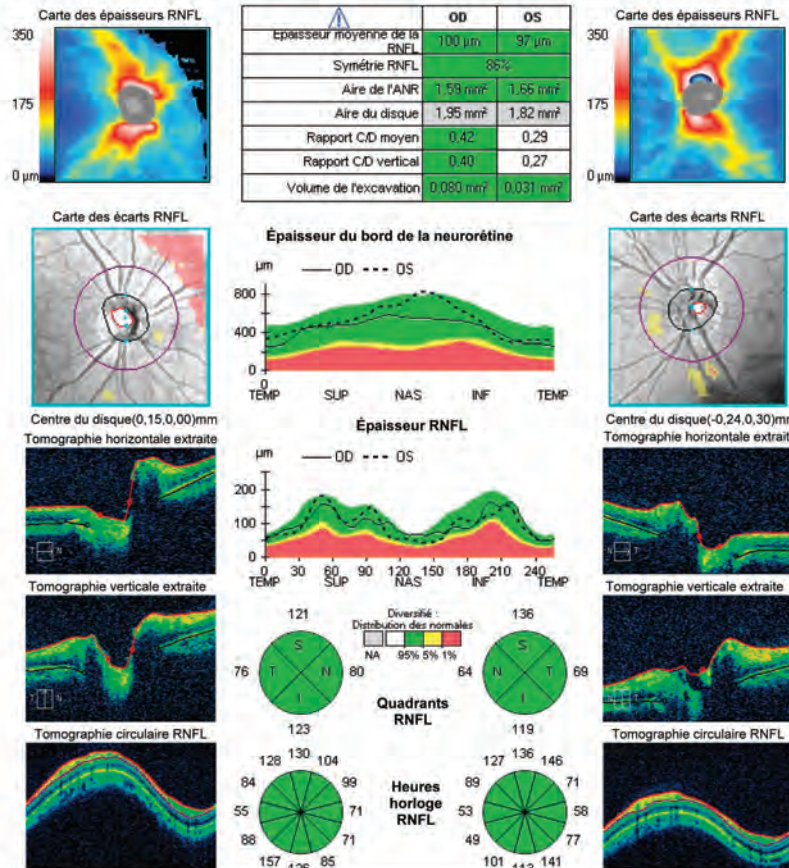
Oeil droit



Oeil gauche

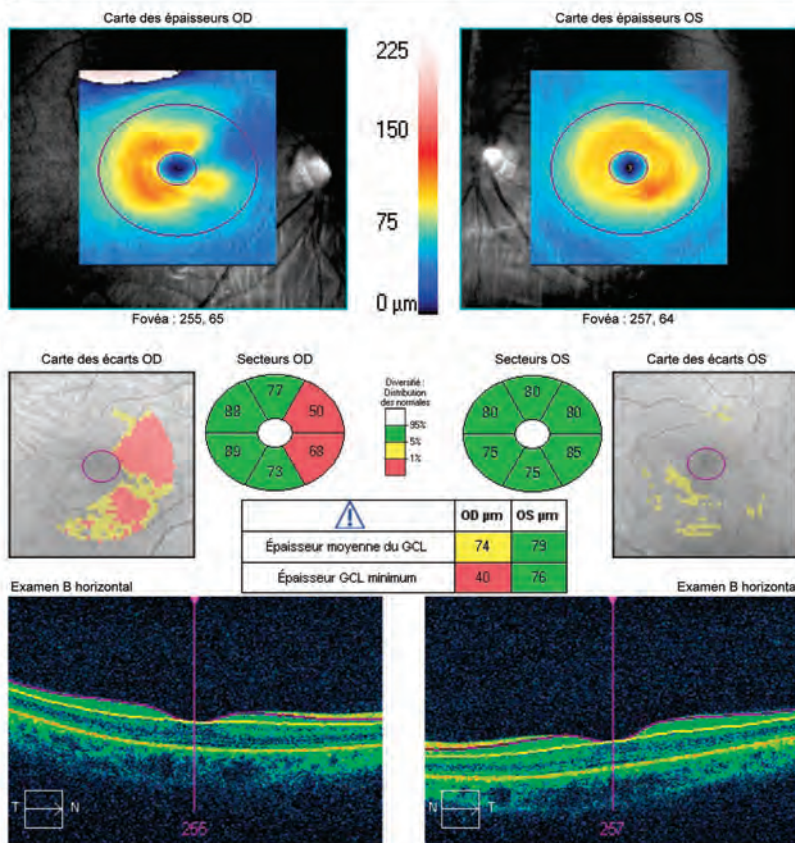
RNFL et ONH :Optic Disc Cube 200x200

OD ● ● OS



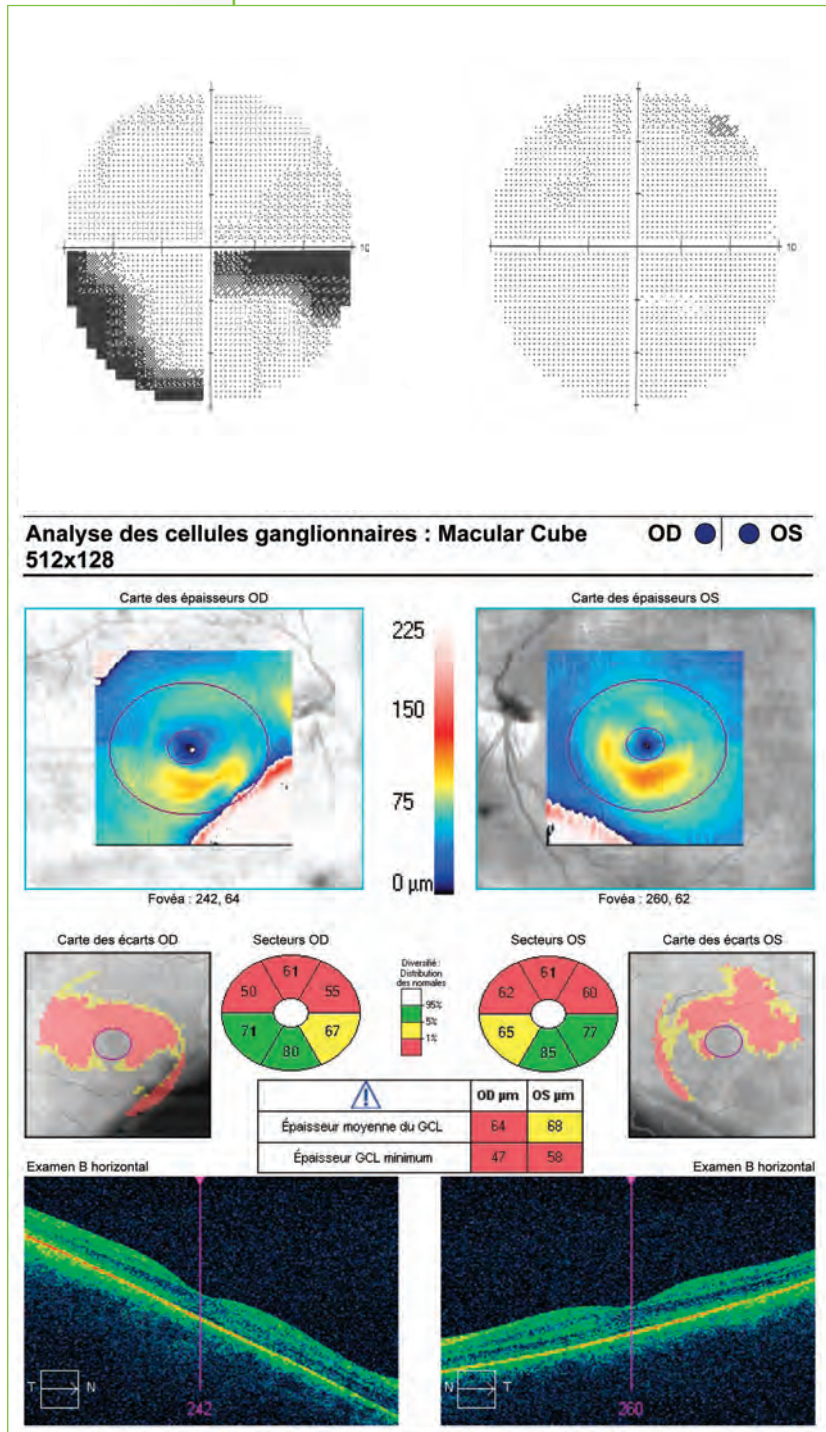
Patiente présentant myopie de 6 dioptries et une légère dysversion temporale inférieure. Le champ visuel Matrix montre des irrégularités, l'OCT est normal.

Analyse des cellules ganglionnaires : Macular Cube 512x128 OD ● | ● OS



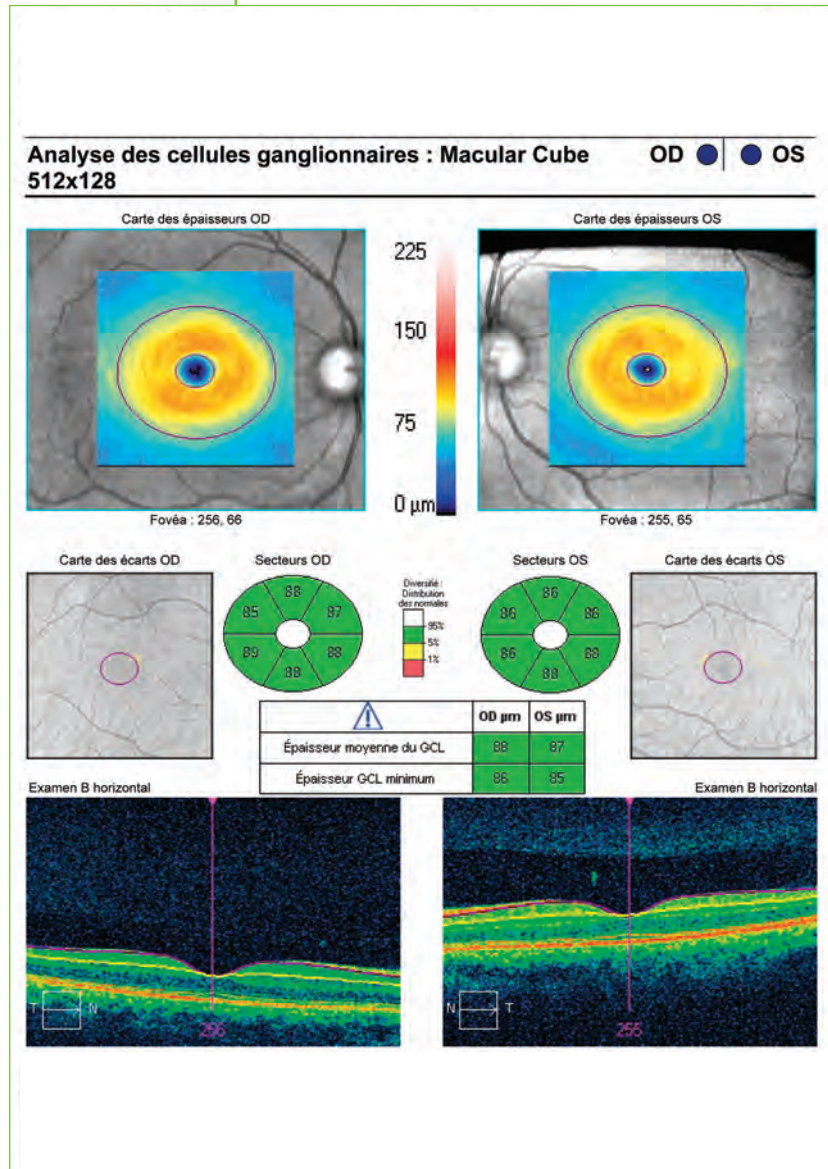
Même patiente que sur la page précédente. Irrégularités du complexe des cellules ganglionnaires à droite. Ce résultat n'indique pas qu'un processus pathologique est en cours d'évolution.

Le complexe des cellules ganglionnaires maculaires est plus simple à évaluer dans une dysversion, car situé à distance du nerf optique. Il permet de révéler la normalité ou l'existence d'une atteinte des fibres optiques.



Même patiente que sur la page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. L'analyse de la région centrale confirme à la fois en périmétrie et en OCT le retentissement de la dysversion.

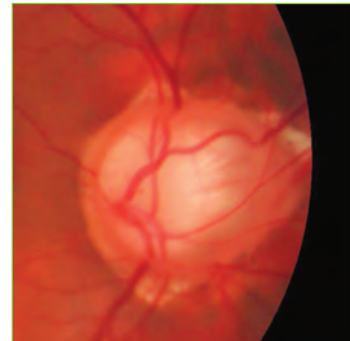
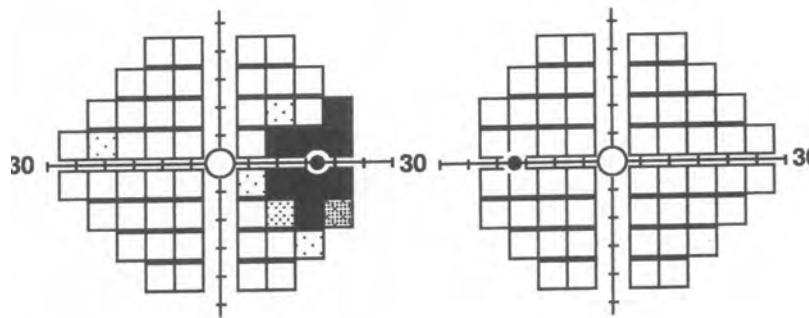
Devant une excavation importante et possiblement physiologique, les paramètres des fibres optiques doivent être analysés et ceux du nerf optique moins pris en considération.



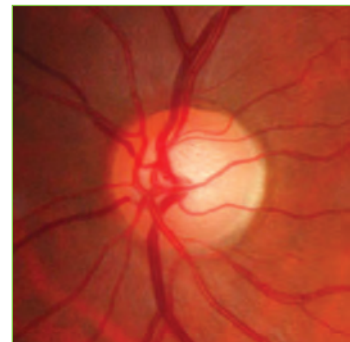
Même patiente que sur la page précédente. Le complexe des cellules ganglionnaires est normal. Excavation physiologique bilatérale.

Colobome de la papille

La localisation du colobome est responsable d'une atteinte de l'OCT en regard. Les secteurs habituellement touchés dans le glaucome, en particulier la région temporale inférieure, ne sont atteints que si cette région est le siège du colobome.

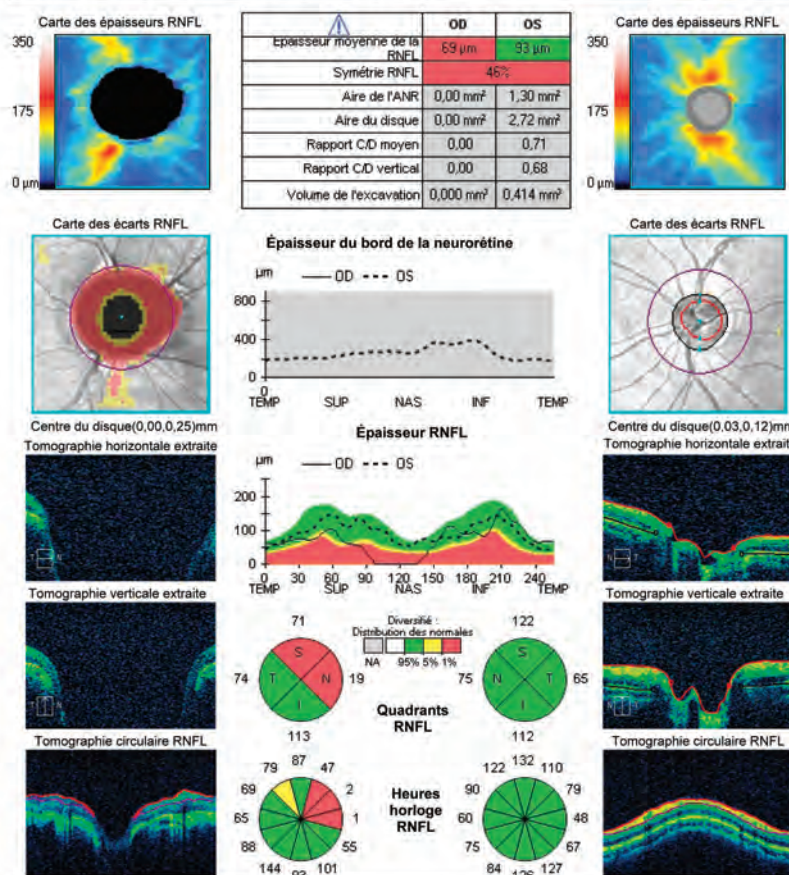


Oeil droit

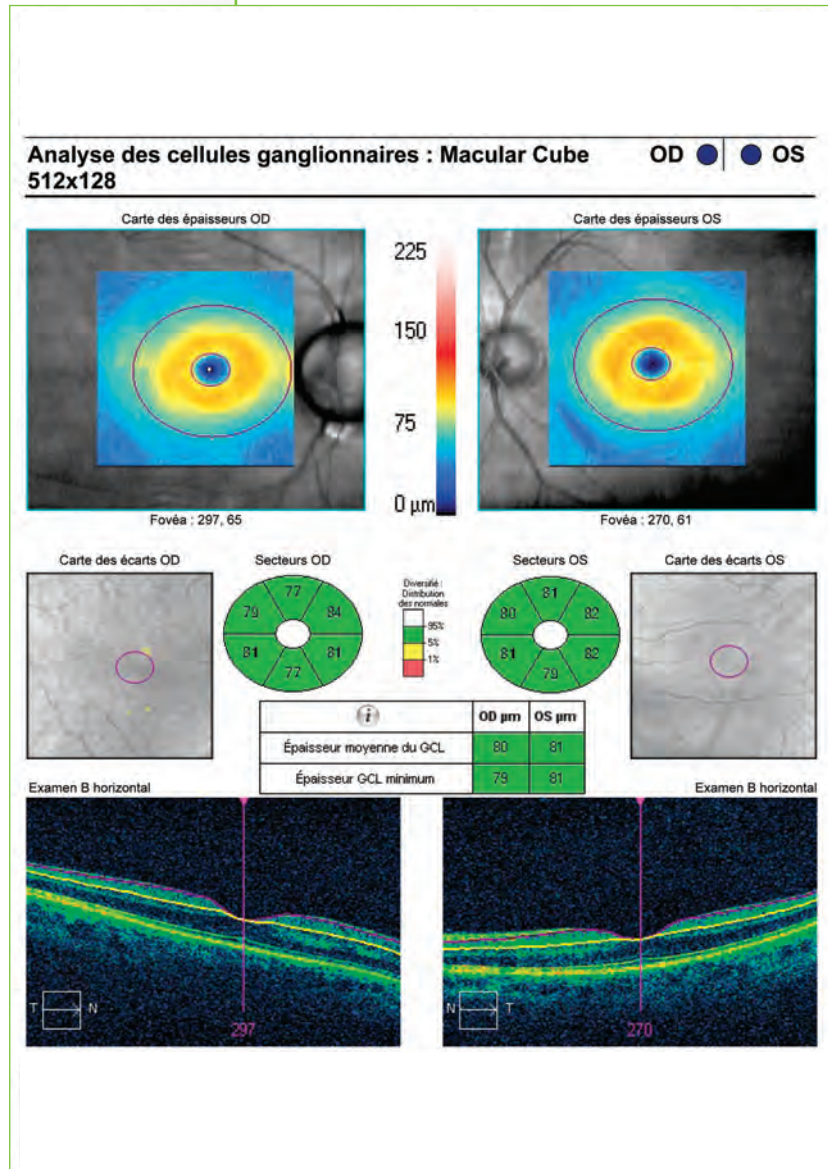


Oeil gauche

RNFL et ONH :Optic Disc Cube 200x200



Colobome nasal de la papille droite. L'atteinte OCT est en regard de la région anormale.



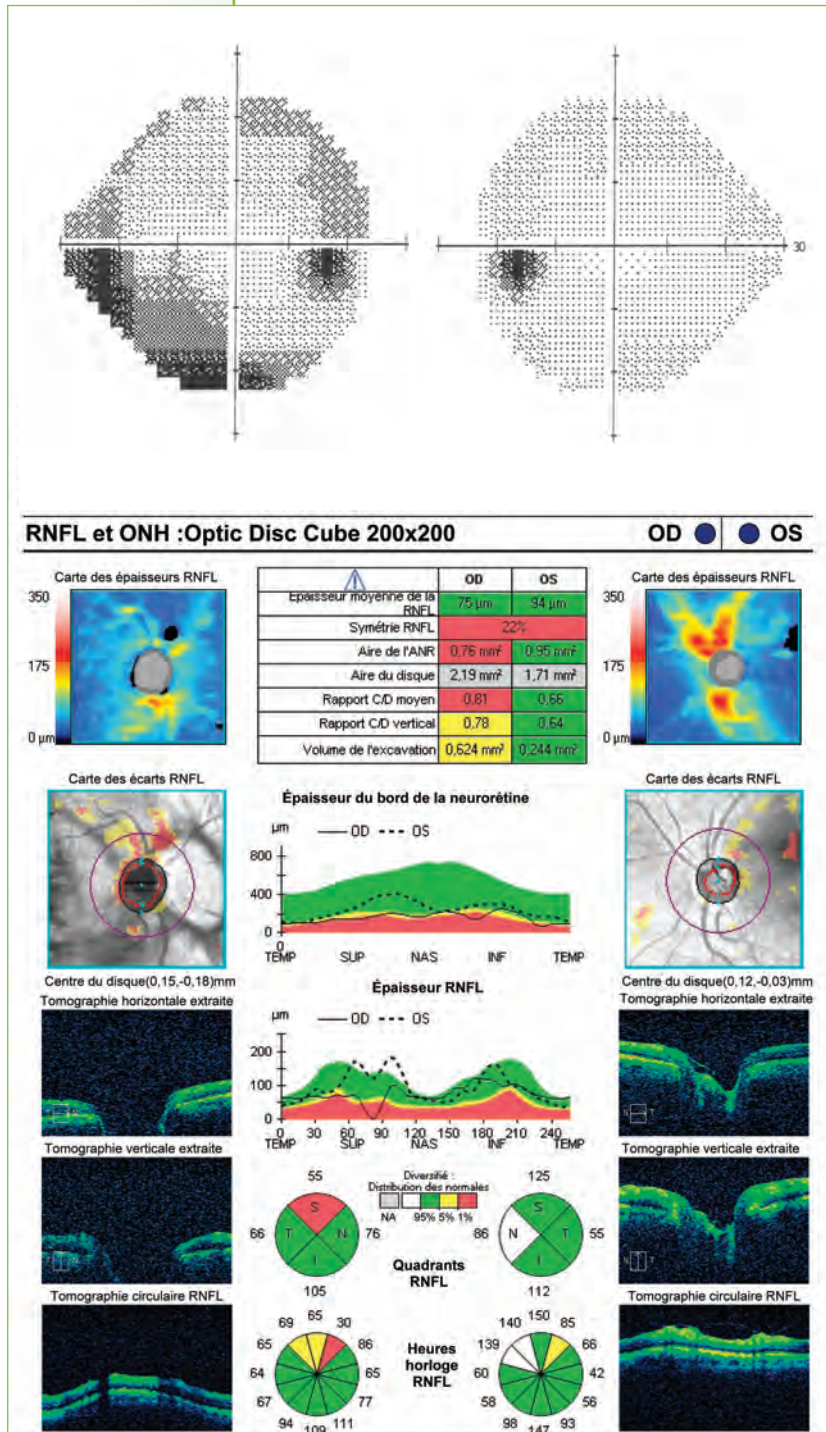
Colobome nasal de la papille droite. Même patiente que sur la page précédente. Le complexe des cellules ganglionnaires est normal.

Aspects atypiques de la rétine pouvant évoquer une neuropathie optique en OCT

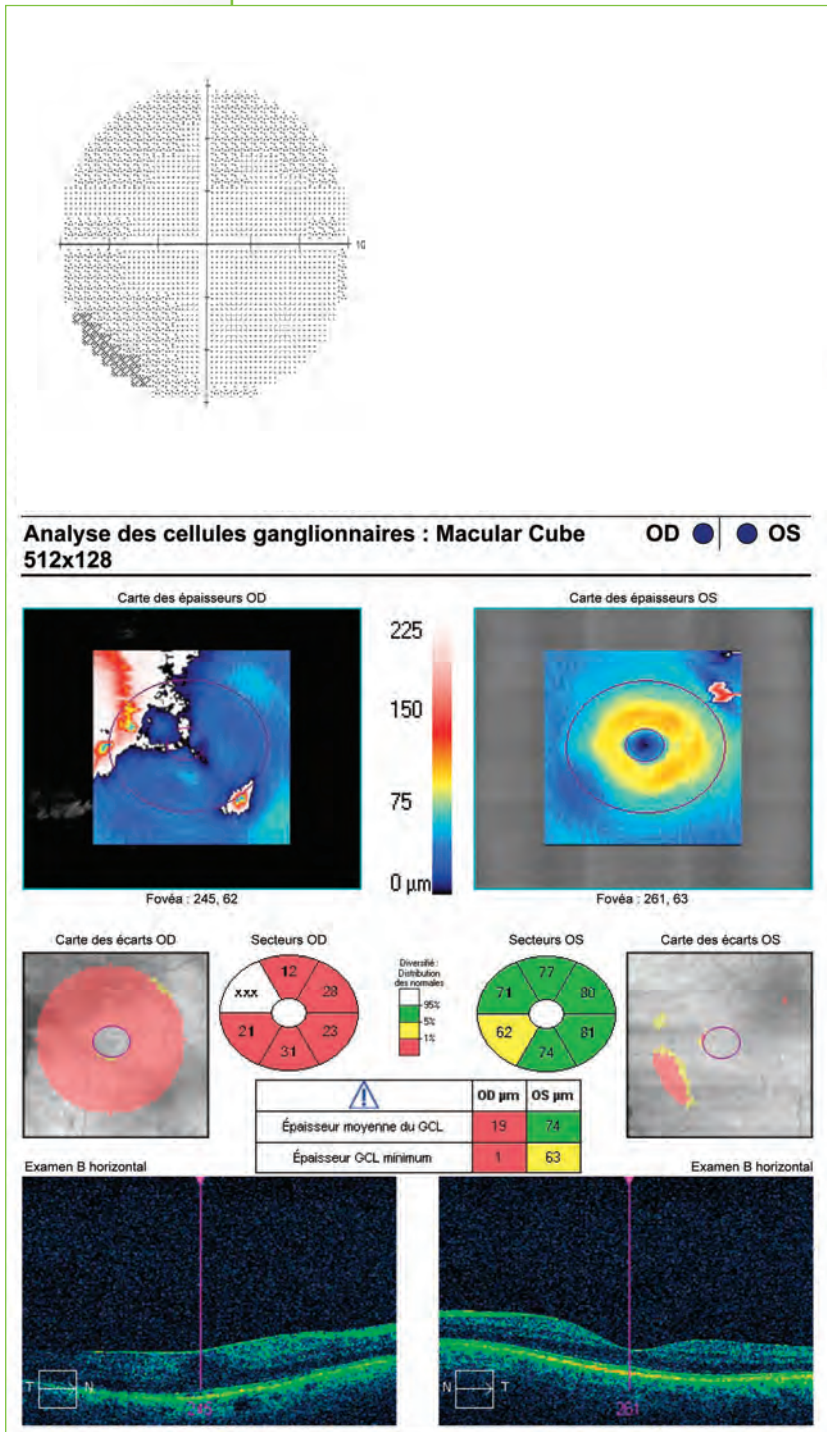
Certaines pathologies maculaires ou rétiniennes sont susceptibles d'altérer la couche des fibres optiques, au niveau maculaire, mais aussi au niveau péripapillaire. Une modification de ces régions ne signe donc pas avec certitude une atteinte directe du nerf optique. Lorsque l'atteinte rétinienne initiale est surtout maculaire, il est fréquent de n'observer qu'une modification du complexe des cellules ganglionnaires maculaires. Quand l'affection est plus importante, l'ensemble des structures peut être altéré. Deux exemples sont montrés ici, mais ne sont en rien exhaustifs de pathologies rétiniennes pouvant évoquer une neuropathie optique.

Séquelle d'occlusion veineuse

Une occlusion veineuse est responsable d'une destruction de la couche des cellules ganglionnaires au même titre qu'une atteinte du nerf optique. Le contexte permet de comprendre l'aspect OCT.

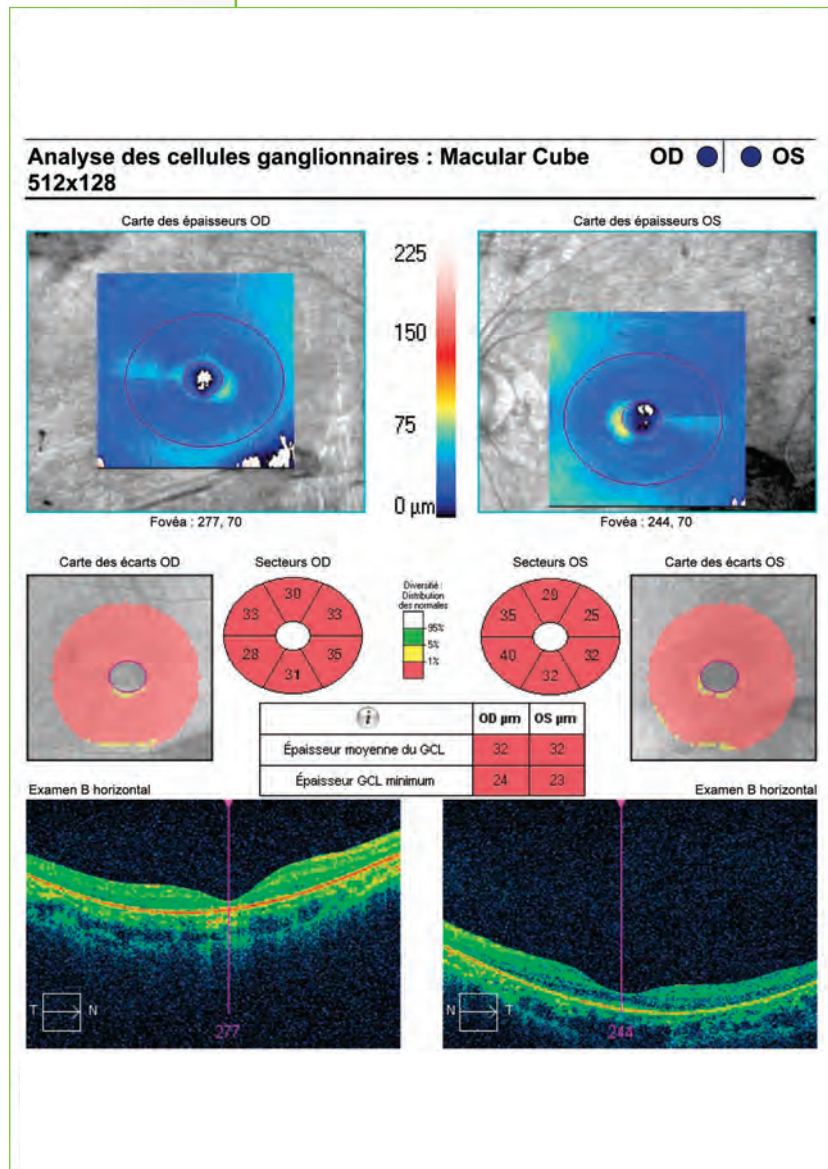


Patient de 72 ans atteint 3 ans auparavant d'une occlusion de la branche tempore supérieure de l'œil droit. L'OCT et le champ visuel retrouvent l'atteinte correspondante.



Même patient que page précédente. OCT et champs visuels des 10° centraux. On observe une atteinte diffuse et unilatérale du complexe des cellules ganglionnaires maculaires.

L'exemple donné ici correspond à une rétinopathie pigmentaire. Toutes les autres sources de souffrance maculaire peuvent entraîner une atteinte du complexe des cellules ganglionnaires : membrane épi-rétinienne, DMLA, œdème maculaire quelque soit son origine, maculopathies acquises ou constitutionnelles...



Même patient que page précédente. On observe une atteinte diffuse et bilatérale du complexe des cellules ganglionnaires maculaires.

L'imagerie du nerf optique en OCT est en constante évolution. La plupart des références de cet ouvrage sont récentes car de plus anciennes ne concernent pas le « Spectral Domain ». Cette dernière année, plus de 300 articles « Nerf optique et OCT » ont été publiés dans les journaux internationaux, soulignant le caractère novateur de cette technologie.

De multiples questions se posent devant ces résultats spectaculaires : doit-on considérer l'OCT comme l'examen fondamental dans la surveillance du glaucome ou n'est-ce qu'un complément du champ visuel et de la mesure de la pression oculaire ? Peut-on donc se passer du champ visuel, examen contraignant et mal accepté par de nombreux patients ? Que faire si l'OCT se dégrade fortement sans modification du champ visuel ? Que penser au contraire d'un champ visuel se dégradant sans confirmation de changement par l'OCT ?

A l'heure actuelle, il est raisonnable d'une part de considérer que l'OCT est devenu un examen clé du glaucome et d'autre part qu'il ne peut pas remplacer le champ visuel.

Des questions du même ordre se posent dans les autres neuropathies optiques. L'OCT doit-il remplacer à terme le champ visuel ? Que penser d'une atteinte OCT sans aucune atteinte clinique du nerf optique ?

L'OCT progresse encore en termes de précision et de qualité des images. De nouvelles structures sont étudiées et mesurées comme la lame criblée. D'autres progrès sont possibles, en particulier la capacité d'analyser non seulement l'épaisseur des couches mais aussi leur contenu. Ceci serait très utile pour comptabiliser par exemple le nombre de cellules ganglionnaires résiduelles dans les affections du nerf optique, sans y intégrer les cellules de soutien responsables de la persistance de cette couche, même après destruction totale des fibres visuelles.

L'utilisation de lasers à plus grande longueur d'onde (1000 nm et plus, comme celle du SWEPT-OCT) permet aussi d'étudier les structures au-delà de l'épithélium pigmentaire de la rétine, mais au prix d'une moindre qualité d'image. La choroïde et la région au-delà de la lame criblée de la papille deviennent ainsi visibles. Ces technologies permettront de comprendre dans l'avenir certaines pathologies complexes associant modifications des structures des gaines optiques péri-papillaires et atteinte de la lame criblée.

L'OCT est ainsi devenu un examen capital dans l'évaluation des neuropathies optiques, sans pour autant remplacer totalement l'analyse de la fonction visuelle, et en particulier la périmétrie automatique.

- 1 Kara N, Altinkaynak H, Yuksel K, Kurt T, Demirok A. Effects of posterior capsular opacification on the evaluation of retinal nerve fiber layer as measured by stratus optical coherence tomography. *Can J Ophthalmol*, 47, 176-180, 2012.
- 2 Madrid-Costa D, Isla Paradelo., Ruiz J. Effect of multizone refractive multifocal contact lenses on the Cirrus HD OCT retinal measurements. *Clin Exp Optom*, 54, 212-216, 2012.
- 3 Kim NR, Lim H, Kim JH, Rho SS, Seong GJ, Kim CY. Factors associated with false positives in retinal nerve fiber layer color codes from spectral-domain optical coherence tomography. *Ophthalmology*, 118, 1774-1778, 2011.
- 4 Huang D, Chopra V, Lu AT, Tan O, Francis B, Varma R. Advanced Imaging for Glaucoma Study-AIGS Group. Does optic nerve head size variation affect circumpapillary retinal nerve fiber layer thickness measurement by optical coherence tomography? *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 53, 4990-4997, 2012.
- 5 Shoji T, Nagaoka Y, Sato H, Chihara E. Impact of high myopia on the performance of SD-OCT parameters to detect glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 136, 1843-1849, 2012.
- 6 Klamann MK, Grünert A, Maier AK, Gonnermann J, Joussem AM, Huber KK. Comparison of functional and morphological diagnostics in glaucoma patients and healthy subjects. *Ophthalmic Res*, 49, 192-198, 2013.
- 7 Mwanza JC, Oakley JD, Budenz DL, Anderson DR. Ability of Cirrus HD-OCT Optic nerve head parameters to discriminate normal from glaucomatous eyes. *Ophthalmology*, 118, 241-248, 2011.
- 8 Lisboa R, Leite MT, Zangwill LM, Tafreshi A, Weinreb RN, Medeiros FA. Diagnosing preperimetric glaucoma with Spectral Domain OCT. *Ophthalmology*, 119, 2161-2269, 2012.
- 9 Mwanza JC, Sayyad FR, Budenz DL. Choroidal Thickness in Unilateral Advanced Glaucoma. *Ophthalmol Vis Sci*, 53, 5880-5892, 2012.
- 10 Chang RT, Knight OJ, Budenz D. Sensitivity and specificity of time domain versus Spectral Domain OCT in diagnosing early to moderate glaucoma. *Ophthalmology*, 116, 2294-2299, 2009.
- 11 Kim CY, Jung JW, Lee SY, Kim NR. Agreement of retinal nerve fiber layer color codes between Stratus and Cirrus OCT according to glaucoma severity. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 53, 3193-3200, 2012.
- 12 Firat PG, Doganay S, Demirel EE, Colak C. Comparison of ganglion cell and retinal nerve fiber layer thickness in primary open angle glaucoma and normal tension glaucoma with Spectral Domain OCT. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 8, 225-228, 2012.
- 13 Lee JW, Lai JS, Yick DW, Yuen CY. Prospective study on retinal nerve fibre layer changes after acute episode of phacomorphic angle closure. *Int. Ophthalmol*, 32, 577-582, 2012.
- 14 Chen YC, Huang G, Kasuga T, Porco T, Hung PT, Lee R, Lin SC. Comparison of optic nerve head topography and retinal nerve fiber layer in eyes with narrow angles versus eyes from a normal open angle cohort - a pilot study. *Curr Eye Res*, 37, 592-598, 2012.
- 15 Leung CLS, Yu M, Weinreb R, Lai G. *et al*, Retinal nerve fiber layer imaging with Spectral Domain OCT. *Ophthalmology*, 119, 1858-1866, 2012.
- 16 Leung CK, Cheung CY, Weinreb RN, Qiu K, Liu S, Li H, Xu G, Fan N, Pang CP, Tse KK, Lam DS. Evaluation of retinal nerve fiber layer progression in glaucoma: a study on optical coherence tomography guided progression analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 51:217-222, 2010.
- 17 Leung CLS, Yu M, Weinreb R, Lai G. *et al*, Retinal Nerve fiber layer imaging with Spectral Domain OCT. *Ophthalmology*, 119, 1858-1866, 2012.
- 18 Meideros FA, Zangwill L, Alencar LM, Bowd, C, Sample P, Suzanna R, Weinreb R. Detection of glaucoma progression with Stratus OCT retinal nerve fiber layer, optic nerve head and macular thickness measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 50, 5741-5748, 2009.
- 19 Raghu N, Pandav SS, Kaushik S, Ichhpujani P, Gupta A. Effect of trabeculectomy on RNFL thickness and optic disc parameters using optical coherence tomography. *Eye (Lond)*, 26, 1131-1137, 2012.
- 20 Kanamori A, Nakamura M, Tomioka M, *et al*. Agreement among three types of Spectral Domain OCT instruments in measuring parapapillary retinal nerve fiber layer thickness. *Br J Ophthalmol*, 96, 832-837, 2012.
- 21 Park SC, Kiumer S, Teng CC, Tello C, Liebmann JM, Ritch R. Horizontal central ridge of the lamina cribrosa and regional differences in laminar insertion in healthy subjects. *Invest Ophthalmol Visc Sic*, 53, 1610-1616, 2012.
- 22 Reiss AS, O'Leary N, Stanfield MJ, Shuba LM, Nicoleta MT, Chauhan BC. Laminar displacement and prelaminar tissue thickness change after glaucoma surgery imaged with optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 53, 5819-5826, 2012.
- 23 Park SC, de Moraes CG, Teng CC, Tello C, Liebmann JM, Ritch R. EDI-OCT of deep optic nerve complex structures in glaucoma. *Ophthalmology* 119, 3-9, 2012.
- 24 Mwanza JC, Sayyad FR, Budenz DL. Choroidal Thickness in Unilateral Advanced Glaucoma. *Ophthalmol Vis Sci*, 53, 5880-5892, 2012.
- 25 Fénolland JR, Giraud JM, May F, Mouinga A, Seck S, Renard JP. EDI-OCT et glaucome à angle ouvert : une étude préliminaire. *J Fr Ophtalmol*, 34, 313-317, 2011.
- 26 Garcia T, Tourbah A, Setrouk E, Ducasse A, Arndt C. OCT en neuro-ophtalmologie. *J. Fr Ophtalmol* 35, 454-466, 2012.

- 27 Galetta KM, Calabresi PA, Frohman E, Balcer LJ. Optical Coherence Tomography (OCT): Imaging the visual pathway as a model for neurodegeneration. *Neurotherapeutics*, 8, 117-132, 2011.
- 28 Trip SA, Schlottmann PG, Jones SJ *et al.* Retinal nerve fiber layer axonal loss and visual dysfunction in optic neuritis. *Ann Neurol* 58, 383-391, 2005.
- 29 Lamirel C, Newman NJ, Biousse V. OCT in optic neuritis and multiple sclerosis. *Rev Neurol (Paris)*, 166, 978-986, 2010.
- 30 Burkholder BM, Osborne B, Loguidice MJ *et al.* Macular volume determined by OCT as a measure of neuronal loss in multiple sclerosis. *Arch Neurol*, 66, 1366-1372, 2009.
- 31 Oberwahrenbrock T, Schippling S, Ringelstein M. *et al.* Retinal damage in multiple sclerosis disease subtypes measured by high resolution OCT. *Mult Scler Int*, 5305, 2012.
- 32 Pineles SL, Wilson CA, Balcer LJ *et al.* Combined optic neuropathy and myelopathy secondary to copper deficiency. *Surv Ophthalmol* 55, 386-392, 2010.
- 33 Pasol J. Neuro-ophthalmic disease and optical coherence tomography: glaucoma look-alikes. *Curr Opin Ophthalmol* 22:124-32, 2011.
- 34 Aggarwal D, Tan O, Huang D, Sadun AA. Patterns of ganglion cell complex and nerve fiber layer loss in nonarteritic ischemic optic neuropathy by Fourier-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 53, 4539-4545, 2012.
- 35 Suh MH, Kim SH, Park KH, Kim SJ, Kim TW, Hwang SS, Kim DM. Comparison of the correlations between optic disc rim area and retinal nerve fiber layer thickness in glaucoma and nonarteritic anterior ischemic optic neuropathy. *Am J Ophthalmol*, 151, 277-286, 2011.
- 36 Contreras I, Noval S, Rebolledo G. *et al.* Follow-up of non arteritic anterior ischemic optic neuropathy with OCT. *Ophthalmology*, 114, 2338-2344, 2007.
- 37 Moura FC, Costa-Cunha LV, Malta RF, Monteiro ML. Relationship between field sensitivity loss and quadrant macular thickness measured with Stratus OCT in patients with chiasmal syndrome. *Arf Bras Oftalmol*, 73, 409-413, 2010.
- 38 Jindahra P, Petrie A, Plant GT. The time course of retrograde tans-synaptic degeneration following occipital lobe damage in humans. *Brain*, 135, 534-541, 2012.
- 39 Iseri PK, Atlina O, Tokay T, Yüsel N. Relationship between cognitive impairment and retinal morphological and visual function abnormalities in Alzheimer disease. *J Neuro-Ophthalmol*, 26, 18-24, 2006.



Edition

Edité par :
Laboratoire Théa
12 Rue Louis Blériot
63000 Clermont-Ferrand
Tél : 04 73 98 14 36

Carl Zeiss Meditec France SAS
100 Route de Versailles
78160 Marly-le-Roi
Tél : 01 34 80 21 00



Laboratoire Théa
12 Rue Louis Blériot - ZI du Brézet
63017 Clermont-Ferrand cedex 2 - France
Tél. 04 73 98 14 36 - Fax 04 73 98 14 38
www.laboratoires-thea.com



Carl Zeiss Meditec France SAS
100 Route de Versailles
78160 Marly-le-Roi - France
Tél : 01 34 80 21 00 - Fax 01 34 80 20 35

Collection Librairie Médicale Théa