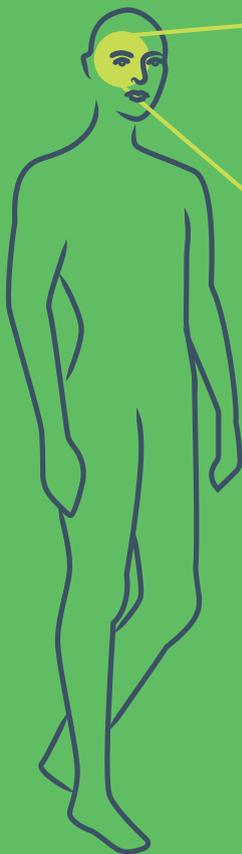
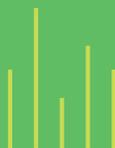
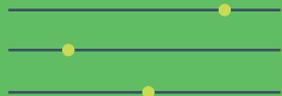


Progrès
& dispositifs
médicaux
NOUVELLE ÉDITION

INNOVATION EN OPHTALMOLOGIE



LE DISPOSITIF MÉDICAL
snitem
Pour faire avancer la santé



SOMMAIRE

LE DISPOSITIF MÉDICAL
snitem
Pour faire avancer la santé

Maison de la Mécanique
39, rue Louis Blanc
CS 30080
92038 La Défense Cedex

Directeur de la publication: Éric Le Roy
Responsable d'édition: Natalie Allard
Rédactrice: Géraldine Bouton
Édition déléguée: Presse Infos Plus
(www.presse-infosplus.fr)
Édition et SR: Studio Hartpon – Création graphique:
ArtFeelsGood – Maquette: Didier Michon
Crédits photos, tous droits réservés: Amo France SAS,
Carl Zeiss Meditec SAS, Cristalens, Cutting Edge, Eye
Tech Care, France Chirurgie Instrumentation (FCI SAS),
Glaukos France, Moria SA, Pixium Vision, Santen SAS,
Topcon France Medical, Adobe, Pixabay, page 5:
CC BY 4.0 (Chabe01).
Impression: Imprimerie de l'Étoile 61190 Tourouvre
Nouvelle édition – avril 2022
ISBN: 979-10-93681-32-0

Les mots techniques ou scientifiques expliqués
en fin de livret dans la partie glossaire sont signalés
dans le texte par le symbole **G**

- | | | | |
|----|--|----|---|
| 1 | PRÉFACE | 43 | GREFFE DE CORNÉE
Explorer l'œil pour mieux
le soigner |
| 2 | INFOGRAPHIE | 48 | ANNEAUX INTRA-CORNÉENS
Au service de la cornée |
| 4 | INTRODUCTION | 50 | CROSS-LINKING
Une révolution pour une
pathologie rare |
| 8 | RÉFRACTION
Mesurer les troubles
de la vision | 53 | DISPOSITIFS DE DRAINAGE
Des dispositifs pour évacuer
l'humeur aqueuse |
| 12 | IMAGERIE
L'œil sous tous les angles | 56 | ULTRASONS
Traitement du glaucome par
ultrasons: garder l'œil intact |
| 18 | CHAMP VISUEL
Une exploration de la rétine
au cortex | 59 | OCULOPLASTIE
Redonner à l'œil son vrai
visage |
| 20 | MICROSCOPE
Voir mieux pour rendre
la vue | 62 | SÉCHERESSE OCULAIRE
Préserver l'interface entre
l'œil et l'air |
| 24 | LASER
Toujours plus rapide,
toujours plus précis | 67 | LE REGARD DU PATIENT |
| 29 | RÉTINE ARTIFICIELLE
Rendre la vue à qui l'a perdue | 69 | GLOSSAIRE |
| 32 | VITRECTOMIE
Une innovation fulgurante et
audacieuse pour la rétine | 71 | SOURCES &
REMERCIEMENTS |
| 35 | PHACOÉMULSIFICATION
Une révolution pour le
traitement de la cataracte | | |
| 39 | IMPLANTS
L'alternative au cristallin dans
la chirurgie de la cataracte | | |

L'ophtalmologie, un modèle de spécialité connectée et de travail aidé

PRÉFACE



Pr Béatrice Cochener-Lamard
Présidente du CNP d'ophtalmologie

« Juste incroyables, les progrès accomplis grâce aux technologies et dispositifs médicaux en ophtalmologie au cours de ces vingt dernières années » : c'est bien le message que portent les ophtalmologistes, passionnés par leur discipline, et la population générale, témoin des innovations diagnostiques et thérapeutiques en la matière. Il est indiscutable que, connectée à l'image et œuvrant à l'échelle microscopique, l'ophtalmologie est une spécialité qui illustre magnifiquement les avancées de la médecine en matière d'outils diagnostiques, de chirurgie

miniaturisée, de traitements ciblés et de parcours de prise en charge allégés.

Difficile d'imaginer que, sur le petit organe que représente notre œil, soient organisés autant de domaines d'hyperspécialités, exprimant toute la complexité de la fonction visuelle qui combine propriétés optiques et neurosensorielles, conduisant à une compartimentation en deux grands domaines communément assimilés à la structuration d'un appareil photographique.

Ainsi, le segment antérieur avec ses deux lentilles (cornée et cristallin), associé au diaphragme de l'iris variant selon la lumière et l'accommodation, représenterait la chambre de capture de l'image et le pouvoir optique de l'œil. C'est en remodelant la cornée, notamment par un traitement laser, en additionnant une lentille en arrière de l'iris ou en remplaçant le cristallin par un implant à optique avancée que l'on pourra corriger les défauts de la vision (myopie, hypermétropie, astigmatisme, presbytie); vaste catalogue des chirurgies réfractives visant à l'indépendance des lunettes. Pour œuvrer à une sélection et un suivi optimisés des patients ont été affinées les plateformes de topographie et

d'aberrométrie et a été déployée l'interférométrie pour la biométrie ou pour l'évaluation de la surface oculaire par OCT et meibographie.

Le second espace est dit segment postérieur de l'œil, qui comprend le vitré et la rétine, et pourrait être assimilé à la pellicule photo, imprimant l'image. Le carrefour privilégié que représentent le nerf optique et la macula est le lit des principales pathologies dégénératives telles que le glaucome, les maculopathies liées à l'âge ou à la myopie forte, ou encore les rétinopathies induites par les maladies générales comme le diabète. C'est pour l'explorer dans son ultrastructure que l'OCT peut désormais être combinée à l'angiographie et pour évaluer la rétine toute entière que la rétinographie grand champ a vu le jour.

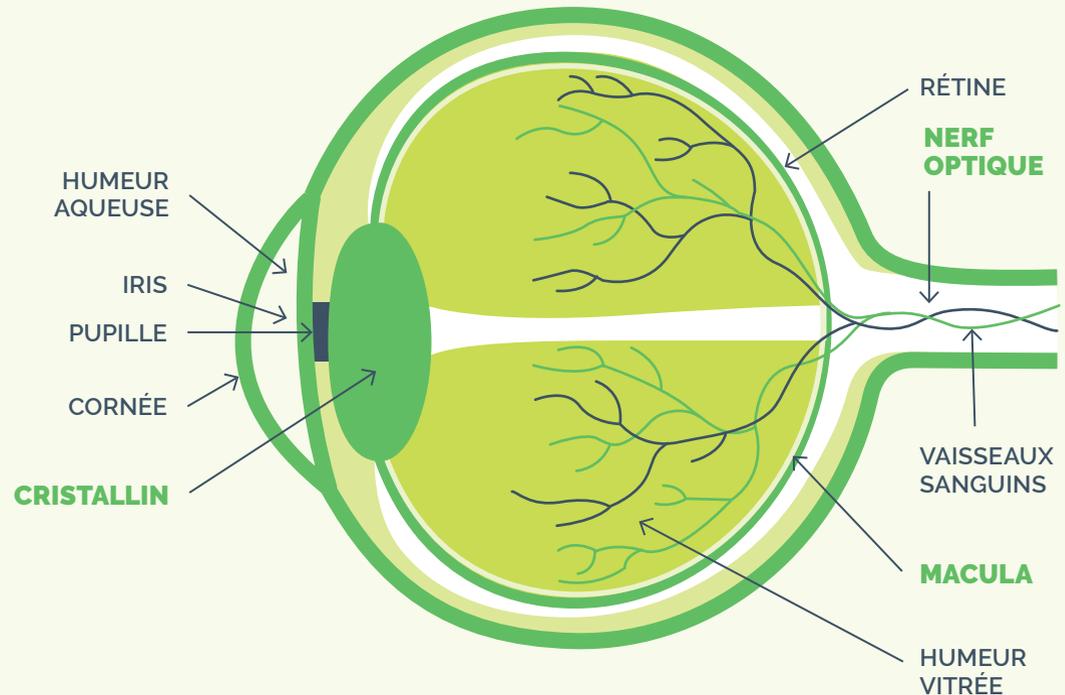
Modèle de spécialité connectée et de travail aidé, l'ophtalmologie est toute disposée à accueillir l'intelligence artificielle (IA) pour l'aide à l'analyse automatisée des images en mono ou multimodal ou pour la gestion des données de santé, à des fins d'optimisation de l'efficacité médicale et de porte ouverte vers la télémédecine.

LES PATHOLOGIES OCULAIRES LIÉES À L'ÂGE

Une hygiène de vie saine ainsi qu'un suivi ophtalmologique régulier permettent de préserver la santé de ses yeux. Malgré cela, l'avancée en âge augmente le risque de développer certaines pathologies oculaires. Parmi les plus répandues figurent la cataracte, le glaucome et la dégénérescence maculaire.

CATARACTE

- **C'est quoi?** Opacification du cristallin empêchant la lumière d'atteindre la rétine.
- **Ça touche qui?** 1 personne sur 5 après 65 ans, 2 sur 3 après 85 ans.
- **Quels symptômes?** Baisse de la vision de loin; diminution des contrastes ; impression de voile devant les yeux ; altération des couleurs; sensibilité à la lumière (pas de douleurs dans 95% des cas).
- **Quel diagnostic / dépistage?** Consultation ophtalmologique en cas de l'un de ces symptômes pour un examen complet des yeux (mesure de l'acuité visuelle et de la tension oculaire, examen du cristallin, du segment antérieur et du fond de l'œil).
- **Quels traitements?** Sous anesthésie locale, phacoémulsification (ablation du cristallin par ultrasons) et pose d'un implant.



GLAUCOME

- **C'est quoi?** Augmentation de la pression oculaire entraînant une atteinte du nerf optique et du champ visuel.
- **Ça touche qui?** 2% de la population après 45 ans, 10% après 70 ans.
- **Quels symptômes?** Le glaucome chronique (80% des cas) est indolore. Au fil du temps, des halos peuvent survenir autour des sources de lumière vive. Le glaucome aigu se manifeste par une douleur intense et brutale, une rougeur et une diminution de la vision.
- **Quel diagnostic / dépistage?** Visite ophtalmologique tous les 2 ans après 45 ans pour le dépistage (mesure de la pression intraoculaire, examen du fond de l'œil voire OCT pour un dépistage précoce). Si besoin, examen complémentaire pour déterminer le type de glaucome, la perte de vision, le niveau d'atteinte, la progression et le traitement.
- **Quels traitements?** Collyres ; laser ; chirurgie (en dernière intention).

DÉGÉNÉRESCENCE MACULAIRE LIÉE À L'ÂGE (DMLA)

- **C'est quoi?** Vieillesse prématurée de la macula, qui assure la vision de précision. La forme chronique évolue sur plusieurs années ; la forme exsudative évolue rapidement, parfois sur quelques jours.
- **Ça touche qui?** 1 personne sur 10 entre 65 et 75 ans, 1 personne sur 4 après 75 ans.
- **Quels symptômes?** Tâche noire ou grise devant l'œil ; déformation de la perception des couleurs, contrastes et lignes ; perte de la vision centrale (manque de lumière, baisse rapide de la vue).
- **Quel diagnostic / dépistage?** À partir de 55 ans, consultation ophtalmologique annuelle (mesure de l'acuité visuelle, fond de l'œil ; OCT ; angiographie).
- **Quels traitements?** Pour une DMLA sèche : règles hygiéno-diététiques (tabac, alimentation...), aides visuelles. Pour une DMLA exsudative : laser, thérapie photodynamique, médicaments anti-angiogéniques, rééducation.

PROFESSIONNELS DE L'ŒIL : QUI FAIT QUOI ?

Ophtalmologiste (ou ophtalmologue)

Médecin spécialiste de l'œil, de ses maladies, des défauts et des affections de la vue et de la vision. Il peut prescrire des aides visuelles (lunettes, lentilles, séances de rééducation) et procède aux interventions chirurgicales.

Opticien-lunetier

Spécialiste de la vision, l'opticien-lunetier réalise, répare et vend les aides visuelles (lunettes, lentilles) d'après une prescription médicale. Il peut également réaliser des examens optométriques.

Orthoptiste

L'orthoptiste intervient à la demande d'un ophtalmologiste pour dépister, analyser et traiter les troubles visuels, qu'ils soient d'origine moteurs, sensoriels ou fonctionnels. Il évalue les capacités visuelles, effectue des examens d'exploration (photos du fond d'œil, mesure de la tension oculaire, évaluation du champ visuel...) et s'occupe, le cas échéant, de la rééducation nécessaire.

INTRODUCTION

L'OPHTALMOLOGIE, UNE PLONGÉE AU CŒUR DE L'ŒIL

À l'instar du cœur, l'œil a toujours fasciné les hommes. Il a fallu des millénaires à l'ophtalmologie pour gagner ses lettres de noblesse et être la discipline d'excellence qu'elle est devenue aujourd'hui. N'est-ce pas, en effet, un défi fou que de rendre la vue à ceux qui l'ont perdue ? C'est pourtant bien celui que cherchent à relever les professionnels de l'ophtalmologie, médecins comme industriels.



« Œil pour œil, dent pour dent », « une bonne conscience est l'œil de Dieu », « un bon avis vaut un œil dans la main », « l'honneur est comme l'œil : on ne joue pas avec lui »... Dresser la liste des adages faisant référence à l'œil et, par extension, à la vue et la vision, serait peine perdue tant ils sont nombreux, quelles que soient les époques et cultures. C'est que l'ophtalmologie se concentre sur l'un des organes les plus délicats du corps humain. Dans les plus anciennes civilisations déjà, si l'œil revêt un caractère particulièrement sacré voire

religieux (puisqu'il est souvent considéré comme le miroir de l'âme), il n'en concentre pas moins l'attention des plus éminents scientifiques (en Inde, Égypte, Grèce, Empire romain, etc.). Au-delà du seul aspect esthétique, c'est la question de la vision que se posent déjà les chirurgiens de l'époque ou, plus exactement, de son altération. Ainsi, la chirurgie de la cataracte est considérée comme l'une des plus anciennes, le papyrus Carlsberg, qui daterait du deuxième millénaire avant notre ère, en faisant déjà mention.

Dans l'Antiquité, plusieurs médecins – dont Galien, qui reste l'un des plus illustres – se penchent sur la question de l'œil, son anatomie et certaines de ses pathologies. C'est également à cette époque que sont menées les premières études sur la réfraction  de la lumière, un élément essentiel à la définition de l'ophtalmologie.

Vers une reconnaissance de la discipline

Au Moyen Âge, l'œil continue de fasciner. La plupart des opérations, réalisées sans anesthésie ni asepsie, sont déléguées aux barbiers. Pour l'anecdote, cette époque voit également l'élection du pape Jean XXI, médecin de son état, qui publie le *Thesaurus pauperum*. Le huitième chapitre, sorte

de traité thérapeutique oculaire, est consacré aux connaissances ophtalmologiques de l'époque. La fin du Moyen Âge puis la Renaissance apportent leur lot d'innovations avec l'invention du microscope (XVI^e siècle), le perfectionnement des techniques de dissection, l'émergence des lunettes et, bien entendu, les colossales contributions anatomiques et scientifiques de génies tels que Léonard de Vinci et Copernic, pour ne citer qu'eux. En ophtalmologie, on retient de cette époque les noms de Pierre Franco, dont l'apport sera essentiel pour appréhender la vitrectomie, de Félix Platter ou encore de Jacques Guillemeau.

En France, il faut en revanche attendre le XIX^e siècle pour que l'ophtalmologie s'émancipe de la chirurgie générale et devienne une discipline à part entière. C'est d'ailleurs à cette époque (en 1880) qu'est créé, sous l'impulsion du D^r Fieuzal et de Léon Gambetta, l'hospice des Quinze-Vingts, situé dans le 12^e arrondissement de Paris, qui devient très vite « *le centre français de soins oculaires le plus important* » (voir sur le sujet « *Les Débuts de la Clinique ophtalmologique des Quinze-Vingts* », par le D^r Jean-Pierre Bailliant).

Les progrès simultanés réalisés alors en matière d'anesthésie et de microscope favorisent l'essor de la chirurgie ophtalmologique. Pour autant, les efforts se concentrent surtout sur les pathologies les plus visibles, à l'instar de la cataracte. À cette époque, les techniques d'extraction du cristallin prennent en effet un nouveau tournant en s'appuyant sur les travaux effectués notamment par Jacques Daviel au siècle précédent.

Le saviez-vous?

Le centre hospitalier des Quinze-Vingts, à Paris, doit son nom... à sa capacité d'accueil! En effet, créé par le roi Louis IX, dit Saint Louis, l'établissement hébergeait alors 15×20 personnes (soit 300) au sein d'une congrégation nommée « La Maison des pauvres aveugles de Paris ». Le système numérique de l'époque voulait en effet que l'on compte par vingtaine.



À la pointe de la technologie

La deuxième moitié du XX^e siècle et la première décennie du XXI^e marquent l'avènement de l'ophtalmologie moderne. Grâce aux progrès réalisés en matière de dispositifs et de techniques, on soigne désormais de manière mini-invasive et même sans ouvrir l'œil (grâce aux lasers et ultrasons), là où il fallait autrefois l'inciser sur toute sa largeur voire l'extraire. Plus encore, les interventions ne nécessitent plus l'immobilisation du patient durant plusieurs jours. >>>

XVI^e
siècle

Invention du microscope

XIX^e
siècle

Invention de l'ophtalmo-
scope; mise
au point de la périmétrie

Années
1940

Développement des
substituts lacrymaux

Années
1950

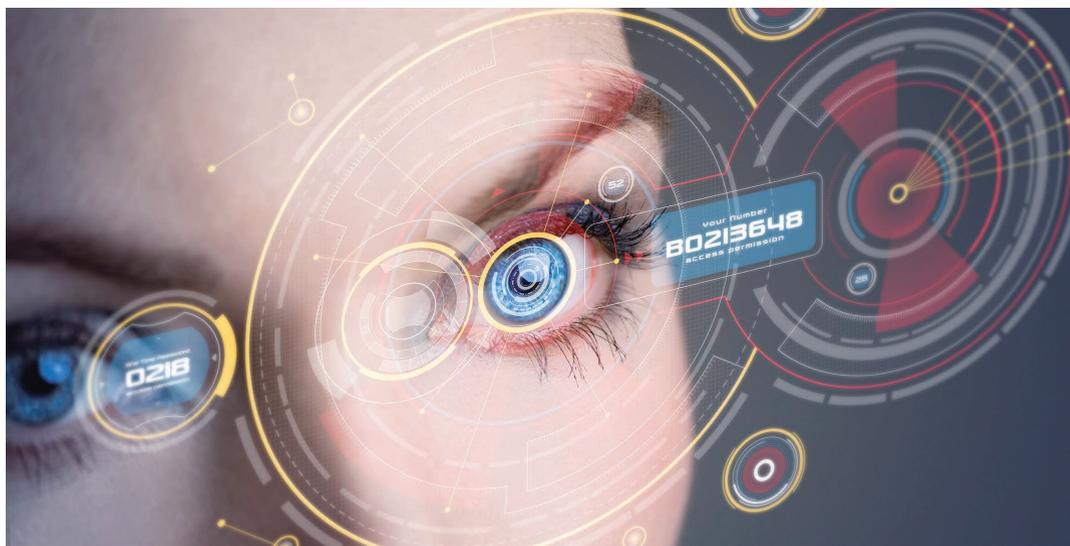
Premières chirurgies
de la cataracte avec pose
d'implant

1961

Première utilisation
du laser en ophtalmologie

L'œil : composition et fonctionnement

L'Académie nationale de médecine définit l'œil comme « l'organe de la vision constitué par le bulbe de l'œil et les divers milieux qu'il renferme ». Le bulbe de l'œil est « la partie fondamentale de l'appareil de la vision, chargée de la réception et de la transmission des impressions lumineuses ». Schématiquement, l'œil est composé d'une partie antérieure qui comprend la cornée, l'humeur aqueuse et le cristallin. Elle permet de focaliser les images sur la rétine. La partie postérieure traite l'information liée aux images qu'elle reçoit et la transmet au cerveau. Elle est composée de la rétine et du nerf optique.



»»» « L'ophtalmologie est l'une des plus belles illustrations du progrès médical de ces dernières années. Ses innovations sont liées à celles réalisées en matière d'imagerie et de microchirurgie », souligne le Pr Béatrice Cochener, chef du service d'ophtalmologie du CHU de Brest, avant d'énumérer les

innovations ayant été particulièrement décisives : « Laser, dont les indications (cataracte, réfraction, cornée) et les fonctionnalités (imagerie, topographie, aberromètre) sont toujours plus vastes; implants, multifocaux aujourd'hui; phacoémulsification; ultrasons; imagerie intraoculaire avec l'OCT, etc. »

Années
1980

Première expérimentation d'anneaux intra-cornéens; introduction de la phacoémulsification en France

Années
1980-1990

Développement des premiers dispositifs à ultrasons

Années
1990

Invention de la tomographie en cohérence optique

Années
2000

Développement de la chirurgie mini-invasive; miniaturisation des dispositifs

Années
2015-2020

Miniaturisation des outils de diagnostic; avènement de l'intelligence artificielle en ophtalmologie

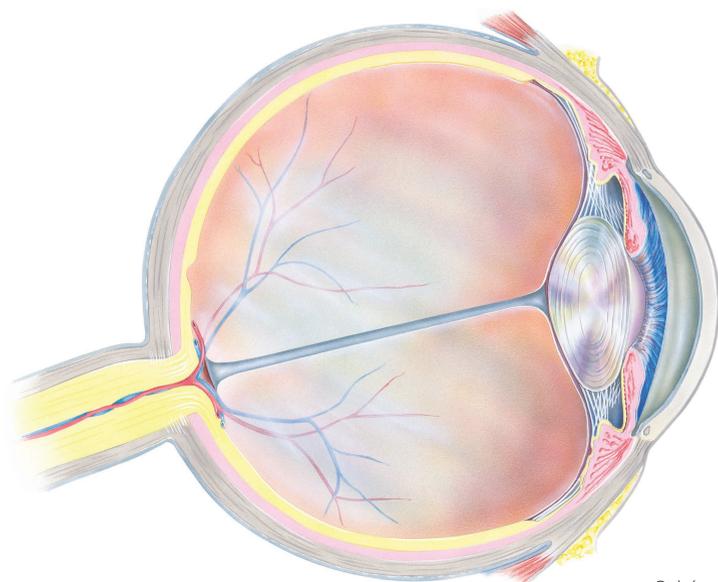


Schéma de l'œil en coupe

Vers une transformation des soins

Au cours des dernières années, les technologies ont évolué de telle manière que les dispositifs d'imagerie fournissent toujours plus de données aux professionnels de santé. Des données précieuses à l'heure où l'intelligence artificielle (IA) entre progressivement dans le champ de l'ophtalmologie et dessine les contours d'une approche plus prédictive.

L'IA pourrait s'avérer une véritable alliée dans l'aide au diagnostic et au dépistage précoce des pathologies de l'œil, comme le glaucome ou la rétinopathie diabétique. La miniaturisation des machines et le développement des algorithmes ouvrent eux aussi de nouvelles perspectives dans la prise en charge des patients, notamment à travers la télé-expertise. Enfin, le vieillissement de la population et la problématique de l'autonomie font plus que jamais de la vue un enjeu de santé publique.

90%

Chiffre clé

C'est le volume de l'œil occupé par le corps vitré, un gel visqueux, transparent et incolore.

Source: Institut Laser Vision Noémie de Rothschild.

RÉFRACTION

MESURER LES TROUBLES DE LA VISION

L'examen de la réfraction permet de détecter, de caractériser et de mesurer un défaut oculaire optique. L'automatisation et la performance des dispositifs d'examen sont telles qu'elles invitent à repenser aujourd'hui les parcours de soins.



DE LA THÉORIE...

La réfraction de l'œil intervient lorsque la cornée et le cristallin dévient les rayons lumineux pour les focaliser sur la rétine. En effet, lorsque la lumière, qui se propage en ligne droite dans l'espace, rencontre une surface séparant deux milieux transparents d'indice différent, sa direction se modifie.

Lorsque les images d'objets situés à plus de cinq mètres viennent se former juste sur la rétine sans intervention de l'accommodation^②, et que l'image obtenue est nette, on parle de vision normale (emmétropie). En vision rapprochée, le pouvoir de convergence du cristallin permet, grâce à l'accommodation, la mise au point des images sur la rétine.

En revanche, en cas de troubles de la réfraction (amétropie), cornée et cristallin ne jouent plus leur rôle de « déviation » et les rayons lumineux convergent devant ou derrière la rétine. La mesure du trouble réfractif permet de quantifier la compensation nécessaire au patient pour qu'il retrouve la meilleure acuité visuelle possible, sans qu'il ait à fournir un effort accommodatif.

À LA PRATIQUE

Les anomalies de la réfraction peuvent se mesurer de différentes façons. L'examen dit « objectif » mesure la réfraction en projetant un faisceau lumineux sur la pupille du patient (skiascopie). Il peut

également se faire de manière automatisée à l'aide d'un réfractomètre qui utilise le principe de la skiascopie et celui de la rétinoscopie.

Grâce à un faisceau infrarouge qui vient se réfléchir sur la rétine, le dispositif mesure la réfraction sphérique, modifiée en cas de myopie, d'hypermétropie, d'astigmatisme ou de réfraction cylindrique. Les données collectées permettent de mesurer les rayons de la courbure de la cornée et d'estimer la puissance du défaut à corriger. En effet, «*dans l'œil normal ou emmétrope, les rayons parallèles se concentrent sur la rétine, donnant spontanément une image nette*, détaille la Société française d'ophtalmologie (SFO). *Dans l'œil myope, les rayons se concentrent en avant de la rétine. Dans l'œil hypermétrope, les rayons se concentrent en arrière de la rétine. Dans l'œil astigmaté, la cornée présente*

des méridiens de puissance dioptrique  *différente. À noter que ces différentes anomalies de la réfraction peuvent se combiner*».

Le recours à la seule étude objective ne suffit pas. En règle générale, elle est suivie d'un examen d'acuité visuelle (étude subjective). Le patient lit du texte ou des signes présentés sur une échelle d'acuité visuelle placée à environ six mètres de ses yeux, tandis que le praticien interpose des verres de puissance variable en avant de l'œil pour déterminer le degré de correction optique.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Pendant longtemps, savants et chercheurs ont cru que c'était l'œil qui projetait l'image et non pas l'image qui pénétrait dans l'œil. Il fallut attendre

le XVII^e siècle pour que le mécanisme de la vision soit totalement compris, époque à laquelle l'astronome Johannes Kepler affirma le premier, dès le début du siècle, que la vision était le fait de la rétine et non du cristallin. En 1611, il publia un ouvrage dans lequel il expliquait notamment la marche des rayons lumineux au sein des matériaux, la réfraction et la réflexion de la lumière. Il évoquait un déplacement du cristallin pour expliquer la mise au point de près, affirmant pour la première fois le rôle du cristallin.

En 1637, René Descartes pointa quant à lui une modification de forme du cristallin dans le phénomène de l'accommodation. Il fut, dès cette époque, le fondateur de l'optique moderne dans la mesure où il conçut un support physique à la lumière et expliqua ainsi son mode de propagation dans >>>

Myopie, astigmatisme, presbytie, hypermétropie, anisométrie : quelles différences ?

- **L'astigmatisme** est une anomalie de la vision due à une irrégularité de la courbure de l'œil donnant une vision déformée des images.
- **L'hypermétropie** est une anomalie de la vision entraînant la formation de l'image en arrière de la rétine, et non sur elle. Le sujet hypermétrope voit en général aussi bien de loin que de près tant qu'il a la capacité d'accommoder, c'est-à-dire de «forcer sur ses yeux» pour focaliser l'image sur la rétine. Dès qu'apparaît la presbytie,

le patient commence par avoir une baisse de vue de près, puis une baisse de vue à toutes les distances.

- **La myopie** est le contraire de l'hypermétropie. Le globe oculaire est trop allongé. C'est une anomalie de la vision qui génère la formation de l'image en avant de la rétine. Le sujet myope voit en général bien de près et mal de loin.
- **La presbytie** est un mécanisme physiologique lié au vieillissement correspondant à la perte

du pouvoir accommodatif du cristallin. Le patient voit de moins en moins bien de près.

- **L'anisométrie** correspond à une différence importante de réfraction entre les deux yeux. En règle générale, cette différence est supérieure à trois dioptries. Une forte anisométrie peut entraîner une anisocornie, soit une différence de dimensions entre les images perçues par chacun des deux yeux.

Diagnostic : une multitude d'outils

Les instruments permettant de procéder au diagnostic ophtalmologique sont très variés :

- **Le tonomètre** mesure la pression intraoculaire; **le pachymètre**, l'épaisseur de la cornée.
- **Le biomètre** est une «prise d'identité» de l'œil, indispensable dans la chirurgie de la cataracte puisqu'elle détermine la taille de l'implant.
- **L'aberromètre**, né de l'optique adaptative à laquelle la NASA a recours pour l'évaluation de la surface des planètes, autorise la mesure des aberrations optiques de la cornée ou de l'œil entier. Cet outil de quantification de la qualité de vision est devenu indispensable à la pratique clinique.
- **La topographie d'élévation** est un outil de diagnostic qui permet de vérifier l'intégrité de la cornée ou de mesurer un astigmatisme.
- **Le frontofocomètre** permet de mesurer la puissance des verres d'optique (en dioptrie). Il donne les valeurs de la puissance frontale sphérique, de la puissance cylindrique, de la position du centre optique et la puissance prismatique, soit la valeur et la position du prisme.
- **Le kératomètre** permet la mesure des rayons de courbure de la cornée.

»» les milieux transparents, en particulier dans l'œil. Après cette période d'intense émulation, il n'y eut plus d'avancée majeure jusqu'au milieu du XIX^e siècle.

Identification du trouble de la vue

En 1858, le Néerlandais Franciscus Cornelius Donders fut le premier médecin à publier sur l'optique de l'œil et à identifier clairement la myopie, l'hypermétropie et la presbytie. Dans le même temps, les travaux du scientifique Hermann von Helmholtz permirent la mise au point de l'ophtalmomètre ou kératomètre, un appareil qui mesure l'axe et la puissance de l'astigmatisme par réflexion de mires colorées sur la face antérieure de la cornée. Une invention qui fut simplifiée en 1880 par Louis Émile Javal, un ophtalmologue considéré comme le père de l'orthoptie.

Peu de temps avant, en 1873, la technique de la skiascopie avait été découverte par l'ophtalmologue français Ferdinand-Louis-Joseph Caignet, puis perfectionnée par Henri François Joseph Parent. Elle se répandit par la suite dans les pays anglo-saxons grâce à l'invention du skiascope en fente par Jack Copeland en 1926. « *Le principe de la skiascopie est d'observer le mouvement d'une aire du fond d'œil qui s'illumine grâce à la lumière du skiascope, détaille la SFO. L'ajout de lentilles d'essai devant l'œil va modifier le mouvement apparent de l'aire illuminée. Si cette aire présente un mouvement de même sens que le mouvement*

du skiascope, on ajoute des lentilles positives; si elle présente un mouvement en sens inverse, on ajoute des lentilles négatives. La lentille qui produit l'inversion du mouvement détermine le degré d'amétropie. »

L'automatisation des dispositifs

Au fil des dernières décennies, la plupart des outils de diagnostic ont été automatisés. Ainsi, l'autoréfractomètre (monoculaire ou binoculaire) mesure de manière automatique la réfraction sphérique et cylindrique, et parfois même les rayons de courbure de la cornée. La mesure peut être rendue plus précise par l'instillation de collyres cycloplégiques, lesquels suppriment le phénomène d'accommodation.

Le réfractomètre automatique est, la plupart du temps, associé à d'autres instruments de mesure comme le kératomètre, le pachymètre ou encore le tonomètre (*voir sur le sujet l'encadré ci-contre*). De même, le réfracteur automatique permet depuis quelques années d'évaluer automatiquement la réfraction subjective de l'œil et de réaliser un test d'acuité visuelle.

Peu avant les années 2020, des dispositifs combinant examens objectif et subjectif de la réfraction ont été mis au point. Dotés d'algorithmes, certains peuvent guider l'utilisateur. De nos jours, l'examen de la réfraction n'est plus nécessairement réalisé par un ophtalmologue. Orthoptistes et assistants médicaux y ont également recours.

1858

Identification de la myopie, l'hypermétropie et la presbytie par le D^r Franciscus Cornelius Donders

Fin du
XIX^e siècle

Invention de l'ophtalmomètre

1873

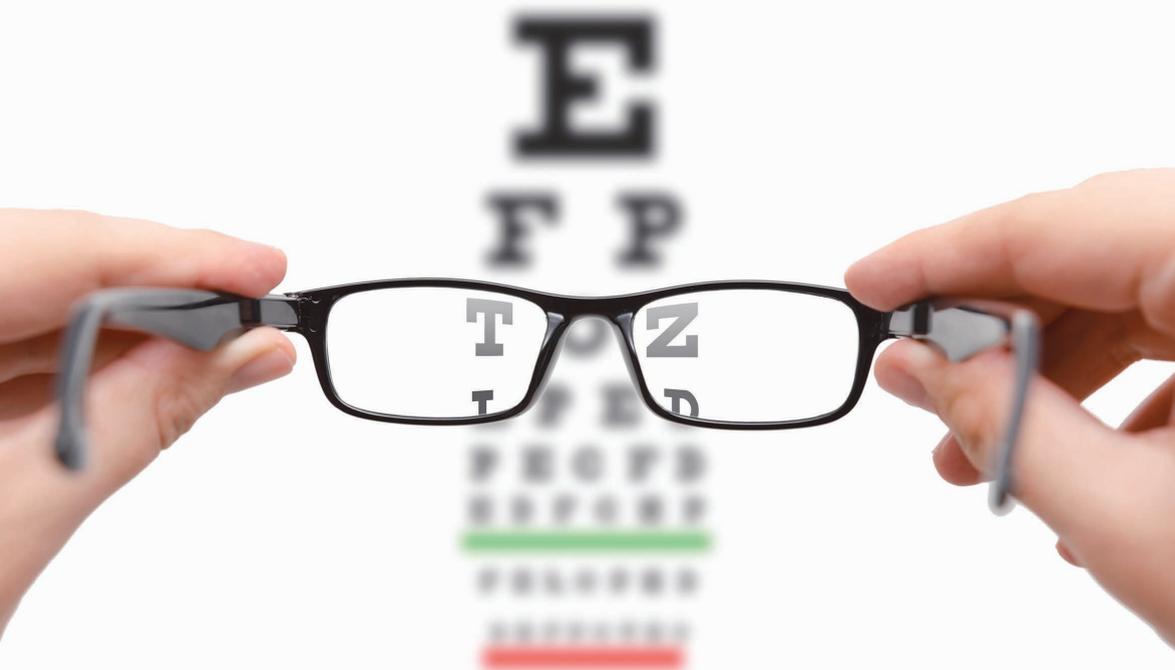
Découverte de la technique de la skiascopie

Des outils pour repenser le parcours de soins

Toutes ces innovations permettent de répondre à une autre organisation du travail des professionnels de la vue amorcée en 2009 avec la loi Hôpital Patients Santé Territoires, dite loi HPST. Pour pallier la problématique des délais d'obtention de rendez-vous et améliorer le parcours de soins des patients, certains praticiens ont opté pour la délégation des tâches via la télé-expertise. Plusieurs protocoles de télémédecine ont été mis en place par les tutelles pour encadrer cette mutation.

Ainsi, le protocole Muraine permet aux orthoptistes de réaliser l'ensemble du bilan visuel au sein d'une structure avant de télétransmettre les résultats aux ophtalmologistes pour une interprétation ultérieure, sans présence du patient. Le même type de protocole existe pour le Renouvellement d'optique (RNO) et les examens de dépistage de la rétinopathie diabétique.

Depuis plusieurs années, industriels et professionnels de santé travaillent à l'autonomisation des appareils. Des systèmes de réfraction subjective ont même été conçus pour que le patient puisse mener seul l'examen de réfraction. Là aussi, l'ophtalmologue récupère *a posteriori* les informations collectées par les dispositifs (fond d'œil, réfraction pression intraoculaire..).



10/10

Chiffre clé

C'est, en dixièmes, la valeur d'acuité minimum nécessaire au confort visuel. Les dixièmes permettent de quantifier la vision de loin.

Source : Clinique de la vision.

L'ŒIL SOUS TOUS LES ANGLES

Des progrès considérables ont été réalisés en imagerie médicale ces dix dernières années, permettant de mieux comprendre l'organisation, le développement et le fonctionnement du processus de vision. Des évolutions qui placent l'imagerie au cœur de la pratique ophtalmologique.



DE LA THÉORIE...

Les différents instruments permettant de procéder au diagnostic ophtalmologique via l'imagerie sont très variés. Ils permettent de photographier et de scanner photorécepteurs[Ⓞ], réseaux de vaisseaux sanguins, cornée, cristallin... Autant de témoins pouvant donner à l'ophtalmologiste un aperçu détaillé de l'état des nombreuses parties de l'œil.

De ce fait, l'imagerie est devenue un outil indispensable dans le diagnostic et le suivi de pathologies telles que le glaucome, la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA)[Ⓞ], la rétinopathie

diabétique, et bien d'autres encore. Et, au-delà de l'état de santé général, elle peut se révéler être un indicateur précoce de maladies chroniques telles que le diabète ou la maculopathie liée à l'âge.

À LA PRATIQUE

L'imagerie est présente de manière quasi-systématique dans les cabinets d'ophtalmologie. Il existe une grande diversité de dispositifs permettant d'analyser toutes les structures de l'œil. « Plusieurs techniques d'imagerie sont parfois nécessaires en fonction de la pathologie recherchée,

souligne le D' Maté Strehlo, médecin associé au centre Explore Vision, à Paris, et ophtalmologue à l'Hôpital Lariboisière. *En règle générale, nous commençons par les moins invasives.* » Si celles-ci ne donnent pas satisfaction, il faut alors recourir à des techniques du type dilatation de la pupille, injection d'un colorant dans une veine...

La majorité des techniques d'imagerie ophtalmique ne sont pas invasives. Assis, front et menton sur des supports, le patient n'est sollicité que

Quel dispositif médical pour quelle indication diagnostique ?

- **Le rétinographe:** maladies rétiniennes (DMLA, rétinopathies diabétiques, glaucomes, etc.), tumeurs, décollement de la rétine ou du corps vitré...
- **L'échographe:** cataracte, glaucome, tumeurs irido-ciliaires, traumatismes oculaires, hémorragies intravitréennes...
- **L'angiographe:** DMLA, rétinopathie diabétique, occlusions veineuses rétiniennes, chorioretinopathie séreuse centrale, uvéite...
- **L'OCT:** glaucome, tumeurs du segment antérieur, pathologies maculaires (dont DMLA), rétinopathie diabétique...

quelques minutes, un temps parfois suffisant pour prendre des milliers de clichés.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Si le premier à avoir vu un fond d'œil *in vivo* et décrit un appareillage permettant cet examen fut probablement le physiologiste tchèque Jan Evangelista Purkinje, en 1823, c'est à Hermann von Helmholtz que fut attribuée la paternité de l'ophtalmoscope. En effet, le scientifique allemand mit au point un dispositif permettant d'éclairer les milieux internes de l'œil (rétine, cornée, iris et cristallin). Dans ce but, *«il utilisa plusieurs lames à faces parallèles. L'examineur regardait à travers un trou placé derrière un miroir semi-transparent; le regard suivait le trajet des rayons lumineux de la source de lumière. Le champ de vision était petit et l'image agrandie de quinze fois. Le succès fut immédiat [...]»*. (« Histoire de l'ophtalmoscope », SNOF).

L'ophtalmoscope connut par la suite un grand nombre d'évolutions : en un siècle, plus d'une centaine de modèles virent le jour ! C'est également à la fin du XIX^e siècle que la première photo de fond d'œil fut publiée. Il fallut en revanche attendre 1926 pour que le premier rétinographe soit commercialisé, reprenant les principes de la photographie « classique ».

Désormais, l'examen ophtalmoscopique peut être direct (le fond d'œil éclairé avec un miroir concave) ou indirect (lorsqu'une lentille convexe, interposée entre la source lumineuse et l'œil du patient, forme une image inversée de la rétine du patient).

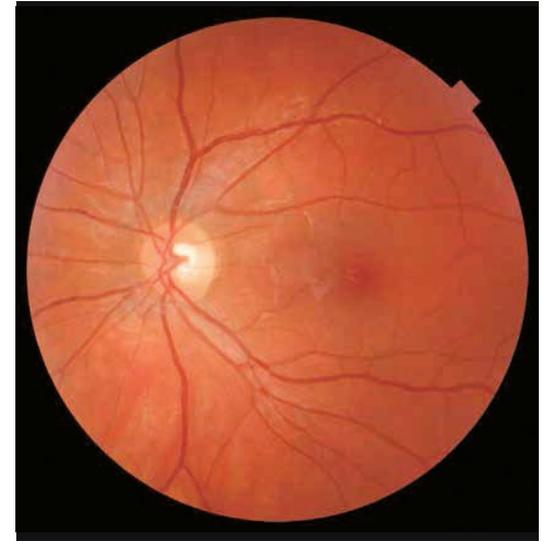


Image issue d'un rétinographe

Avec cette technique, qui permet de voir en relief, le champ d'observation est étendu.

L'échographie et l'angiographie

Les années 1950 virent l'arrivée de l'application médicale des ultrasons, autrement dit l'échographie. C'est en s'inspirant des recherches menées pour la mise au point des sonars censés détecter les sous-marins ennemis que des médecins développèrent un outil capable d'observer l'intérieur du corps humain. Le premier appareil d'échographie fut ainsi présenté en 1951 par les Anglais John Wild, médecin, et John Reid, électronicien. >>>

»»» Appliqués à l'ophtalmologie, les ultrasons permettent de visualiser et d'analyser la taille et la structure de l'œil. Le principe : une sonde projette les ultrasons et les échos obtenus sont alors enregistrés. Au cours des dernières décennies, différents types de sonde ont été mis au point pour l'analyse spécifique des différents segments de l'œil, aussi appelée échographie en mode B ou biométrie. Des évolutions qui ont étendu le champ d'applications de l'échographie oculaire à la sphère thérapeutique. À peine une décennie après les premières échographies, deux Américains, étudiants en médecine,

inventèrent l'angiographie à la fluorescéine[®] de la rétine au cours d'une mission de recherche... dans le domaine de la pneumologie ! « *Ils bricolèrent une caméra, lui ajoutèrent des filtres adaptés à la longueur d'onde d'excitation et à celle de l'émission en fluorescence, installèrent un flash rustique et réalisèrent en novembre 1959 la première angiographie de la rétine* », raconte la Société française d'ophtalmologie (SFO).

La première angiographie réalisée sur un être humain eut lieu en 1960. Elle consista à prendre des photographies du fond d'œil après l'injection par voie intra-veineuse d'un colorant fluorescent



Appareil de tomographie par cohérence optique (OCT)

L'ophtalmologie à l'ère de la télé-expertise

Les innovations technologiques changent progressivement la donne quant à la prise en charge des patients. Les dispositifs sont de plus en plus automatisés, miniaturisés et portables. Les machines de moins en moins opérateur-dépendantes et la possibilité de stocker des données dans des clouds sécurisés ont ouvert la voie à la téléconsultation ophtalmologique.

dans une veine. Un procédé qui permet d'étudier de manière détaillée les vaisseaux sanguins, la vascularisation de la rétine et de la choroïde. C'est toutefois, comme le souligne le D^r Streho, « *un dispositif assez lourd qui nécessite la présence d'un infirmier pour réaliser l'injection. De plus, le produit d'injection peut provoquer des chocs anaphylactiques. Même si les cas sont infimes, c'est un risque* ».

La révolution de l'imagerie oculaire

Au début des années 1990, l'imagerie ophtalmologique a connu une véritable révolution avec l'invention de la tomographie par cohérence

1850

Invention de l'ophtalmoscope

1886

Première photo du fond d'œil

Années
1950

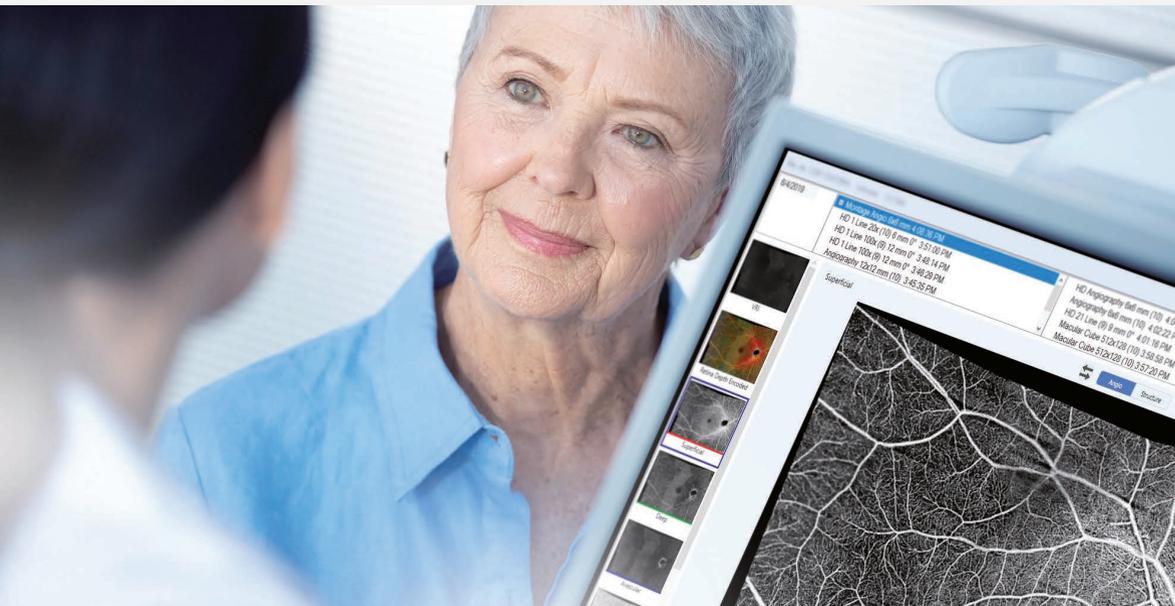
Premier diagnostic ophtalmologique avec un échographe

1960

Invention de l'angiographie appliquée à l'ophtalmologie

Années
1990

Invention de la tomographie en cohérence optique (OCT)



optique, communément appelée OCT (pour *Optical coherence tomography*). Développée par les chercheurs américains James Fujimoto et David Huang, cette technologie d'imagerie ophtalmique a permis, pour la première fois, d'obtenir des images tridimensionnelles *in vivo* en coupe optique.

L'OCT est basée sur l'interférométrie. Le principe est assez proche de l'échographie, à ceci près que ce ne sont pas des ondes sonores qui sont envoyées vers le tissu étudié, mais une onde électromagnétique de faible intensité. « *La réflexion du faisceau de cette lumière laser par les interfaces optiques permet de réaliser des images en coupe de différentes profondeurs de la structure de l'œil, poursuit le Dr Strehlo. La précision est telle que le rendu de la rétine est d'un niveau quasi histologique.* »

La première génération d'OCT, dite *time domain*, est arrivée en 1996. Depuis, la technologie n'a cessé d'évoluer et d'étendre son champ d'application. « *L'OCT est utilisé à toutes les étapes de la prise en charge: dépistage, diagnostic et suivi des patients* », précise le Dr Strehlo. >>>

Chiffre clé

C'est le nombre de scans réalisés par seconde par la dernière génération d'OCT (en *swept-source* comme en *spectral domain*).

Source : *Le futur de l'OCT*, J.F. Korobelnik, S. Magazzeni (« OCT en ophtalmologie », SFO).

200 000

Optique adaptative : une imagerie prédictive

L'optique adaptative est issue de l'astro-physique. Cette technique, qui corrige les aberrations optiques produites par un système optique, permet d'observer individuellement les cellules présentes au fond de l'œil. La résolution est d'environ trois microns. *«Appliquée à l'œil humain, elle permet des avancées spectaculaires en recherche sur la vision, comme l'amélioration des capacités visuelles des sujets sains et malades au-delà des limites physiologiques ainsi que l'étude et la correction de la presbytie. Appliquée à l'imagerie rétinienne, elle permet d'observer avec une très haute résolution les photorécepteurs, les vaisseaux et les fibres nerveuses rétiniennes, permettant d'entrevoir un diagnostic plus précoce de certaines maladies rétinienne ainsi qu'un suivi et une évaluation des traitements plus efficaces.»* (Journal français d'ophtalmologie, SFO, vol. 44, octobre 2021)

Des diagnostics toujours plus précis

«L'imagerie est probablement le domaine de l'ophtalmologie qui a le plus évolué ces dernières années, constate le Dr Strehlo. Les évolutions techniques l'ont rendue moins invasive, plus rapide, plus fiable, plus précise, plus reproductible.» L'ophtalmoscope du XXI^e siècle se compose d'un système d'éclairage surmonté d'une molette qui permet d'adapter les verres à la vue du patient, et de diaphragmes interchangeables, lesquels concentrent plus ou moins la lumière. De même, les rétinographes de l'ère numérique sont dotés d'objectifs puissants, permettant de photographier en très haute résolution la rétine en passant à travers la cornée, le cristallin, le corps vitré et la pupille. Les rétinographes non-mydiatiques permettent désormais de se passer de la dilatation de la pupille. L'échographe a lui aussi bénéficié d'évolutions techniques, avec la mise au point de sonde portative notamment. *«Aujourd'hui, les appareils disposent de différentes sondes permettant d'analyser la totalité de l'œil en changeant simplement la focale et la fréquence d'oscillation des sondes»,* souligne le Dr Strehlo. À l'OCT du domaine temporel ont succédé l'OCT spectral domain (SD-OCT) en 2006 et le swept-source, lesquels ont considérablement amélioré la résolution et la cadence d'acquisition d'images de l'OCT. *«Aujourd'hui, cette technologie permet d'aller voir la rétine, le nerf optique, l'angle irridocornéen, la cornée, le segment antérieur,* souligne

le Dr Corinne Dot, chef du service d'ophtalmologie de l'Hôpital d'Instruction des Armées Desgenettes (Lyon). *Elle nous offre la possibilité de pratiquement tout analyser dans l'œil.»*

Le swept-source offre également la possibilité de moduler la longueur d'onde pour obtenir une pénétration des tissus plus importante et une vitesse d'acquisition encore plus élevée (environ 100 000 scans/seconde). *«La vitesse d'acquisition des derniers OCT est plus rapide que les saccades oculaires, précise le Dr Strehlo. Et il est aujourd'hui possible de faire un OCT en coupe ou en face.»*

La combinaison des performances

Les progrès de la tomographie par cohérence optique ont également bénéficié à l'angiographie. La combinaison de ces deux techniques d'imagerie (OCT-A) permet de cartographier le réseau vasculaire rétinien et choroïdien sans injection de produit de contraste. La machine réalise des scans à une même localisation. Si les scans ne sont pas identiques, c'est donc qu'il y a un mouvement des globules du sang. De cette manière, l'OCT-A reconstitue la vascularisation de la rétine du patient. Cela suppose des milliers de scans pour mettre en évidence le flux qui circule à l'intérieur de l'œil. Les images obtenues permettent notamment de diagnostiquer de manière très précoce différentes lésions, dont celles liées à la DMLA. Cette technologie offre aussi la possibilité de guider certains traitements. *«Elle présente l'avantage*

de ne pas être invasive et tend progressivement à remplacer l'angiographie à la fluorescéine», note le D^r Strehlo.

Rétinographe, ophtalmoscope, lampe à fente ou OCT... Les professionnels de santé recourent à diverses techniques d'imagerie pour mener à bien l'exploration ou le suivi des différentes pathologies ophtalmologiques. Au cours des années 2010, les industriels ont conçu des dispositifs combinant plusieurs examens en un seul appareil. On parle alors de plateformes d'imagerie multimodale. L'ensemble des clichés peuvent être visibles sur un seul écran d'ordinateur via des logiciels dédiés ou un cloud.

Un champ toujours plus grand

Qu'il s'agisse du rétinographe, de l'angiographe ou plus récemment de l'OCT, les dernières innovations permettent d'obtenir une ouverture toujours plus grande du champ observable sur un même cliché. Le grand champ voire l'ultra-grand champ permettent un angle d'acquisition allant bien au-delà des 30 à 60° permis par les dispositifs classiques, sans même qu'il soit nécessaire de recourir à la dilatation pupillaire.

Ces systèmes permettent de visualiser quasiment toute la rétine et sa périphérie en une seule fois et d'en détecter rapidement les anomalies, notamment les pathologies maculaires comme la rétinopathie diabétique. De l'ultra-grand champ au micromètre, l'imagerie se fait plus précise et permet d'acquérir toujours plus de données.



Les promesses de l'intelligence artificielle

« Les nouvelles technologies nous permettent d'acquérir de plus en plus d'images et ouvrent ainsi la voie à l'intelligence artificielle qui investit progressivement le champ du dépistage et du diagnostic ophtalmologiques », estime le Pr Corinne Dot. Les OCT bénéficient désormais d'algorithmes

qui permettent de segmenter toutes les couches de la rétine et d'alerter le praticien si l'une des couches est plus épaisse. « Les clichés sont comparés à une base de données de patients sains », précise le Pr Dot.

De nombreuses recherches sont menées sur le front de l'intelligence artificielle appliquée à l'ophtalmologie. « Nous allons vers une automatisation de l'analyse », prévoit le D^r Strehlo.

UNE EXPLORATION DE LA RÉTINE AU CORTEX

Élément-clé du bilan ophtalmologique, l'analyse du champ visuel est devenue indispensable au diagnostic des dysfonctionnements et des pathologies de la voie visuelle, notamment le glaucome.



DE LA THÉORIE...

Le champ visuel, ou périmétrie[®], correspond à l'espace visible par l'œil autour du point qu'il fixe, soit tout ce que les yeux sont capables de percevoir autour d'eux. Son examen fait partie des tests fonctionnels de la vision. Il consiste à observer et cartographier la voie optique qui mène de la rétine au cortex visuel[®] occipital, la zone du cerveau qui traite l'information visuelle. L'enjeu : repérer les éventuelles pathologies rétinienne, nerveuses ou encore cérébrales, qui pourraient venir altérer l'étendue ou la qualité du champ visuel.

À LA PRATIQUE

L'examen du champ visuel est l'une des bases d'un bilan ophtalmologique complet. Non-invasif, il est réalisé à l'aide d'un périmètre : cette coupole permet de tester la fonction visuelle du patient en étudiant la sensibilité à la lumière de la zone dans laquelle la perception est possible s'il regarde fixement un point.

Durant cet examen d'une quinzaine de minutes, le patient, assis, place son visage dans la coupole blanche éclairée. L'un de ses yeux est caché tandis que l'autre fixe un repère lumineux au centre de

ladite coupole. Des points, dont la taille et l'intensité lumineuse varient, apparaissent en différents endroits selon que l'ophtalmologiste teste le champ visuel périphérique ou central. Dès que le patient perçoit un point (tout en fixant le point central), il le signale. S'il ne voit pas les points qui devraient être vus à un endroit donné, on parle alors de scotome.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Les toutes premières explorations du champ visuel remonteraient à l'Antiquité. Hippocrate aurait décrit l'hémianopsie (diminution ou perte de la vision dans une moitié du champ visuel) et Galien, les rétrécissements périphériques et les déficits centraux. Mais la première méthode de repérage des limites du champ visuel serait apparue au XVI^e siècle lorsque Joannes Baptista Porta, médecin, opticien, mathématicien et universitaire italien, eut l'idée de faire fixer un point sur une planche et de déplacer des petits cailloux blancs. Cette méthode, dite de campimétrie, permet l'étude de la zone centrale du champ visuel. Un siècle plus tard, Edme Mariotte, physicien, fit une découverte majeure en repérant la « tâche aveugle », soit la zone dépourvue de photorécepteurs située à l'endroit où le nerf optique est relié à la rétine.

Mais si de nombreuses découvertes autour du champ visuel furent en effet réalisées au cours des siècles, ce n'est qu'au XIX^e que le déficit du champ visuel fut utilisé pour poser un diagnostic clinique. Ainsi, en utilisant la campimétrie, l'ophtalmologiste

allemand Albrecht von Gräfe fit notamment la découverte du rétrécissement concentrique et du scotome central.

De la campimétrie à la périmétrie

Le XX^e siècle fut celui des concepts de quantification et de standardisation du champ visuel. Dans le même temps, la périmétrie, pourtant expérimentée dès la fin du XIX^e siècle, sortit un peu plus de l'ombre avec Hans Goldmann qui démontra toute l'importance de la fixation de l'œil et du contrôle de la luminance.

Celui-ci mit au point une coupole comportant un éclairage réglable et des points de fixation du regard du patient. Ces points, d'intensité et de taille variables, étaient ensuite déplacés de la périphérie vers le centre, jusqu'à leur perception par le patient. Les résultats étaient reportés sur un schéma dont le centre correspond au point de fixation, centré sur vingt-quatre rayons (les méridiens), autour duquel s'articulent des cercles concentriques tous les dix degrés (les parallèles).

Une deuxième méthode d'examen du champ visuel fut également mise au point: la périmétrie statique. Au cours de ce test apparaît un point lumineux fixe dont l'intensité est augmentée jusqu'à ce qu'il soit perçu par le patient. Depuis, les progrès de l'informatique ont permis de l'automatiser et l'on parle aujourd'hui de périmétrie statique automatisée. Un dispositif qui tend à supplanter la périmétrie cinétique de Goldmann.



Appareil de périmétrie

Une aide au dépistage du glaucome

À la fin des années 1990, un nouveau système de périmétrie fut mis au point. Cet appareil – le périmètre *Frequency Doubling Technology* (FDT) – mesure l'étendue du champ visuel en utilisant un phénomène d'illusion d'optique. Le chercheur australien Ted Maddess a démontré que les tests FDT avaient un intérêt particulier dans la détection précoce de certaines anomalies glaucomateuses. >>>

CHAMP VISUEL

»» En effet, la périmétrie est primordiale en cas de suspicion de glaucome. Cette pathologie détruit les fibres optiques et se manifeste par une diminution progressive du champ visuel, de la périphérie au centre de la vision. Le champ visuel est le seul examen qui permet de savoir si la maladie a déjà impacté la vision périphérique, avant même que le patient ait pris conscience des déficits! Les professionnels de santé y ont également recours pour définir le stade de la maladie et mesurer son évolution. Enfin, la périmétrie est également très utile pour détecter toutes les pathologies qui peuvent altérer une partie du champ visuel, telles que la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA), la rétinopathie pigmentaire, une tumeur cérébrale, etc. Aujourd'hui, certaines plateformes d'examen du champ visuel dotées d'algorithmes permettent de réaliser des projections quant à l'analyse et l'évolution d'une pathologie comme le glaucome. À noter que l'examen du champ visuel est très souvent prescrit en même temps qu'une tomographie en cohérence optique, qui permet d'observer les différentes couches de la rétine. Ces deux dispositifs combinés donnent en effet la possibilité de mener une analyse de l'anatomie de l'œil et de sa fonction visuelle.

XVI^e siècle

Invention
du microscope

XIX^e siècle

Mise au point
de la périmétrie

Fin des années
1990

Développement de la
périmétrie double fréquence
(Frequency Doubling
Technology)



180°

Chiffre clé

C'est le degré du champ de vision horizontal de deux yeux humains en bonne santé. Le champ monoculaire (un œil) s'étend quant à lui sur près de 120° degrés.

Source : « Interprétation des anomalies du champ visuel », Institut français de l'Éducation, 2020.

MICROSCOPE

VOIR MIEUX POUR RENDRE LA VUE

Loin d'être un dispositif anecdotique, le microscope a rendu possible tous les progrès en ophtalmologie en permettant de mieux voir et donc de mieux connaître l'œil.



DE LA THÉORIE...

Les microscopes ophtalmiques interviennent dans de nombreuses étapes de la prise en charge du patient. Ils permettent de procéder aux examens dits de routine et de diagnostiquer d'éventuelles anomalies. On parle alors de biomicroscope ou, plus souvent, de lampe à fente. D'autres microscopes, plus perfectionnés et utilisés dans le cadre des chirurgies, sont dits opératoires.

À LA PRATIQUE

Selon la définition du CNRTL, le microscope est « un instrument d'optique à très fort grossissement qui permet d'observer des éléments, objets, organismes invisibles à l'œil nu, composé d'un tube renfermant plusieurs lentilles donnant l'image virtuelle d'un objet éclairé par transparence ».

Le biomicroscope est un microscope binoculaire présentant plusieurs grossissements. Il est doté >>>

Focus sur le microscope confocal *in vivo*

La microscopie confocale *in vivo* (MCIV) est une méthode d'imagerie non invasive développée au milieu des années 1990. « Elle permet de visualiser les tissus humains transparents dont les structures cellulaires et tissulaires de la cornée, explique le Pr Jean-Louis Bourges, responsable des urgences ophtalmologiques de l'hôpital Cochin, à Paris. Le MCIV utilise des lumières laser à longueur d'onde élevée focalisées très précisément dans un seul plan d'épaisseur. Il réalise des images en coupe du tissu cornéen à une échelle histologique. »

Le MCIV est utilisé pour le diagnostic de certaines maladies, notamment de la surface oculaire, ou encore pour différencier divers types d'infection.

»»» d'un système d'éclairage particulier constitué d'une fente lumineuse – dont on peut varier l'orientation et la dimension – qui permet d'effectuer une coupe optique des différentes structures du segment antérieur de l'œil. Il est aussi possible de réaliser un examen du fond d'œil en utilisant une lentille ou un verre spécifique : cela permet de mener une analyse très fine des détails du fond d'œil.

Des biomicroscopes portables ont été développés afin d'examiner des sujets à mobilité réduite ou plus difficiles comme les enfants. Ils sont aussi utilisés par les vétérinaires spécialisés.

Comme dans beaucoup d'autres spécialités médicales, les microscopes opératoires utilisés en ophtalmologie disposent, en plus de leur capacité grossissante, de fonctionnalités pour répondre aux exigences de l'intervention (lumière, maniabilité, précision, ergonomie, imagerie, etc.).

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

L'invention du tout premier dispositif est attribuée à un fabricant de lunettes néerlandais à la fin du XVI^e siècle. Cette innovation ne doit rien au hasard puisque c'est à cette époque que le port des lunettes commença à se répandre, entraînant un vif intérêt pour l'optique et ses dispositifs, comme le rappelle la Société américaine de physique (American Physical Society). Le microscope en question était toutefois très sommaire.

Au cours des siècles suivants, de nombreux chercheurs s'appliquèrent à faire évoluer le dispositif

pour le rendre ainsi plus précis, plus maniable et plus performant.

Éclairage optimal...

Si les microscopes modernes existent depuis plus d'un siècle en ophtalmologie, ils ne connurent pas vraiment d'évolution majeure pendant longtemps. Mais certaines innovations les ont réellement perfectionnés au cours des trente dernières années. Il s'agit des efforts portés sur la lumière, notamment avec l'éclairage coaxial.

Mis au point à la fin des années 1980, celui-ci projette la lumière dans l'axe d'observation de l'opérateur. C'est une innovation majeure pour certaines chirurgies, dont celles de la cataracte ou de la rétine : dans les années 1980 et 1990, une évolution importante fut en effet de permettre d'accéder au fond de l'œil, et plus seulement au segment antérieur de celui-ci.

La gestion de la lumière (qualité, source, intensité, stabilité, précision) a concentré une majorité des efforts ces dernières décennies, passant d'une source extérieure (lampe à fente) à des sources intégrées aux machines. Leur nature a également évolué, le xénon ayant succédé à l'halogène, avant de laisser de plus en plus de place à la LED dans le but d'augmenter la durabilité, de maîtriser le spectre lumineux, de réduire au maximum la phototoxicité et de préserver les rétines du patient et du chirurgien. Ces avancées, ajoutées à la miniaturisation des dispositifs, ont permis l'entrée de l'ophtalmologie dans l'ère de la microchirurgie.

XVI^e
siècle

Invention du
microscope

Fin des années
1980

Intégration de l'éclairage
coaxial

Années
2010

Microscopes intégrant
la réalité augmentée

MICROSCOPE

Et fonctionnalités augmentées

Ces dernières années, l'émergence de la réalité augmentée a permis d'intégrer des données techniques supplémentaires au microscope. L'idée est de concentrer toutes les données du patient dans l'assistant opératoire qu'est le microscope. Les dispositifs proposent des outils de diagnostic intégrés tels que la tomographie en cohérence optique ou des systèmes d'imagerie numérique censés élargir le champ des informations à la disposition du chirurgien.

Pour améliorer encore la perception de l'environnement opératoire, il existe actuellement des microscopes opératoires qui restituent sur grand écran une image de très haute définition, avec un rendu tridimensionnel optimisé par rapport aux oculaires habituels. Ils affichent les données supplémentaires de réalité augmentée sur l'image opératoire en temps réel. Leurs écrans peuvent aussi se loger dans des lunettes que porte le chirurgien. Cette innovation permet à ce dernier de travailler « tête haute » et non plus courbé sur les binoculaires. Il peut également passer de l'un à l'autre en cours d'intervention. Enfin, l'écran 3D est aujourd'hui utilisé pour la formation des internes qui suivent l'opération en voyant la même chose que le chirurgien en train d'opérer.



10⁻⁹

Chiffre clé

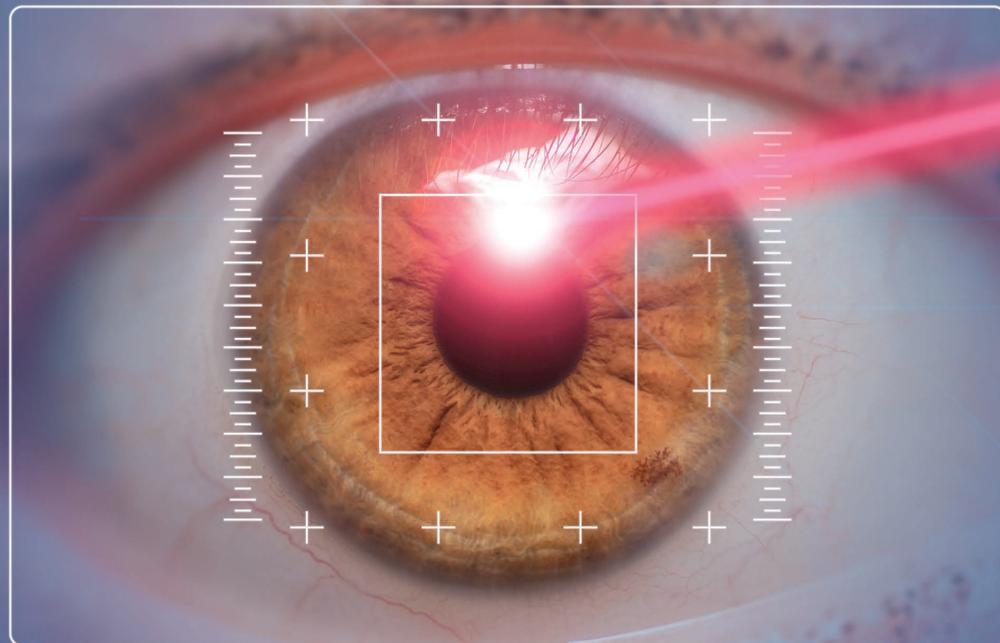
C'est la valeur exprimée, en mètres, d'un nanomètre, soit l'unité de mesure de la résolution d'un microscope.

Source : Dictionnaire Larousse.

LASER

TOUJOURS PLUS RAPIDE, TOUJOURS PLUS PRÉCIS

Si la technologie du laser est aujourd'hui omniprésente, c'est en médecine, et plus spécifiquement dans le domaine de l'ophtalmologie, que ses applications sont les plus remarquables.



DE LA THÉORIE...

En ophtalmologie, la technologie du laser est principalement utilisée pour la chirurgie réfractive (traitement de la myopie, de l'astigmatisme, de l'hypermétropie et, dans une moindre mesure, de la presbytie), le traitement de la cataracte, du glaucome et des affections de la rétine (en particulier son décollement). Les lasers peuvent avoir une action photocoagulante, photodisruptive et/ou photoablatrice.

Les lasers permettent de travailler sur l'œil sans avoir à l'ouvrir, gagnant ainsi en sécurité (notamment en matière d'infection) et de temps de récupération pour le patient. Ils offrent également la

possibilité d'effectuer des incisions très fines et précises et de cautériser les vaisseaux sanguins. En ophtalmologie, les lasers ont révolutionné la prise en charge des patients plus que dans toute autre discipline. Si chaque laser a sa spécificité, tous ont en commun d'avoir apporté une précision telle que l'on peut travailler aujourd'hui au micron près, ce que ne saurait obtenir la main du chirurgien, aussi doué soit-il.

À LA PRATIQUE

Le phénomène de lumière laser relève de la physique quantique. Selon l'Académie nationale de médecine, il consiste à « *produire une émission*

stimulée de lumière cohérente» soit, en d'autres termes, un faisceau de lumière amplifiée parfaitement rectiligne.

À l'intérieur d'un laser se trouve un compartiment rempli de ce que l'on appelle la matière laser, en l'occurrence du gaz (comme de l'hélium ou de l'argon) ou un cristal (solide ou liquide). Les photons, envoyés en rafale sur la matière laser, activent les atomes de celle-ci, lesquels vont émettre d'autres photons qui vont eux-mêmes stimuler d'autres atomes – et ainsi de suite jusqu'à ce que les photons soient réfléchis sur un miroir. Ils repartent alors en sens inverse jusqu'à un second miroir. Le faisceau est alors créé.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Si le principe du laser fut expliqué par Albert Einstein dès 1917, avec sa théorie de l'émission stimulée, ce n'est que vers le milieu des années 1950 que l'Américain Charles H. Townes mit au point, avec son beau-frère Arthur L. Schawlow, les concepts régissant ce que l'on nomme le faisceau cohérent. Leurs travaux reçurent d'ailleurs le prix Nobel de physique en 1964. C'est sur la base de ces avancées qu'un autre physicien américain, Theodore Maiman, fabriqua en 1960 le premier laser, qui fonctionnait grâce à un rubis. Dès lors, la technologie du laser fascina les communautés scientifiques, dont la médecine.

L'ophtalmologie fut la première spécialité médicale à s'approprier le dispositif : dès l'automne 1961, en effet, les médecins américains Charles J. Campbell

et Charles Koester utilisèrent pour la première fois un prototype de laser rubis sur un patient afin de détruire une tumeur rétinienne. Ont ensuite été évaluées différentes longueurs d'ondes pour aboutir à des traitements rétiens ciblés, le laser pionnier et référent demeurant le laser argon.

L'émergence des lasers YAG

Au cours des années 1970, les lasers connurent une nouvelle évolution significative avec l'invention du laser YAG : ce dispositif est né d'une rencontre entre le P^r Danièle Aron-Rosa, ophtalmologiste à la Fondation Rothschild, à Paris, et un ingénieur de Dassault. L'ingénieur utilisait la méthode du laser pour perforer le blindage des chars notamment. En 1978, un laser spécial permettant de perforer le cristallin fut mis au point.

Les premiers résultats furent présentés un an plus tard. Les lasers YAG permirent de traiter, sans chirurgie, certains glaucomes aigus et, surtout, les cataractes dites secondaires (à savoir l'opacification du sac de l'implant ou capsulotomie), puisque le laser était capable de détruire le voile qui se place derrière l'implant grâce au principe de photodisruption. Enfin, cette technologie permit de procéder à des iridectomies[®].

Les lasers au service de la chirurgie réfractive

Les années 1980 virent l'avènement de l'usage du laser à but réfractif, avec le recours aux lasers



excimer. En 1988, l'Américain Stephen L. Trokel eut, le premier, une approche astucieuse en appliquant ces lasers, traditionnellement utilisés dans l'industrie, à la cornée. Il tira profit de leur capacité à réaliser des découpes avec une précision de l'ordre du micron. Ce laser fait appel au principe de la photoablation.

Le concept initial consistait à réaliser des incisions cornéennes au laser pour remplacer celles réalisées auparavant au couteau diamant corrigeant la myopie par l'aplanissement indirect de la cornée. >>>

»» Dans les années 1990, le laser excimer permet de réaliser un surfaçage de la partie centrale de la cornée (après avoir retiré l'épithélium) pour en obtenir son aplanissement direct et ainsi modifier son pouvoir réfractif. Puis, moins de cinq ans plus tard, fut développée la technologie Lasik qui consiste à découper un volet de cornée sous lequel est réalisée la photoablation. La repose du

Zoom sur le microkératome

On entend par microkératome une sorte de rabot miniaturisé. Il a été mis au point dans les années 1950 par José Barraquer, un ophtalmologiste espagnol.

Ce dispositif médical est inspiré du principe du dermatome . Utilisé avec le laser excimer, le microkératome permet de découper une lamelle, appelée capot, sur la surface de la cornée, puis une seconde dans le stroma  cornéen. C'est cette seconde découpe qui est réellement réfractive et qui modifie la géométrie de l'œil afin d'agir sur la puissance optique de la cornée. À noter que ce dispositif tend de plus en plus à être remplacé par le laser femtoseconde.

volet évite l'attente de la repousse de l'épithélium pour retrouver le confort et la récupération visuelle. Le faisceau laser, dont le diamètre est de moins de 1 mm, réalise tous les profils souhaités par balayage: ablation centrale circulaire pour la correction myopique ou en ellipse en cas d'astigmatisme combiné, couronne périphérique pour induire un bombement indirect central dans le but de rallonger l'œil trop court qu'est l'hypermétrope. Le profil défini pour la correction de la presbytie est beaucoup plus récent et repose sur une modulation des courbures plus complexe, guidée par un système d'imagerie topographique qui permet d'augmenter la proliféricité de la cornée dans le but d'améliorer la vision de près.

Depuis, le laser occupe la première place sur la scène de la chirurgie réfractive, car il est capable de corriger les défauts minimes et modérés, à condition que la cornée présente les critères de symétrie, de régularité, d'épaisseur et de résistance requis pour un geste sécurisé.

Des indications toujours plus nombreuses

Depuis une décennie, le laser femtoseconde concentre les innovations les plus importantes. En 2018, le Français Gérard Mourou reçut d'ailleurs le prix Nobel de Physique pour ses travaux sur ce laser. Sa découverte de l'amplification par dérive de fréquence au milieu des années 1980 a en effet permis d'appliquer le laser femtoseconde à la chirurgie réfractive cornéenne, et plusieurs millions

Années

1950

Mise au point du concept de faisceau cohérent, base du laser, par Townes et Schawlow, ainsi que celui de microkératome

de patients dans le monde ont pu être opérés avec cette technologie.

Ce dispositif permet de remplacer la découpe mécanique du microkératome pour la réalisation du volet Lasik (*voir sur le sujet l'encadré page 28*). Il autorise également la réalisation d'incisions cornéennes correctrices de l'astigmatisme. Une autre application de ce dispositif consiste à créer un tunnel dans la cornée pour pouvoir y glisser des petits anneaux rigides afin de la remodeler en cas de kératocône voire, exceptionnellement, en cas de myopie sur cornée fine ne pouvant bénéficier d'un laser excimer. Il permet également de fabriquer des poches dans la cornée afin d'y glisser une lentille pour corriger la presbytie.

Le laser femtoseconde agit en réalisant une photodisruption. L'adaptation de sa focalisation en arrière de la cornée sur le cristallin a favorisé l'avènement de la chirurgie de la cataracte au laser femtoseconde lequel, guidé par un système d'imagerie intraoculaire, réalise les éventuelles incisions limbiques relaxantes destinées à corriger un astigmatisme cornéen.

1961

Première utilisation du laser en ophtalmologie

Années

1970

Invention du YAG

1988

Utilisation du laser excimer en ophtalmologie

Années

1990

Développement du Lasik

Années

2010

Invention du laser femtoseconde



Vers des actions de plus en plus ciblées

L'histoire des lasers est marquée par l'exploration de diverses longueurs d'ondes et de l'évaluation de leur interaction avec les tissus pour servir à la fois au développement des outils d'imagerie et à celui de techniques thérapeutiques et chirurgicales de plus en plus ciblées.

Ainsi, les lasers connaissent encore des affinements majeurs. Ils sont désormais guidés par des *eye-trackers*, soit des systèmes de détection des mouvements de l'œil permettant d'accompagner les micro-mouvements de l'œil, de garantir un maintien optimisé du centrage et de compenser les rotations du globe entre la position couchée et assise. La réalisation de zones de transition a permis de minimiser les risques de cicatrisation anormale et de régression.

Les lasers sont aussi guidables par des systèmes d'imagerie comme la topographie ou l'aberrométrie. Toutes deux visent à personnaliser le traitement selon les caractéristiques de la cornée >>>

10^{-15}

Chiffre clé

C'est, en secondes, la valeur d'une femtoseconde (soit un millionième de milliardième de seconde). Le rapport est le même entre 1 seconde et 1 femtoseconde qu'entre 1 seconde et 31,7 millions d'années!

Source: Syndicat national des ophtalmologistes de France (SNOF).

FOCUS

Lasers et techniques chirurgicales

Le Lasik

Le Lasik est la technique chirurgicale la plus réalisée dans le monde en chirurgie réfractive. S'il existe depuis les années 1990, il combine, depuis les années 2000, l'utilisation de deux types de laser différents : le laser femtoseconde pour découper un fin capot dans la cornée, et le laser excimer qui, après soulèvement du capot, permet de remodeler la courbure de la cornée sous-jacente pour corriger les défauts de vision (myopie, astigmatisme, hypermétropie). Le Lasik permet de récupérer une vision sans lunettes dès le lendemain de l'intervention et quasiment sans douleur.

Le SMILE

La technique chirurgicale SMILE (*SMall Incision Lenticule Extraction*) utilisant exclusivement le laser femtoseconde est apparue en 2010. Elle représente la dernière évolution de chirurgie réfractive cornéenne et consiste à extraire une lamelle de cornée (appelée lenticule) préalablement découpée au laser femtoseconde à travers une mini-incision, elle-même également découpée au laser femtoseconde. L'ablation de ce lenticule cornéen permet de remodeler la courbure de la cornée pour corriger les défauts de vision (myopie, astigmatisme et hypermétropie). Grâce à ce procédé, il est possible de pratiquer une incision encore plus petite qu'en Lasik et, par conséquent, d'avoir un moindre retentissement sur la mécanique cornéenne et la sécheresse oculaire.

» du patient en dépassant la seule dimension de la correction de l'erreur réfractive (myopie ou hypermétropie avec ou sans astigmatisme). La topographie d'élévation mesure les variations de courbure sur les faces antérieure et postérieure de la cornée.

Connectée à un laser excimer, la topographie est précieuse pour assister ce dernier dans le lissage des cornées irrégulières, par exemple. Quant à l'aberrométrie, associée au laser excimer, elle assure, au-delà du défaut réfractif, la correction des aberrations optiques qui conditionnent notamment la vision des contrastes et le confort visuel dans la pénombre ou la nuit.

Cependant, le profil aberrométrique parfait reste à déterminer car il est admis que l'élimination de toutes les aberrations ne correspond pas à la vision idéale. Il faut définir quelles conditions optimales sont à viser selon l'âge et les conditions de vie de chaque patient. Néanmoins, il faut souligner que l'objectif de correction efficace, stable et confortable est désormais atteint. C'est le résultat des spectaculaires progrès qui se sont succédés au cours des dernières décennies, validant la connotation magique du mot « laser ».

RÉTINE ARTIFICIELLE

RENDRE LA VUE À QUI L'A PERDUE

Depuis plusieurs années, de nombreux chercheurs tentent de développer une rétine artificielle et rendent de plus en plus tangible la perspective de redonner la vue aux patients souffrant de dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) ou de rétinopathie pigmentaire.



DE LA THÉORIE...

La rétine est la fine membrane neurosensorielle qui tapisse la surface interne du globe oculaire. Grâce aux photorécepteurs qu'elle contient, elle capte les signaux lumineux et transmet les informations visuelles au cerveau. Avec l'âge ou en raison d'un facteur génétique, la rétine peut être altérée, entraînant une baisse de la perception visuelle avec des zones aveugles.

La prothèse rétinienne – ou rétine artificielle – a pour but de remplacer, au moins en partie, les photorécepteurs et de stimuler les cellules qui forment le nerf optique pour que le signal électrique soit transmis au cerveau. La prothèse rétinienne ne peut

rendre la vue qu'aux patients qui ont perdu leurs photorécepteurs mais chez qui il reste des neurones rétiniens. Selon les dispositifs et les patients, le degré de récupération peut donc varier.

À LA PRATIQUE

L'idée est donc de réactiver la rétine résiduelle. Ainsi, deux types d'implants, fixés sur ou sous la rétine et composés d'électrodes stimulant électriquement les neurones rétiniens, ont été mis au point au cours des années 2000. Posés sur plusieurs centaines de patients à travers le monde, ils ont par la suite été retirés du marché, juste avant les années 2020. « *Les résultats de tous* » >>>

»»» ces implants étant modestes, notamment pour les patients atteints de DMLA, la production de ces implants a cessé sans solution de remplacement, explique le Pr Jean-François Korobelnik, chef du service d'ophtalmologie du CHU de Bordeaux. Mais les équipes de recherche poursuivent les travaux engagés. Des essais cliniques sont actuellement menés pour développer des dispositifs plus performants. »

FOCUS PATHOLOGIE

La rétinopathie pigmentaire

Cette maladie génétique dégénérative de l'œil est due à une mutation de gènes impliqués dans le fonctionnement et la régulation des photorécepteurs. La rétinopathie pigmentaire (RP) se caractérise par une perte progressive et graduelle de la vue, jusqu'à la cécité dans certains cas. Son évolution reste variable d'un patient à l'autre mais elle est, en règle générale, assez lente et peut s'étendre sur plusieurs dizaines d'années.

Source : Encyclopédie Orphanet.

HISTOIRE D'INNOVATION

Si les recherches sur la rétine artificielle menées conjointement par plusieurs pays, dont les États-Unis et la France, débutèrent dès 1991, c'est en 2002 que naquit un implant inspiré de l'implant cochléaire. Celui-ci, le plus répandu à l'époque, était intégré à une paire de lunettes qui captait des images et les envoyait à un boîtier doté d'un microprocesseur porté à la ceinture ou dans la poche, qui traitait les données visuelles, les transformait en informations électriques et les envoyait à une antenne extérieure située sur la branche des lunettes. Cette antenne extérieure transmettait ces informations à l'implant via des ondes. Les patients percevaient des signaux lumineux. Certains étaient déjà capables de saisir des objets bien que le dispositif ne comportât alors que 16 électrodes.

Une autre approche, proposée par le Pr Chow, fut d'intégrer des photorécepteurs électriques (ou photodiodes) dans la puce électronique sous la rétine. Les diodes activaient alors directement les électrodes sans passer par un dispositif intermédiaire. Une idée améliorée par le Pr Zrenner, directeur de l'Institut de recherche ophtalmique et responsable du Centre d'ophtalmologie de l'Université de Tübingen, qui amplifia les signaux en reliant la puce à une batterie. Le premier essai de son implant (mesurant 9 mm² et disposant de 1500 électrodes) débuta en 2005. Puis le Pr Palanker, directeur du Laboratoire de physique expérimentale Hansen de l'Université de Stanford, développa des puces activées à distance par des infrarouges.



Dispositif de rétine artificielle

Restituer une vision plus aiguë

À l'heure de la miniaturisation, un nouvel implant composé de 60 électrodes fut élaboré. Avec ce dispositif, les patients parvenaient à se déplacer seul, à suivre une ligne au sol, à trouver un objet, à repérer une porte ou une fenêtre. Certains arrivaient même à lire des mots en gros caractères sur un écran d'ordinateur.

Si l'idée de l'équipe du Pr Zrenner était d'augmenter le nombre d'électrodes, et par la même la perception, des études comparatives entre les deux implants ont révélé des résultats similaires, qu'ils soient dotés de 60 ou de 1500 électrodes. En effet, deux électrodes voisines peuvent se chevaucher et donc activer la même zone. Pour résoudre cette

problématique, le Pr Palanker et son équipe explorèrent notamment la piste qui consistait à introduire une grille de masse en forme de nid d'abeille, insérant chacune des électrodes de stimulation au sein d'une alvéole. Cette nouvelle configuration permet de circonscrire la diffusion des courants à une zone limitée autour des électrodes, afin que chacune stimule un groupe de cellules qu'aucune électrode voisine ne peut stimuler.

Ces équipes travaillèrent également à l'amélioration de la résolution des électrodes pour accroître le nombre de pixels des images. En effet, des études psychophysiques ont montré que pour reconnaître des figures complexes telles qu'un visage ou lire des textes, la résolution devait être comprise entre 600 et 1000 pixels.

Chiffre clé

30 000

C'est le nombre de patients souffrant de rétinopathie pigmentaire en France, soit environ une naissance sur 4000.

Source : « *Rétine artificielle* », Inserm, dossier réalisé en collaboration avec Serge Picaud et José-Alain Sahel (Institut de la vision, et co-fondateurs de Pixium Vision), mai 2016.

Des essais cliniques prometteurs

Si ces implants rétiniens ne sont plus produits aujourd'hui, des équipes de chercheurs, notamment en France, aux États-Unis et en Israël, continuent d'explorer le sujet en s'appuyant sur les avancées des dernières décennies. Ainsi, parmi les essais cliniques en cours, une expérimentation a été menée à partir du dispositif sans fil développé par le Pr Palanker. Introduit sous la rétine, son fonctionnement repose sur la conversion des photographies de l'environnement en images monochromes infrarouges. Ces dernières sont ensuite projetées sur la rétine contenant l'implant. Cette conversion est rendue possible grâce à des lunettes comportant une caméra et un projecteur infrarouge, avec un lien vers un microprocesseur de poche et une source infrarouge.

En France, en 2017, cinq patients atteints de DMLA sèche ont pu bénéficier de cet implant (2x2 mm, 30 microns d'épaisseur et 378 électrodes) dans le cadre d'un essai clinique de faisabilité. Celui-ci a montré que les patients pouvaient identifier des séquences de lettres de la taille d'un titre de journal. Sur la base de ces résultats prometteurs, un essai clinique pivot a débuté en 2020 à l'échelle européenne, afin de fournir les données cliniques nécessaires au marquage CE de cette rétine artificielle nouvelle génération.

Épirétiniens, sous-choroïdiens... D'autres types d'implants font aujourd'hui encore l'objet d'essais cliniques dans différents pays du monde.

FOCUS PATHOLOGIE Qu'est-ce que la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) ?

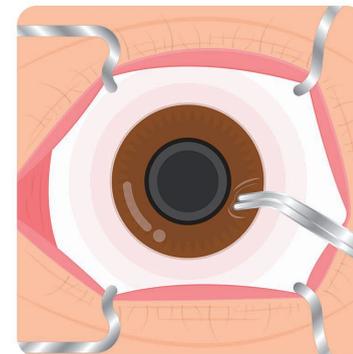
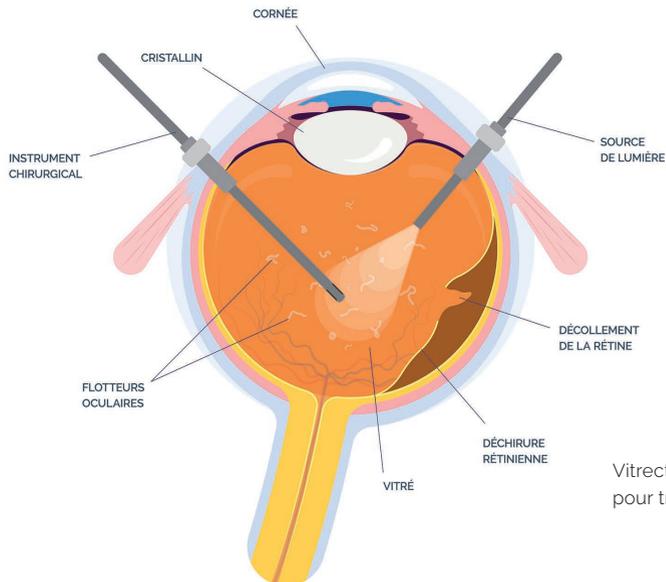
La dégénérescence maculaire liée à l'âge, ou DMLA, est une maladie du vieillissement qui correspond à une dégradation d'une partie de la rétine : la macula. Elle se traduit par une baisse progressive puis totale de la vision centrale. Pour autant, la DMLA ne rend pas totalement aveugle, la partie périphérique de la rétine demeurant intacte. D'origine multifactorielle, cette pathologie demeure la première cause de handicap visuel chez les personnes de plus de 50 ans. Il existe plusieurs formes de DMLA. La forme atrophique ou sèche est caractérisée par l'altération des cellules de l'épithélium pigmentaire et des photorécepteurs situés au niveau de la macula. L'évolution de la maladie est assez lente : entre cinq et dix ans peuvent s'écouler avant que le patient ne perde sa vision centrale. La forme humide se traduit par une prolifération de néovaisseaux choroïdiens sous la macula. Cette forme de DMLA peut évoluer très rapidement et entraîner une perte de vision centrale en quelques semaines mais ne provoque pas la cécité totale du patient.

Sources : Inserm, SFO.

VITRECTOMIE

UNE INNOVATION FULGURANTE ET AUDACIEUSE POUR LA RÉTINE

Longtemps redoutées, les chirurgies de la rétine, et plus particulièrement la vitrectomie, sont de plus en plus pratiquées. Au point de permettre de traiter aujourd'hui des pathologies auparavant considérées comme incurables.



Vitrectomie: type d'opération des yeux utilisée pour traiter les problèmes de la rétine et du vitré

DE LA THÉORIE...

La vitrectomie consiste à enlever tout ou partie du vitré, le gel situé entre le cristallin et la rétine. Non indispensable à la vision, il peut être retiré en cas de trou maculaire (affection de la macula), de membrane pré-maculaire (très mince pellicule de tissu qui recouvre et plisse la macula), d'hémorragie dans le vitré ou sous la rétine, de rétinopathie diabétique ou d'un décollement de la rétine.

Le gel vitréen a notamment pour fonction d'amortir les chocs et d'empêcher le vieillissement oculaire. Il a tendance à se modifier avec l'âge: de gélatineux et flexible à la naissance, il devient plus liquide et peut se décoller de la rétine. La vitrectomie a donc pour but de restaurer une fonction optique défaillante, de supprimer des tractions du vitré sur la macula ou encore de créer un espace pour injecter un produit destiné à réappliquer la rétine.

À LA PRATIQUE

L'intervention se déroule en milieu chirurgical stérile, sous anesthésie locorégionale. « *Du liquide stérile est infusé dans l'œil au fur et à mesure que le vitré est retiré, afin de maintenir le volume et la pression oculaires, explique la Société française d'ophtalmologie (SFO). Suivant la raison pour laquelle la vitrectomie est effectuée, d'autres gestes chirurgicaux peuvent lui être associés et, en fin d'intervention, le vitré peut être remplacé par du gaz, parfois de l'huile de silicone ou d'autres produits.* »

En cas d'une injection de gaz, ce dernier se résorbe dans les jours ou semaines qui suivent l'intervention. L'huile de silicone, en revanche, doit être retirée au cours d'une intervention ultérieure et remplacée par du sérum. Le délai (jusqu'à plusieurs semaines voire années) et le degré de récupération visuelle dépendent du motif de la vitrectomie.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

L'histoire de l'innovation de la chirurgie de la rétine commence réellement à la fin des années 1960, soit relativement tardivement, car on a longtemps pensé que toucher le vitré pouvait entraîner une perte totale de la vision. C'est l'ophtalmologiste germano-américain Robert Machemer qui, en s'appuyant sur les travaux de son confrère David Kasner, démentit cette idée en mettant au point un dispositif miniaturisé et motorisé. Dès 1970, il s'associa au Pr Jean-Marie Parel pour concevoir un système de petite guillotine grâce auquel on pouvait aspirer le vitré et le couper pour séparer la partie aspirée du reste, sans exercer de traction sur certaines fibres solidement attachées à la rétine. La technique fut développée et affinée dans les années suivantes grâce à Charles Conor O'Malley et Ralph Heinz, qui inventèrent un appareillage de 20 gauges de diamètre (soit 0,9 mm environ).

Parallèlement, on s'est aperçu que, pour réaliser une vitrectomie, il fallait certes remplacer ce que l'on aspire, mais également mieux voir à l'intérieur de l'œil. Un système spécifique a donc été mis au point pour mieux voir l'intérieur de l'œil à l'aide de l'illumination d'une fibre optique incérée via une incision et l'utilisation de microscopes. C'est ce que l'on nomme la vitrectomie trois voies, qui fut sans cesse améliorée au fil des décennies suivantes, notamment grâce à la sophistication croissante des machines qui permit une précision toujours plus grande – notamment pour les flux d'entrée et de sortie, les coupes, etc.

Un champ d'application élargi

Les années 1980 furent marquées par l'avènement des microscopes, initialement prévus pour observer la partie antérieure de l'œil. Ils furent améliorés pour accéder à la partie postérieure de l'œil. Vers le milieu des années 1990, la technique évolua pour la première fois vers la chirurgie transconjonctivale, évitant ainsi les sutures.

Auparavant, il fallait enlever la muqueuse avant de faire des incisions larges, à suturer en fin d'intervention. Ce n'est plus le cas désormais, le procédé se rapprochant d'une coelioscopie. Par ailleurs, le dispositif a désormais un diamètre de 25 gauges (0,5 mm). Il existe des instruments de taille intermédiaire (23 et 27 gauges, soit 0,6 et 0,3 mm); mais le 25 gauges, lui-même amélioré, demeure à ce jour encore le standard le plus utilisé.

Les applications de la chirurgie de la rétine ont évolué également: dans un premier temps appliquée au traitement de maladies comme des hémorragies et les opacités du vitré, elle a ensuite été adaptée au décollement de la rétine puis aux proliférations qui peuvent se développer sur la surface de la rétine, notamment dans les rétinopathies diabétiques. Elle a également été prescrite dans le cas de maladies considérées incurables, telles que la membrane épimaculaire (injustement méconnue car c'est aujourd'hui la première indication de chirurgie de la rétine) ou les trous maculaires. Elle fut rendue possible grâce à l'idée de séparer complètement le vitré de la rétine puis de

Qu'est-ce le trou maculaire ?

Le trou maculaire est une déchirure rétinienne liée au vieillissement de l'œil, mais qui peut toucher des personnes plus jeunes atteintes d'une forte myopie ou ayant subi un traumatisme. Localisé dans la partie centrale de la rétine, il se produit majoritairement à la suite d'un décollement postérieur du vitré. La vision centrale s'en trouve progressivement altérée. Si cette pathologie n'entraîne jamais une cécité complète, elle peut générer une baisse progressive de l'acuité visuelle.

remplacer le vitré. Enfin, on vit arriver des colorants permettant de mieux distinguer les tissus et ainsi d'augmenter encore la précision de la chirurgie.

Précision et sécurité accrues

Les microscopes furent perfectionnés au cours des années 2010 avec l'inclusion de certains examens, à l'instar de la tomographie par cohérence optique qui permet d'observer les différents composants de l'œil et, donc, de visualiser la forme et l'épaisseur des couches cellulaires de la rétine ainsi que la tête du nerf optique. Encore plus >>>

1969-1970

Mise au point des techniques de vitrectomie

Années
1980

Avènement des microscopes et mise au point de dispositifs avec des diamètres toujours plus petits

Années
1990

Élargissement de la vitrectomie à des pathologies toujours plus diverses

Années
2000-2010 2015

Amélioration de la précision et de la vitesse des coupes

Apparition des OCT peropératoires sur les microscopes

» récemment, la technologie 3D intégrée au microscope permet aux praticiens de voir désormais l'intérieur de l'œil en 3D (voir sur le sujet le chapitre *Microscope*).

Des améliorations sont ainsi régulièrement apportées aux machines de vitrectomie, l'un des enjeux étant la mise en place d'une technologie qui supprime toute forme de traction afin d'éviter de trouser la rétine ou de provoquer son décollement. Ainsi, les machines gèrent de manière toujours plus précise les flux entre coupe et aspiration du vitré, en maintenant une pression intraoculaire constante. « *La vitesse de coupe a été multipliée au cours des deux dernières décennies, passant de 1 000 coupes par minute à environ 15 000* », souligne le Pr Jean-François Korobelnik, chef du service d'ophtalmologie du CHU de Bordeaux. Chaque coupe est infime et limite, de fait, le phénomène de traction.

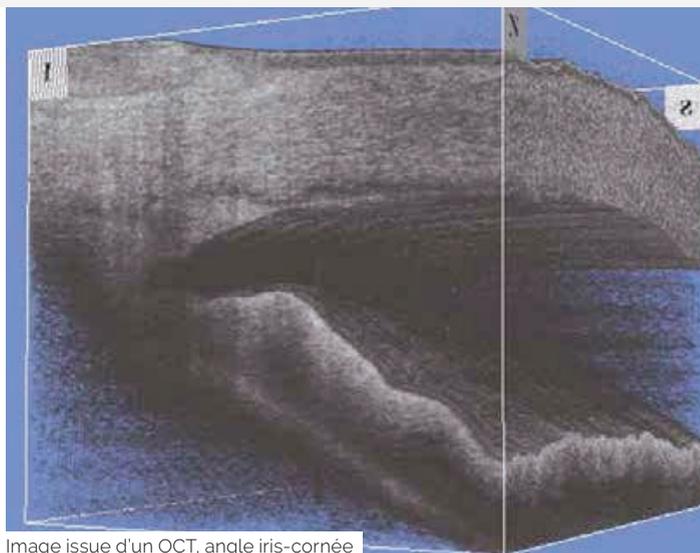


Image issue d'un OCT, angle iris-cornée



98%

Chiffre clé

C'est la teneur en eau du vitré. Les 2% restants sont des protéines.

Source: « Le vieillissement du vitré », *Réalités ophtalmiques*, Compte-rendu JIFRO, mai 2017.

PHACOÉMULSIFICATION

UNE RÉVOLUTION POUR LE TRAITEMENT DE LA CATARACTE

Si elle est l'une des plus anciennes, la chirurgie de la cataracte a longtemps été une pratique redoutée car réputée difficile. C'est l'invention de la phacoémulsification, dans les années 1960, qui a permis d'en révolutionner l'approche.



DE LA THÉORIE...

La phacoémulsification (PKE) vient du grec *phakos* qui signifie lentille ou cristallin en ophtalmologie. Le principe de cette technique est de recourir aux ultrasons pour générer une onde de choc afin de fragmenter le cristallin cataracté. «*À de très rares exceptions, la phacoémulsification est utilisée dans 100 % des chirurgies de la cataracte en France*», observe le Pr Antoine Brezin, chef du service d'ophtalmologie à l'hôpital Cochin, à Paris.

À LA PRATIQUE

Un générateur d'ultrasons, une pompe d'aspiration et un système d'irrigation composent le phacoémulsificateur. Les ultrasons détruisent le cristallin opacifié dont on retire les morceaux grâce à la pompe. Le système d'irrigation permet ensuite de conserver l'équilibre dans la gestion des fluides, une nécessité car l'opération se tient en système clos. Il s'agit d'un manche avec une pointe en titane à usage unique qui vibre et permet la destruction du cristallin. >>>



Phacoémulsificateur

»»» La fréquence des ultrasons, de 32 000 hertz, est très élevée et pourrait s'apparenter à un minuscule marteau-piqueur très rapide, effectuant 32 000 allers-retours par seconde. L'œil est irrigué par un produit spécifique dont la composition se rapproche de celle de l'humeur aqueuse, afin de préserver au mieux les fragiles cellules de l'endothélium [Ⓞ], la couche interne de la cornée. Les fragments sont extraits par aspiration au fur et à mesure de l'intervention. Un implant est ensuite introduit pour remplacer le cristallin opacifié. L'une des complications, très redoutée mais heureusement très rare, est la rupture capsulaire.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Des traces d'une chirurgie de la cataracte datant de 4 000 ans ont été retrouvées. Celle-ci consistait alors à faire basculer le cristallin opaque dans le vitré au moyen d'instruments pointus et sans anesthésie. C'est ce que l'on appelait la chirurgie de la cataracte par abaissement. Mais l'opération, dont la technique évolua peu et lentement jusqu'au XVIII^e siècle, était risquée et entraînait nombre de complications. En France, elle était alors pratiquée par les barbiers, et non par les médecins.

Il fallut attendre les travaux du chirurgien français Jacques Daviel, qui présenta en 1752 devant l'Académie royale de chirurgie une « nouvelle méthode pour guérir la cataracte par l'extraction du cristallin ». Il s'agissait d'inciser la cornée sur 180 degrés environ pour extraire le cristallin malade et, de ce fait, ne pas extraire tout le cristallin mais seulement la

partie opacifiée. Cette technique est connue sous le nom d'extraction extracapsulaire (EEC). Les divergences entre les promoteurs de l'abaissement du cristallin et ceux de son extraction persistent jusqu'au milieu du XIX^e siècle. Quelques progrès successifs permirent de faire diminuer peu à peu les risques d'infection et les complications.

Moins d'infections grâce au principe d'extraction linéaire

L'une des avancées les plus importantes est à mettre au crédit d'Albrecht von Gräfe, qui mit au point une nouvelle manière d'extraire la cataracte au XIX^e siècle. Car jusqu'ici, « l'opération devait être réalisée rapidement », notamment en raison de l'absence d'anesthésie et du concept d'asepsie, comme l'expliquent Marvin L. Kwitko et Charles D. Kelman dans « The History of modern cataract Surgery ». Elle exigeait en outre d'être réalisée à la lumière du jour et que le chirurgien utilise ses deux mains avec une égale habileté afin de maintenir la paupière inférieure.

Partageant le point de vue de nombreux chirurgiens selon lesquels plus une incision est petite moins le risque d'infection est grand, von Gräfe dessina « ce qui est généralement admis comme étant le couteau idéal » pour réaliser une incision de la cornée dans le cadre d'une cataracte. Effilé, l'outil était pointu à son extrémité et sur la face supérieure. « Il introduisit le concept de l'extraction linéaire », poursuivent Kwitko et Kelman, qui évite d'endommager l'iris ou de perdre l'humeur aqueuse.

Il y a
4 000 ans

Première chirurgie
de la cataracte

XIX^e
siècle

Friedrich von Gräfe
introduit le concept
de l'extraction linéaire

1967

Kelman met au point
le principe de la
phacoémulsification

1984

Introduction de la
phacoémulsification
en France

Années
1990-2000

Miniaturisation des incisions



Et d'ajouter : « *Cela devint le standard en matière d'extraction extracapsulaire* », avec des incisions beaucoup plus petites.

Une révolution technologique inspirée de la dentisterie

C'est à l'Américain Charles D. Kelman que l'on doit la révolution de la chirurgie de la cataracte. En 1967, il mit au point le premier phacoémulsificateur. C'est en se rendant chez son dentiste pour se faire détartrer les dents que Kelman eut l'idée d'utiliser le même dispositif qui repose sur une aiguille secouée de vibrations.

Il lui fallut mener de nombreuses expérimentations pour parvenir au succès et, grâce à cette technique d'ultrasons, réduire la taille de l'incision de 10 à 3,2 mm. Rappelons que le cristallin mesure entre 10 et 12 mm ! Néanmoins, la découverte du médecin new-yorkais ne fit pas que des adeptes dans un premier temps. En effet, celui-ci bouleversait d'un seul coup des siècles de chirurgie de la cataracte. Mais peu à peu, les avantages de >>>

812 561

Chiffre clé

C'est le nombre d'opérations du cristallin qui ont été réalisées en 2018 ; 809 334 d'entre elles visaient à corriger la cataracte (soit 99,6%).

Source : Haute Autorité de santé (HAS).

»»» cette nouvelle technologie furent reconnus: elle a notamment permis de passer, ces dernières décennies, à une chirurgie ambulatoire avec des incisions mesurant seulement 2,2 mm, voire moins, certains chirurgiens préférant même opérer en 1,8 mm afin de limiter au maximum l'astigmatisme peropératoire.

Au service de l'ambulatoire

Dans les années 2010, le laser femtoseconde a été ajouté à la phacoémulsification, ce qui a permis de réaliser automatiquement les étapes effectuées manuellement (incisions, découpe de la capsule antérieure du cristallin et pré-fragmentation du cristallin). Une évolution dont les apports sur le plan chirurgical n'ont pas été démontrés, et «*la HAS*



Phacoémulsificateur

considère que la chirurgie de la cataracte assistée par laser femtoseconde n'apporte pas d'amélioration en termes d'efficacité et de sécurité par rapport à la phacoémulsification. » (Rapport d'évaluation technologique, HAS, 2018).

L'instrumentation connaît elle aussi des évolutions. Elle est de plus en plus à usage unique, notamment pour la seconde phase d'irrigation et d'aspiration du cristallin, limitant encore les risques de contamination. La forme des aiguilles utilisées change: elles sont devenues courbées et permettent des déplacements rotationnels et ellipsoïdes. «*Aujourd'hui, près de 100% des chirurgies de la cataracte sont réalisées en ambulatoire, sauf en cas de pathologie interférente comme des troubles psychiatriques, par exemple*», constate le Pr Brezin. La chirurgie de la cataracte est ainsi le premier modèle de chirurgie ambulatoire avec la chirurgie de la main, une intervention qui a pu se répandre grâce à la phacoémulsification; ce qui en fait également l'une des plus sûres.

Cette chirurgie n'a cessé de s'améliorer. La prochaine étape pourrait être celle de la chirurgie robot-assistée de la cataracte. Elle est pour l'instant limitée à la recherche. Plusieurs robots ont été mis au point, mais ces machines, dotées de capteurs et d'intelligence artificielle, doivent encore faire la preuve de leur valeur ajoutée: gain de temps, de précision, de sécurité... «*Il y a encore du chemin à parcourir avant de voir une opération de la cataracte totalement automatisée*, souligne le Pr Brezin. *Mais nul doute que les robots feront, un jour, leur entrée dans nos salles de travail.* »

FOCUS PATHOLOGIE

Qu'est-ce que la cataracte ?

La cataracte est une opacification progressive du cristallin. Cette lentille située derrière la pupille participe à la focalisation des rayons lumineux sur la rétine et à l'accommodation. Son opacification partielle ou totale entraîne une altération de la vision et impacte le quotidien du patient. Si cette pathologie est le plus souvent liée à l'âge, elle peut également survenir à la suite d'un traumatisme oculaire, d'un diabète, d'une consommation excessive de tabac ou encore de certaines pathologies métaboliques ou génétiques. Dans ce cas, elle est alors souvent plus précoce. À noter que la cataracte peut être congénitale chez l'enfant.

Sources: HAS, Société de l'Association française des implants et de la chirurgie, Inserm.

IMPLANTS

L'ALTERNATIVE AU CRISTALLIN DANS LA CHIRURGIE DE LA CATARACTE

Incontournables dans la chirurgie de la cataracte, les implants peuvent également corriger tous les défauts optiques comme l'astigmatisme, la myopie et l'hypermétropie, et même compenser la presbytie.

Les évolutions dont ils ont bénéficié leur permettent de s'adapter désormais aux besoins de chaque patient.



Injection d'un implant intraoculaire

DE LA THÉORIE...

Les implants intraoculaires sont utilisés dans le cadre d'une chirurgie de la cataracte. Cette pathologie de l'œil correspond à une opacification du cristallin, la lentille qui intervient dans la mise au point de l'image sur la rétine. L'implant est donc destiné à remplacer le cristallin opacifié. La majorité des cas de cataracte est due à la dégénérescence du cristallin qui devient de moins en moins transparent avec le vieillissement. Ce phénomène

physiologique ne peut se résorber que par un acte de chirurgie. Le rôle de l'implant est de restaurer les propriétés réfractives du cristallin. Il peut aussi corriger la plupart des anomalies réfractives pré-existantes (comme la myopie, l'hypermétropie, l'astigmatisme et la presbytie).

À LA PRATIQUE

L'implant prend la forme d'une sorte de lentille de contact que l'on positionne à l'intérieur de l'œil. >>>

» Il est composé de deux parties. La partie active – ou optique – est ronde et mesure environ 6 mm de diamètre. C'est elle qui vient remplacer le cristallin. Les haptiques[®], sortes d'anses qui maintiennent le centrage de l'implant dans l'œil, composent l'autre partie. Au total, les implants mesurent entre 11 et 13 mm. L'intervention consiste à ouvrir la capsule antérieure du cristallin, avant de l'émulsifier puis d'installer l'implant dans la capsule cristallienne alors vidée de son contenu.



Implant hydrophobe de profondeur de champ réfractif

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

La chirurgie de la cataracte, qui consiste à enlever le cristallin, existe depuis l'Antiquité, mais c'est au XVII^e siècle qu'un premier progrès notable eut lieu avec la mise au point d'une technique semi-moderne. En l'absence de solution technique performante, le seul moyen de compenser la perte du cristallin fut pendant longtemps le port d'épais verres de lunettes... Et c'est au hasard que l'on doit la découverte de ladite solution.

Durant la Seconde Guerre mondiale, l'ophtalmologiste britannique Harold Ridley était en charge des pilotes de la Royal Air Force. Il observa que des éclats de plastique acrylique provenant du cockpit s'étaient logés dans les yeux de l'un d'entre eux, sans que cela ne provoque de rejet inflammatoire. C'est ainsi qu'il eut l'idée de fabriquer un dispositif intra-oculaire utilisant le même matériau, qu'il implanta pour la première fois en 1950.

Si l'idée était là, il restait donc à la développer, tout comme la technique chirurgicale dont découle directement le succès du dispositif, puisqu'il s'agit de retirer la cataracte tout en conservant la capsule dans la chambre postérieure. Si bien que, durant 30 ans, les choses bougèrent peu.

Réduire les complications et gagner en précision

La décennie 1980 fut décisive pour la chirurgie de la cataracte grâce à l'invention de la phacoémulsification et l'utilisation des ultrasons. Ces avancées



Implant diffractif

permirent d'opérer grâce à une incision de 2 mm, là où l'œil était auparavant ouvert sur 180 degrés. Les industriels travaillèrent donc sur des matériaux plus souples. Les implants en silicone apparurent ainsi à partir de 1984, suivis des matériaux hydrophiles biocompatibles et très souples.

Mais demeurait encore la principale complication post-chirurgicale de la cataracte, à savoir l'opacification de la capsule postérieure (OCP). En effet, selon le type d'implant (matériau, design), la chirurgie (recouvrement de la périphérie de l'implant par la capsule antérieure) et le patient lui-même (traitements associés, âge, etc.), une sorte de voile peut se développer sur la capsule postérieure, ce qui nécessite un traitement au laser.

Chirurgiens et industriels œuvrèrent donc à la diminution de cette OCP. C'est ainsi que furent mis au point les premiers implants acryliques hydrophobes, qui génèrent beaucoup moins d'OCP. Ce matériau demeure le plus utilisé aujourd'hui.

1940-1941

Découverte de la capacité de tolérance du polyméthacrylate de méthyle (PMMA)

Années
1950

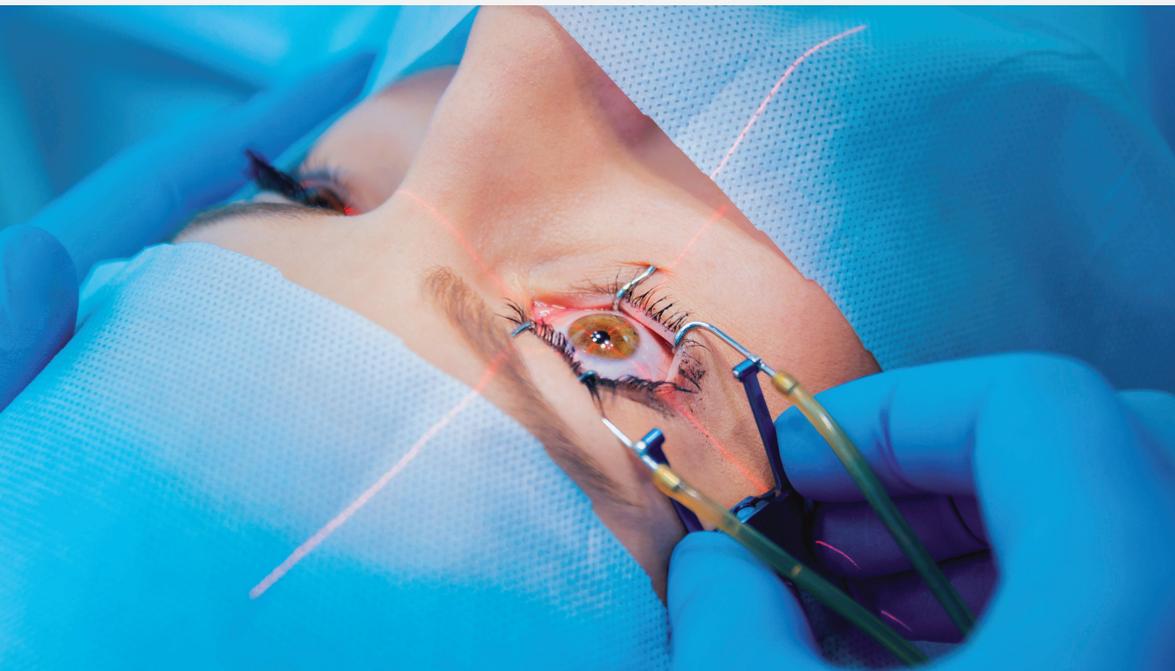
Premières chirurgies de la cataracte avec pose d'un implant

Années
2000

Intégration de filtres dans l'implant pour filtrer la lumière bleue

Années
2000-2010

Implants multifocaux et toriques, et généralisation des incisions de 2 à 2,2 mm



15 à 30

Chiffre clé

C'est, en minutes, la durée habituelle d'une chirurgie de la cataracte.

Source: « Le traitement de la cataracte », Ameli.fr.

De même, les progrès réalisés sur la taille de l'incision permirent de ne plus faire de suture. Toutes ces avancées diminuèrent non seulement le risque d'infection, mais elles autorisèrent également une récupération visuelle meilleure et plus rapide. Par ailleurs, les mesures préopératoires réalisées avec des biomètres optiques, l'OCT ainsi que des formules mathématiques de plus en plus précises, permirent à chaque patient de bénéficier d'un implant parfaitement calculé selon la puissance de son œil et son besoin de correction réfractive.

Des capacités toujours plus vastes

Concernant l'implant lui-même, il connut ces dernières décennies de nombreuses évolutions. Il est généralement désormais à bords carrés, ce qui permet d'avoir une meilleure adhésion et aide à prévenir la migration cellulaire de la partie antérieure vers la partie postérieure de l'implant. En outre, les matériaux des implants cumulent des capacités à la fois optiques et réfractives. >>>

»»» Au cours des années 2000, on assista également à l'émergence d'un design d'implant monobloc, puis à l'intégration de pigments qui, absorbant la lumière bleue, se rapprochent des propriétés du cristallin, lequel jaunit au fil des années pour filtrer la lumière bleue nocive. Désormais, l'implant filtre partiellement la lumière bleue, une fonction qui vient s'ajouter au filtre UV. Enfin, les années 2010 virent l'arrivée d'implants livrés dans une cartouche d'injection, avec un injecteur à usage unique. Le pré-chargement de l'implant supprime l'étape de manipulation de la lentille intraoculaire par le chirurgien et limite de fait les risques de contamination.

Une diversité de dispositifs

Depuis une dizaine d'années apparaissent des implants toriques et multifocaux à profondeur de champ. Les premiers permettent de corriger les anomalies de courbure de la cornée responsables de distorsions de l'image rétinienne à toutes les distances (patients astigmatiques). Ils nécessitent une pose particulière, selon un axe bien précis qui détermine l'efficacité et la puissance de l'action de ce dispositif. Cette exigence technique, notamment en préopératoire, peut représenter aujourd'hui encore un certain frein à leur développement. De même, des implants multifocaux

à profondeur de champ et des multifocaux toriques sont développés. Contrairement aux implants monofocaux (qui permettent une mise au point prédéterminée à toutes les distances), ces implants offrent une correction optique stable dans le temps et corrigent aussi la plupart des défauts visuels associés. Ils évitent dans l'immense majorité des cas le port de verres. Les implants multifocaux toriques permettent, pour leur part, de corriger l'astigmatisme et la presbytie.

Le développement de cette grande variété d'implants rend désormais possible l'adaptation et la personnalisation des implants pour chaque patient, en fonction de ses activités et de ses désirs.

Les principaux implants

- **L'implant monofocal** compense la forte hypermétropie induite par la réduction du pouvoir optique liée au retrait du cristallin. Il permet une mise au point à une distance prédéterminée. Il peut également corriger la myopie.
- **L'implant multifocal** peut être utilisé pour corriger différentes distances de vision. Les « bi-focaux » permettent une vision de loin et de près; les trifocaux, une vision intermédiaire. Ils peuvent être réfractifs ou diffractifs.
- **L'implant torique** permet de corriger l'astigmatisme de la cornée, soit une anomalie de la courbure responsable des distorsions de l'image rétinienne, et ce à toutes les distances.

- **L'implant à profondeur de champ étendue** est un implant multifocal spécifique qui corrige la vision de loin, intermédiaire. Il tend à diminuer certains effets secondaires (phénomènes de halo) habituellement liés aux implants multifocaux.

- **L'implants à optique interchangeable** permet la mise en place d'une haptique fixée dans le sac capsulaire, sur laquelle peut se clipper une optique interchangeable. Cette idée répond à la problématique des patients implantés à un âge relativement jeune (vers 60 ans) avec un implant multifocal et qui sont susceptibles de développer par la suite une pathologie maculaire ou du nerf optique nécessitant un changement d'optique.

Source : Société française d'ophtalmologie (SFO).

GREFFE DE CORNÉE

EXPLORER L'ŒIL POUR MIEUX LE SOIGNER

Ultime recours en cas de grave anomalie de la cornée pouvant conduire à la cécité, la greffe de cornée est devenue aujourd'hui la greffe la plus répandue en France.



Instrumentation pour greffe de cornée

DE LA THÉORIE...

La greffe de cornée intervient pour corriger « une anomalie de la cornée à l'origine de [...] troubles visuels », explique la Société française d'ophtalmologie (SFO). La cornée peut être altérée par de nombreuses pathologies : anomalie de développement, dystrophie héréditaire, opacité, œdème, traumatisme ou encore anomalie d'épaisseur – dont le kératocône qui représente environ un tiers des greffes de cornée selon l'association Kératocône.

Le but de la greffe de cornée est « de restituer la transparence et favoriser la transmission de la lumière dans de bonnes conditions. La vision sera alors améliorée si les autres structures oculaires le permettent », explique la SFO.

À LA PRATIQUE

Il existe trois types de greffe de cornée. Chacune, préconisée pour des cas spécifiques, nécessite une instrumentation adaptée.

- La kératoplastie transfixiante : préconisée lorsque la pathologie touche à la fois l'endothélium et le stroma, elle consiste à remplacer la cornée sur toute son épaisseur, et sur un diamètre de 7 à 9 mm. Dans le cadre de cette intervention, le matériel permet la trépanation des cornées du donneur et du receveur. Divers instruments sont requis, parmi lesquels le trépan (cylindre au bord coupant qui permet de réaliser la découpe), parfois un anneau de support dit de Flieringa, un blépharostat pour maintenir les paupières écartées ou encore un punch  facilitant la préparation du greffon. >>>

Quelle est la composition de la cornée ?

La cornée est la membrane transparente enchâssée tel un hublot à l'avant de l'œil. Plus précisément, c'est « *le segment antérieur de la tunique fibreuse de l'œil. Grâce à sa forme arrondie et régulière, et à sa transparence, il joue le rôle d'une lentille convergente et constitue la partie essentielle de l'appareil dioptrique oculaire chez les animaux vivant dans l'air* » (Dictionnaire médical de l'Académie de médecine). D'avant en arrière, la cornée est composée de l'épithélium, de la membrane de Bowman, du stroma, de la membrane de Descemet et de l'endothélium. Outre son rôle de transmetteur de la lumière et de focalisation des images grâce à son pouvoir dioptrique, la cornée protège les tissus intraoculaires.

»»» - La greffe lamellaire antérieure : cette intervention consiste à remplacer uniquement la partie antérieure de la cornée, c'est-à-dire le stroma. Suivant les cas, il est possible de remplacer uniquement une lamelle de stroma ou sa totalité jusqu'à la membrane de Descemet. Cette greffe est la plus utilisée aujourd'hui dans les pathologies stromales, en particulier le kératocône car elle offre de meilleurs résultats visuels. Si l'intervention consiste à n'enlever qu'une partie du stroma (greffe lamellaire antérieure non profonde), il est nécessaire de disposer d'un microkératome, sorte de rabot miniaturisé qui permet de prélever une très fine couche de cornée.

- La greffe lamellaire postérieure : aussi appelée greffe endothéliale, elle a pour but de retirer l'endothélium lésé. Suivant le type de greffe lamellaire postérieure choisi, il est parfois nécessaire de disposer d'un microkératome et d'un punch spécifique alors que certaines situations n'exigent que très peu d'instrumentation. Dans le cadre de cette opération, le greffon est introduit dans la chambre antérieure de l'œil, dans laquelle on injecte ensuite une bulle d'air pour plaquer le greffon au stroma résiduel. D'une manière générale, l'hospitalisation pour une greffe de cornée est très courte (le plus souvent d'un à deux jours).

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Dès l'Antiquité, l'opacification de la cornée a attiré l'attention des scientifiques, dont celle du Grec Galien qui étudia la structure de l'œil et publia un

recueil sur les maladies oculaires. Il fallut cependant attendre 1789 pour qu'un ophtalmologiste français, Guillaume Pellier de Quengsy, propose la première kératoprothèse. Peu de temps après, en 1797, Erasmus Darwin (le grand-père du bien connu Charles) s'intéressa lui aussi au traitement chirurgical des opacités de la cornée et élaborait le concept de trépanation de la cornée.

« *Après les grandes ulcérations de la cornée, l'inégalité et l'opacité de la cicatrice empêchent la vision. Nous demandons si, dans ce cas, on ne pourrait pas exciser un petit morceau de la cornée au moyen d'une espèce de petit trépan [...]. et si cette ouverture ne se fermerait pas d'une petite cicatrice transparente. Cette proposition mérite d'être essayée et pourrait être mise à exécution le plus aisément au moyen d'un fil creux d'acier muni d'un bord tranchant à travers lequel une vis pointue serait introduite. Il faudrait que la vis perçât la cornée opaque pour la fixer et la presser contre le bord tranchant du fil creux ou cylindre. Si la plaie se cicatrisait sans que la transparence se perdît, on pourrait redonner le jour à quelques aveugles par cette opération facile et non douloureuse. C'est une expérience que je recommande aux chirurgiens habiles et aux oculistes.* » (D'après « Zoonomie », par Erasmus Darwin, cité par le D^r Florent Cunier dans le volume 10 des *Annales d'oculistique*, 1843).

Les décennies suivantes virent de nombreuses tentatives de greffe, notamment en utilisant des cornées d'origine animale, pour la plupart infructueuses. Si c'est au chirurgien britannique William Bowman que l'on doit véritablement l'entrée du

1789

Première kératoprothèse

1905

Première kératoplastie transfixiante couronnée de succès

Années

2010

Développement de techniques pour préparer des greffons lamellaires plus précis

trépan dans l'arsenal thérapeutique oculaire (1869), ce sont Louis de Wecker puis Arthur von Hippel qui en améliorèrent la technique afin de réaliser des greffes lamellaires grâce à une découpe régulière des cornées du donneur et du receveur. D'ailleurs, chacun donna successivement son nom à un modèle de cet instrument.

La confirmation du miracle de la vue rendue

Comme pour beaucoup d'autres spécialités médicales, ce sont les progrès réalisés en matière d'anesthésie et d'asepsie, entre la fin du XIX^e siècle et la première moitié du XX^e siècle, qui permirent des avancées significatives en ophtalmologie, notamment en chirurgie de la cornée.

Au début du XX^e siècle, la preuve fut apportée que les meilleurs greffons pour la chirurgie de la cornée étaient ceux d'origine humaine, reléguant les cornées animales aux oubliettes, du moins pour un temps. C'est à l'Autrichien Eduard Zirm que l'on doit la première kératoplastie transfixiante couronnée de succès, comme le souligne l'Office fédéral suisse de la santé publique (OFSP) : en 1905, il « a réalisé une greffe de cornée sur un ouvrier rendu aveugle lors d'un accident avec de la chaux vive en utilisant la cornée d'un enfant décédé de 11 ans. Même après guérison, la cornée ne s'est pas opacifiée. Quelques heures après l'opération, le patient avait retrouvé la vue et l'a conservée jusqu'à la fin de ses jours ». Et à l'organisme de préciser que « la méthode chirurgicale développée par »



9 214

Chiffre clé

C'est le nombre de cornées réceptionnées par les banques des établissements préleveurs. Elles en ont distribué 4 466 aux équipes de greffe en France et 70 à l'étranger.

Source : Bilan d'activité de l'Agence de la biomédecine, 2020.

»» Zirm est aujourd'hui encore à la base du traitement des lésions de la cornée ».

Les années 1960 furent le théâtre d'une nouvelle révolution avec la mise au point du principe de l'ostéo-odonto-kératoprothèse[®] par un chirurgien italien, Benedetto Strampelli. Celle-ci consiste à fabriquer un support biologique pour une cornée

artificielle à partir d'une dent et de son parodonte[®]. C'est aussi dans la deuxième moitié du XX^e siècle que se constituèrent les premières banques de cornée, condition *sine qua non* à l'essor de cette technique (aux États-Unis et en France dans les années 1940, puis en Grande-Bretagne dans les années 1960, etc.).

Miniaturisation et greffes lamellaires

Entre 1975 et 1980, d'importants progrès furent réalisés sur les microscopes opératoires, qui évitaient désormais aux chirurgiens d'opérer avec des lunettes loupes. Ils permettaient également de découper avec beaucoup plus de précision et de réaliser des sutures de greffe. Puis, entre le milieu et la fin des années 1990, le microkératome permit de gagner encore en précision et en miniaturisation.

Les années 2000 signèrent également un tournant révolutionnaire dans l'histoire de la greffe de cornée. Auparavant, la pratique de la greffe totale était extrêmement répandue. Or, il se peut que la pathologie ne touche que la partie antérieure de la cornée (stroma) ou la couche postérieure (endothélium). Il n'est ainsi plus nécessaire de remplacer toute l'épaisseur de la cornée depuis le développement important des greffes dites lamellaires. Depuis 2000, l'approche a ainsi changé et il arrive de plus en plus souvent que l'œil soit laissé intègre et que l'on ne touche que certaines couches de la cornée. Ces années marquent l'avènement des greffes partielles ou lamellaires: l'instrumentation elle-même l'aurait permis auparavant et on aurait pu développer cette pratique dès 1985.

Cependant, dans le cas de la greffe de cornée, ce n'est pas la mise au point d'un nouveau dispositif mais le changement de la conception physiopathologique et de l'analyse anatomique de l'œil



Microkératome avec tête et chambre pour préparation de greffe endothéliale



Punch pour préparation de greffe transfixiante

qui fut déterminant. En d'autres termes, pour cette fois, le concept a précédé l'outil!

Moins de rejet pour toujours plus de qualité optique

Pour autant, l'innovation en matière de greffe de cornée évolue en permanence afin de gagner encore en qualité optique. Celle du greffon est extrêmement importante pour diminuer le risque de rejet. Des recherches ont porté sur le développement des techniques permettant de préparer les greffons lamellaires avec plus de précision et

de rapidité tout en protégeant au maximum leur qualité cellulaire. Cela peut passer par la mise au point de lasers permettant la découpe, de micro-kératomes de dernière génération, parfois de techniques chirurgicales simples, ou encore par la mise à disposition de systèmes d'injection améliorés. Des équipes travaillent également sur la possibilité d'obtenir des greffons à partir de cultures cellulaires, ce qui permettrait de ne pas avoir recours à autant de donateurs.

Certains travaux ont aussi évoqué la possibilité de régénérer la cornée et son endothélium sans passer par une greffe, simplement en injectant une protéine dans la chambre antérieure de l'œil. Enfin, si l'allogreffe  de cornée est aujourd'hui acquise dans certains pays, il n'en est pas de même partout, tant pour des raisons religieuses que culturelles (comme l'interdiction de prélever des tissus sur un défunt, par exemple). De même, certaines sociétés refusent le recours à des tissus animaux. De quoi ouvrir une nouvelle piste d'innovation: celle des cornées synthétiques.

Plusieurs équipes à travers le monde y travaillent: « *On se tourne actuellement vers des cornées synthétiques qui ont une optique entre 7 et 8 mm de diamètre, une épaisseur entre 560 μ au centre et 590 μ en périphérie, et qui ont une structure artificielle hybride*, explique le Syndicat national des ophtalmologistes de France (SNOF). *On utilise des matériaux poreux qui sont colonisables par les cellules du receveur [...]. La prochaine étape est d'obtenir des prothèses épithélialisables qui donneront une plus grande stabilité à ces prothèses.* »

FOCUS PATHOLOGIE

Qu'est-ce que le kératocône ?

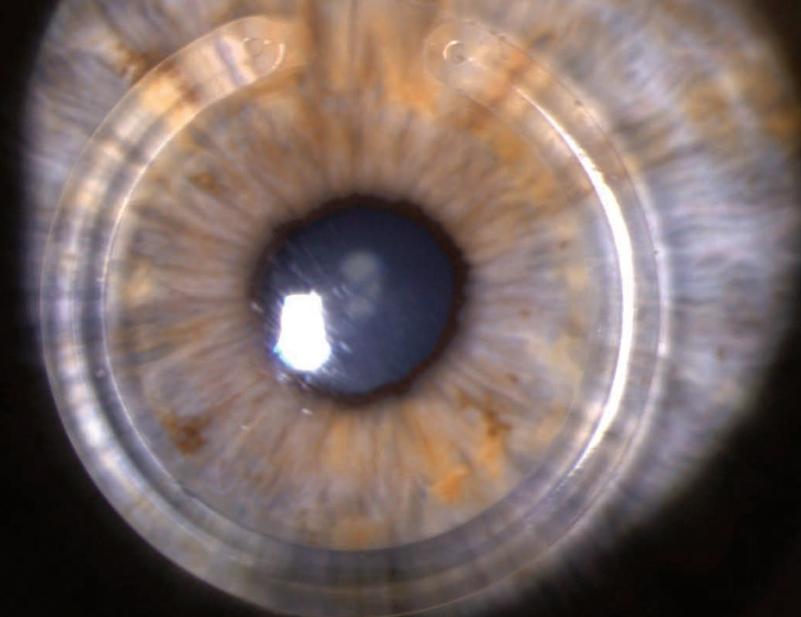
Le kératocône est une maladie relativement rare, responsable d'une déformation conique qui bouleverse localement l'architecture de la cornée. Celle-ci est progressive et intervient dans la grande enfance et l'adolescence pour se stabiliser vers 25 ans dans la majorité des cas. La cornée ainsi déformée perturbe le trajet de la lumière et dégrade la qualité de l'image restituée au niveau de la rétine. Ceci entraîne une baisse de vision parfois bilatérale et sévère.

Les causes de la maladie sont multifactorielles: familiale, comportementale (frottements oculaires), mécanique, irritative, etc. Différentes stratégies existent pour améliorer la vision de ces patients. La lentille de contact rigide est la technologie la plus efficace et la moins invasive. L'alternative est chirurgicale, impliquant les anneaux intracornéens, les lasers et, en première ligne, le *corneal collagen cross-linking* (CXL). La greffe de cornée n'est prescrite qu'en tout dernier recours.

ANNEAUX INTRA-CORNÉENS

AU SERVICE DE LA CORNÉE

À l'origine préconisés dans le traitement de la myopie, les anneaux intra-cornéens sont aujourd'hui utilisés pour traiter certains kératocônes modérés, lorsque les corrections optiques sont insuffisantes et pour éviter une greffe de cornée.



DE LA THÉORIE...

Les anneaux intra-cornéens interviennent dans le traitement de certains kératocônes. La solution des segments d'anneaux intra-cornéens est peu invasive et réversible.

L'efficacité des anneaux intra-cornéens repose sur le principe de l'inflexion de courbure de la cornée chez des patients présentant une cornée encore relativement épaisse et claire. Leur implantation en moyenne périphérie, centrée sur la pupille, permet une déformation relativement prédictible de la cornée. Celle-ci est utilisée intelligemment pour rétablir l'excès d'asymétrie et de cambrure que présente la surface cornéenne affectée par le kératocône. Ils sont en polyméthacrylate de méthyle (PMMA), plus connu sous le nom commercial de plexiglas.

À LA PRATIQUE

Le choix de l'anneau (ou plutôt du segment d'anneau) que l'on implante dépend de certains paramètres de la cornée qui vont dicter le choix de la stratégie chirurgicale à adopter. En effet, les anneaux ont des épaisseurs, des diamètres de zone optique et des longueurs différentes selon l'importance de la déformation cornéenne. À noter que l'on peut implanter les anneaux de façon symétrique ou asymétrique.

Après l'implantation, le patient devra néanmoins le plus souvent porter des lunettes, mais celles-ci seront moins fortes et plus efficaces qu'antérieurement. L'objectif de l'anneau est de réduire les aberrations optiques peu accessibles aux lunettes, en alternative aux lentilles.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

« La première expérimentation des anneaux date des années 1980, explique le Pr David Touboul, du CHU de Bordeaux. Le Pr Joseph Colin fut le premier à proposer leur usage pour soigner le kératocône alors que leur application pour la myopie était détrônée par l'arrivée du laser excimer. »

L'implantation de l'anneau doit se faire dans un tunnel construit à environ 75-80% de l'épaisseur cornéenne. « Ces découpes sont assistées par un bistouri laser de type femtoseconde, qui permet d'être extrêmement précis et rapide. Le tunnel cornéen est ainsi ouvert en quelques secondes et il n'y a plus qu'à positionner le ou les segments d'anneau dans la cornée, résume le Pr Touboul. Les anneaux

Années
1980

Première expérimentation d'anneaux intra-cornéens

Années
2000

Apparition d'une nouvelle génération d'anneaux intra-cornéens

Années
2015-2020

Début de la personnalisation des anneaux intra-cornéens

Chiffre clé

80%

C'est le pourcentage de cas dans lesquels une amélioration de l'acuité visuelle est constatée après la pose d'un anneau intra-cornéen.

Source: Pr David Touboul, CHU de Bordeaux.

redistribuent les contraintes mécaniques et entraînent une amélioration progressive de la forme de la cornée.»

À noter également que les segments d'anneaux ont très rarement besoin d'être changés, d'autant plus que leur matériau est biocompatible et qu'il n'y a donc pas de rejet. Cependant, certaines cornées ne se laissent pas très bien corriger. C'est pourquoi, aujourd'hui encore, on implante les anneaux sur des kératocônes de sévérité modérée. Dans les formes les plus sévères où il y a peu de place pour leur insertion, il faut recourir à la greffe (voir sur le sujet le chapitre Greffe de cornée).

Vers une personnalisation des anneaux

Dans les années 2000 apparurent de nouveaux implants mesurant 6 mm de zone optique, avec une section de coupe ovale et des anneaux de 5 mm de zone optique avec une section triangulaire. Ils permettent de se rapprocher du centre du kératocône et donc de gagner en efficacité. Plus encore, les améliorations enregistrées ces dernières années ont permis de personnaliser les

anneaux et de gagner en adaptabilité par rapport à la cornée à traiter. S'il existe quelques complications (comme une infection de surface, une implantation non optimale, une extrusion, une baisse de la vision...), celles-ci restent rares. « Dans 80% des cas, on constate une amélioration de l'acuité visuelle ou, a minima, de la qualité de vision, confirme le Pr Touboul. En vision nocturne, la lumière peut toutefois traverser l'anneau et entraîner ainsi des halos visibles autour de sources lumineuses. La neuroadaptation améliore cependant physiologiquement la tolérance en quelque temps. »

Pour optimiser les résultats obtenus, les anneaux peuvent être couplés à d'autres chirurgies, notamment le corneal collagen cross-linking, les implants intraoculaires ou le laser. Cependant, il reste à l'heure actuelle encore quelques améliorations à apporter. Le Pr David Touboul précise: « Il faudrait des outils intelligents pour nous aider à mieux prédire la réaction biomécanique de la cornée, ou encore travailler sur la géométrie des anneaux pour essayer d'adapter le plus possible les anneaux à la déformation cornéenne de chaque patient; des anneaux biologiques sont également en cours d'évaluation. »

CROSS-LINKING

UNE RÉVOLUTION POUR UNE PATHOLOGIE RARE

Les années 2000 ont vu l'émergence du *cross-linking*, une technique révolutionnaire pour traiter la déformation de la cornée qu'est le kératocône.



Machine de *cross-linking*

DE LA THÉORIE...

Le *cross-linking* (CXL) du collagène cornéen est une technique qui intervient principalement dans le traitement du kératocône, une maladie rare liée à une biomécanique cornéenne anormalement faible. Associé à d'autres procédures chirurgicales, et si la pathologie n'est pas prise en charge à un stade trop avancé, le CXL permet d'envisager la stabilisation biomécanique de la cornée et une redéfinition de sa forme par des procédures associées en vue d'une amélioration de la vision.

Par exemple, si l'épaisseur de la cornée est satisfaisante, le CXL peut être accompagné de la pose d'anneaux intra-cornéens grâce à l'utilisation du laser femtoseconde. Pour certains patients, une retouche par laser excimer, visant à régulariser la surface cornéenne, est aussi associable en fonction d'un certain nombre de critères d'éligibilité. Cette stratégie de cornéoplastie mini-invasive séquentielle permet, dans certains cas, d'éviter une greffe de cornée chez les patients jeunes pour lesquels le port de lentilles rigides n'est pas ou plus possible.

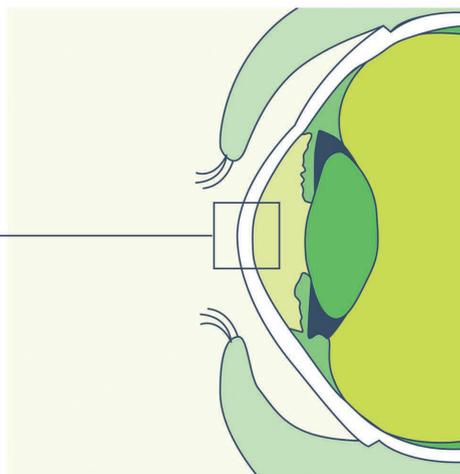
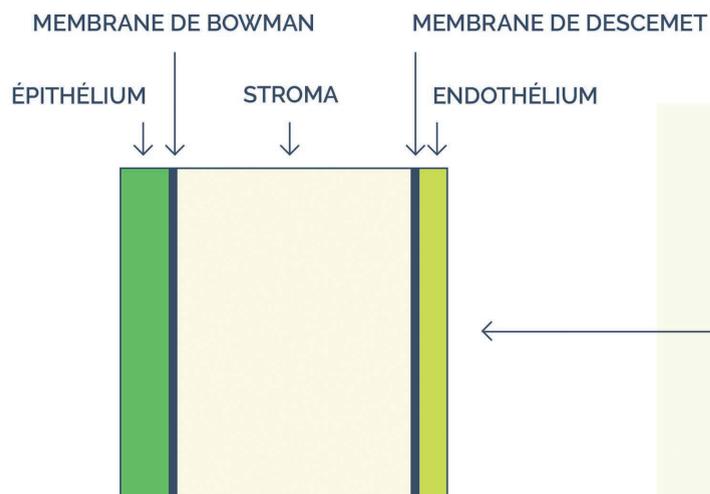
À LA PRATIQUE

Après avoir retiré l'épithélium de la cornée (soit sa couche de surface), il faut photoréticuler son collagène pour la rendre plus résistante et moins déformable. Le but du traitement est de rigidifier la cornée en créant des ponts chimiques entre les fibrilles de collagène grâce à l'action polymérisante de la photothérapie. Ainsi, on a recours à la vitamine naturelle B2 qu'est la riboflavine en raison de ses propriétés photoprotectrices.

La riboflavine est instillée à la surface de la cornée kératocônique, avant qu'une séance d'ultraviolets

longs (UVA) soit appliquée sur la cornée pendant plusieurs minutes. À la suite d'une exposition à une certaine longueur d'onde, des pontages moléculaires se créent entre les fibrilles de collagène et leur environnement, c'est-à-dire la matrice extracellulaire. Le *cross-linking* produit une réaction chimique qui va éviter ou limiter le processus de déformation de la cornée atteinte de kératocône et empêcher la détérioration de la qualité de vision chez le patient.

Cette procédure de CXL est toujours associée à l'arrêt des frottements des yeux, qui est un facteur aggravant du kératocône.



UNE HISTOIRE D'INNOVATION

La technique du *cross-linking* a été mise au point à la fin des années 1990 par le Zurichois Theo Seiler, qui constata que son dentiste utilisait les UV pour polymériser les composants dentaires. Il eut l'idée de transposer cette technique pour polymériser les cornées pas assez dures, comme en cas de kératocône. La preuve de concept date de 1998, avec les travaux de Spoerl et Seiler qui permirent de montrer que des cornées de porc préalablement traitées par la riboflavine, puis exposées à une irradiation ultraviolette, gagnaient en rigidité et en résistance à l'étirement par rapport à des cornées non traitées.

L'année 2003 marqua ensuite un tournant avec la première publication de résultats cliniques par Wollensak, Spoerl et Seiler, qui démontrèrent que la maladie cessait d'évoluer et, mieux encore, que la cornée finissait par s'aplanir légèrement, évitant dans certains cas la greffe de cornée. La procédure a été ensuite largement diffusée en Europe, et à partir de 2006 en France, particulièrement par les centres référents dans la prise en charge du kératocône. L'autorité de santé américaine a autorisé le CXL aux États-Unis à partir de 2016.

Une technique jeune qui évolue

Depuis, parallèlement au développement des machines, c'est le protocole de traitement qui a évolué, comme l'explique le Pr Pierre Fournié >>>

CROSS-LINKING

» du CHU de Toulouse: «Il y a eu des variations concernant la durée d'imprégnation: le protocole conventionnel prévoit une imprégnation de la riboflavine pendant trente minutes puis une exposition de trente minutes, soit une heure de traitement. La plupart des protocoles actuels utilisent la même dose de vitamine, mais dans le cadre d'un processus accéléré. Le protocole le plus serré restreint le temps d'imprégnation à dix minutes et le temps d'irradiation à trois minutes avec une irradiance multipliée par dix! Les machines ont donc évolué pour prendre en compte cette accélération du CXL.»

Parallèlement, des recherches ont été menées pour tenter d'éviter d'enlever l'épithélium, un geste qui reste douloureux en postopératoire. Si cette alternative est moins douloureuse, la rigidification est cependant un peu moins profonde. En 2013, dans ce contexte, est apparu un dispositif utilisant un courant très basse tension pour faire pénétrer la solution dans la cornée (iontophorèse).

Aujourd'hui, si la technique semble mature malgré son jeune âge, on recherche toujours son optimisation, notamment par le biais de l'imagerie (CXL guidé par topographie cornéenne), ou l'adjonction d'oxygène pour favoriser la réaction de photopolymérisation. Ainsi, les perspectives sont encore nombreuses pour optimiser les techniques afin d'élaborer les meilleurs produits réticulants et de parvenir à l'optimisation de leur répartition. Il s'agit de trouver la technique la moins douloureuse et la plus efficace.

Années
1990

Mise au point de la technique du cross-linking (CXL)

À partir de
2006

Développement du CXL en France

2016

La FDA autorise le CXL aux États-Unis



1/2000

Chiffre clé

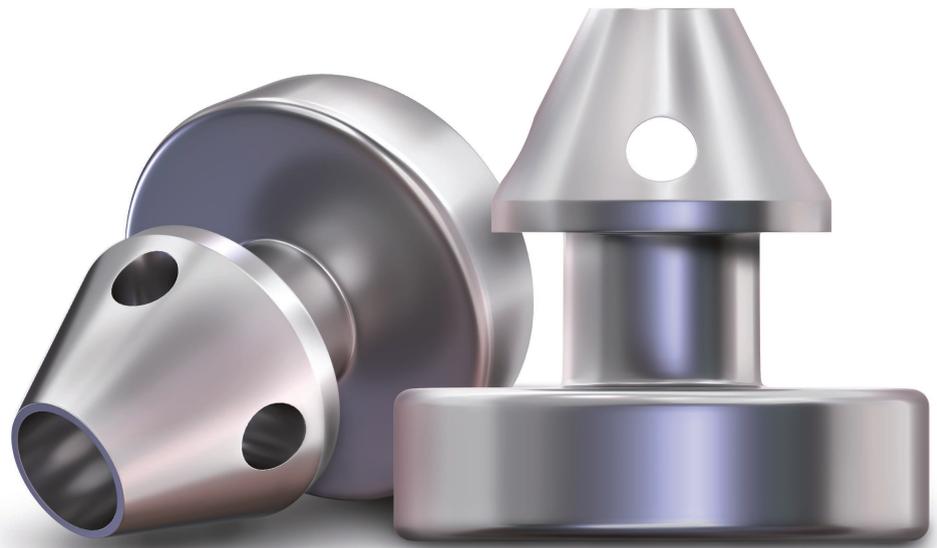
C'est, en nombre d'habitants, l'équivalent du nombre de nouveaux cas de kératocône diagnostiqués chaque année.

Source: CHU de Bordeaux.

DISPOSITIFS DE DRAINAGE

DES DISPOSITIFS POUR ÉVACUER L'HUMEUR AQUEUSE

La pose d'un implant de drainage peut être recommandée dans certains cas de glaucome afin d'abaisser la pression intraoculaire. Le développement récent de dispositifs innovants permet désormais de prendre en charge le glaucome à différents stades de la maladie.



Microstent de pontage trabéculaire

DE LA THÉORIE...

Le but du traitement du glaucome est de limiter une pression intraoculaire (PIO) anormalement élevée, unique facteur de risque sur lequel il est aujourd'hui possible d'agir. Cela peut se faire par un geste chirurgical traditionnel de chirurgie filtrante (trabéculéctomie, sclérectomie) ou par la pose d'un implant de drainage, lequel facilite l'évacuation – avec ou sans la formation d'une bulle de filtration – de l'humeur aqueuse. Filtré et renouvelé en permanence, ce liquide biologique, présent dans la chambre antérieure, œuvre au maintien de la PIO.

À LA PRATIQUE

L'élévation de la pression intraoculaire peut être liée notamment au dysfonctionnement du filtre

(trabéculum) permettant l'évacuation de l'humeur aqueuse. Pour favoriser son drainage, il est nécessaire d'aider la filtration de ce liquide intraoculaire. Plusieurs options de traitement sont envisageables selon le stade de la maladie.

Après les chirurgies filtrantes traditionnelles (telles que la trabéculéctomie, la sclérectomie) préconisées dans les cas de glaucome réfractaire, les chirurgies micro-invasives du glaucome, ou MIGS (*Minimally Invasive Glaucoma Surgery*), se sont largement développées au cours des dernières années, selon des techniques très diverses. Elles consistent à placer un micro-drain ou un stent dans les voies d'écoulement de l'humeur aqueuse. Plusieurs voies chirurgicales peuvent être envisagées : les voies d'abord internes (*ab-interno*, via la chambre antérieure) ou les voies d'abord externes (*ab-externo*, via la sclère). >>>

FOCUS PATHOLOGIE

Qu'est-ce que le glaucome ?

Première cause de cécité irréversible en France, le glaucome est une maladie qui détruit petit à petit le nerf optique. Si son origine peut être diverse (forte myopie, cornée anormalement fine, irrigation sanguine insuffisante du nerf optique, etc.), l'un des principaux facteurs du glaucome est l'augmentation de la pression de l'œil (hypertonie oculaire). Cette dernière est causée par un problème d'évacuation de l'humeur aqueuse; un liquide intraoculaire qui s'écoule normalement via le trabéculum. La vision s'en trouve alors altérée. De manière générale, la maladie touche les deux yeux, à la périphérie puis au centre du champ visuel. Il existe différentes formes de la maladie, la plus fréquente étant le glaucome primitif à angle ouvert (GPAO). Ce dernier touche généralement les deux yeux de manière asymétrique. Plus rare, le glaucome à angle fermé survient souvent de manière rapide après la fermeture brutale de la zone où s'évacue l'humeur aqueuse (angle irido-cornéen). Parfois chronique, ce type de glaucome peut entraîner d'importants maux de tête, des douleurs oculaires, un œil rouge, une vision floue ou encore des nausées.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Si le recours au drainage capillaire en ophtalmologie remonte, selon toute vraisemblance, à 1892 – date à laquelle le Dr Bourgeois, à Reims, applique la technique aux ulcères à hypopyon – , il fallut attendre le début du XX^e siècle pour que celui-ci soit utilisé pour le traitement du glaucome. En 1907, le Pr Rollet rapporta avoir soigné avec succès deux patients glaucomeux en utilisant un drain fabriqué à base de crin de cheval.

Les années suivantes furent consacrées à l'expérimentation de divers matériaux: fil de soie (Zorab, 1912), or (Stefansson, 1925), platine (Row, 1934), magnésium (Troncoso, 1940), tantale (Bick, 1949), supramide (Losche, 1952), polyéthylène (Bietti, 1955), polyvinyle (La Rocca, 1958), Silicone (Ellis, 1960), plastique (Mascati, 1967), etc. Mais malgré ce foisonnement d'idées innovantes, la technique est encore loin d'être au point et les complications restent nombreuses.

La révolution de l'implant de Molteno

C'est au Sud-Africain Anthony Molteno que l'on doit une évolution significative des implants de drainage. Ses travaux *«permettent de mettre à jour les principes sur lesquels repose encore aujourd'hui la configuration de la plupart des valves utilisées dans la chirurgie du glaucome: le matériau utilisé doit être non réactif, limitant la réaction fibroblastique; l'implant doit favoriser la formation d'un espace sous-conjonctival qui permettra la résorption de l'humeur*

aqueuse vers les tissus orbitaires; cet espace potentiel, qui entraînera la formation d'une bulle de filtration, doit se trouver dans la région équatoriale du globe, à distance du limbe cornéo-scléral, pour limiter la survenue d'une réponse inflammatoire». (« Les implants de drainage et glaucome réfractaire », par L. Werner et J.-M. Legeais, *Journal français d'ophtalmologie*, 2000).

D'abord testé sur des lapins au cours des années 1960, ce dispositif, réalisé avec l'aide d'un technicien dentaire, est réalisé en acrylique; il consiste en un tube placé dans la chambre antérieure et relié à un plateau convexe, rond avec un bord élevé et pourvu d'orifices. L'ensemble permet la suture à la sclère.

À partir des années 1970, le recours au silicone est devenu la référence dans le traitement du glaucome réfractaire par implant de drainage. Quelques améliorations ont été apportées au cours des années 1990, notamment le recours au polypropylène pour le réservoir destiné à recueillir l'humeur aqueuse (comme dans l'implant de Ahmed) ou encore au polyméthacrylate de méthyle (PMMA).

Une prise en charge précoce avec la mini-invasivité

Au milieu des années 2010, les innovations ont surtout porté sur la chirurgie micro-invasive du glaucome, ou MIGS (*Minimally Invasive Glaucoma Surgery*). Ces techniques chirurgicales ont été développées pour permettre *«la dérivation de l'humeur aqueuse vers le canal de Schlemm ou vers l'espace supra-choroïdien (chirurgie sans bulle de*

1907

Implant à base de crin de cheval du P^r Rollet

Années

1960

Implant de Molteno

Années

2000

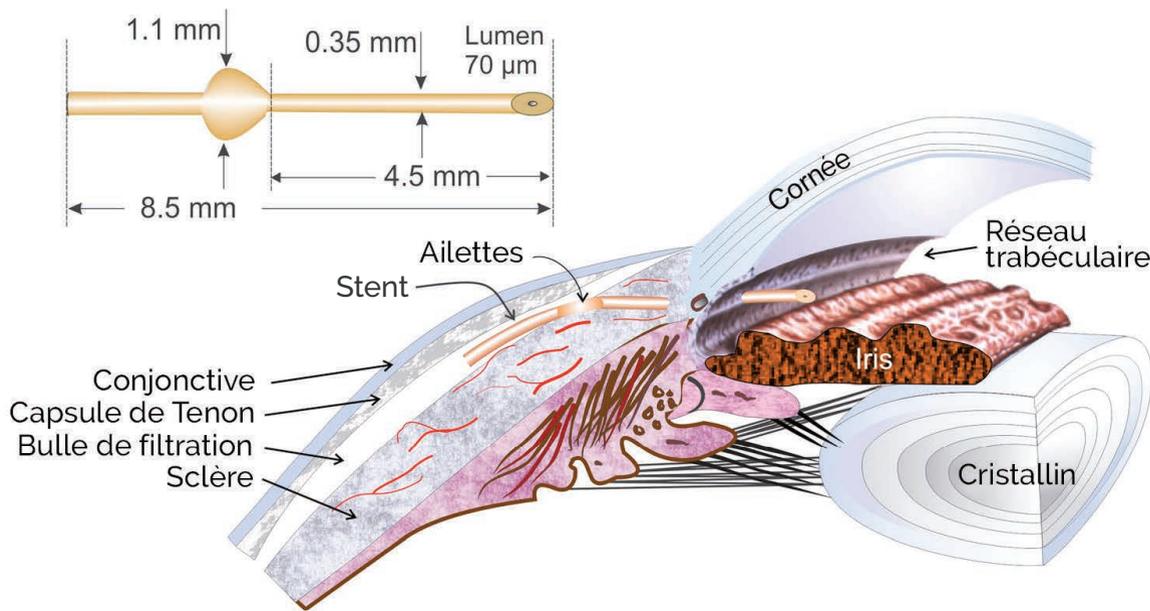
Développement de la chirurgie mini-invasive et miniaturisation des dispositifs

DISPOSITIFS DE DRAINAGE

filtration dans les deux cas) ou au travers de la paroi de l'œil sous la conjonctive (chirurgie avec bulle de filtration). Le choix du type de drain dépend de critères liés au glaucome. Aujourd'hui, l'intervention peut être combinée dans le même temps opératoire avec une chirurgie de la cataracte». (Société française d'ophtalmologie).

Les différents dispositifs de chirurgie micro-invasive ont étoffé la stratégie thérapeutique en offrant la possibilité d'intervenir et ce, quel que soit le degré de sévérité du glaucome. Les micro-stents de pontage trabéculaire permettent une prise en charge précoce de la pathologie glaucomateuse sans bulle de filtration. Le dispositif implantable – parmi les plus petits au monde – emprunte les voies de filtration physiologique de l'humeur aqueuse. Dans les cas de glaucomes plus avancés, les chirurgies micro-invasives sous conjonctivales offrent la possibilité de standardiser le geste de chirurgie filtrante avec bulle en voie *ab interno* ou *ab externo*. Enfin, une catégorie toujours au stade de recherche clinique vise la voie supra-choroïdale en chirurgie *ab interno*.

Les nouvelles technologies regroupées sous l'appellation de MIGS offrent de nouvelles alternatives de traitement pour les patients, notamment une prise en charge précoce qui est une des clés de la gestion du glaucome.



30%

Chiffre clé

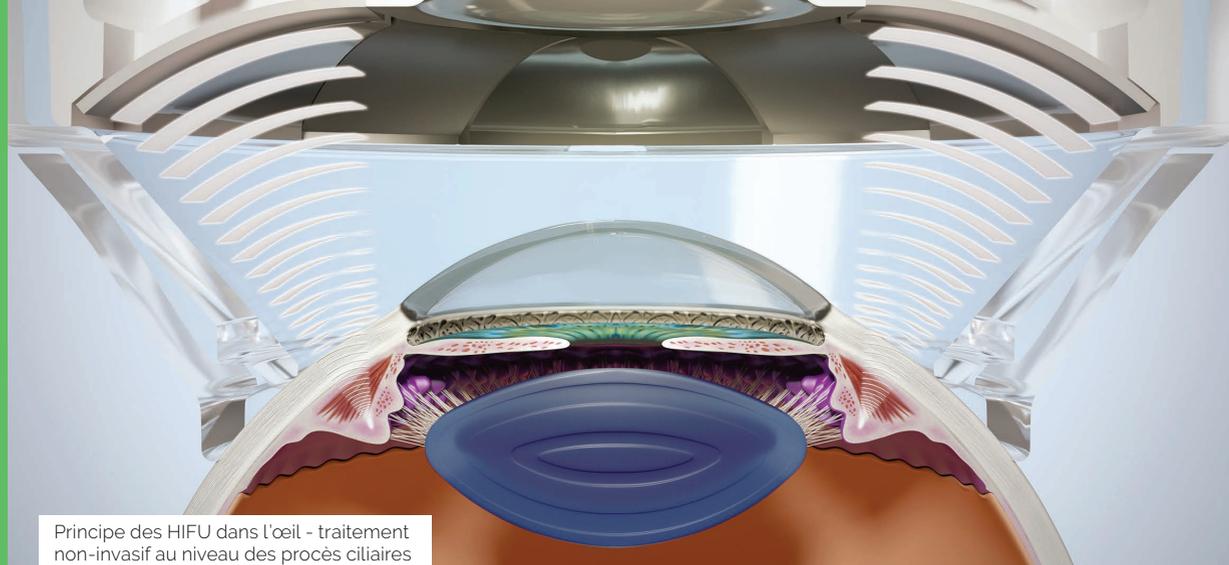
C'est la proportion des glaucomes étant héréditaires.

Source: Inserm.

ULTRASONS

TRAITEMENT DU GLAUCOME PAR ULTRASONS : GARDER L'ŒIL INTACT

Utilisés en cas de glaucome réfractaire, les ultrasons peuvent être une alternative au traitement chirurgical et médicamenteux.



Principe des HIFU dans l'œil - traitement non-invasif au niveau des procès ciliaires

DE LA THÉORIE...

Le glaucome est une pathologie de l'œil qui se traduit par une pression intraoculaire trop élevée. Si les ultrasons ont longtemps été prescrits comme traitement de deuxième intention ou de reprise pour les glaucomes réfractaires, ce n'est plus totalement le cas aujourd'hui. Ils peuvent même parfois être proposés à des patients en première intention.

Cette technique, qui peut être combinée à un traitement chirurgical, présente les avantages d'être moins invasive et moins traumatique, et de traiter l'intérieur de l'œil sans l'ouvrir. Les ultrasons délivrent une énergie en profondeur, en traversant des tissus parfaitement préservés, pour atteindre et détruire la zone ciblée – et seulement elle. L'observance, le confort ainsi que la qualité de vie du patient s'en trouvent améliorés.

À LA PRATIQUE

Le principe de cette technique est donc d'agir sur la pression intraoculaire. Au cours de l'opération, qui se déroule en ambulatoire, l'œil est insensibilisé et le globe oculaire est abordé par l'extérieur. Il existe deux types de dispositifs qui permettent le traitement par ultrasons.

Le premier consiste à générer des « ultrasons de faible puissance et fréquence (40 kHz) sur la partie extérieure de l'œil adjacente au limbe cornéen, entraînant une réaction d'hyperthermie pour libérer des cytokines  diminuant la PIO », explique le Comité d'évaluation et de diffusion des innovations technologiques (« Glaucome – Le point sur les technologies émergentes », 2013).

Le second dispositif repose sur « le principe des ultrasons focalisés de haute intensité (HIFU) [et] consiste en une sonde à usage unique placée sur

l'œil qui transmet des ultrasons permettant la coagulation thermique de certaines parties du corps ciliaire pour diminuer la production d'humeur aqueuse», le liquide contenu dans l'œil. Les ultrasons sont envoyés sur la partie à traiter par salve de plusieurs secondes, répétée six à huit fois et avec une pause de vingt secondes entre chaque salve. Peu douloureuse et sans effet secondaire majeur, cette technique repose sur le principe d'une micro-coagulation : on chauffe et on cicatrise de façon douce après avoir repéré grâce à l'imagerie les zones que l'on souhaite coaguler (les procès ciliaires), cette opération permettant par ailleurs d'identifier la sonde la plus adaptée à la taille de l'œil du patient traité.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

C'est au biologiste et physiologiste italien Lazzaro Spallanzani que l'on doit, sinon la découverte, du moins l'intuition de l'existence des ultrasons suite à son observation des vols nocturnes des chauve-souris en 1794. Mais il fallut attendre près d'un siècle (1878-1882) pour que Pierre Curie découvre avec son frère la piézoélectricité .

La Première Guerre mondiale marque un tournant dans l'histoire des ultrasons avec la construction, par le physicien Paul Langevin, du premier transducteur  ultrasonique moderne utilisé dans la détection des sous-marins. Les premières utilisations industrielles des ultrasons voient le jour dans l'entre-deux-guerres, avec la mise au point d'une méthode pour détecter les défauts de fabrication.

Un usage progressivement appliqué à la médecine

Si les ultrasons furent utilisés pour la première fois dans un but diagnostique par le médecin autrichien Karl Dussik dès 1942, ce n'est qu'en 1960 que fut commercialisé le premier échographe. Les progrès dans l'utilisation des ultrasons en imagerie se poursuivirent au fil des années 1960 et 1970 (*voir sur le sujet le livret du Snitem* « Innovation en imagerie médicale »); mais il fallut attendre les années 1980 et 1990 pour que soient développés les premiers appareils à ultrasons destinés à réduire la pression intraoculaire. Toutefois, bien qu'ayant prouvé leur efficacité et leur grande précision, ces derniers reçurent un accueil mitigé et peu d'ophtalmologistes s'en dotèrent.

Vers une thérapie alternative pour le glaucome

Au début des années 2000, les ultrasons firent leur grand retour en ophtalmologie pour traiter les formes les plus réfractaires de glaucome. L'idée est alors de détourner la technologie des ultrasons focalisés à haute intensité (HIFU), déjà utilisée pour le traitement des calculs rénaux et de certains cancers. Cette technologie agit de manière très ciblée et avec une extrême précision – une nécessité lorsque l'on traite les yeux.

En France, la technologie des HIFU a été développée dès 2008 grâce à un partenariat entre un industriel et la cellule spécialisée en ultrasons

Faire retomber la pression

La pression intraoculaire (PIO), également appelée tension intraoculaire, est la pression qui règne à l'intérieur du globe oculaire, lequel est un organe creux. On la mesure avec un tonomètre, la plupart du temps dit à aplanation de Goldmann (à utiliser avec une lampe à fente) ou à air (sans contact). Une PIO normale varie entre 8 et 21 mm de mercure (la moyenne se situant autour de 15-16 mmHg). Si l'humeur aqueuse a des difficultés à s'écouler hors de l'œil, la PIO s'élève. La zone rouge se situe au-delà de 21 mmHg (au-delà de 31 mmHg, on parle d'une PIO très élevée). La PIO varie selon les heures de la journée et de la nuit: c'est pourquoi il est recommandé d'alterner les heures de mesure de tension et, donc, de rendez-vous chez l'ophtalmologiste!

thérapeutiques de l'Inserm, à Lyon. Les ambitions de ces premiers travaux se voulaient grandes: à l'époque, on pensait alors avoir découvert la thérapie définitive pour le glaucome.

Les premières études démarrèrent au cours des années 2010. Une étude clinique pilote, ayant pour objectifs principaux d'évaluer la faisabilité et la sécurité de cette nouvelle méthode de traitement ainsi que d'estimer son efficacité sur un nombre >>>

»» limité de patients, a été conduite à partir de mars 2010 chez douze patients atteints d'un glaucome réfractaire aux chirurgies filtrantes.

Des indications thérapeutiques ajustées

Les résultats, homogènes sur deux à trois ans, ont démontré que les ultrasons diminuent de 30 à 40% la pression intraoculaire. Et la technologie est reproductible chez les patients souffrant d'un glaucome à angle ouvert sous collyre dont la tension oscille entre 20 et 30 mm de mercure (mmHg). Des résultats qui ont permis aux chirurgiens d'ajuster leurs indications; initialement, les ultrasons étaient utilisés pour tout type de patient.

Un travail de miniaturisation a également été mené, si bien que le dispositif actuel n'est pas plus grand que l'œil qu'il est appelé à soigner et en épouse l'anatomie. Adaptée à chaque patient, la procédure est désormais complètement programmée et guidée par informatique, au point d'être devenue relativement simple. À noter toutefois que, tout comme pour les chimiothérapies, le traitement du glaucome par ultrasons peut donner lieu à des résultats différents d'un patient à un autre.

Aujourd'hui, les ultrasons sont utilisés chez un patient sur deux avant une chirurgie du glaucome à angle ouvert. Et la thérapie par ultrasons fait partie intégrante de l'arsenal thérapeutique du glaucome.

1882

Pierre Curie découvre la piézoélectricité

1917

Premier transducteur ultrasonique moderne utilisé dans la détection

Années

1980-1990

Développement des premiers dispositifs à ultrasons destinés à faire baisser la pression intraoculaire (PIO)

Années

2000

Développement de la technologie des ultrasons focalisés à haute intensité (HIFU)



Traitement d'un patient

1 à 2%

Chiffre clé

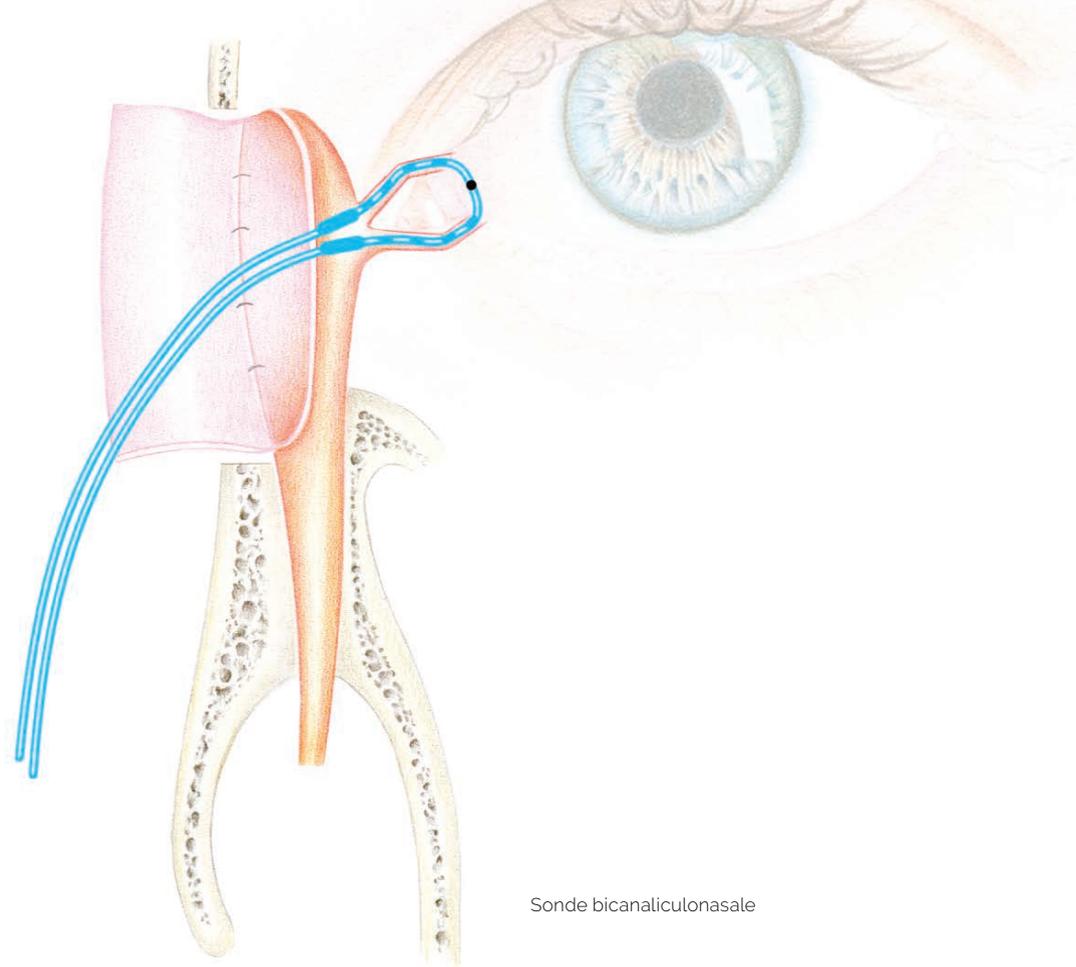
C'est la part de la population de plus de 40 ans qui serait touchée par le glaucome. Celle-ci atteint environ 10% chez les plus de 70 ans.

Source: Inserm.

OCULOPLASTIE

REDONNER À L'ŒIL SON VRAI VISAGE

Longtemps négligée, l'oculoplastie ou chirurgie oculoplastique désigne la chirurgie de la région périoculaire. Elle a peu à peu acquis sa légitimité pour être aujourd'hui une discipline à part entière.



Sonde bicanaliculonasale

DE LA THÉORIE... À LA PRATIQUE

L'oculoplastie désigne à la fois la pathologie et la chirurgie de la région périoculaire, comprenant l'orbite, les paupières et les voies lacrymales. Son but est de rendre sa structure anatomique, sa fonction et son apparence esthétique à un œil

et/ou à un regard abîmé. En effet, certains problèmes concernant cette région dite frontière nécessitent de recourir à la chirurgie : ptosis , réparation des paupières (traumatismes, brûlures), désobstruction des conduits lacrymaux, tumeurs oculaires, etc. C'est donc une chirurgie essentiellement fonctionnelle, mais qui peut aussi avoir une visée esthétique. 

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

En France, jusqu'au milieu des années 1970, les ophtalmologistes s'intéressaient surtout à l'œil et très peu à ses annexes. C'est ainsi que les premières unités spécialisées se développèrent en France à partir de 1976.

De moins en moins de chirurgies traumatiques de l'orbite

En France, les traumatismes ou les plaies graves de l'œil et leurs complications ont diminué de manière significative depuis 1983, date à laquelle les pare-brises feuilletés ont été rendus obligatoires.

D'une manière générale, les changements successifs en matière de code de la route (port de la ceinture obligatoire, limitation de vitesse, etc.) ont permis de faire baisser le nombre de chirurgies traumatiques de l'orbite. Mais d'autres évolutions sociétales récentes (évolutions des critères dits de beauté, notamment) ont en revanche augmenté le nombre d'interventions à visée esthétique.

En effet, si le plasticien britannique Jack Mustardé s'intéressa à la chirurgie de l'œil dès les années 1960 et rédigea les premiers écrits sur cette question, c'est le Français Paul Tessier, considéré comme le père de la chirurgie crânio-orbito-faciale mondiale, qui a créé les premiers liens entre cette spécialité et les ophtalmologistes français, notamment pour traiter les grandes malformations congénitales. Cette collaboration favorisa le développement de la chirurgie autour de l'œil au cours des années 1970.

Ainsi, dès 1980, les premiers services hospitaliers d'oculoplastie virent le jour avec le développement d'un enseignement post-universitaire et la création de sociétés savantes dès 1983, dont la Société européenne d'oculoplastique (ESOPRS).

Des dispositifs moins invasifs...

La prise en charge des reconstructions orbitaires, aussi bien en traumatologie qu'en chirurgie plastique reconstructive, a bénéficié d'améliorations importantes grâce à l'utilisation de biomatériaux et au développement d'une instrumentation qui facilite le geste chirurgical.

Dans la chirurgie des cavités orbitaires (énucléation, exentération[Ⓞ]), les implants poreux (en hydroxyapatite, synthétiques de type biocéramique, en alumine ou encore en polyéthylène poreux) sont de plus en plus utilisés aux dépens des implants non poreux (en silicone principalement). Dans les exentérations indiquées en chirurgie carcinologique, plutôt que de proposer des reconstructions faciales

complexes, il est aujourd'hui possible de placer des implants magnétiques sur vis en titane permettant l'adaptation d'une épithèse moulée (technique dérivée des implants de Brånemark en chirurgie dentaire). L'imagerie a également permis des avancées considérables dans le diagnostic, le pronostic et l'indication opératoire des tumeurs et des fractures orbitaires.

... et toujours plus compatibles

En matière d'oculoplastique, beaucoup de progrès sont liés à la technologie, à l'utilisation du microscope opératoire ou encore à des voies d'abord beaucoup plus petites évitant des cicatrices disgracieuses et, plus récemment, à la recherche sur la biotolérance avec des matériaux toujours plus adaptés à l'organisme.

À ce titre, la pathologie lacrymale a elle aussi bénéficié d'améliorations. Le recours au PolyVinyl-Pyrrolidone (PVP), un traitement de surface au pouvoir mouillant, a permis de renforcer l'efficacité du drainage des larmes le long du matériel, une meilleure hydratation et une meilleure tolérance de silicone par rapport aux tissus environnants. Des améliorations sont à noter dans les méthodes d'exploration et les différents traitements proposés. Il convient ici d'évoquer l'intérêt diagnostique de la dacryocystographie[Ⓞ] associée au scanner ou à l'IRM, la micro-endoscopie des voies lacrymales ainsi que l'endoscopie lacrymale transcanaliculaire. Idem pour les sondes d'intubation mono ou

Années
1960

Travaux du plasticien britannique Jack Mustardé sur la chirurgie orbitopalpébrale

Années
1970

Développement de la chirurgie autour de l'œil en France

Années
2010

Travail sur le silicone hydrophile

OCULOPLASTIE

bicanaliculaires, qui sont de mieux en mieux tolérées. « *Le développement de sondes en silicone d'intubations lacrymonasales dites "poussées", mises au point par le Dr Bruno Fayet, permet d'éviter toute récupération intra-nasale et rend les interventions moins traumatisantes, notamment pour les enfants* », ajoute le Dr Jean-Marc Ruban, ophtalmologiste spécialisé en chirurgie orbito-lacrymo-palpébrale à Lyon.

À noter également que la dacryocystorhinostomie (ou DCR) – soit la création d'un passage entre le sac lacrymal et les fosses nasales pour rétablir une évacuation fonctionnelle – a quant à elle bénéficié des progrès de l'anesthésie. « *Aujourd'hui, l'immense majorité des interventions sont réalisées en ambulatoire* », souligne le Dr Ruban, précisant par ailleurs: « *Si la dacryocystorhinostomie par voie externe demeure la technique de référence pour traiter le larmolement par sténose du canal lacrymal, des interventions par voie endonasale se développent depuis les années 2000 et présentent l'avantage d'éviter les cicatrices cutanées.* »

Enfin, des évolutions dans la prise en charge des larmolements chroniques considérés comme non traitables ont amené les ophtalmologistes, il y a quelques années, à recourir à la dilatation via un ballonnet dans les voies lacrymales. « *C'est une méthode thérapeutique innovante et non invasive qui permet de soulager les gens, parfois de les guérir, et pour d'autres de différer de plusieurs années une intervention plus lourde* », précise le Dr Ruban.



7

Chiffre clé

C'est le nombre de plans superposés constituant la paupière, dont la principale fonction est de protéger la partie antérieure du globe de l'œil.

Source: Dictionnaire de l'Académie de médecine.

SÉCHERESSE OCULAIRE

PRÉSERVER L'INTERFACE ENTRE L'ŒIL ET L'AIR

La sécheresse oculaire est une maladie complexe qui touche de plus en plus de patients. Au cours de la dernière décennie, les outils diagnostic et l'arsenal thérapeutique ont connu des évolutions permettant une meilleure compréhension des mécanismes du syndrome de l'œil sec.



DE LA THÉORIE...

Particulièrement répandu au sein de la population, le syndrome oculaire sec est une maladie complexe qui peut être due au vieillissement, à l'environnement, à la prise de médicaments, à la chirurgie de l'œil, à une inflammation des paupières (blépharite), à l'utilisation intensive de collyre dans le cas d'un glaucome, etc. Il provoque des douleurs, des irritations oculaires et des modifications ou des flous visuels, voire des complications cornéennes dans les cas les plus sévères. Ses deux formes principales sont la sécheresse évaporative, qui est liée au dysfonctionnement des glandes de Meibomius (voir l'encadré page 66), et

l'insuffisance aqueuse. Pour évaluer la sévérité de ce syndrome, il convient de déterminer chez le patient la qualité et la quantité des larmes ou la stabilité du film lacrymal, afin d'apporter la réponse thérapeutique adéquate pour hydrater la cornée, ou encore chauffer et masser les glandes de Meibomius, etc.

À LA PRATIQUE

Les paupières ont pour fonction de protéger les yeux et d'assurer, via leur clignement, une répartition homogène des larmes à la surface de la cornée. Les larmes, sécrétées par les glandes lacrymales, sont composées en majorité d'eau,

mais également de mucus, de lipides et de protéines qui jouent un rôle protecteur. Épaisse, la couche aqueuse apporte l'humidité. La couche lipidique (ou meibum) produite par les glandes de Meibomius est huileuse. Elle stabilise le film lacrymal. Enfin, la couche mucinique est composée de protéines (les mucines) qui couvrent l'œil. Ces dernières permettent à la couche aqueuse d'adhérer à la cornée (surface hydrophobe). C'est la mise à mal de l'équilibre entre ces trois couches qui provoque la sécheresse oculaire. Cela peut aussi être le fait d'une maladie congénitale : le syndrome d'Ehlers-Danlos qui provoque des lésions irréversibles sur les glandes lacrymales, ou un syndrome de Gougerot-Sjögren qui attaque les glandes.

De nombreuses techniques d'exploration ont été développées pour évaluer le film lacrymal et la surface oculaire de manière plus ou moins invasive. Quant à la prise en charge thérapeutique, elle est fonction de l'étiologie du syndrome. Elle peut aller de la substitution (substituts lacrymaux) à la limitation de l'évaporation (massage des paupières, humidificateur), ou de l'élimination lacrymale (bouchon méatique), etc.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Des outils de diagnostic avaient été mis au point au début du XX^e siècle. Rudolf Schirmer, un ophtalmologiste allemand, créa un test, d'ailleurs encore utilisé aujourd'hui. « Il consiste à placer dans le cul-de-sac conjonctival inférieur, près de l'angle externe de l'œil, une bandelette de papier

de 5 mm de large et de 5 cm de long, graduée tous les 5 mm. Celle-ci va s'imprégner des larmes sécrétées par l'œil. Au bout de trois minutes, on mesure le nombre de graduations humidifiées. Ce test peut être pratiqué sans aucune préparation – c'est le test de Schirmer total – ou après instillation d'un collyre anesthésique, qui permet théoriquement de supprimer la sécrétion réflexe. Il est dans ce cas appelé test de Schirmer basal. » (Larousse médical). Généralement, les résultats sont d'au moins une graduation par minute, soit trois graduations (15 mm) en trois minutes.

Plus tard apparut le test du fil rouge, un fil de coton imprégné de teinture de phénol rouge que l'on accroche à la paupière inférieure. L'absorption du liquide lacrymal, légèrement alcalin, induit alors un changement de couleur et permet de mesurer la quantité de larmes. C'est au tournant des années 1920 que le test à la fluorescéine a été utilisé pour la première fois. Une quantité assez faible de ce colorant est instillée dans le cul-de-sac de l'œil du patient. Elle se fixe alors sur les cellules abimées de l'épithélium. Plus la coloration est importante, plus le syndrome sec est important.

Tester : innover pour déterminer la qualité des larmes

Le *tear breakup time* (ou TBUT), permettant de mesurer le temps de rupture du film lacrymal, vint ensuite compléter l'arsenal des tests d'évaluation de la sécheresse oculaire. Le praticien

Sécheresse oculaire : une définition internationale

En 2004, un comité d'experts internationaux, intitulé *Dry Eye Workshop* (DEWS), s'est constitué dans le but d'étudier le syndrome sec oculaire et de tirer un consensus global sur les différents aspects de la sécheresse oculaire. Dans son rapport de 2017, il en donne une définition précise : « La sécheresse oculaire est une maladie multifactorielle de la surface oculaire caractérisée par une perte de l'homéostasie du film lacrymal et accompagnée de symptômes oculaires, dans laquelle l'instabilité et l'hyperosmolarité du film lacrymal, l'inflammation et les lésions de la surface oculaire ainsi que des anomalies neurosensorielles jouent des rôles étiologiques. »

observe à la lampe à fente la durée durant laquelle ce film lacrymal vient recouvrir la surface oculaire. Une visualisation facilitée par l'instillation d'une goutte de fluorescéine. Un TBUT normal est supérieur à 10 secondes. Cependant, l'épidémiologie de la sécheresse oculaire resta mal connue jusqu'au milieu des années 1990. >>>

»»» Aujourd'hui, la rupture lacrymale peut être étudiée avec un topographe en utilisant la technique de projection de Placido. Une image réfléchie par la surface antérieure du film lacrymal est capturée par une caméra. Les informations sont transmises à un logiciel qui détecte automatiquement les zones de rupture du film lacrymal.

Dans les années 2010, un nouveau type d'examen diagnostique a été mis au point pour évaluer la qualité du film lacrymal. Le test d'osmolarité du film lacrymal, ou osmomètre, est basé sur la mesure de l'osmolarité, soit la concentration en salinité des

larmes. Quel que soit le fluide corporel, une osmolarité élevée indique un problème physiologique. L'examen est réalisé à partir du prélèvement d'un échantillon de larmes sur le bord de la paupière. Un taux élevé indique une concentration élevée du film lacrymal et une sécheresse oculaire.

Le principe de l'interférométrie, que l'on retrouve dans l'OCT, permet également « l'analyse in vivo de l'épaisseur de la couche lipidique du film lacrymal et sa répartition. Une lumière blanche projetée obliquement génère des franges colorées dites interférométriques lorsqu'elle traverse le film lipidique et est réfléchi par l'interface lipide/eau. La couleur de chaque frange est un reflet de l'épaisseur du film lipidique. [...] » (« Analyse du film lacrymal et évaluation de sa qualité optique: une revue de la littérature », *Journal de l'ophtalmologie*, 2019).

Les recherches ont également montré que la stabilité du film lacrymal pouvait être évaluée en analysant le clignement et l'occlusion des paupières. Un clignement régulier se fait environ toutes les 5 à 10 secondes. En cas de sécheresse oculaire, il est possible d'observer un clignement plus rapide. Plus la couche lipidique est mince, plus le patient cligne des yeux pour renouveler le film lipidique.

Réagir: prolonger l'action des larmes

Diverses solutions thérapeutiques ont donc été explorées, parmi lesquelles les substituts lacrymaux, par exemple. « De façon globale, tous les patients nécessitent une suppléance lacrymale,

qui a le double rôle de soulager les symptômes et de réduire l'inflammation de surface, phénomène qui est à la fois la cause et la conséquence de toute pathologie de la surface oculaire », explique le Pr Marc Labetoulle (voir *Réalités ophtalmologiques*, n° 191, mars 2012).

Les substituts lacrymaux ont connu de nombreuses évolutions depuis leur développement au cours des années 1940. Rapidement, leur durée d'action limitée et la nécessité d'en instiller fréquemment dans l'œil ont poussé les recherches vers des solutions plus visqueuses. L'utilisation de dérivés de la cellulose s'est alors imposée, jusque dans les années 1960, pour permettre une meilleure humidification cornéenne. Suivront le recours aux polymères puis, dans les années 1980, à l'acide hyaluronique (que l'on retrouve déjà dans l'humeur vitrée). C'est également à cette époque que les substituts lacrymaux sous forme de gels ont fait leur apparition. La quête de la viscosité a alors pour objectif de permettre une meilleure lubrification et de prolonger l'action des larmes sur la surface oculaire.

À noter que, dans les années 1950, des conservateurs ont été introduits dans les larmes artificielles afin d'éviter leur contamination une fois ouvertes. Près d'un demi-siècle plus tard, les effets délétères de ces conservateurs sur la surface oculaire ont été démontrés par de très nombreuses études. Aujourd'hui, les industriels se tournent donc vers des solutions sans conservateurs. Et toutes les recommandations des différentes autorités de santé vont en ce sens.



Clou trou avec système de pose

Début du
XX^e
siècle

Invention des premiers outils
de diagnostic de la sécheresse
oculaire (test de Schirmer)

Années
1940

Développement
des substituts
lacrymaux

Années
1970

Mise au point des
bouchons méatiques
en silicone

2004

Création d'un comité
d'experts internationaux
sur la sécheresse oculaire

Années
2010

Mise au point du test
d'osmolarité



Depuis les années 2010, une partie de ces substituts lacrymaux, auparavant considérés comme des médicaments, entre dans la catégorie des dispositifs médicaux.

Retenir les larmes

L'obturation des voies lacrymales est l'une des réponses apportées au phénomène du manque de larmes. Si celle-ci se faisait auparavant par suture, la technique a été remplacée dans les années 1970 lorsque Freeman mit au point des bouchons méatiques en silicone. Utilisés depuis les années 1980 pour traiter la sécheresse oculaire, ces bouchons, ou clous-trous, obturent totalement ou partiellement le canal nasolacrymal, régulant les larmes (ou le substitut lacrymal) ou les empêchant de s'y évacuer. Il est inséré au niveau du méat inférieur de l'œil de manière définitive (via une chirurgie) ou provisoire. Dans ce dernier cas, le geste est alors réversible. Au fil des décennies, ces dispositifs ont été conçus en matériaux biocompatibles puis résorbables, ce qui en a considérablement amélioré la tolérance. >>>

25%

Chiffre clé

C'est la proportion des consultations
en ophtalmologie liées à la pathologie de
sécheresse oculaire.

Source : Société française d'ophtalmologie (SFO).



Dispositif d'imagerie des paupières et des glandes de Meibomius

Aujourd'hui, ils sont posés rapidement au cours d'une consultation. Forts de cette succession d'innovations, les bouchons sont désormais indiqués pour de nombreuses pathologies de la surface oculaire, dont ils constituent la base de la prise en charge.

Stimuler la sécrétion lacrymale

Si le diagnostic du dysfonctionnement des glandes de Meibomius (DGM) a bénéficié d'avancées technologiques, la réponse thérapeutique

apportée à cette pathologie a connu elle aussi des innovations ces dernières années. Au cours des années 2010, des dispositifs conjuguant l'effet de la chaleur et d'une action massante ont ainsi été mis au point pour permettre de fluidifier les glandes de Meibomius dont l'huile sécrétée peut se cristalliser et former un bouchon.

Plus récemment encore, des systèmes basés sur la technologie de la lumière pulsée (avec une longueur d'ondes comprise entre 500 et 1200 nanomètres) ont vu le jour. L'enjeu étant, là aussi et en quelques séances, de stimuler les glandes de Meibomius.

FOCUS Les glandes de Meibomius

Dans le phénomène de sécheresse oculaire, le dysfonctionnement des glandes de Meibomius (bloquées ou endommagées) est un problème extrêmement fréquent. Ces dernières années, les industriels ont développé des outils dédiés permettant notamment l'analyse de leur anatomie fonctionnelle : les meibographes. Non-invasive, cette technique permet d'évaluer la morphologie des glandes de Meibomius *in vivo* grâce à une lumière infrarouge. « *Les plus sophistiqués permettent une analyse en transillumination avec un "éver-seur" de paupières muni d'une source de lumière infrarouge qui produit des images ressemblant à un "négatif".* » (*Les Cahiers d'ophtalmologie*, novembre 2019). À noter que les dysfonctionnements des glandes de Meibomius sont une des causes de la blépharite postérieure ou inflammation de bord libre palpébral.

Cataracte : « Il ne sert à rien d'attendre trop longtemps »

LE REGARD DU PATIENT



Âgé de 73 ans, Alain a été opéré de la cataracte pour ses deux yeux à quelques années d'intervalle. Des interventions survenues au bon moment pour lui permettre de préserver sa qualité de vie.

« Hypermétrope depuis un âge relativement jeune, j'ai donc porté des lunettes tôt dans ma vie. Je vivais alors en Bretagne et j'étais suivi par un ophtalmologue libéral.

C'est lui qui, au fil du temps, a commencé à m'alerter sur la probabilité d'une cataracte sur mon œil droit.

Au bout de quelques années, à l'aube de mes 60 ans, nous avons pris la décision d'une opération sur cet œil. Cette première intervention a été réalisée en ambulatoire au CHU de Rennes. Quatre ans plus tard, l'œil gauche s'est à son tour révélé déficient. J'ai donc subi une seconde intervention, toujours en ambulatoire mais dans le CH privé cette fois-ci, là où exerçait désormais le praticien qui m'avait opéré la première fois, ce qui était important pour moi.

Dire que j'ai ressenti de l'angoisse serait un bien grand mot. Mais il est vrai que, pour la première

intervention, il y avait forcément un peu d'appréhension: on n'a qu'une paire d'yeux et y toucher n'est pas anodin! Mais j'avais toute confiance en mon ophtalmologue avec qui j'ai beaucoup échangé en amont. Il s'est d'ailleurs montré plutôt proactif quant à ma prise en charge; ce qui est, à mon sens, important. En effet, quand on a un handicap visuel qui s'installe progressivement, on a tendance à apprendre à vivre avec et à compenser au fur et à mesure... Or, la pathologie ne pouvant qu'empirer, il a considéré qu'il ne servait à rien d'attendre trop longtemps.

Cela s'est donc fait naturellement et sans difficulté. D'autant plus que la chirurgie de la cataracte est rapide, mini-invasive et désormais très courante! D'ailleurs, je n'ai pas souvenir de périodes postopératoires particulièrement pénibles. Bien sûr, on doit porter une protection sur l'œil quelque temps, qui peut s'avérer un peu gênante, mais j'ai récupéré très rapidement.

Plus encore, j'ai constaté une réelle différence après ma première intervention. Si bien que je ne me suis posé aucune question quand il a fallu opérer le second œil, d'autant que j'étais déjà passé par là et que je savais parfaitement à quoi m'attendre. En effet, c'est après avoir recouvré mon œil droit que j'ai pris la mesure de la gêne que j'avais auparavant. J'ai retrouvé une vision des choses beaucoup plus nette, et surtout plus blanche, là où il y avait un voile jaunâtre en permanence auparavant. Cela a vraiment amélioré mon quotidien, notamment pour la conduite automobile.»

LE REGARD DU PATIENT

Chirurgie réfractive : « Voir la vie comme on ne l'a jamais vue est extraordinaire »



C'est un témoin coiffé d'une double casquette qui livre ici son expérience. Opéré il y a cinq ans pour corriger un double défaut visuel, Olivier Pajot est en effet également un chirurgien réfractif de référence...

« Ma myopie s'est développée tardivement, à la fin de mes études de médecine, et a continué à évoluer pendant mon internat. Et j'ai également développé un astigmatisme.

À cette époque, la chirurgie réfractive était déjà bien installée mais elle ne répondait pas alors aux critères de sécurité et de reproductibilité d'aujourd'hui. Auparavant, en effet, la chirurgie réfractive réalisée par des mains expérimentées fonctionnait, mais elle présentait tout de même plus d'aléas, notamment dans la réalisation du capot (fine lamelle découpée dans la cornée). Les moyens étaient moins aboutis et il y avait plus de phénomènes de régressions ou de cicatrises aberrantes.

À ce moment-là, c'est en quelque sorte le regard que je portais en tant que médecin sur la technologie qui a dissuadé le patient que j'étais d'y recourir. Mais l'avènement du laser femtoseconde

et des plateformes a été un véritable tournant pour moi. Cette nouvelle technologie a en effet permis de développer la procédure SMILE qui n'était tout simplement pas possible avec les lasers des générations précédentes.*

L'uniformisation de la procédure a vraiment permis une montée en gamme. C'est donc à l'âge de 37 ans que j'ai sauté le pas et que je me suis fait opérer. Non seulement je vais pouvoir bénéficier de ce confort longtemps encore, mais je bénéficie d'une excellente vision de loin qui m'est absolument nécessaire dans ma vie personnelle (je suis passionné de sport en extérieur) comme dans mon activité professionnelle, puisque je suis sans cesse sous microscope.

C'est indéniable, l'innovation en chirurgie réfractive a radicalement amélioré la qualité de vie des patients. L'acte clinique lui-même est réalisé en externe, dans un centre laser où le patient passe en tout et pour tout 90 minutes – formalités, préparation

et intervention comprises ! Et le résultat est immédiat. On se demande même parfois pourquoi on n'a pas franchi le cap avant. Mais je suis convaincu que c'est une question de temps ou d'envie propres à chaque patient. C'est une opération que l'on peut faire à n'importe quel âge, il faut simplement être prêt. C'est ce que j'explique aux patients qui viennent consulter et qui sont en recherche d'informations.

Quant à ceux qui ont sauté le pas, ils sont unanimes : ouvrir les yeux, au lendemain de l'intervention, et voir la vie comme on ne l'a jamais vue est une sensation extraordinaire. Et je suis bien placé pour le savoir, je l'ai vécu ! »

* La technique SMILE (SMall Incision Lenticule Extraction) consiste à extraire une lamelle de cornée préalablement découpée à travers une mini-incision, en utilisant exclusivement le laser femtoseconde (voir sur le sujet le chapitre Laser).

A

Accommodation

Mécanisme visuel qui permet à l'œil de voir net à différentes distances.

Allogreffe

Greffe de tissus ou transplantation à partir d'un donneur génétiquement différent de la même espèce animale.

C

Cortex visuel

Zone de projection des voies optiques où se terminent les radiations optiques.

Cytokine

Molécule sécrétée par un grand nombre de cellules. Elle est constituée à la fois de glucides et de protéines et intervient dans le développement et la régulation des réponses immunitaires.

D

Dacryocystographie

Étude radiographique des voies lacrymales après les avoir opacifiées à l'aide d'un produit de contraste iodé.

Dermatome

Instrument chirurgical servant à prélever un fragment cutané d'une certaine surface et d'épaisseur variable que l'on utilise pour les greffes de peau.

Dioptrique

Relatif à la dioptrie, une unité de mesure de réfraction des systèmes optiques (œil, lentille de microscope ou d'appareil photographique, verre correcteur).

E

Endothélium

Couche supérieure de la cornée.

Exentération

Ablation de la totalité du contenu orbitaire.

F

Fluorescéine

Colorant jaune-orangé qui, instillé sur l'œil, diffuse dans les larmes, leur conférant une fluorescence qui permet la mise en évidence des défauts cornéens à l'examen biomicroscopique.

G

Gauge

Unité employée dans le secteur du dispositif médical pour donner le calibre (ou diamètre) des aiguilles, cathéters et sondes d'intubation.

H

Haptique

Partie non optique et généralement périphérique d'une lentille de contact ou d'un implant cristallinien, qui en accote la partie optique centrale par contact et appui avec le site anatomique d'implantation.

Hypopyon

Suppuration dans la chambre antérieure de l'œil, entre la cornée et l'iris.

I

Iridectomie

Ablation chirurgicale d'un fragment d'iris.

L

Luminance

Quotient de l'intensité lumineuse d'une surface par l'aire apparente de cette surface.

M

Macula

Petite zone déprimée située au centre de la rétine et où l'acuité visuelle est maximale. Permet la vision des détails en éclairage diurne.

O

Ostéo-odonto-kératoprothèse

Technique chirurgicale qui consiste au remplacement prothétique de la cornée chez des patients qui ne peuvent être éligibles à une greffe de cornée classique, et via laquelle la dent ainsi que son parodonte vont servir de support biologique à une optique de synthèse.

P

Parodonte

Ensemble des structures qui assurent la fixation et le soutien de la dent sur les maxillaires.

Périmétrie

Examen du champ visuel permettant d'en déterminer les limites de manière précise.

Phacoémulsification

Technique d'extraction du cristallin par ultrasons.

Photorécepteur

Cellule visuelle de la rétine spécialisée dans la réception de la lumière.

Photoréticuler

Utiliser la lumière UV pour effectuer une réticulation.

Phototoxicité

Ensemble des actions nocives de la lumière.

Piézoélectricité

Propriété physique de certains éléments dont les faces se chargent électriquement sous l'effet d'une contrainte mécanique et qui, à l'inverse, peuvent vibrer mécaniquement si on leur applique un signal électrique de fréquence déterminée. Elle est à la base de la production et de la réception des ultrasons.

Ptoxis

Descente ou déplacement vers le bas d'un organe par suite du relâchement des muscles ou des ligaments qui le soutiennent et d'une diminution de sa tonicité.

Punch (ici)

Dispositif facilitant la préparation d'un greffon.

R

Réfraction

Modification subie par les rayons lumineux lors de leur passage à travers les milieux réfringents de l'œil de façon à former une image normale sur la rétine.

S

Scotome

Anomalie du champ visuel se traduisant par une ou plusieurs tâches dans celui-ci.

Stroma

Tissu conjonctif transparent représentant près de 90% de l'épaisseur de la cornée, formé de fibrilles de collagène dont les caractéristiques physiques assurent la transparence de la cornée.

T

Transducteur

Dispositif assurant une conversion ou un transfert de signaux, et dans lequel un signal au moins est de nature électrique.

OUVRAGES

J.-P. Baillart, « *Les Débuts de la Clinique ophtalmologique des Quinze-Vingts* », Histoire des sciences médicales, 1987, 21 (3), p. 297-304.

D^r F. Cunier, « *Annales d'oculistique* », Vol. 10, 1843.

« *Dictionnaire de médecine et de chirurgie pratiques* », Vol. 5, 1833.

« *Vitreo-retinal Surgery: Progress III* », Springer, 2009.

M. L. Kwitko, C. D. Kelman, « *The History of Modern Cataract Surgery* », Kugler Publications, 1998.

OUVRAGES EN LIGNE

Dictionnaire médical de l'Académie de Médecine, version 2016.

P. Denis, F. Aptel, « *Glaucomes: un nouveau traitement chirurgical par cyclo-coagulation aux ultrasons* », e-mémoire de l'Académie nationale de chirurgie, 2012.

C. Hervault, « *Histoire de la technique du champ visuel* », Revue francophone d'orthoptie, 2012.

ARTICLES ET PUBLICATIONS

P^r M. Muraine, « *Instrumentation chirurgicale nécessaire à la réalisation des greffes de cornée* », Visya, Clinique de la vision, édition spéciale, avril 2016.

O. Prisant, C. Mallegol, « *Grefe de cornée lamellaire antérieure profonde pour kératocône: la technique pas à pas* », Réflexions ophtalmologiques, n°189, tome 20, novembre 2015.

S. Mordon, « *Applications médicales du laser* », Reflets de la physique, n°21, 2010.

X. Müller, « *Le laser, histoire d'une découverte lumineuse* », Le Journal du CNRS, 2015.

S. Picaud et K. Marazova (en collaboration avec), « *Rétine artificielle* », dossier Inserm, Unité Inserm 968, Institut de la vision, décembre 2011.

D^r S. Charles, « *The History of Vitrectomy: Innovation and Evolution* », Retina Today, septembre 2008.

B. G. Haik, « *Through the Lens: A Century of Innovation in Ophthalmic Surgery* », in *Remembering Milestones and Achievements in Surgery: Inspiring Quality for a Hundred Years*, Tampa, 2012.

J. Dassié-Ajdid, V. Mathis, J.-L. Arné, S. Auriol, « *Évaluation de la vitrectomie transconjonctivale 20-gauge sans suture* », Journal français d'ophtalmologie, vol. 34, n°10, décembre 2011.

L. Werner, J.-M. Legeais, « *Les implants de drainage et glaucome réfractaire* », Journal français d'ophtalmologie, vol. 23, n°6, juillet 2000.

F. Aptel, « *Quoi de neuf dans le glaucome* », Réalités ophtalmologiques, n°271, avril 2020.

F. Aptel, « *Nouvelles techniques chirurgicales dans le glaucome* », La Revue du praticien, novembre 2021.

J. Pynson, « *Implants du futur* », Les Cahiers d'ophtalmologie, n°217, 2018.

F. Aptel, « *Chirurgie micro-invasive et glaucome: quels micros-drains utiliser et quand ?* », Les Cahiers d'ophtalmologie, n°228, mai 2019.

N. Stolowy, P. Gascon, F. Matonti, « *Techniques d'imagerie rétinienne: quels examens disponibles ? Pour quelles indications ?* », Service d'ophtalmologie, Hôpital Nord, Marseille, Réalités Ophtalmologiques, n°240, mars 2017.

S. Picaud, J.-A. Sahel, « *Vision restoration: science-fiction or reality ?* », Médecine/Science, n° 11, vol. 36, novembre 2020.

A. Herbaut, H. Liang, A. Denoyer, C. Baudouin, A. Labbé, « *Tear film analysis and evaluation of optical quality: A review of the literature* », Journal français d'ophtalmologie, mars 2019.

A.-L. Best, M. Labetoulle, M. Legrand, M. M'garrech, E. Barreau, A. Rousseau, « *Les bouchons lacrymaux: indications, efficacité et tolérance* », Journal français d'ophtalmologie, 2019.

S. Picaud, « *Une rétine artificielle haute résolution* », Fondation pour la Recherche médicale, mai 2020.

RAPPORTS ET DOCUMENTS

Fiches d'information n° 5, n° 5b, n° 7, n° 11, n° 12a de la Société française d'ophtalmologie (SFO).

« *La robotisation en chirurgie: état des lieux* », rapport de l'Académie nationale de chirurgie, juillet 2020.

« *OCT en ophtalmologie* », rapport de la Société française d'ophtalmologie, 2019.

J.-P. Craig et al., « *The Ocular Surface* », TFOS DEWS II Report Executive Summary, 2017.

SITES INTERNET

Syndicat national des ophtalmologistes de France: www.snof.org

Association kératocône: www.keratocone.net

D^r Damien Gatinel: www.gatinel.com

Association des médecins ophtalmologistes du Québec (AMQ): www.amoq.org

MIOS - Rétine et inflammation : www.retina-uveitis.eu

Inserm : www.inserm.fr

CNRS : www.cnrs.fr

ASCRS : www.ascrs.org

Ophthalmologie.fr : www.ophtalmologie.fr

Comité d'évaluation des technologies de santé (CEDIT) : <http://cedit.aphp.fr>

Société française du glaucome : www.leglaucome.fr

LES PRINCIPALES SOCIÉTÉS SAVANTES

Société de l'Association française des implants et de la chirurgie réfractive (SAFIR)

Société française d'ophtalmologie (SFO)

Société française du glaucome (SFG)

Syndicat national des ophtalmologistes de France (SNOF)

REMERCIEMENTS

D^r Catherine Albou-Ganem, ophtalmologiste, Clinique de la vision, Paris

P^r Florent Aptel, ophtalmologiste, praticien hospitalier, Clinique universitaire d'ophtalmologie, CHU de Grenoble et Laboratoire INSERM U1042 Hypoxie et Physiopathologie

P^r Antoine Brezin, Chef du service d'ophtalmologie, Hôpital Cochin, Paris

P^r Jean-Louis Bourges, ophtalmologiste, Hôpital Cochin, Paris

Delphine Charbonnier, Directrice marketing et communication chez Zeiss Meditec

P^r Béatrice Cochener, Chef de service ophtalmologie, CHU de Brest

Laurent Constance, responsable régional chez FCI

D^r Philippe Crozafon, ophtalmologiste

Sean Cusack, Territory equipment manager chez Johnson & Johnson Vision Care

Ludovic Desneux, Chef de produit international chez Moria

P^r Corinne Dot, Chef du service d'ophtalmologie de l'Hôpital d'instruction des Armées Desgenettes, Lyon

Laurent Farcy, Directeur des affaires Cliniques chez Eye Tech Care

P^r Pierre Fournié, ophtalmologiste, praticien hospitalier, CHU de Toulouse

Jean-Sébastien Garrigue, Directeur général chez Santen

Gaëtan Gicquel, Market access regional manager Europe chez Glaukos

P^r Jean-François Korobelnik, Chef du service d'ophtalmologie, CHU de Bordeaux

Élisabeth Lamarque, Directrice générale chez Medicondur

Suzanne Loumont, Chef de produit Imagerie chez Topcon

D^r Nicolas Mesplé, ophtalmologiste, Pau

Virginie Mesquita, Directrice marketing chez Topcon

D^r Serge Morax, ophtalmologue

P^r Marc Muraine, Chef du service d'ophtalmologie, CHU de Rouen

Éric Noyer, Responsable Rhône-Alpes Auvergne chez FCI

Serge Picaud, Directeur à l'Institut de la Vision, Paris

P^r Gilles Renard, Membre d'honneur de la Société française d'ophtalmologie

D^r Jean-Marc Ruban, ophtalmologue, Lyon

P^r José-Alain Sahel, Directeur du Département d'ophtalmologie de la Faculté de Médecine de Pittsburgh, directeur du Eye Center de l'Université de Pittsburg, États-Unis

Maté Streho, praticien hospitalier, Hôpital Lariboisière, Paris

P^r Ramin Tadayoni, ophtalmologiste, praticien hospitalier, Hôpital Lariboisière, Paris

P^r David Touboul, Responsable de l'Unité de segment antérieur du service d'ophtalmologie, CHU de Bordeaux, et responsable du site fondateur du Centre de Référence National du Kératocône

D^r Liem Trinh, chirurgien ophtalmologiste, praticien hospitalier, Centre hospitalier national d'ophtalmologie des Quinze-Vingts, Paris

AIDE A LA PRÉVENTION DES ESCARRES	ANESTHÉSIE - RÉANIMATION	APPAREIL DIGESTIF	AUDIOLOGIE	CARDIOLOGIE	CONTACTOLOGIE
DIABÈTE	DIALYSE	HANDICAP MOTEUR	IMAGERIE	INJECTION - PERFUSION	NEUROLOGIE
NUMÉRIQUE EN SANTÉ	OPHTALMOLOGIE	ORTHÈSES	ORTHOPÉDIE	PATHOLOGIES VEINO-LYMPHATIQUES	PLAIES ET CICATRISATION
RESPIRATION	ROBOTIQUE	SANTÉ BUCCO- DENTAIRE	SANTÉ DE LA FEMME	UROLOGIE	

Tous les livrets sont téléchargeables sur le site du Snitem : www.snitem.fr



Quand l'épopée de l'innovation
des dispositifs médicaux
se confond avec l'extraordinaire
histoire de l'ophtalmologie.

SNITEM

92038 Paris - La Défense cedex

Tél. : 01 47 17 63 88 - Fax : 01 47 17 63 89

www.snitem.fr

info@snitem.fr

 [@snitem](https://twitter.com/snitem)

