



L'EFFICACITE A COURT TERME DE LA TRABECULOPLASTIE AU LASER SELECTIVE (SLT)

MÉMOIRE PRESENTE PAR :

Docteur Bouassel Anass

POUR L'OBTENSION DU DIPLÔME DE SPECIALITE EN
MEDECINE

OPTION : OPHTALMOLOGIE

Sous la direction de : Professeur BENATIYA ANDALOUSSI Idriss

Professeur Laktaoui Abdelkader

Pr. BENATIYA A. Idriss
Chef de service d'Ophthalmologie
CHU Hassan II - FES

Session 2021

**Médecin Colonel
Abdelkader LAKTAOUI**
Professeur en Ophthalmologie
Chef de pole ex. Céphalique
Hôpital Militaire My Ismail - Mekrès

À nos maîtres,

*Pour ce don inestimable, nous vous restons à jamais reconnaissants,
sincèrement respectueux et toujours disciples dévoués*

Liste des abréviations :

HTIO	: hypertonie intra-oculaire isolée
GPAO	: Glaucome primitif à angle ouvert
G-PEC	: glaucome pseudo-exfoliatif
G-Pig	: Glaucome pigmentaire
DP	: Dispersion pigmentaire
HTP	: Hypertension pigmentaire
PIO	: pression intraoculaire
TNO	: Tête du nerf optique
HA	: humeur aqueuse
ALT	: trabéculoplastie au laser Argon
SLT	: trabéculoplastie au laser sélective
CV	: champ visuel
OCT	: tomographie en cohérence optique
AV	: acuité visuelle
MAVC	: meilleure acuité visuelle corrigée
GCC	: complexe des cellules ganglionnaires
RNFL	: couche des fibres nerveuses réiniennes
SNP	: sclérectomie non perforante
HIFU	: ultrasons focalisés à haute intensité
ICE syndrome	: syndrome irido-cornéen-endothéliale
PG	: prostaglandine
BB	: bétabloquant
IAC	: inhibiteur de l'anhydrase carbonique
NC	: non connu

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

SAP : Les synéchies antérieures périphériques

OMC : L'œdème maculaire cystoïde

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	8
II. GÉNÉRALITÉS :	10
1. RAPPELS ANATOMIQUES : L'ANGLE IRIDOCORNÉEN	10
1.1. Constitution.....	11
1.2. Anatomie clinique : la gonioscopie	12
1.3. Anatomie et ultrastructure : le trabéculum	19
2. PHYSIOLOGIE DE L'EXCRÉTION DE L'HUMEUR AQUEUSE	24
2.1. Circulation de l'humeur aqueuse.....	24
2.2. Voie Trabéculo-canaliculaire	25
2.3. Voie uvéosclérale :	26
2.4. Voie irienne	27
2.5. Régulation de l'excrétion de l'humeur aqueuse	27
3. Les glaucomes à angle ouvert	30
3.1 Le Glaucome primitive à angle ouvert (GPOA)	30
3.2. Glaucomes secondaires à angle ouvert	47
3.3. Hypertonie oculaire isolée	59
4. La Trabéculoplastie.....	62
4.1. La trabéculoplastie au laser Argon (ALT).....	62
4.2. LA TRABÉCULOPLASTIE AU LASER SELECTA (SLT)	67
III. MATÉRIELS ET MÉTHODES :	80
1. Données Cliniques.....	80
2. Déroulement de la procédure.....	81
3. Suivi ophtalmologique :	84
4. Critères de succès :	85
5. Analyses statistiques :	85
IV. RÉSULTATS	86
1. Profil de la population étudiée :	86
2. Données concernant la procédure :	88
3. Résultats sur la pression intraoculaire :	90
4. Les résultats en fonction du type de glaucome :	95
5. Les résultats en fonction de la surface marquée par les bulles de cavitation :	99

6. Complications :	101
V. DISCUSSION :	103
1. L'efficacité de la trabéculoplastie SLT à court terme :	103
1.1. L'efficacité immédiate de la SLT :	103
1.2. L'efficacité à court terme de la SLT :	104
1.3. Efficacité sur le long terme :	106
1.4. Efficacité du retraitement :	109
2. Comparaison ALT et SLT :	110
3. Comparaison entre SLT et prostaglandines :	111
4. Réduction de la fluctuation de la PIO avec SLT :	112
5. Facteurs influençant la réponse thérapeutique :	113
4.1. La surface traitée :	113
4.2. La pression intraoculaire initiale	114
4.3. Le type de glaucome.....	115
4.4. Les antécédents de chirurgie ophtalmologique	116
4.5. Les traitements hypotonisants associés	116
4.6. L'énergie délivrée	117
4.7. Les autres facteurs	117
6. Complications :	118
7. Limites de notre étude :	120
VI. CONCLUSION	121
VII. Bibliographie :	123

I. INTRODUCTION

Dans sa définition moderne, le glaucome est une neuropathie optique progressive qui se manifeste par des anomalies de la papille optique et des altérations subséquentes du champ visuel. [1]

Le GPAO constitue un enjeu de santé publique majeur puisqu'il atteignait environ 45 millions de personnes dans le monde en 2010. Il est également la première cause de cécité irréversible, soit environ 15 % de toutes les cécités, ce qui représentait environ 4,5 millions de personnes à travers le monde en 2010. [2]

Il existe également des formes de glaucome à angle ouvert secondaires soit en rapport avec une pathologie oculaire (syndrome pseudo-exfoliatif, syndrome de dispersion pigmentaire par exemple), soit d'origine iatrogène notamment secondaire à la prise d'anti-inflammatoires stéroïdiens ou encore d'origine extra-oculaire, surtout dans le cadre d'augmentation de la pression veineuse épisclérale.

Actuellement, La prise en charge du glaucome débute le plus souvent par le traitement médical, la chirurgie étant généralement réservée aux cas les plus évolués ou résistant à ce traitement médical. La trabéculoplastie au laser sélective a, depuis son avènement, souvent été présentée comme alternative à la chirurgie, en permettant d'éviter celle-ci. Elle permet d'abaisser significativement la pression intra-oculaire (PIO) et de simplifier le traitement médical en diminuant le nombre de collyres à instiller, et retarde effectivement l'heure de la chirurgie filtrante. [3]

Le mécanisme d'action du laser SLT est encore imparfaitement connu. C'est un traitement physique de l'angle iridocornéen qui s'effectue avec des impulsions très courtes et des niveaux d'énergie bien inférieurs à ceux utilisés dans la classique trabéculoplastie au laser à l'argon. [4 ;5]

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

Le laser SLT, expérimenté depuis près d'une vingtaine d'années, a fait l'objet de plus d'une centaine de publications scientifiques, visant à confirmer ses indications cliniques, son efficacité et sa place dans le traitement du GPAO. Ces études démontrent que la trabéculoplastie au laser SLT est aussi efficace que l'ALT, et qu'elle peut être avantageusement comparée à une monothérapie. [6 ;7 ;8]

Nous proposons au travers de cette mémoire de réaliser une étude prospective sur les résultats à court terme obtenus après réalisation du laser SLT ainsi que d'évaluer les facteurs pronostiques (principalement le type de glaucome) pouvant influencer le résultat de la procédure, dans le service d'ophtalmologie de L'HMMI entre Janvier 2018 et décembre 2019.

II. GÉNÉRALITÉS :

1. RAPPELS ANATOMIQUES : L'ANGLE IRIDOCORNÉEN [9 – 12]

L'angle iridocornéen est l'un des composants majeurs de l'oeil. Il est issu de la réunion de quatre structures oculaires indissociables : la cornée, avec en avant la sclère, puis l'iris et le corps ciliaire en arrière.

C'est l'association anatomique entre ces quatre éléments qui lui confère son importance physiopathologique :

- D'une part, il joue un rôle dans l'excrétion de l'humeur aqueuse par le biais de l'un de ses éléments essentiels, le trabéculum.
- D'autre part son anatomie explique son implication dans la genèse de certains glaucomes

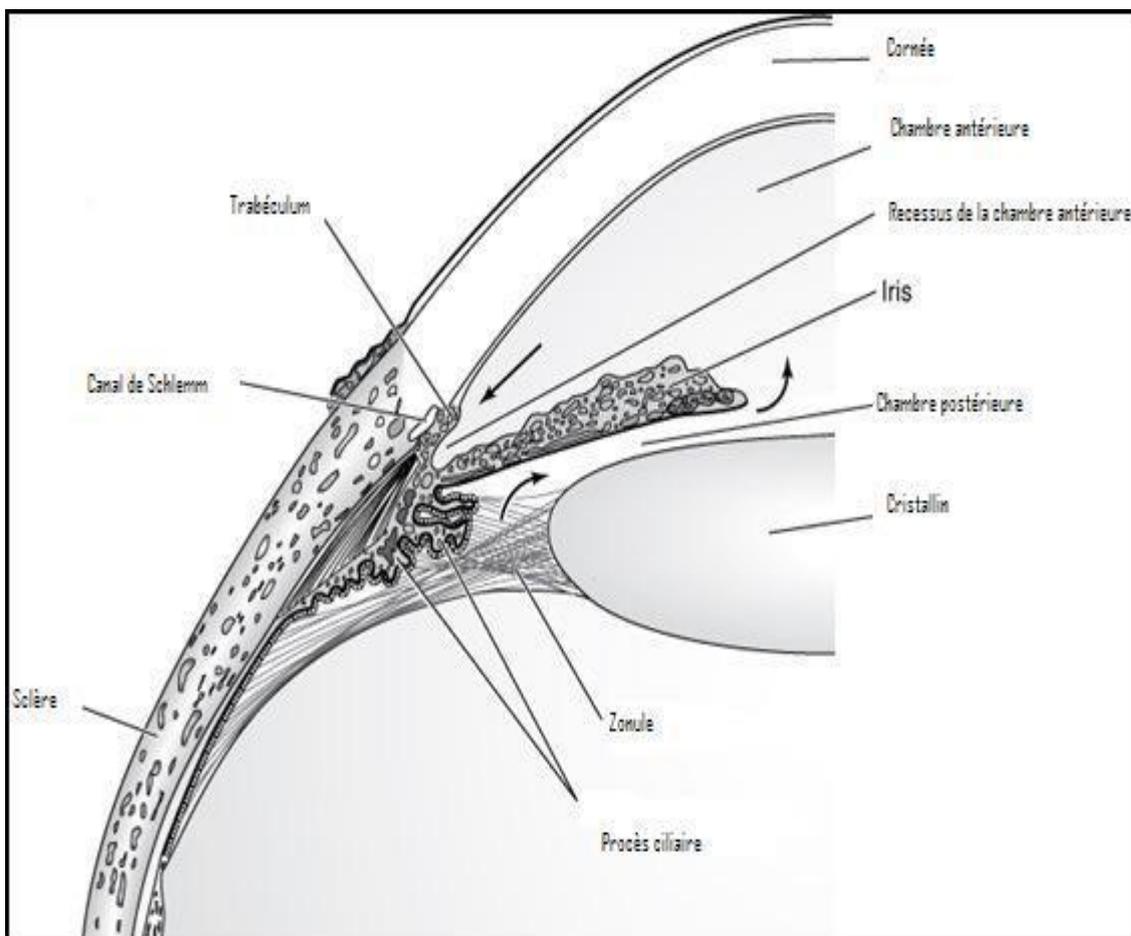


Figure 1 : Coupe anatomique de l'angle iridocornéen. [11]

1.1. Constitution

L'angle iridocornéen est constitué de 2 parois et d'un sommet :

- La paroi antéro-externe qui correspond au versant interne de la jonction cornéo-sclérale :
 - Sa partie la plus antérieure est constituée par l'anneau de Schwalbe qui forme la partie antérieure de l'angle et qui se présente sous la forme d'un bourrelet translucide, faisant discrètement saillie dans la chambre antérieure.
 - Puis, on trouve la gouttière sclérale qui est une dépression annulaire creusée dans la sclère, contenant le canal de Schlemm et tapissée par le trabéculum.
 - En arrière, on trouve l'éperon scléral qui est une bande annulaire de condensation de fibres sclérales d'orientation circulaire et de couleur blanc nacré ;
- La paroi postéro-interne correspond à l'insertion de la racine de l'iris qui est généralement convexe vers l'avant. Immédiatement en avant de la racine irienne se trouve la bande ciliaire, partie gonioscopiquement visible du muscle ciliaire ;
- Le sommet de l'angle est constitué de 3 chefs musculaires qui forment le muscle ciliaire.

1.2. Anatomie clinique : la gonioscopie

La gonioscopie est une technique d'examen utilisée pour visualiser, analyser et déterminer la topographie des structures de l'angle iridocornéen. Elle est réalisée en lampe à fente mais n'est possible qu'avec l'aide d'un système optique de contact compte tenu de l'angle d'incidence lors de l'observation. En effet, dans des conditions normales, la lumière réfléchi à partir des structures de l'angle subit une réflexion interne totale au niveau de l'interface air-larme. La lumière est alors totalement réfléchi en arrière dans le stroma cornéen. Cela empêche de visualiser directement les structures de l'angle. D'où la nécessité de supprimer cette interface en positionnant un verre de contact pour permettre un examen gonioscopique.

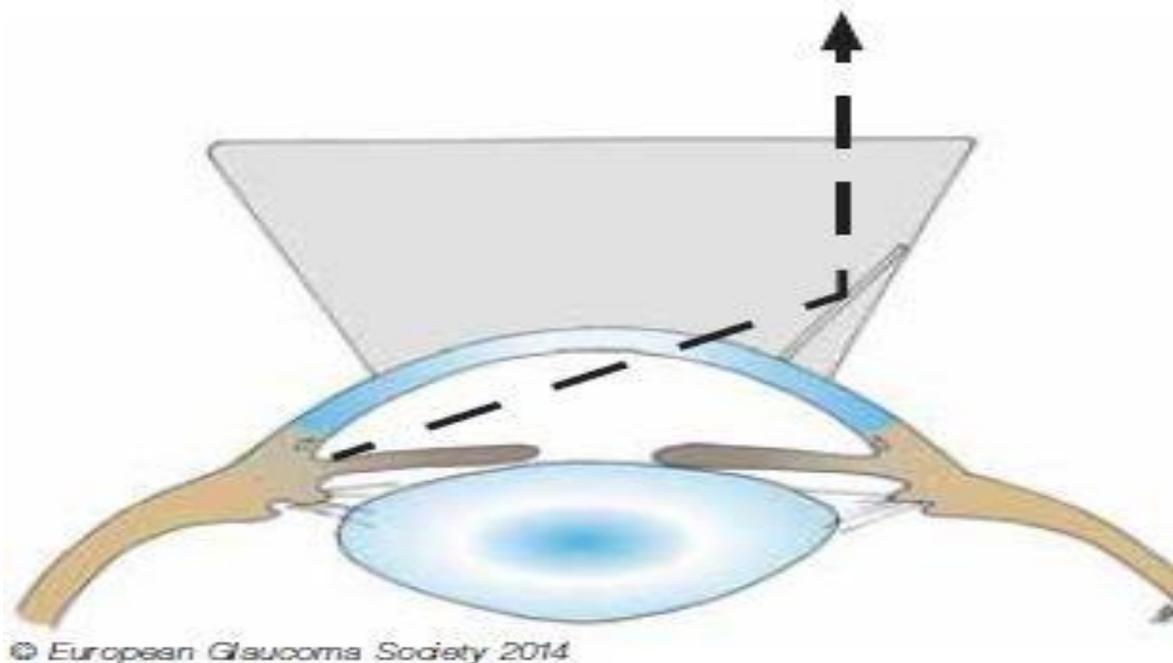


Figure 2 : Rayon lumineux provenant de la chambre de l'angle iridocornéen. (EGS 2014)

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

Il est réalisé de la manière suivante : le verre d'examen est posé sur la surface cornéenne après instillation de collyre anesthésique et avec éventuellement un agent visqueux en fonction du type de verre utilisé. L'examen est réalisé dans une pièce faiblement éclairée et avec un faisceau lumineux fin et court afin de ne pas induire un myosis pouvant modifier les structures angulaires.

Il existe plusieurs types de gonioscopie, en fonction du type de lentille d'examen utilisée :

- La gonioscopie directe qui permet un examen direct et panoramique de l'angle iridocornéen, le rayon lumineux passant directement à travers la cornée. Les principales lentilles de gonioscopie utilisées sont : le verre de Koepe, le verre de Worst ou encore le verre de Barkan.

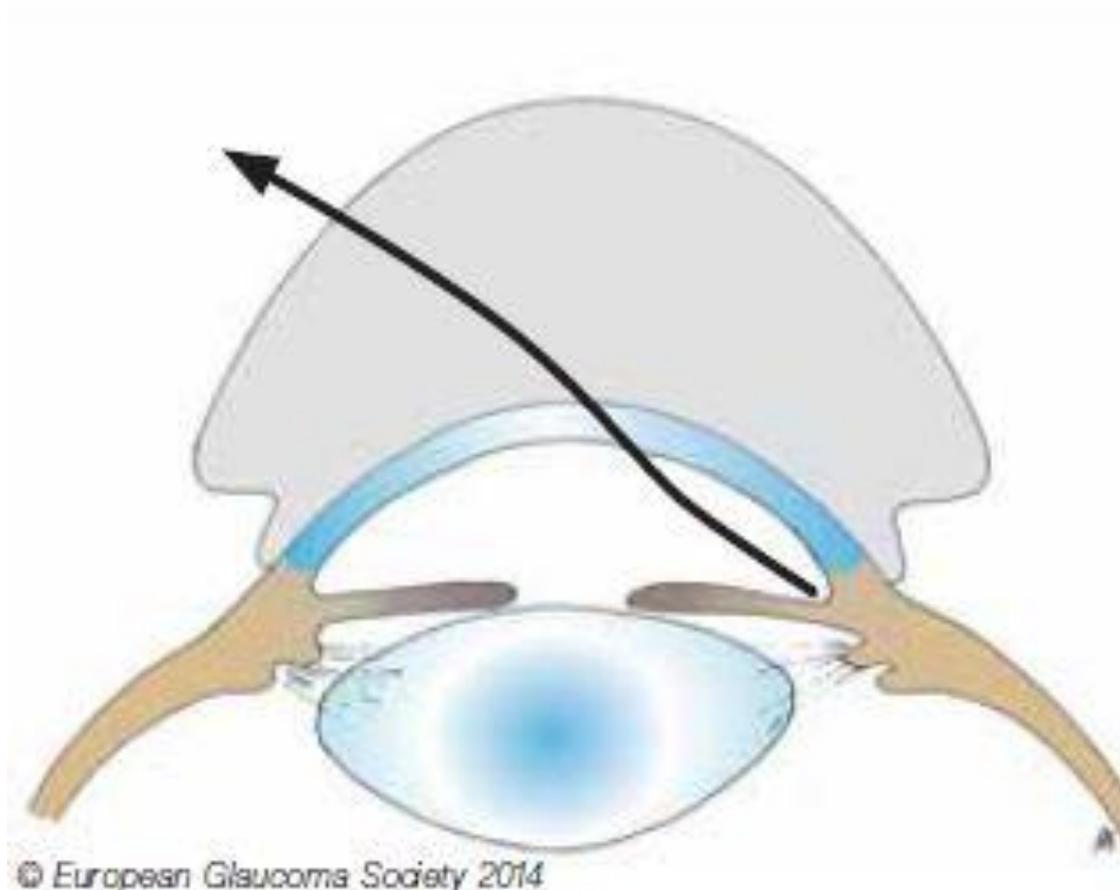


Figure 3 : Principe de la gonioscopie directe par Verre de Koepe (EGS 2014)

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

- La gonioscopie indirecte est la plus fréquemment utilisée en pratique clinique courante. La lumière réfléchiée à partir de l'angle passe dans le verre de gonioscopie et est réfléchiée par un miroir incliné situé à l'intérieur de la lentille. Elle donne une image inversée et légèrement raccourcie de la partie opposée de l'angle. Les principales lentilles de gonioscopie indirecte utilisées sont le verre de Goldman de 1 à 4 miroirs ou le verre à quatre miroirs de Possner. C'est également avec un verre de gonioscopie indirecte que l'on réalise la trabéculoplastie laser : soit en utilisant un verre de Latina SLT, soit un V3M de Goldman ou soit un verre CGA d'Haag-Streit.

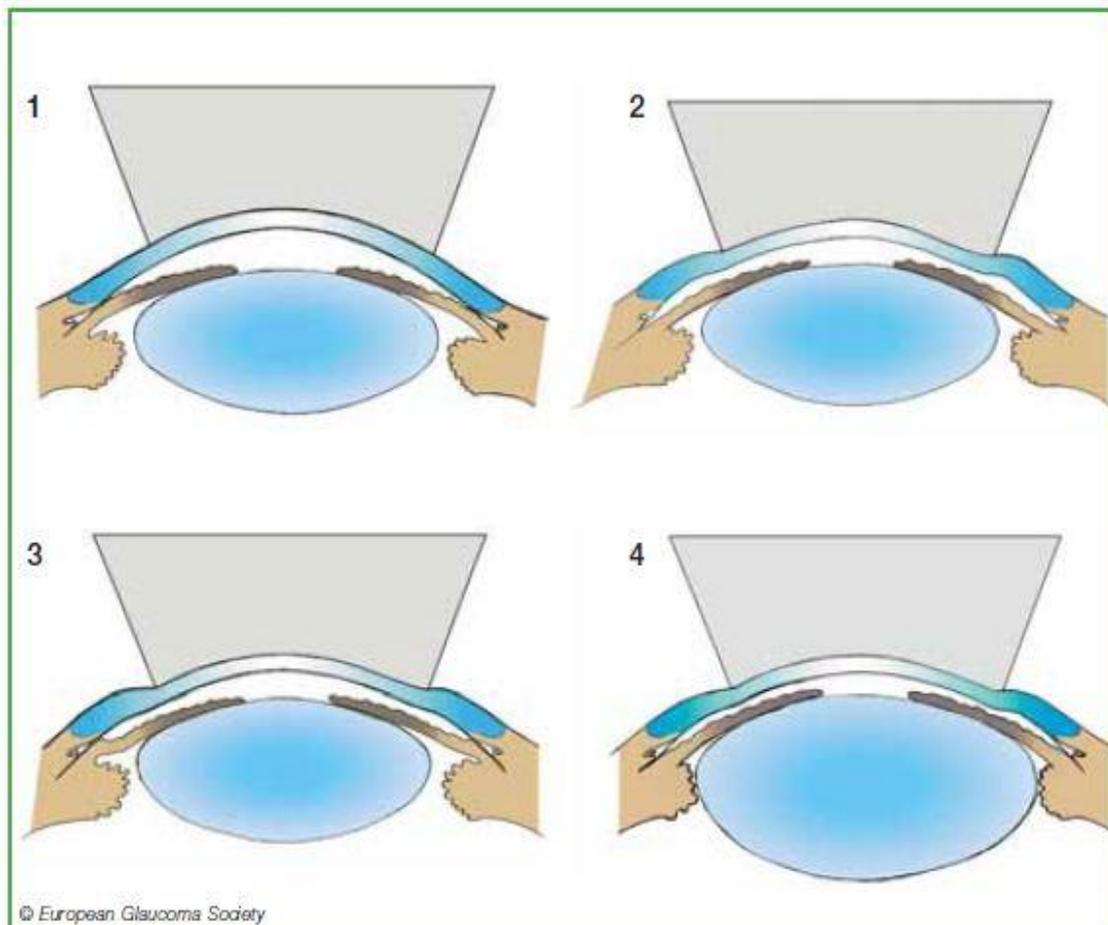


Figure 4 : Principe de la gonioscopie indirecte par verre de Possner (D'après EGS 2014)

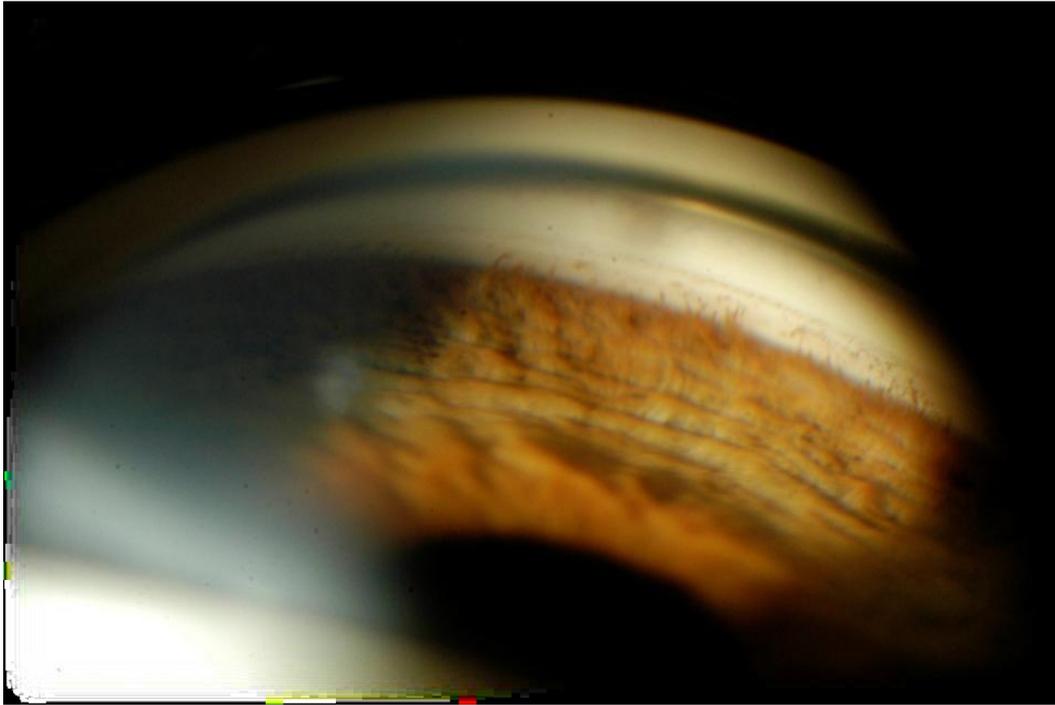


Figure 5 : Exemple d'image biomicroscopique obtenue en gonioscopie indirecte

L'examen gonioscopique est fondé en premier lieu sur la reconnaissance des structures anatomiques composant l'angle iridocornéen. On retrouve d'avant en arrière les éléments suivants :

L'anneau de Schwalbe

C'est une condensation de collagène qui forme une saillie fine en relief, blanc grisâtre et qui correspond à la limite périphérique de l'endothélio-Descemet. Il peut être parfois très proéminent (embryotoxon postérieur) ou très pigmenté (ligne de Sampaolesi). Parfois, il est translucide : dans ce cas, pour le repérer, on peut s'appuyer sur le fait que la fente du biomicroscope au niveau de la cornée prend une forme de parallélépipède à trois dimensions qui se transforme en une fente à deux dimensions au niveau de l'anneau (figure 6).

Le trabéculum

Il est de couleur blanc grisâtre, parfois finement pigmenté dans la zone en regard du canal de Schlemm, c'est-à-dire dans sa partie postérieure. Il est d'épaisseur variable. Sa pigmentation varie en fonction de l'âge et est rare avant la puberté.

D'autres éléments peuvent être visibles en regard du trabéculum : des trabécules iriens, des vaisseaux sanguins pathologiques ou non et la présence de sang dans le canal de Schlemm visible par transparence.

L'éperon scléral

Il se forme immédiatement en arrière du trabéculum. C'est une ligne blanc nacré. Elle est parfois dissimulée par des trabécules iriens ou une insertion antérieure de la racine de l'iris. Cette structure est d'apparence relativement constante dans les différents yeux.

La bande ciliaire

C'est une ligne lisse plus ou moins pigmentée. On observe parfois quelques éléments vasculaires du grand cercle artériel de l'iris. Elle peut être largement visible notamment en cas de myopie ou d'aphakie, mais elle peut aussi être étroite, voire absente, par exemple en cas d'hypermétropie ou d'insertion antérieure de l'iris.

La racine de l'iris

C'est la partie la plus postérieure de l'angle d'où se détachent parfois vers la partie antérieure de l'angle des trabécules iriens. Son aspect peut varier en fonction de son épaisseur, de son insertion sur le corps ciliaire et de son angulation périphérique. Lors de l'examen gonioscopique, les différents éléments suivants doivent toujours être considérés :

- Le niveau d'insertion de l'iris ;
- La forme de la périphérie irienne ;
- L'existence de zone d'apposition irido-trabéculaire ou de synéchies par la réalisation d'une gonioscopie dynamique en indentant la cornée avec un verre d'examen de petit diamètre postérieur ;
- L'intensité de la pigmentation de l'angle ;

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

- L'estimation du degré d'ouverture de l'angle.

Pour cette dernière, il existe plusieurs classifications qui permettent d'en rendre compte. En effet, la meilleure méthode pour décrire l'angle consiste à utiliser un système de classification standardisé. Les classifications les plus utilisées sont celle de Shaffer et celle de Spaeth.

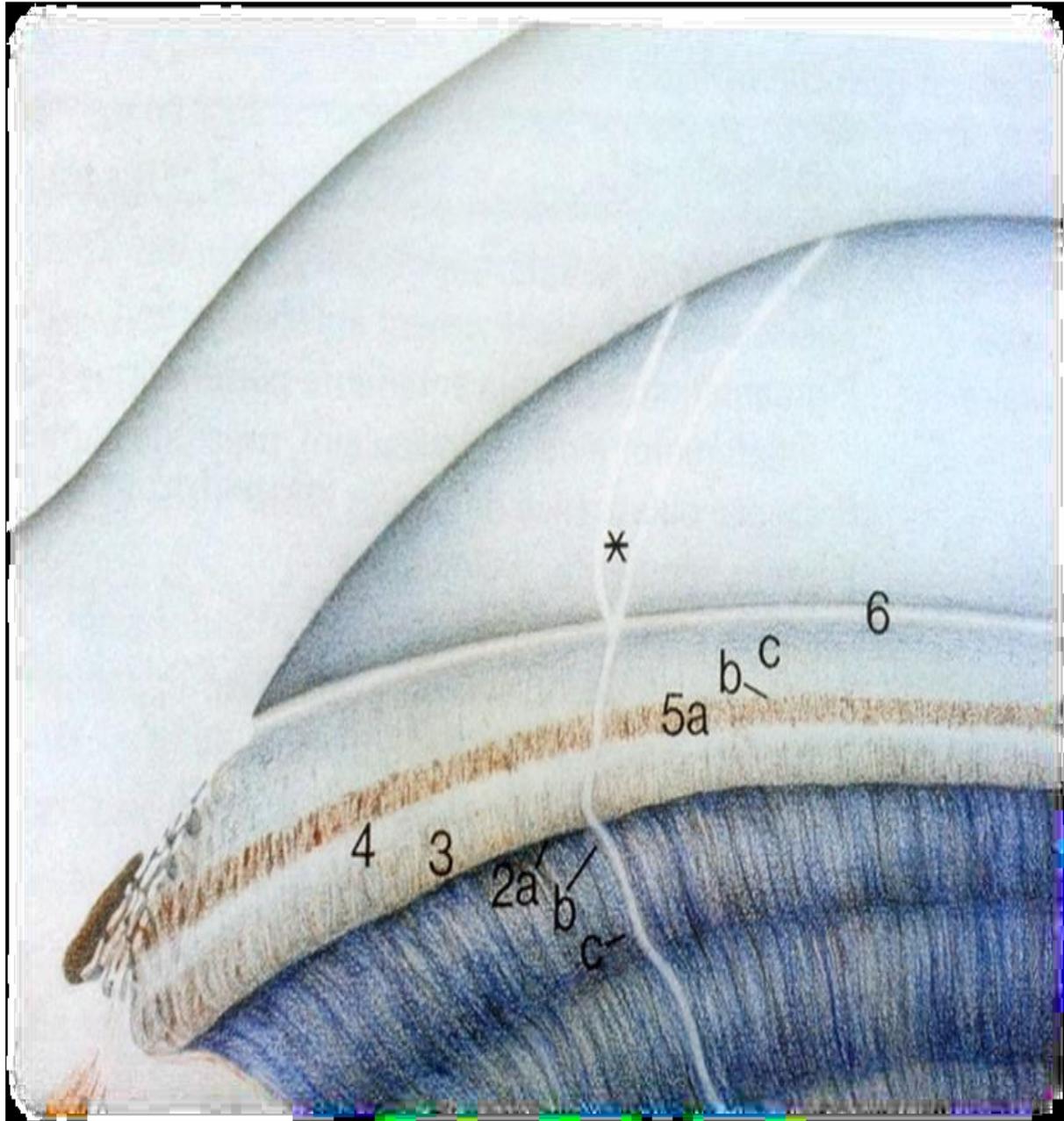


Figure 6 : les différentes structures de l'angle iridocornéen : 2 racine de l'iris 3 bande ciliaire 4 éperon sclérale, 5 trabéculum 6 ligne de Schwalbe * limite cornéenne optique (d'après Glaucome, traduit de l'AAO, Elsevier 2010)

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

La classification de Shaffer est chiffrée de 0 à 4 en fonction du nombre d'éléments de l'angle iridocornéen visible. C'est probablement la classification la plus utilisée en pratique courante.

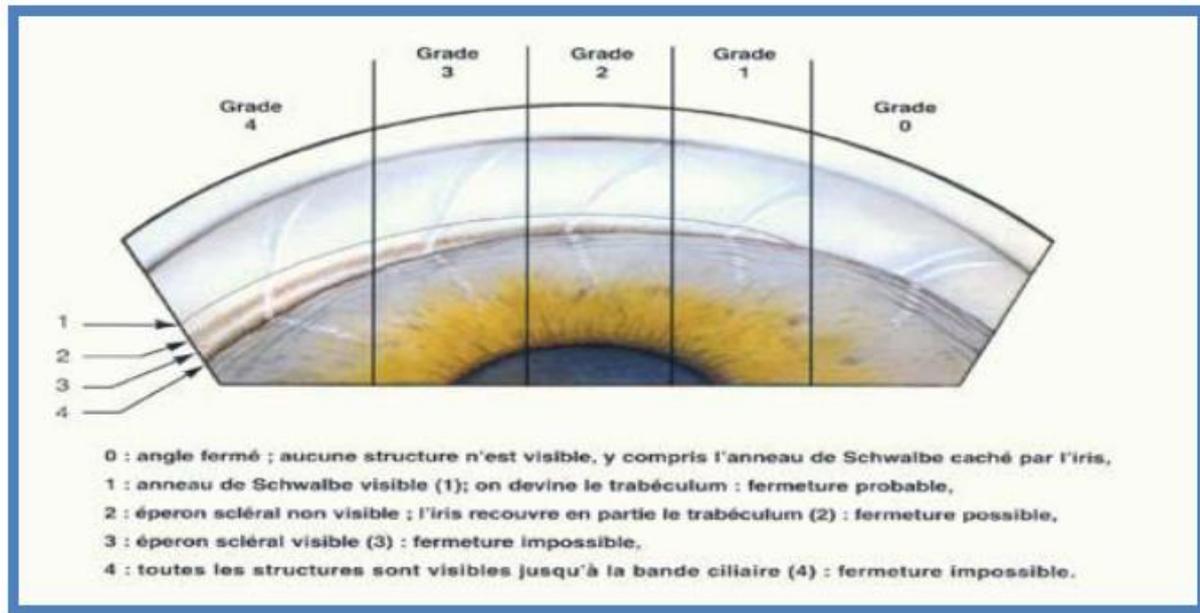


Figure 7 : Classification de Shaffer (D'après Alward W., Color Atlas of gonioscopy, Mosby 1994)

La classification de Spaeth est fondée sur trois critères : l'appréciation du degré d'ouverture de l'angle en degrés (entre la cornée et l'iris), la courbure de l'iris en périphérie et le site d'insertion de l'iris.

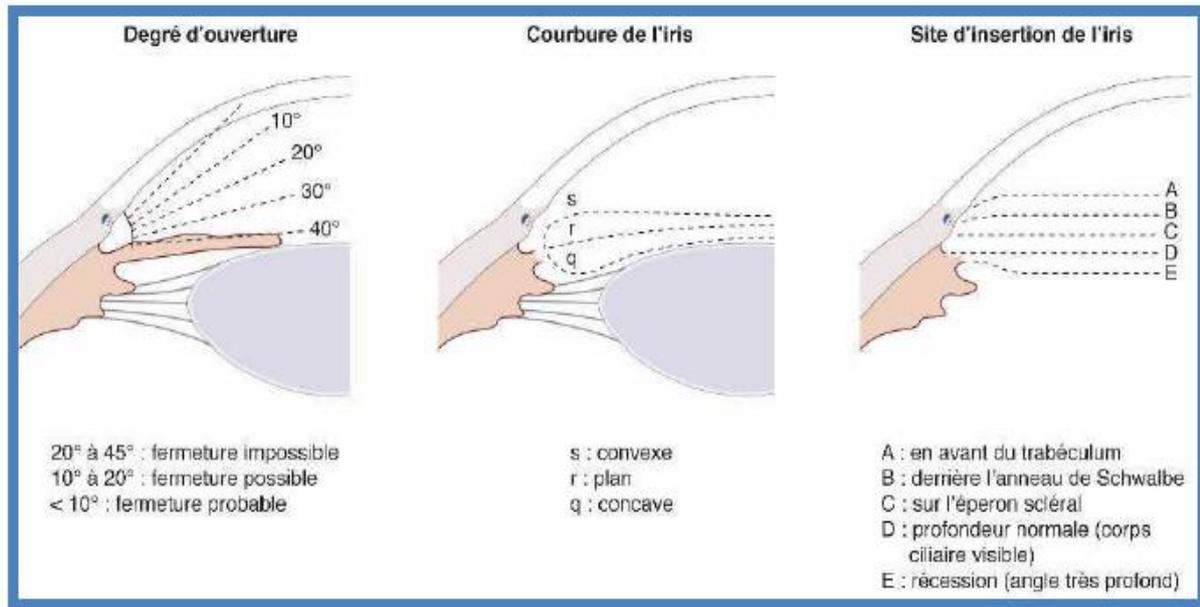


Figure 8 : Classification du degré d'ouverture de l'angle selon Spaeth (D'après Alward W., Color Atlas of gonioscopy, Mosby 1994)

1.3. Anatomie et ultrastructure : le trabéculum [13 ;14]

Le trabéculum, élément central de l'angle iridocornéen, joue un rôle central dans la circulation de l'humeur aqueuse puisqu'il est majoritairement responsable de son évacuation. Il joue schématiquement le rôle de filtre : en effet, il est constitué de mailles de collagène séparées d'espaces vides qui permettent la filtration de l'humeur aqueuse. Il s'agit d'une bande triangulaire prolongeant l'endothélio-Descemet, parallèle au limbe scléro-cornéen, à sommet antérieur, qui tapisse l'angle iridocornéen sur la totalité de sa circonférence.

Triangulaire à la coupe, on décrit macroscopiquement trois faces :

- Une antéro-externe entre anneau de Schwalbe et éperon scléral ;
- Une postéro-externe allant de l'éperon scléral jusqu'à la racine de l'iris ;

- Une face interne directement en contact avec l'humeur aqueuse dans la chambre antérieure, de l'anneau de Schwalbe à la racine de l'iris.

De la chambre antérieure jusqu'au canal de Schlemm, on distingue successivement trois portions au trabéculum :

1.3.1. Le trabéculum uvéal

Il est constitué de deux à quatre couches de lamelles trabéculaires, distantes d'environ 20 μm . Elles forment un réseau de piliers de fibres de collagène et d'élastine de 5 à 12 μm de diamètre. Ils sont entourés d'une membrane basale sur laquelle reposent des cellules endothéliales trabéculaires ou trabéculocytes. L'organisation de ces piliers en larges espaces et orifices (25 à 75 μm) n'offre que peu de résistance au passage de l'humeur aqueuse. Les trabéculocytes sont des cellules caractérisées par une importante activité phagocytaire vis-à-vis notamment des granules de pigments et autres débris cellulaires. Elles synthétisent également des glycosaminoglycanes, du collagène et des glycoprotéines.

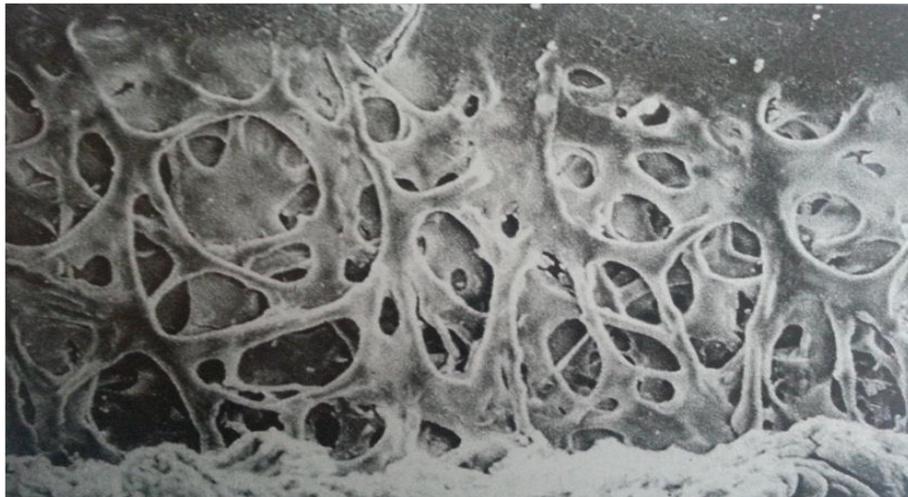


Figure 9 : Image en microscopie électronique des piliers du trabéculum uvéal
(d'après Kanski, Clinical ophthalmology, Chap 10, 7th edition, 2011)

1.3.2. Le trabéculum cornéoscléral

Il est formé de lamelles conjonctives superposées et percées d'orifices ovalaires, orientés parallèlement au limbe et à disposition circulaire, de taille progressivement décroissante. Le nombre de lamelles constitutives augmente progressivement d'avant en arrière allant de quatre couches en antérieur pour atteindre quinze à vingt couches en postérieur. Chaque lamelle de 5 μm d'épaisseur est composée de quatre couches successives : une couche de tissu conjonctif constituée de collagène et d'élastine, une couche de substance fondamentale, une membrane basale sur laquelle repose un endothélium trabéculaire constitué de cellules formant une monocouche continue. La forte densité des fibres dans les lamelles, la largeur des espaces interlamellaires (de 2 à 6 μm) et l'agencement décalé des orifices (de 2 à 12 μm) d'une lamelle à l'autre ne semblent cependant pas être des obstacles à l'élimination de l'humeur aqueuse.

1.3.3. Le trabéculum cribriforme ou juxtacanaliculaire

C'est la partie la plus externe du trabéculum et le dernier obstacle trabéculaire à l'écoulement de l'humeur aqueuse. Il est constitué d'un tissu conjonctif lâche, sans stratification, et de deux à cinq couches de cellules endothéliales trabéculaires, disposées de manière aléatoire, au sein d'une substance fondamentale ou matrice extracellulaire. Ces cellules, riches en ribosome et appareil de Golgi, synthétisent la substance intercellulaire, composée de protéoglycanes et glycosaminoglycanes, et possèdent une capacité importante de phagocytose par vacuolisation.

Elles renferment également de nombreux microfilaments d'actine intervenant dans l'élasticité, la contraction et la motilité cellulaire. Les cellules les plus externes partagent leur membrane basale avec les cellules du mur interne du canal de Schlemm. Les macromolécules produites tendent à réduire la taille des espaces intertrabéculaires et constituent ainsi une gêne à l'élimination de l'humeur aqueuse.

1.3.4. Le canal de Schlemm

Il est de structure vasculaire et chemine dans la paroi postérieure de la gouttière sclérale, parallèlement au limbe et est directement en contact avec le trabéculum juxta-canalair. Il a une forme annulaire et circulaire. Ses deux parois, interne et externe, sont constituées de cellules endothéliales.

- La paroi interne est en continuité avec le trabéculum cribiforme et forme le mur interne du canal, dernière structure traversée par l'humeur aqueuse. On distingue au sein de ces cellules des vacuoles intracytoplasmiques géantes, repérables par la présence de Pores au sein du mur interne, formant un passage trans-canalair. La formation des vacuoles dépendrait de la pression intraoculaire et elles seraient d'autant plus nombreuses et grandes que la pression est élevée. Ces vacuoles seraient impliquées dans le transfert actif de l'humeur aqueuse du trabéculum vers la lumière du canal.
- La paroi externe du canal donne naissance à des canaux collecteurs efférents drainant l'humeur aqueuse vers le réseau veineux épiscléral.

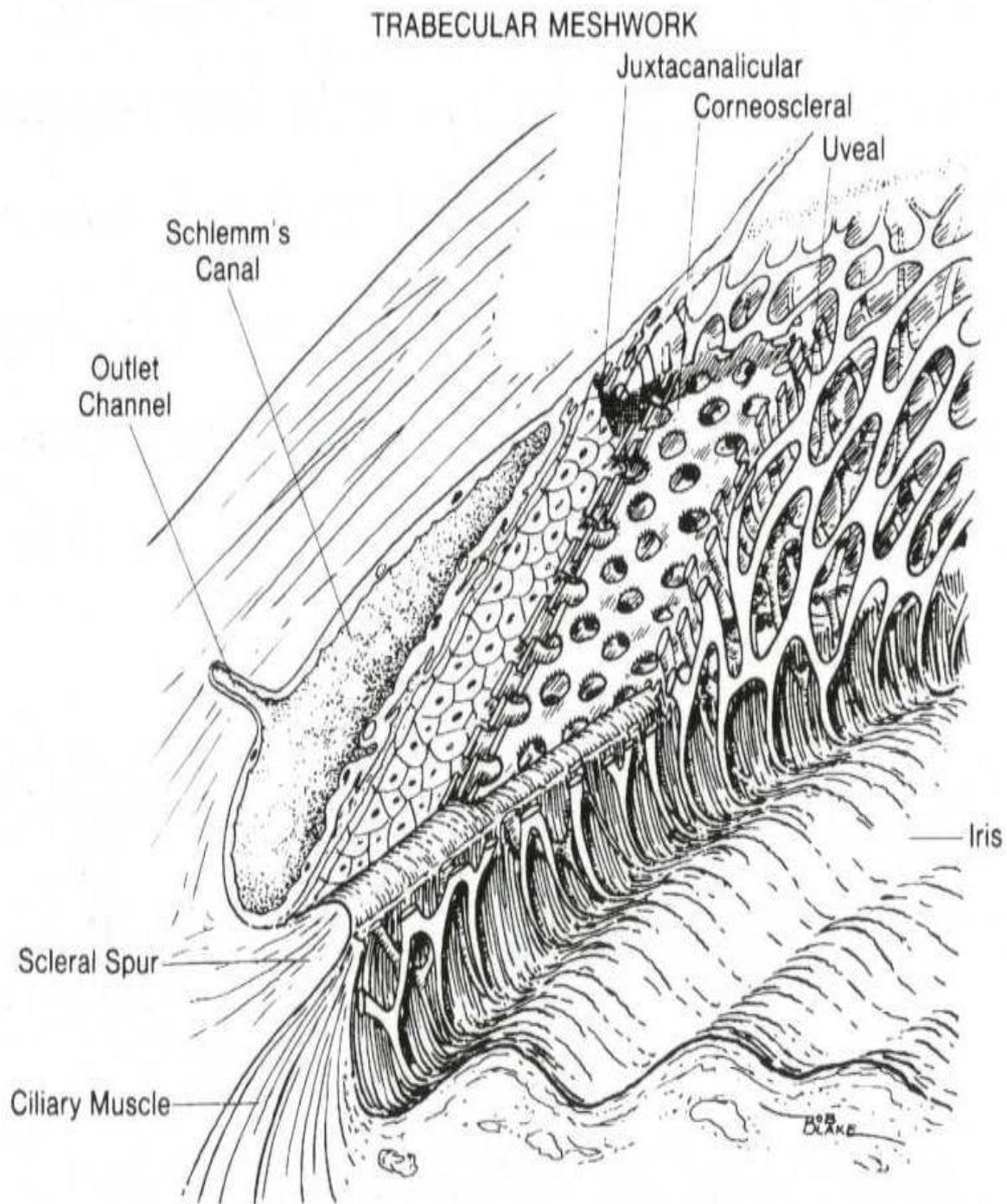


Figure 10 : Anatomie du trabéculum avec représentation des 3 structures trabéculaires et du canal de Schlemm (d'après R.R Alligham, Shield's book of glaucoma, 2005, Lipincott, Williams & Wilkins)

2. PHYSIOLOGIE DE L'EXCRÉTION DE L'HUMEUR AQUEUSE [15 ; 16]

3.1. Circulation de l'humeur aqueuse

L'humeur aqueuse est sécrétée par l'épithélium ciliaire qui recouvre les procès ciliaires, disposés de façon circulaire en arrière de l'iris dans la chambre postérieure. L'humeur aqueuse passe ensuite autour du cristallin, chemine entre le cristallin et l'iris, puis arrive en chambre antérieure et est finalement éliminée en dehors de l'œil.

L'élimination se fait très majoritairement au niveau de l'angle iridocornéen par voie trabéculaire et de façon accessoire par voie uvéosclérale, au travers des tissus du stroma irien et de la base du corps ciliaire jusqu'à l'espace suprachoroïdien. L'humeur aqueuse filtrée au niveau trabéculaire est ensuite collectée au niveau du canal de Schlemm qui s'abouche dans des petites veines aqueuses, qui permettent le retour de l'humeur aqueuse dans la circulation sanguine.

provenir de la paroi interne du canal de Schlemm ainsi que des parties les plus externes du trabéculum juxtacanaliculaire. Le reste des résistances à l'écoulement proviendrait du trajet intrascléral des voies d'évacuation.

Les mécanismes de passage transcellulaire de l'humeur aqueuse au sein du mur interne du canal ne sont pas parfaitement identifiés. La théorie la plus probable à l'heure actuelle évoque un phénomène de passage transcellulaire passif de l'humeur aqueuse au travers de la couche de cellules endothéliales du mur interne favorisé par un gradient de pression de part en part des cellules. Un phénomène de pinocytose entraînerait l'invagination de la membrane cytoplasmique aboutissant à la capture de gouttelettes d'humeur aqueuse intracytoplasmiques. Les vésicules seraient ensuite redirigées vers la membrane cytoplasmique opposée pour fusionner avec celle-ci de façon à libérer l'humeur aqueuse dans la lumière du canal de Schlemm.

Par ailleurs, certaines publications suggèrent un passage paracellulaire de l'humeur aqueuse. Il existerait des zones intercellulaires plus lâches, à distance des jonctions serrées, réalisant ainsi de petits canaux mettant la communication entre le trabéculum juxtacanaliculaire et la lumière du canal de Schlemm. Ce passage paracellulaire semble également proportionnel à la PIO.

3.3. Voie uvéosclérale :

L'absence de barrière épithéliale à la face antérieure de l'iris permet à l'HA d'entrer dans le stroma irien – tissu conjonctif lâche – puis de cheminer en son sein jusqu'aux faisceaux musculaires ciliaires. L'HA gagne ainsi les espaces supra-ciliaire et suprachoroïdien.

De là, elle traverse la sclère directement ou en empruntant les espaces périvasculaires, voies de pénétration des vaisseaux sanguins et des nerfs. Hors de l'oeil, dans le tissu orbitaire, l'HA est en partie réabsorbée par les vaisseaux sanguins orbitaires et en partie drainée via les vaisseaux lymphatiques de la conjonctive.

3.4. Voie irienne

Des études ont montré, en l'absence de rupture de la barrière hémato-aqueuse, la possibilité de passage direct de traceurs de la chambre antérieure jusque dans la lumière des veines de l'iris. [19]

La contribution de ce mécanisme n'est pas précisément connue, mais semble mineure en conditions physiologiques.

3.5. Régulation de l'excrétion de l'humeur aqueuse

L'excrétion de l'humeur aqueuse est modulée par plusieurs mécanismes différents :

3.1.1. Mécanismes cellulaires et moléculaires

a. Des mécanismes cholinergiques :

En effet les agonistes cholinergiques diminuent la sécrétion d'humeur aqueuse. L'état du muscle ciliaire exerce une influence sur la configuration du trabéculum. Lorsqu'il se contracte, il entraîne un étirement du trabéculum et un élargissement de ses espaces interlamellaires.[20]

b. Des mécanismes adrénérgiques :

Les agonistes adrénérgiques augmentent la sécrétion d'humeur aqueuse. Les effets sont principalement médiés par les récepteurs β_2 des cellules endothéliales.

c. Des mécanismes cellulaires :

Les cellules trabéculaires jouent un rôle prépondérant dans la résistance à l'écoulement.

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

- D'une part, leurs propriétés de phagocytose leur permettent de débarrasser le trabéculum des débris véhiculés par l'humeur aqueuse.
- D'autre part, les propriétés contractiles du cytosquelette d'actine/myosine des cellules endothéliales influencent le flux d'humeur aqueux sortant.

Cela se vérifie par le fait que les agents dégradant leur cytosquelette ainsi que leurs protéines contractiles (cytochalasines³⁵, EDTA), les jonctions intercellulaires et la matrice extracellulaire provoquent un élargissement des espaces interlamellaires et augmentent l'écoulement de l'humeur aqueuse. [21]

d. La composition biochimique et l'organisation structurale de la matrice extracellulaire :

Elle est riche en glycosaminoglycanes et protéoglycanes. Il existe un turn-over de cette matrice extracellulaire qui dépend des capacités de synthèse cellulaire et des capacités de dégradation enzymatique. Les agents dégradant ses composants comme par exemple les métalloprotéinases entraînent en effet une augmentation du flux d'humeur aqueuse par voie trabéculaire. [22]

Cette activité est contrebalancée par l'activité d'enzymes, comme la hyaluronidase, qui dépolymérisent les glycosaminoglycanes et leur font perdre leur eau. L'hydratation de ces molécules générant une certaine résistance, la balance entre hydratation et déshydratation pourrait participer à la régulation de l'écoulement de l'humeur aqueuse. [23]

3.2.1. Mécanismes intercellulaires [24 ; 25]

Les travaux d'Alvaro et al. sur le trabéculum, le canal de Schlemm et le laser SLT ont permis une meilleure compréhension de la physiologie de l'évacuation de l'humeur aqueuse et sa régulation. Ils permettent de rendre compte des mécanismes biologiques impliqués dans la trabéculoplastie SLT.

Les interactions entre trabéculocytes et cellules endothéliales du mur interne du canal de Schlemm seraient également responsables de la régulation du passage transcellulaire de l'humeur aqueuse. En effet, des mécanismes paracrines mais également autocrines seraient impliqués dans la régulation de la fonction de ces 2 types cellulaires. Ces interactions se feraient par le biais de cytokines : IL-1 α et β , TNF α et IL-8.

Par ailleurs, un rôle éventuel des monocytes/macrophages a été évoqué dans la régulation de l'excrétion de l'humeur aqueuse. Ils sont présents en nombres significatifs dans les voies d'évacuation de l'humeur aqueuse. Ces cellules peuvent circuler dans les voies d'écoulement de l'humeur aqueuse et pourraient augmenter son excrétion au sein du trabéculum. Les monocytes auraient une capacité significative de sécrétion de cytokines vasoactives pour promouvoir le passage transendothéliale d'humeur aqueuse. Les monocytes pourraient également interagir avec les cellules endothéliales avoisinantes du trabéculum et du canal de Schlemm pour maintenir le flux d'humeur aqueuse sortant.

Ainsi l'interaction entre ces trois cellules aurait un rôle dans la perméabilité du trabéculum et du mur interne du canal de Schlemm. Les trabéculocytes libèrent des cytokines (IL-8) qui vont permettre le recrutement de cellules monocytaires qui vont à leur tour sécréter des cytokines qui vont moduler l'activité des trabéculocytes mais aussi la perméabilité des cellules du mur interne du canal de Schlemm (TNF α). De plus, les trabéculocytes produisent d'autres cytokines (IL-1, IL-6) qui vont agir directement sur les cellules du Schlemm pour augmenter l'écoulement de l'humeur aqueuse.

L'une des hypothèses pour expliquer l'augmentation de la perméabilité transendothéliale du mur interne est que les cytokines déclencheraient une voie de signalisation intracellulaire qui provoquerait le désassemblage des jonctions serrées de cellules endothéliales. Cela aboutirait ainsi à une augmentation de la perméabilité du mur interne du canal de Schlemm à l'humeur aqueuse. [26]

Les monocytes/macrophages ont également un rôle de « nettoyage » en phagocytant les particules intraoculaires pouvant obstruer le trabéculum et entraîner une gêne à l'écoulement de l'humeur aqueuse.

Ces derniers mécanismes cités seraient également impliqués dans l'augmentation de l'excrétion de l'humeur aqueuse et de la baisse pressionnelle observée après trabéculoplastie au laser SLT.

3. Les glaucomes à angle ouvert

3.1. Le Glaucome primitive à angle ouvert (GPOA)

3.1.1. Introduction

Le glaucome primitif à angle ouvert est une neuropathie optique chronique progressive correspondant à une perte des cellules ganglionnaires rétiniennes et caractérisée par des modifications morphologiques de la tête du nerf optique (ou papille) associées à une atteinte typique du champ visuel.

Sa physiopathologie est imparfaitement connue mais une théorie biomécanique comprenant des modifications mécaniques et cellulaires au niveau de la tête du nerf optique, semble être capable d'expliquer son évolution. Sa prise en charge a évolué avec le développement de l'imagerie structurale du nerf optique en tomographie par cohérence optique, et avec l'amélioration du suivi des examens du champ visuel grâce à des outils automatisés d'analyse de la progression.

Sur le plan thérapeutique, l'élévation de la pression intraoculaire demeure le

principal facteur de risque du GPAO et le seul modifiable. Toutes les modalités thérapeutiques, à savoir les collyres anti-glaucomeux, le laser ou les traitements chirurgicaux, ont comme objectif de réduire la PIO. La prise en charge thérapeutique des patients est aujourd'hui individualisée, pour obtenir pour chaque patient une PIO dite « cible » ralentissant le plus possible la progression de la neuropathie glaucomateuse. [27]

3.1.2. Épidémiologie

Le GPAO est une maladie fréquente dont la prévalence globale dans le monde est estimée à 3,05 % (1,69-5,27 %) chez les sujets de 40 à 80 ans [28]. On estime qu'en 2020, 79,6 millions de personnes seront atteintes de glaucome dans le monde, dont 74% par un GPAO, et 5,9 millions de personnes seront en état de cécité à cause de cette maladie. [29]

Le glaucome est la deuxième cause de cécité dans le monde et la cause la plus fréquente de cécité irréversible. Le glaucome reste une maladie insidieuse de découverte tardive, la plupart des études épidémiologiques montrent qu'environ 50% des cas ne sont pas diagnostiqués [30].

La prévalence varie selon l'origine ethnique, elle est plus fréquente chez les sujets d'origine africaine ou afro-caribéenne (4,2 %), intermédiaire chez les Caucasiens et hispaniques (2,1 %), et moins fréquente chez les sujets asiatiques (1,4%). [31]

En revanche, le glaucome primitif par fermeture de l'angle est plus fréquent chez les sujets asiatiques. L'incidence du GPAO est rapportée entre 0,10 et 0,12 % par an et elle augmente avec l'âge. Elle est sept fois plus élevée chez les sujets de plus de 60 ans par rapport aux sujets de moins de 40 ans [6]. Il ne semble pas exister de différence de prévalence en fonction du genre [32].

3.1.3. Physiopathologie du GPAO

Deux théories ont longtemps été privilégiées pour expliquer le GPAO, la théorie mécanique et la théorie vasculaire.

- La théorie mécanique suggère que l'hypertonie oculaire entraînerait la perte des fibres nerveuses rétiniennes par compression de la tête du nerf optique et de la lame criblée.
- La théorie vasculaire suggère qu'une insuffisance circulatoire au niveau des capillaires sanguins de la tête du nerf optique entraînerait un défaut d'apport nutritionnel aux cellules ganglionnaires rétiniennes et à leurs axones, à l'origine de leur dégénérescence.

Aujourd'hui une théorie biomécanique vient lier les deux théories précédentes, intégrant ainsi les forces et déformations liées à la PIO comme un élément central des modifications physiologiques et pathologiques des tissus de la tête du nerf optique et de leur vascularisation [33]. Ces changements tissulaires comprennent les modifications des tissus conjonctifs de la lame criblée et de la sclère péri-papillaire, mais aussi des composants cellulaires de ces tissus, des axones des cellules ganglionnaires rétiniennes et de leur vascularisation, aboutissant à une perte progressive des cellules ganglionnaires rétiniennes [34].

Les facteurs de risque (FDR) de développer un GPAO sont l'HTO, l'âge, l'origine ethnique (les sujets mélanodermes ont un risque multiplié par trois de GPAO), une histoire familiale de glaucome (risque multiplié par trois en cas de glaucome chez un parent du premier degré), la myopie (le risque augmente avec la sévérité de la myopie), une cornée fine et la présence d'une pseudo-exfoliation capsulaire [37].

L'HTO est le principal facteur de risque de développer un GPAO, elle est définie par une PIO supérieur à 21 mm Hg. Par ailleurs, plus la PIO est élevée, plus le risque

de développer un glaucome est important (augmentation du risque de 9 % par 1 mm Hg de PIO supplémentaire [38,39]). On sait également aujourd'hui que cette pression doit être évaluée conjointement à la mesure de l'épaisseur de la cornée (ou pachymétrie) car cette dernière influence la mesure de la PIO. En effet, une cornée fine (< 510 m) entraîne une sous-évaluation de la PIO, alors qu'une cornée épaisse entraîne une surestimation de la PIO. La mesure de la pachymétrie est donc essentielle pour la prise en charge des patients hypertones ou suspects de glaucome.

Il est important de distinguer le concept d'HTO du GPAO avéré, c'est-à-dire des patients qui présentent une HTO associée à une altération caractéristique du nerf optique et du champ visuel.

Une récente méta-analyse a montré qu'une réduction > 10 % de la PA systolique ou diastolique nocturne était responsable d'un taux progression du GPAO plus élevé [40]. Il est donc conseillé de contrôler attentivement par des monitorages en ambulatoires de la PA les traitements anti-hypertenseur des patients atteints de GPAO [16]. Une association entre hypertension artérielle et GPAO a été retrouvée chez les sujets âgés, mais les résultats restent contradictoires dans la population jeune [41].

Le syndrome d'apnée du sommeil via son retentissement sur le flux sanguin oculaire pourrait également être associé au glaucome même si cela reste controversé. Sa recherche et prise en charge est systématique en cas de glaucome évolutif malgré un bon contrôle de la PIO [42-45].

Le lien avec le diabète et l'obésité reste par ailleurs débattu [44]. Néanmoins, compte tenu de la participation microvasculaire dans la neuropathie optique glaucomateuse, il est conseillé de prendre en charge les facteurs de risque vasculaire chez les patients glaucomateux, en particulier ceux qui développent un GPAO avec une pression basse.

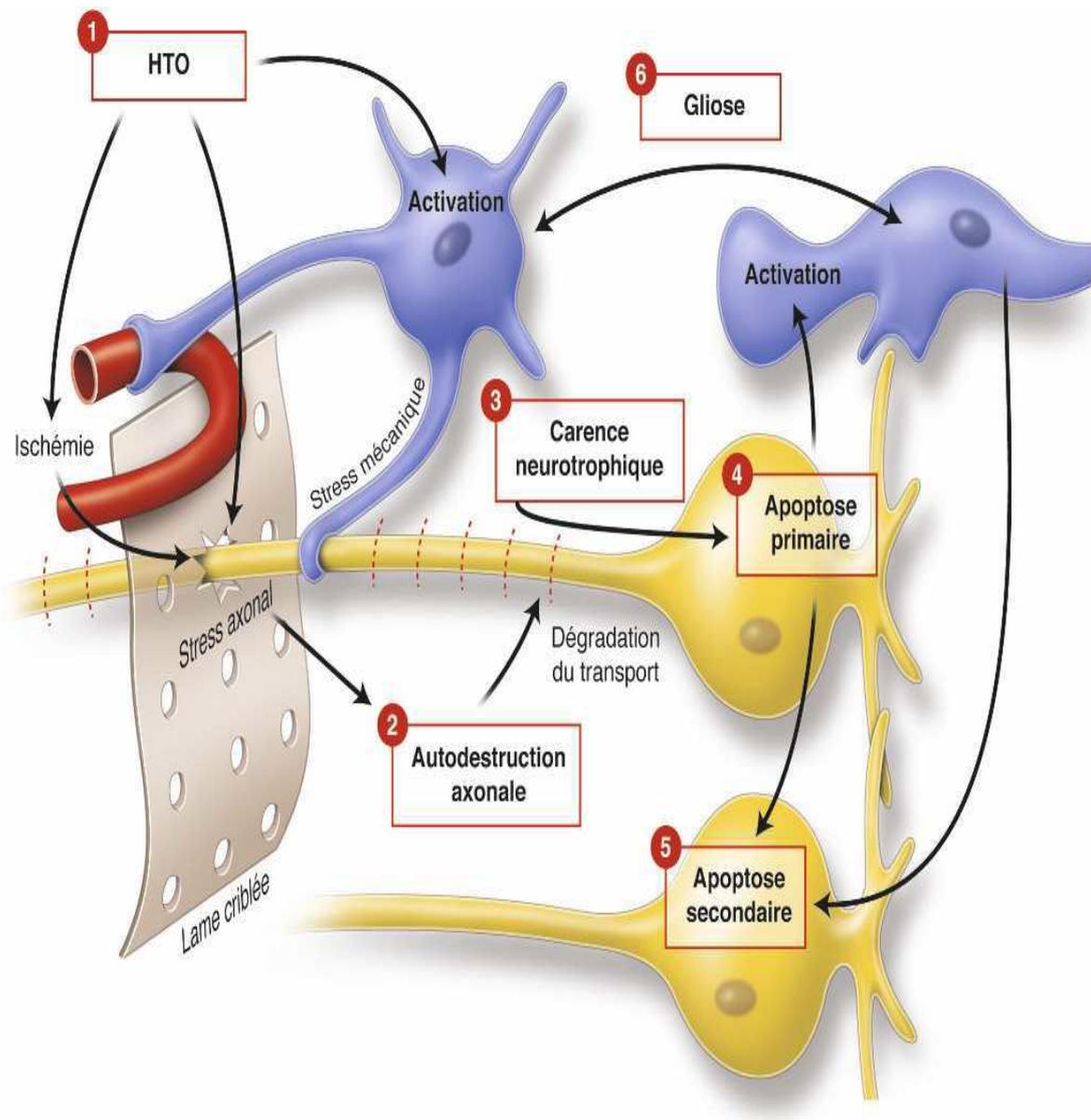


Figure 12 : Modélisation des grands mécanismes pathogéniques impliqués dans la dégénérescence glaucomateuse des CGR (Rapport SFO 2014).

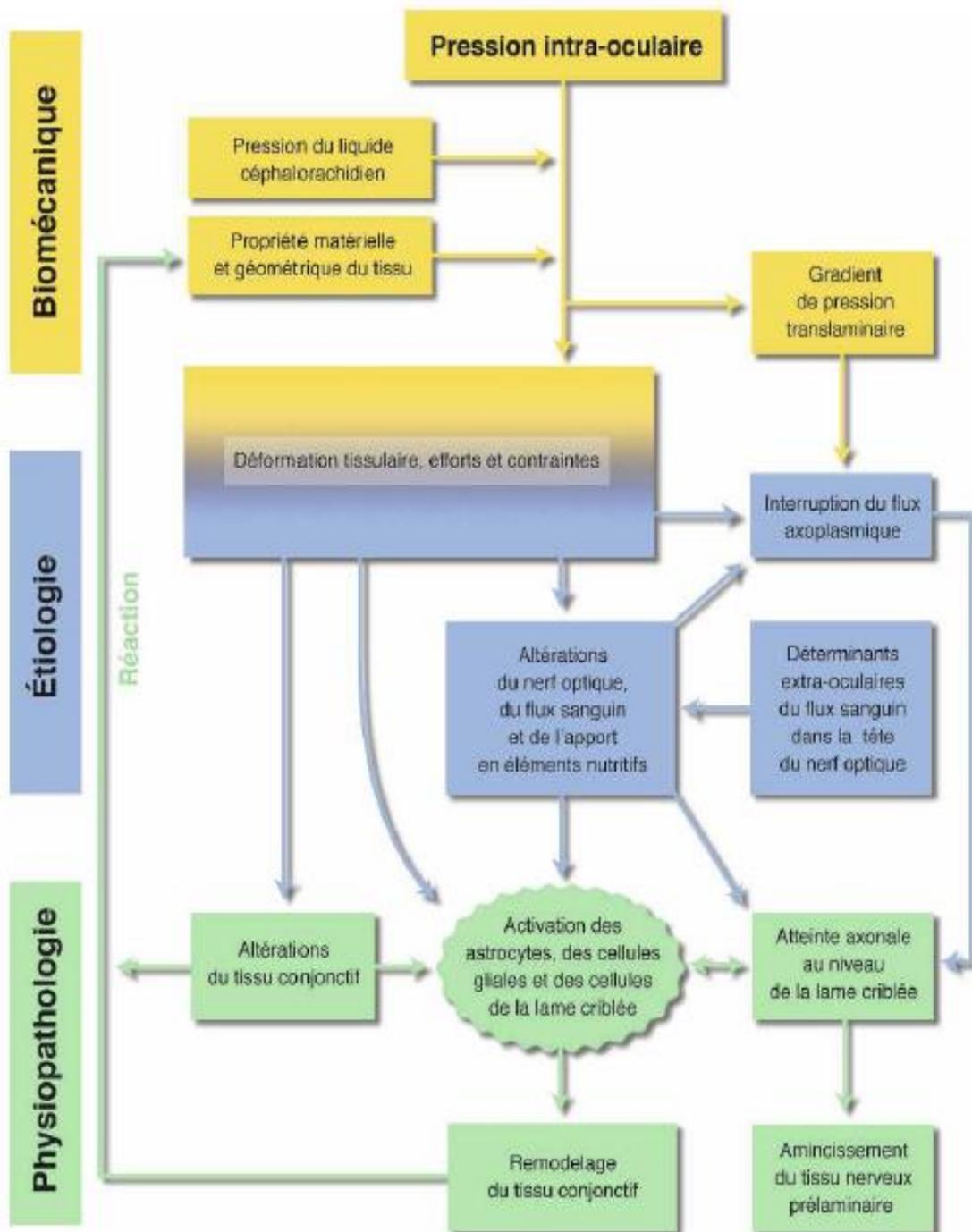


Figure 13 : Théorie biomécanique de la neuropathie optique glaucomateuse.

(D'après Crawford Downs et al., 2011 [10].)

La PIO génère des forces et entraîne des déformations des tissus de la tête du nerf optique. Ces déformations dépendent de la géométrie et des propriétés mécaniques individuelles de ces tissus. Les forces induites par la PIO peuvent modifier le flux sanguin dans la région laminaire de la TNO et également entraîner des altérations directes et indirectes des tissus conjonctifs. Enfin, ces changements tissulaires altèrent à leur tour les propriétés biomécaniques de la TNO et modifient ainsi la réponse de ces tissus aux forces et déformations induites par la PIO.

3.1.4. Le diagnostic et le suivi du GPAO

a. La mesure de la PIO :

L'HTO étant son principal facteur de risque, la première étape de l'examen clinique d'un patient glaucomateux ou suspect de glaucome consiste à mesurer la PIO. Elle est réalisée grâce au tonomètre à applanation de Goldman, qui reste la technique de référence. Des tonomètres à air sont utilisés à des fins de dépistage, mais une valeur anormale devra toujours être confirmée avec le tonomètre à applanation. Cette mesure de la PIO est toujours couplée à la mesure de la pachymétrie [48].

b. L'examen du segment antérieur et la gonioscopie

La gonioscopie doit être réalisée au moment du diagnostic, puis régulièrement au cours du suivi pour s'assurer que l'angle reste ouvert. Avec le vieillissement des structures oculaires, en particulier l'augmentation du volume du cristallin avec l'âge, un angle ouvert peut progressivement se fermer.

c. L'analyse de l'atteinte structurale

L'analyse de l'atteinte structurale est un élément central du diagnostic et du suivi du GPAO. Elle va s'effectuer cliniquement, mais aussi à l'aide d'outil d'imagerie dont l'utilisation est devenue indispensable.

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

L'examen à la lampe à fente de la papille recherche les modifications caractéristiques de la neuropathie glaucomateuse comme une excavation pathologique, c'est-à-dire un amincissement localisé ou diffus de l'anneau neuro-rétinien, la présence d'une hémorragie papillaire, l'élargissement de la zone d'atrophie péri-papillaire (peu spécifique), ou l'apparition ou l'élargissement d'un déficit des fibres nerveuses rétiniennes (FNR).

Les rétinophotographies permettent de mieux repérer certaines modifications comme les hémorragies papillaires ou un déficit en FNR (Fig. 14). Elles sont très utiles, permettant des comparaisons de nombreuses années plus tard.

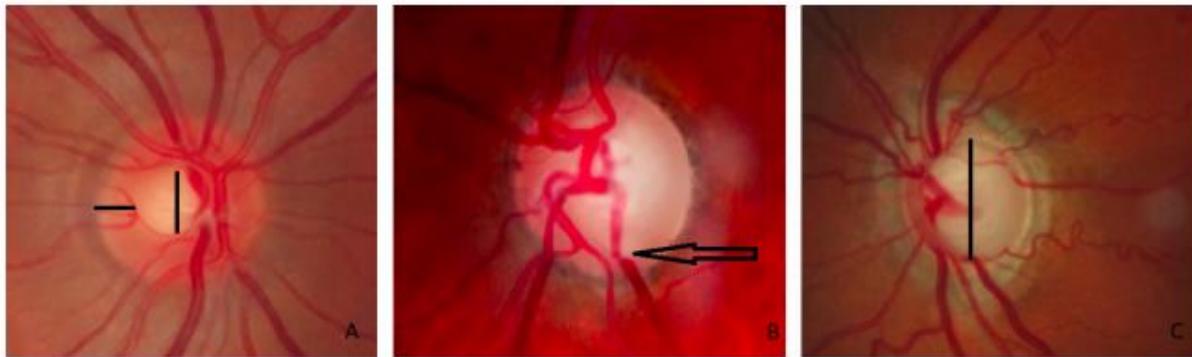


Figure 14 : Nerfs optiques normaux et pathologiques.

A. Nerf optique droit normal B. Nerf optique gauche pathologique avec encoche inférieure de l'anneau neuro-rétinien C. Nerf optique gauche pathologique avec excavation totale d'un GPAO très évolué. [52]

L'OCT, vient aujourd'hui compléter cet examen clinique. C'est un examen sans contact donnant une évaluation quantitative objective des paramètres anatomiques de la papille et des fibres nerveuses rétiniennes. Les résultats sont automatiquement comparés à une base de données incluse dans l'appareil, ce qui permet de repérer, de quantifier et de suivre les atteintes structurales liées au glaucome (Fig. 15).

La surveillance et la détection d'une progression structurale sont donc cruciales lors des stades débutants du glaucome mais elle devra se poursuivre à tous les stades de

la maladie. [49,50]

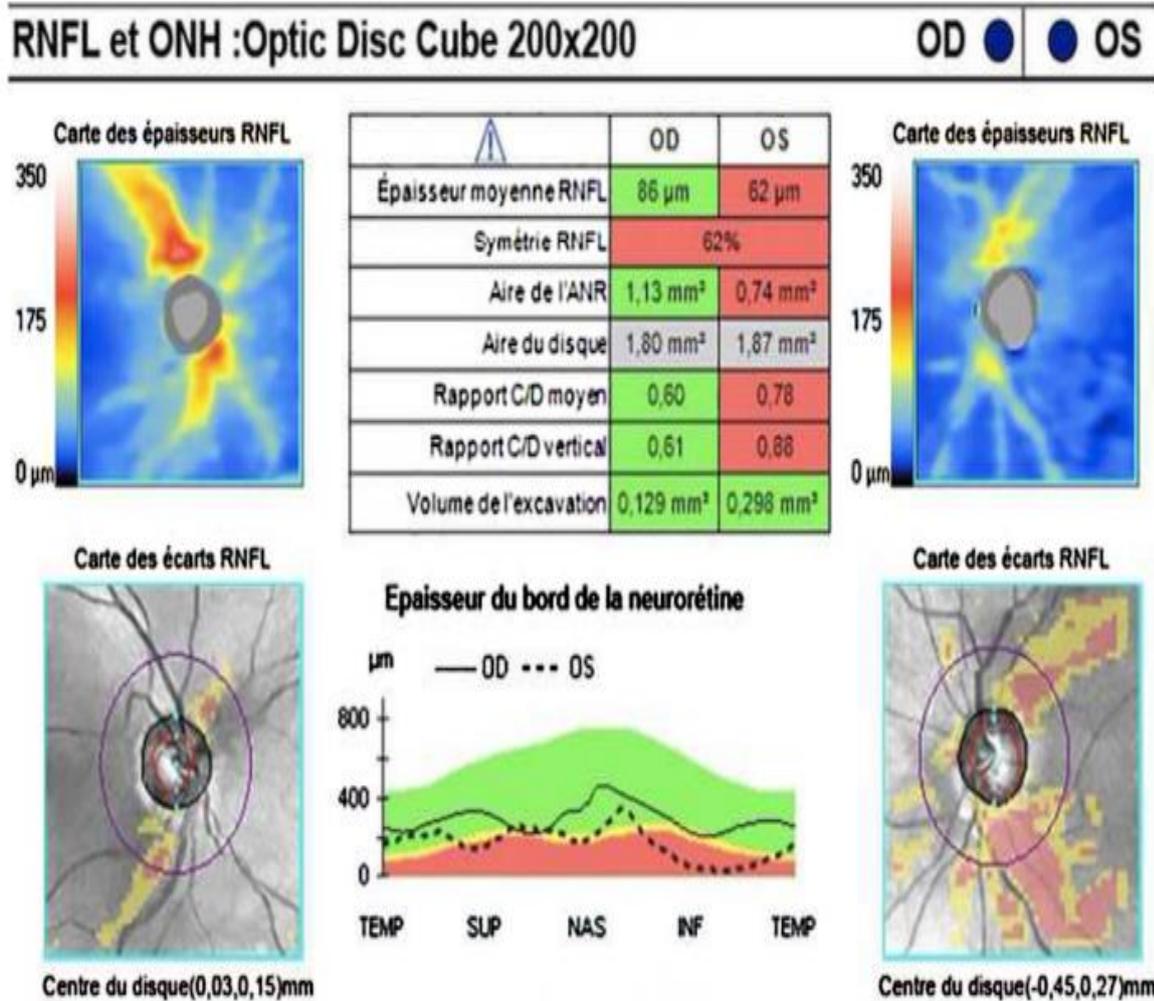


Figure 15 : Analyse des fibres nerveuses rétiniennes en tomographie par cohérence optique (OCT) montrant l'atteinte structurale des nerfs optiques. [52]

d. L'évaluation de l'atteinte fonctionnelle

L'examen automatisé statique du CV de chaque œil est l'examen de référence pour le diagnostic et le suivi de l'atteinte fonctionnelle dans la neuropathie glaucomateuse. On utilise des tests standardisés avec des algorithmes adaptés au glaucome qui permettent de quantifier la sensibilité rétinienne en dB dans les 24° centraux du champ visuel, correspondant à la localisation de la majorité des cellules ganglionnaires rétiniennes (Fig. 16).

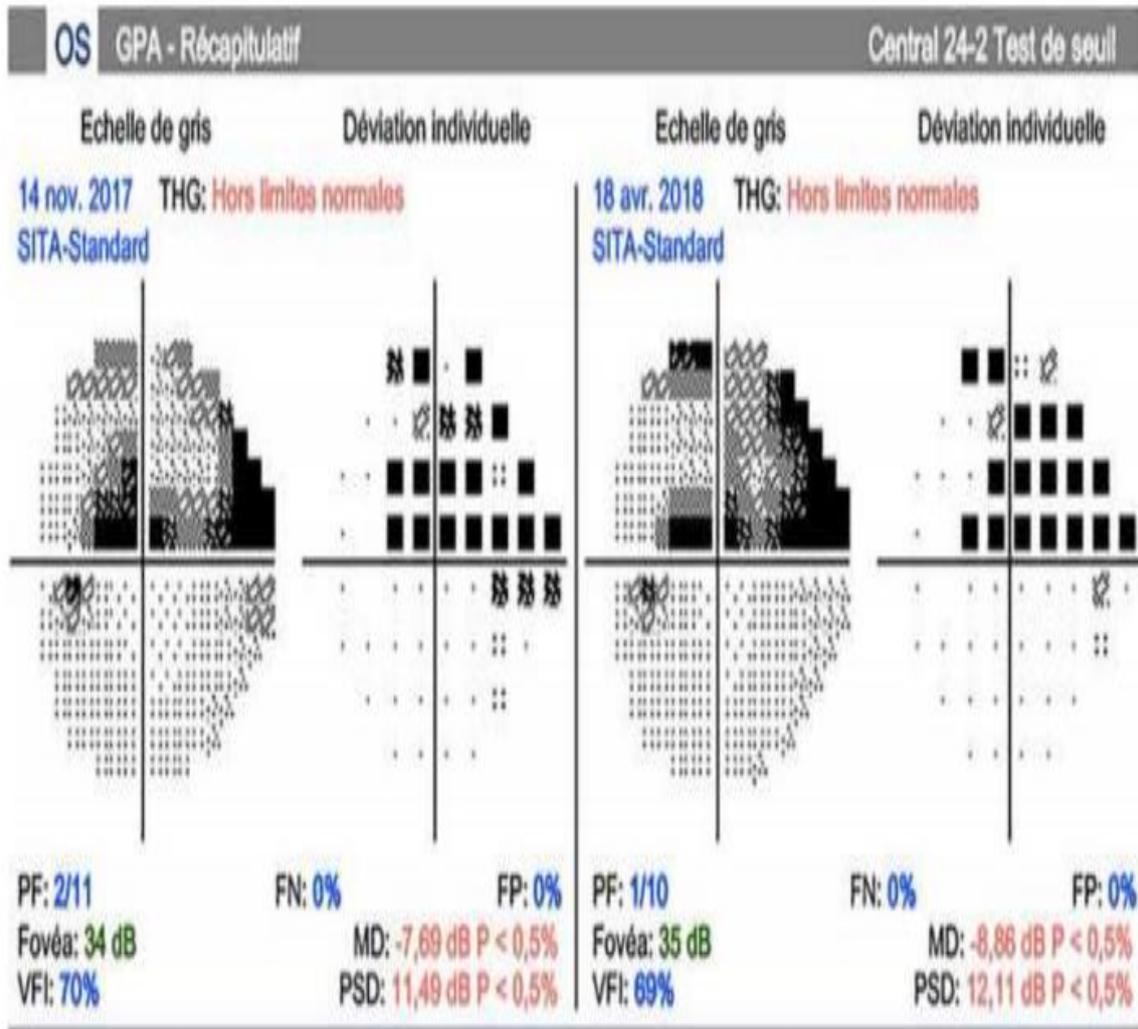


Figure 16 : Champ visuel automatisé de type Humphrey.

Atteinte fonctionnelle du nerf optique gauche montrant un scotome arciforme supérieur, correspondant à l'atteinte structurale retrouvée en figure 15. [52]

Celui-ci peut être complété par un test des 10° centraux en cas d'atteintes proches du point de fixation (vision centrale). L'interprétation clinique du CV recherche un déficit de type glaucomateux comme un ressaut nasal, fréquemment présent en début de l'atteinte glaucomateuse, un scotome paracentral, ou un scotome arciforme toujours reliée à la tache aveugle (Fig. 16). Aux stades plus évolués, le champ visuel peut être très atteint, jusqu'à la perte complète de celui-ci. Enfin, il est très important de vérifier la concordance entre l'atteinte du champ visuel et celle de la tête du nerf optique.

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

L'analyse de la progression du CV est aussi très importante. Cliniquement on recherchera l'apparition d'un nouveau déficit, l'élargissement de celui-ci ou son approfondissement (perte de sensibilité). Différents outils statistiques sont apparus ces dernières années pour faciliter l'analyse de la progression de l'atteinte du champ visuel et sa quantification (Fig. 17).

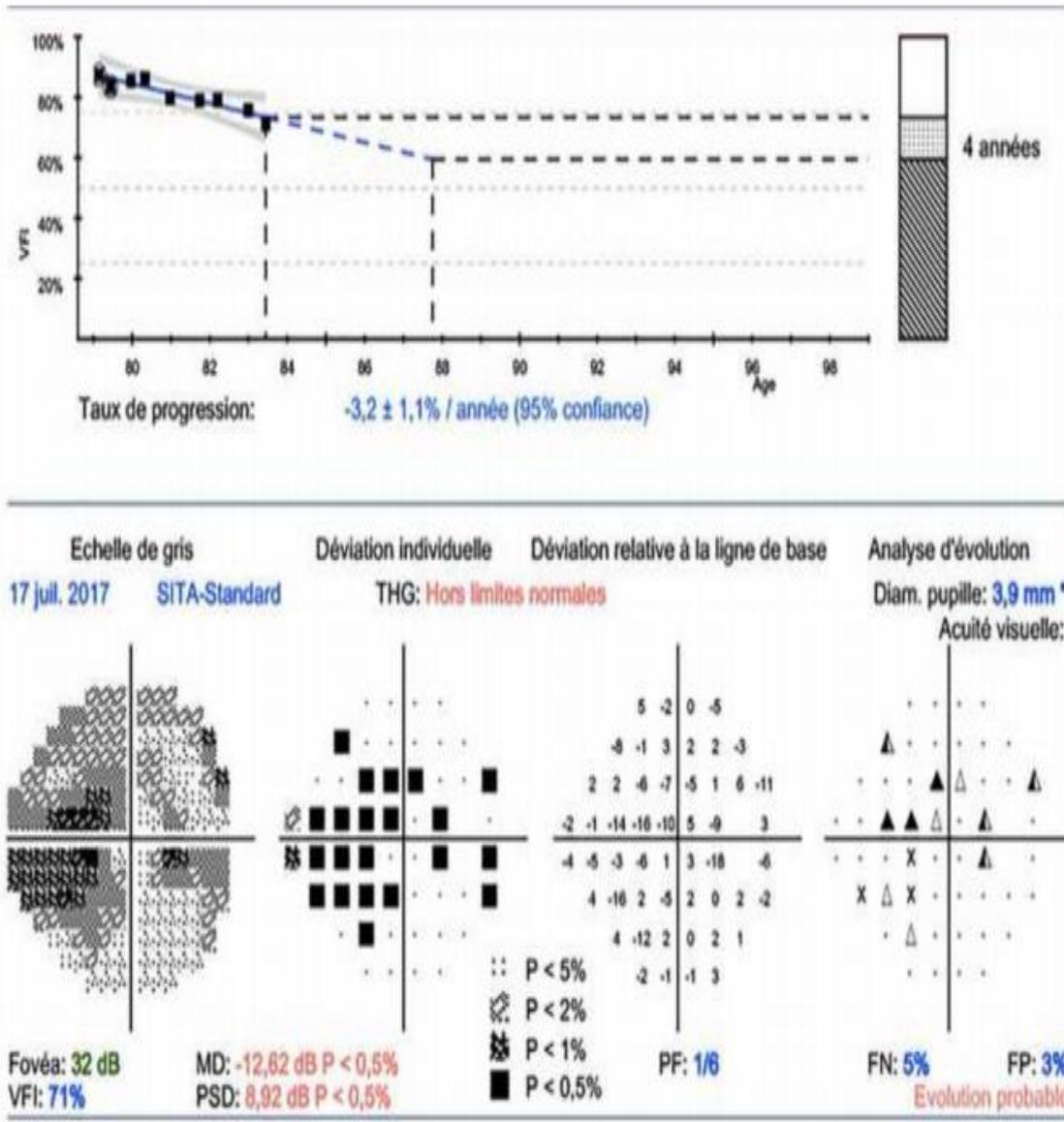


Figure 17 : Analyse statistique de la progression du champ visuel de l'œil droit.

L'analyse statistique signale donc une évolution probable. [52]

Il existe une grande variabilité lors de la réalisation des CV, qui demeure un examen subjectif. Il est important de réaliser un nombre suffisant d'examen et de confirmer toute aggravation suspectée. Déterminer la vitesse de progression d'un patient est une étape essentielle de la prise en charge des GPAO car elle va guider la thérapeutique. Pour cela, il est conseillé de réaliser 3 CV par an pendant les deux premières années de suivi. Ensuite le rythme des CV sera établi sur la base de la gravité du glaucome et de sa vitesse de progression.

Le GPAO est une maladie longtemps asymptomatique et les déficits du champ visuel ne sont perçus par le patient que lorsque ceux-ci se rapprochent de la vision centrale. Souvent, le patient ne se rend pas compte de la perte du champ visuel périphérique avec des risques d'accidents domestiques ou lors de la conduite automobile. [51]

3.1.5. Diagnostics différentiels [52]

Face à une atteinte de la tête du nerf optique sans élévation de la PIO, il est très important de ne pas méconnaître les neuropathies optiques non glaucomateuses comme les neuropathies optiques héréditaires, ischémiques, compressives, toxiques, carencielles ou inflammatoires pouvant s'accompagner d'atteintes du champ visuel, mais aussi de modifications de la papille.

Dans le glaucome, l'acuité visuelle est longtemps conservée tout comme la vision des couleurs, et la papille est excavée avec une concordance entre l'atteinte de la structure et du champ visuel. L'atteinte du champ visuel dans le glaucome respecte le méridien horizontal et n'est pas limitée par le méridien vertical (Fig. 16).

Dans les neuropathies optiques non glaucomateuses, l'acuité visuelle peut être abaissée, l'atteinte du champ visuel ne respecte pas obligatoirement le méridien horizontal (scotome central), la vision des couleurs est altérée, et le nerf optique est

souvent pâle. Il existe fréquemment une discordance entre l'atteinte structurale observée sur la papille et l'atteinte fonctionnelle.

3.1.6. Traitement et surveillance

Le traitement du GPAO est un traitement à vie pour préserver la fonction visuelle et la qualité de vie du patient en limitant les effets indésirables. Le seul traitement efficace est de réduire la PIO [53,54]. Initialement on détermine une pression dite « cible », qui permettra de ralentir la progression du glaucome à un niveau permettant de protéger la fonction visuelle dans l'espérance de vie du patient.

On la détermine en considérant plusieurs facteurs : l'âge, l'espérance de vie du patient, le stade du glaucome, la valeur de la PIO lors du diagnostic, la vitesse de progression et les possibles effets secondaires. [53,55,56]

a. Les collyres anti-glaucomeux

Les collyres anti-glaucomeux sont le traitement de première intention du GPAO. Ils réduisent la PIO en augmentant l'élimination d'humeur aqueuse (HA) ou en réduisant sa production (Tableau 1). Compte tenu de leur utilisation au long cours, on privilégie des collyres sans conservateur, moins toxiques pour la surface oculaire. [57]

Les analogues des prostaglandines qui augmentent l'excrétion d'HA, sont les collyres les plus utilisés. Ils s'administrent une fois par jour, le soir. Ils sont bien tolérés au niveau systémique, mais peuvent provoquer plusieurs effets indésirables au niveau oculaire : rougeur oculaire, une hypertrichose des cils, une modification de la pigmentation de l'iris ou l'apparition de cernes pigmentés. Les analogues des prostaglandines entraînent une baisse de la PIO de l'ordre de 25-35 %. [58]

Les collyres bêtabloquants réduisent la production d'HA. Comme les analogues des prostaglandines, ils peuvent être prescrits en première intention du fait de leur bonne efficacité et tolérance locale. Ils présentent les mêmes contre-indications et

effets secondaires systémiques que les bêtabloquants utilisés per os, du fait d'un passage systémique direct. De nouvelles formes galéniques à libération prolongée (LP) permettent l'utilisation d'une concentration inférieure, moins d'instillation et un moindre passage systémique. Ces formes LP de bêtabloquant sont utilisées en une instillation le matin. La réduction de la PIO attendue avec un collyre bêtabloquant est de l'ordre de 20-25 % (Tableau 1). [58]

Les bêtabloquants sont aujourd'hui fréquemment associés aux autres molécules dans des collyres contenant deux molécules, il s'agit d'associations fixes.

Les autres molécules utilisées pour réduire la PIO sont les collyres alpha2-adrénergiques réduisant la production d'HA et augmentant son excrétion, et les inhibiteurs de l'anhydrase carbonique qui réduisent la production d'HA. Ces deux molécules sont utilisées en deuxième intention du fait d'une réduction inférieure de la PIO (environ 20 %) et des effets secondaires locaux (conjonctivite allergique, rétraction palpébrale et kératite superficielle) et systémiques pour les alpha2-adrénergiques (asthénie et somnolence). Ils s'administrent deux fois par jour.

Un autre inhibiteur de l'anhydrase carbonique, l'acétazolamide (Diamox®) peut être utilisé per os pour réduire la PIO. Il n'est utilisé qu'en cas d'échec des autres thérapeutiques et dans l'attente d'un traitement chirurgical ou au laser.

L'initiation d'un traitement commence le plus souvent par une monothérapie. On augmente le nombre de molécules en fonction du résultat pressionnel pour obtenir la PIO cible désirée. Dans certains glaucomes sévères ou pour lesquels la PIO est très élevée au diagnostic, on pourra commencer d'emblée par une bithérapie. On privilégie alors les associations fixes contenant plusieurs molécules dans le même flacon. Ces associations fixes simplifient le traitement et favorisent une meilleure observance des patients. [59]

Tableau 1 : Efficacité des classes de collyres antiglaucomateux.

	Pic (%)	Creux (%)
Prostaglandines/Prostamides	31-33	28-29
<i>β</i> -bloquants		
Non sélectifs	27	26
Sélectifs	23	20
α 2-agonistes	25	18
Inhibiteur de l'anhydrase carbonique	17-22	17

Effet hypotonisant oculaire des anti-glaucomateux, administrés en monothérapie.
Van der Valk R et al. *Ophthalmology* 2005.

b. Les traitements physiques

La trabéculoplastie sélective au laser (SLT) domine les traitements physiques. C'est un traitement au laser de l'angle iridocornéen provoquant un remodelage trabéculaire qui augmente l'excrétion d'HA. Il est réalisé en consultation après une anesthésie topique de la surface oculaire.

c. Les traitements chirurgicaux

Le traitement chirurgical est considéré lorsque la PIO ou la progression du GPAO n'est plus contrôlée avec un traitement médical maximal toléré. Dans certains cas de glaucome sévère au diagnostic chez des sujets jeunes ou de PIO très élevée, il pourra être proposé d'emblée. Parmi les différents traitements chirurgicaux du GPAO, on distingue les chirurgies filtrantes, les MIGS (minimally invasive glaucoma surgeries) et les traitements chirurgicaux des glaucomes réfractaires.

Le principe de la chirurgie filtrante est de créer une communication entre la chambre antérieure de l'oeil et l'espace sous-conjonctival, pour fournir une nouvelle voie d'élimination de l'HA. Les deux techniques classiques sont la trabéculectomie et la sclérectomie profonde non perforante (SPNP). La trabéculectomie est indiquée dans toutes les formes de glaucome (angle ouvert ou angle fermé). La SPNP n'est indiquée

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

que dans les glaucomes à angle ouvert. Dans ces deux interventions, l'HA est dirigée vers un espace sous-conjonctival néoformé qui constitue la bulle de filtration (Fig. 18) et qui permet de réduire la PIO.

La trabéculéctomie permettrait une baisse de la PIO plus importante (baisse moyenne de 41 % à 4 ans) mais avec un taux de complications plus élevé. La sclérectomie est une technique plus sûre, mais avec une courbe d'apprentissage plus longue, et des résultats pressionnels moyens légèrement plus élevés (baisse moyenne de 36,2 % à 4 ans). [62]

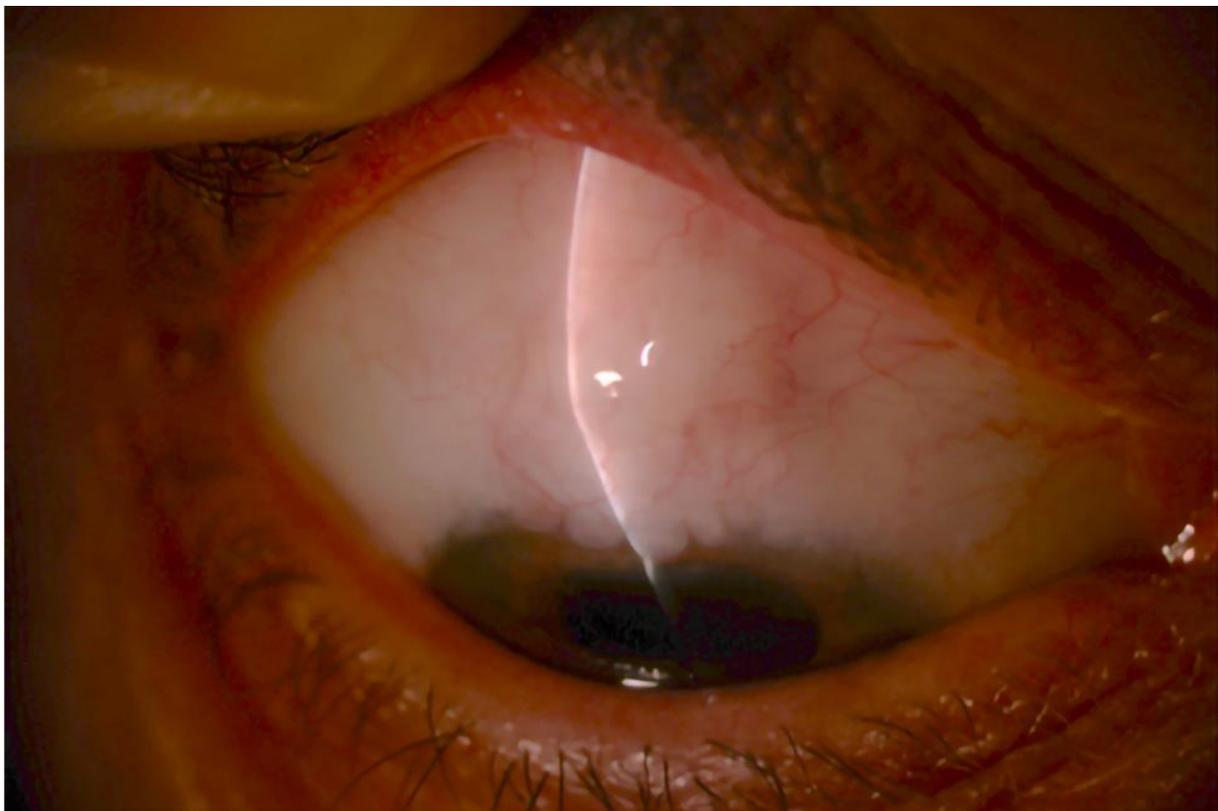


Figure 18 : Bulle de filtration sous-conjonctivale après chirurgie filtrante.

Ces dernières années, de nouveaux dispositifs appelés MIGS pour minimally invasive glaucoma surgery, sont venus s'ajouter à l'arsenal thérapeutique du GPAO. L'objectif de ces nouvelles techniques est d'offrir une baisse de PIO en limitant le risque de complications liées aux techniques de chirurgie filtrante classique. Ils ont comme caractéristiques communes de réduire la PIO en favorisant l'élimination de l'HA, d'être implantés ab interno sans ouverture de la conjonctive, de présenter moins de risque de complications et de permettre une récupération visuelle plus rapide par rapport à une chirurgie filtrante classique. Ils peuvent être implantés seuls, mais sont le plus souvent associés à la chirurgie de la cataracte.

Les différents dispositifs utilisent des voies différentes pour évacuer l'HA : trabéculaire, supra-choroïdienne ou sous-conjonctivale. La baisse pressionnelle dépend du type de MIGS et de la voie d'élimination de l'HA utilisée. Compte tenu de leur coût et du recul restreint de ce type de chirurgie, leur place dans l'algorithme du traitement du GPAO doit être déterminée.

Enfin, dans les cas de GPAO réfractaires, c'est-à-dire en échec d'une ou plusieurs chirurgies filtrantes d'autres techniques chirurgicales peuvent être proposées. On discute la pose d'une valve ou des techniques de cyclo-affaiblissement.

- Les valves sont des dispositifs filtrants, positionnées sous la conjonctive et reliés à la chambre antérieure de l'oeil par un tube de drainage. [63]
- Le cyclo-affaiblissement a pour objectif de détruire une partie des corps ciliaires responsable de la sécrétion d'HA pour réduire la PIO. La technique la plus utilisée est la cyclo-photocoagulation transclérale par laser diode. [64]

d. Prise en charges des facteurs non pressionnels

La baisse du flux sanguin oculaire est un facteur de risque reconnu de glaucome [65]. On suppose que les facteurs entraînant une baisse du flux sanguin oculaire en diminuant la pression artérielle moyenne (hypotension artérielle, hypovolémie ou forte variations tensionnelle) ou en augmentant les résistances vasculaires (artériosclérose, hyperviscosité sanguine ou vasospasme) pourraient avoir un impact négatif sur l'évolution du glaucome.

Néanmoins, il n'y a pour l'instant aucune preuve dans la littérature de l'efficacité thérapeutique d'agir sur ces facteurs [66]. De même, aucun traitement neuroprotecteur n'a prouvé son efficacité pour la prise en charge du GPAO. [67,68]

e. Surveillance [52] :

Comme pour le diagnostic, on surveillera la structure par l'analyse clinique et en imagerie par OCT de la papille, et la fonction par la réalisation régulière de champs visuels automatisés. On contrôlera bien évidemment la PIO qui reste le facteur de risque principal de la progression du GPAO et le seul facteur pouvant être traité efficacement. On s'intéressera également à l'observance et la tolérance du traitement qui sont souvent liées.

Les patients avec une atteinte périphérique et un glaucome stable pourront bénéficier de 2 visites/an alors que les patients avec un déficit proche de la vision centrale ou un glaucome non équilibré nécessiteront une consultation tous les 3 à 4 mois.

3.2. Glaucomes secondaires à angle ouvert

3.2.1. Introduction et classification :

Leurs causes sont nombreuses mais ils sont beaucoup moins fréquents que les glaucomes primitifs

On peut les classer selon le lieu de l'obstacle à la filtration :

- **Obstacle pré-trabéculaire :**

- Membrane néo-vasculaire des glaucomes néo-vasculaires
- Membrane endothéliale des syndromes irido-cornéo-endothéliaux (syndromes ICE)
- Membrane endothéliale des dystrophies postérieures polymorphes
- Prolifération épithéliale

- **Obstacle trabéculaire :**

- Encombrement du trabéculum :
 - Pigment: glaucome pigmentaire
 - Matériel exfoliatif: glaucome exfoliatif
 - Globules rouges (normaux ou dégénérés).
 - Protéines (uvéites hypertensives).
 - Protéines cristalliniennes et macrophages (glaucome phakolytique).
- Atteinte du trabéculum
 - Trabéculite (herpès, syndrome de Possner-Schlossmann).
 - Glaucome traumatique (récession de l'angle).
 - Glaucome cortisonique.

- **Obstacle post-trabéculaire**

- Par augmentation de la pression veineuse épisclérale
 - Fistule carotido-caverneuse
 - Syndrome de Sturge-Weber
 - Obstruction cave supérieure

3.2.2. GLAUCOME PIGMENTAIRE [69] :

- Le glaucome pigmentaire (GP) caractérise une neuropathie optique glaucomateuse secondaire à un syndrome de dispersion pigmentaire récent ou ancien.
- Le syndrome de dispersion pigmentaire (DP) survient sur une configuration anatomique oculaire particulière et se caractérise par une libération de pigment, provenant de l'épithélium postérieur de l'iris, qui se disperse et se dépose sur tous les éléments du segment antérieur du globe oculaire.
- L'hypertension intra- oculaire pigmentaire (HTP) est définie par une pression intra- oculaire supérieure à 21 mmHg, présente au cours ou au décours d'un syndrome de dispersion pigmentaire, sans retentissement anatomique ou fonctionnel sur le nerf optique.

La dispersion pigmentaire trouverait son origine dans le frottement de l'iris sur la cristalloïde antérieure et sur les fibres zonulaires, frottement favorisé dans un certain nombre de cas par le bombement postérieur de l'iris, qui présente une concavité antérieure exagérée. Cette friction répétée à chaque mouvement de l'iris entraînerait donc la dispersion pigmentaire et rendrait à force l'iris Trans-illuminable. La concavité irienne antérieure ainsi que les rapports entre l'iris et la zonule ont été confirmés par des études en UBM.

L'accumulation de pigments au niveau trabéculaire a été évoquée comme pouvant être à l'origine d'une hypertonie oculaire par effet mécanique. Cette hypothèse physiopathologique n'est pas la seule à intervenir ; en effet, il semble que les cellules endothéliales trabéculaires phagocyteraient les granules de pigment, deviendraient nécrotiques de ce fait, et seraient ensuite emportées par des

macrophages, aboutissant ainsi à un dysfonctionnement du trabéculum et à une augmentation de la PIO.

- **Syndrome de dispersion pigmentaire :**

Il touche volontiers le sujet jeune et myope, un Sex ratio légèrement en faveur des hommes, les Caucasiens étant plus touchés que les autres groupes ethniques. Le syndrome de dispersion pigmentaire toucherait 2,5 % de la population.

Sur le plan clinique, la dispersion pigmentaire peut se caractériser par la présence :

- D'une pigmentation trabéculaire (fig. 19-1),
- De la ligne de Scheie sur l'équateur cristallinien (fig. 19-2),
- De faisceaux de Krukenberg sur l'endothélium cornéen (fig. 19-3),
- D'un iris trans-illuminable (fig. 19-4),
- Dépôts de pigments à la surface irienne pouvant entraîner une hétérochromie (fig. 19-5).

On peut également observer une endothéliopathie cornéenne, une chambre antérieure bien profonde associée à une concavité irienne antérieure importante, entraînant un frottement de l'iris sur les fibres zonulaires.

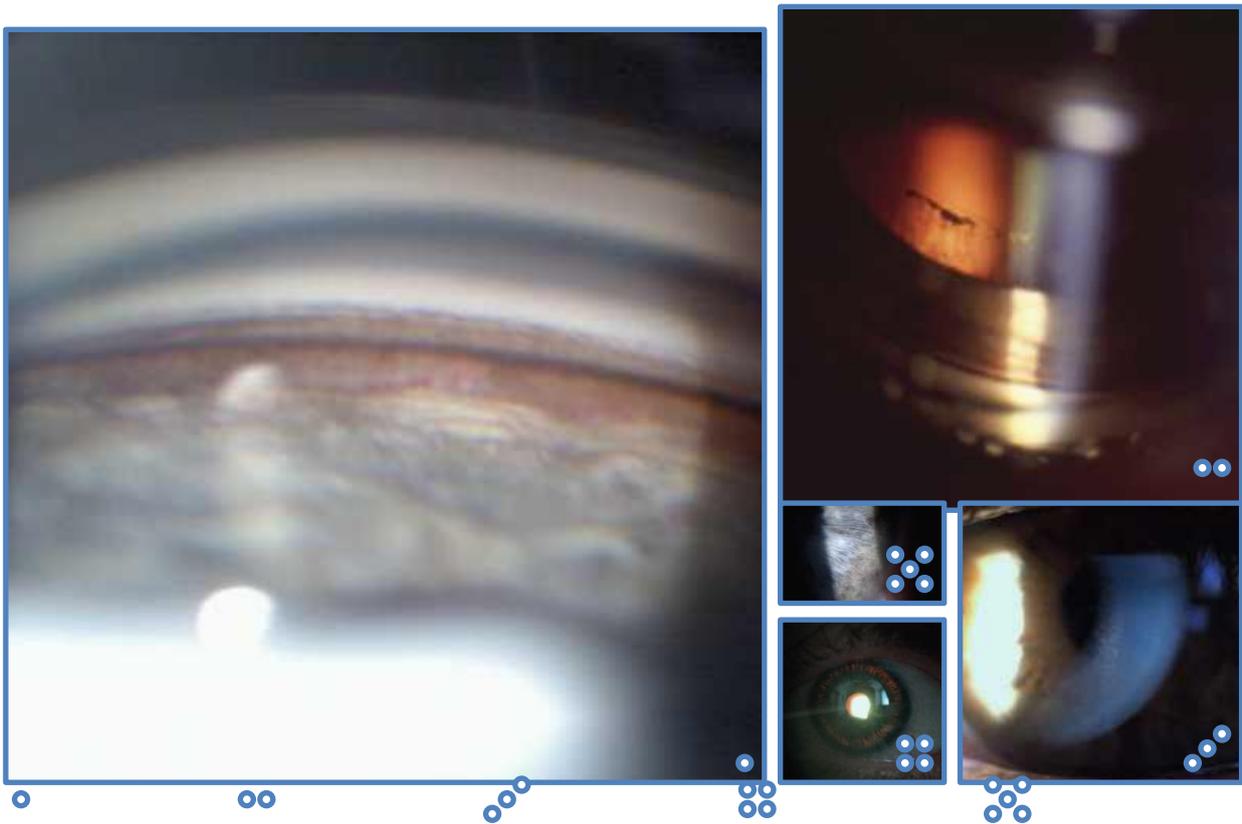


Figure 19 : pigmentation trabéculaire (1), la ligne de Scheie sur l'équateur cristallinien (2), faisceaux de Krukenberg sur l'endothélium cornéen (3), iris transilluminable (4), des dépôts de pigments à la surface irienne pouvant entraîner une hétérochromie (5). Rapport SFO 2014

- HYPERTENSION INTRA- OCULAIRE PIGMENTAIRE (HTP) :

L'HTP apparaît de façon permanente lorsque le pigment, recouvrant complètement l'angle iridocornéen et obstruant durablement le trabéculum, s'oppose à l'excrétion de l'humeur aqueuse. Elle survient également comme conséquence de la trabéculopathie secondaire à l'effet toxique de l'excès de mélanine sur les cellules trabéculaires, le trabéculum devenant non fonctionnel.

L'hypertonie pigmentaire apparaît, en moyenne, vers l'âge de 30 ans chez l'homme et un peu plus tard chez la femme, avec un décalage d'une dizaine d'années.

Typiquement, l'HTP se caractérise par des valeurs élevées de PIO. La deuxième caractéristique de l'HTP est d'être variable au cours de la journée et d'un jour à l'autre, avec d'importantes variations, pouvant aller de 25 à 56 mmHg.

Ces pics pressionnels engendrent des signes fonctionnels fréquemment signalés par les patients : brouillard visuel, halos, céphalées, en particulier après un effort physique.

- **Le glaucome pigmentaire :**

Il associe les stigmates précités de la dispersion pigmentaire à une neuropathie optique glaucomateuse, dans un contexte fréquent d'hypertonie oculaire et de variations de la pression intra-oculaire. Il est généralement admis que 5 à 10 % des patients présentant un syndrome de dispersion pigmentaire développeront un glaucome pigmentaire à 5 ans, et 15 % à 15 ans du diagnostic. D'autres études sont moins optimistes, signalant un taux de conversion pouvant aller jusqu'à 50 % à 4 ans.

Le glaucome pigmentaire touche plus fréquemment l'homme jeune et myope. La majeure partie des patients atteints ne rapportent aucune plainte fonctionnelle. Néanmoins, certains patients rapportent des céphalées et des signes oculaires, notamment après un effort sportif.

Sur le plan clinique, on observe une dispersion pigmentaire associée généralement à une hypertonie oculaire et à une atteinte de la papille optique de type glaucomateux. Le GP est un glaucome plutôt hypertonisant oculaire avec des variations pressionnelles importantes. Ces caractéristiques pressionnelles ont tendance à diminuer avec le temps et l'équilibre pressionnel semble, plus simple à atteindre chez le sujet plus âgé. L'atteinte glaucomateuse de la papille optique et de la couche des fibres nerveuses rétiniennes ne diffère en rien de celle que l'on observe dans le glaucome primitif à angle ouvert. En gonioscopie, le degré de pigmentation

trabéculaire a été mis en relation avec la sévérité du GP, mais ne semble pas être un facteur de conversion du syndrome de dispersion pigmentaire vers le GP (Fig 20).

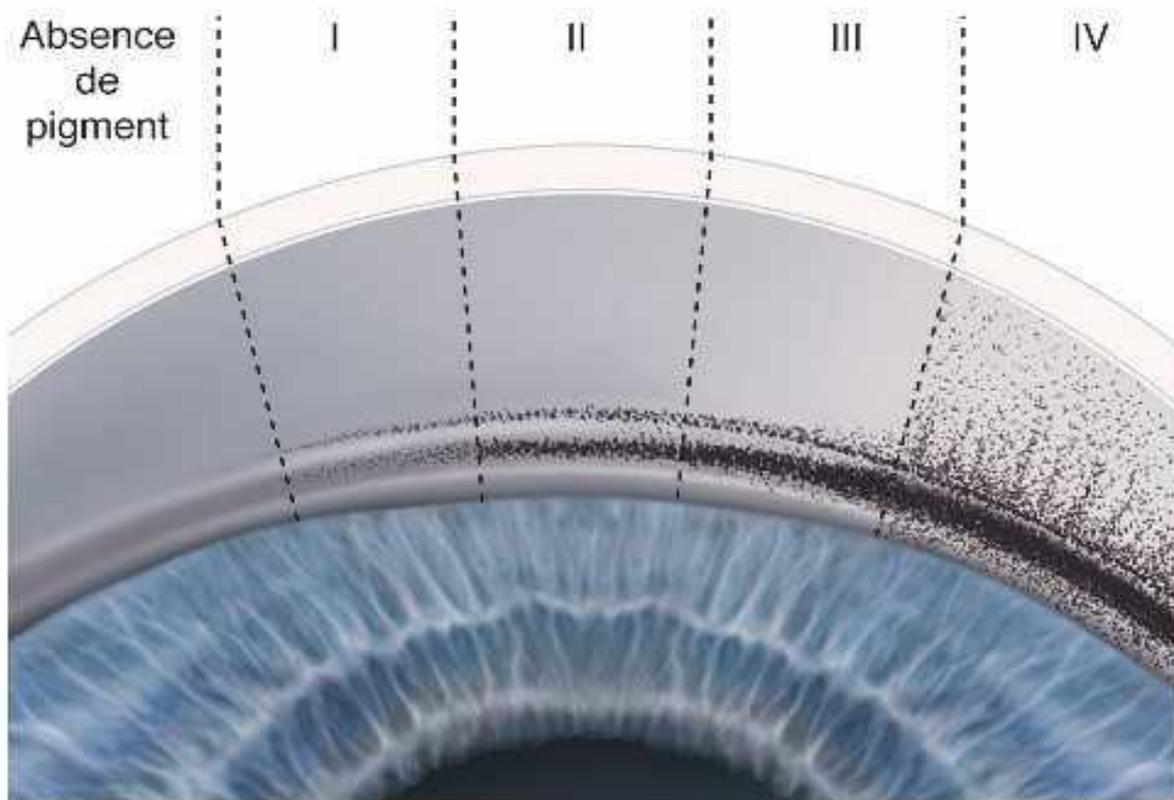


Figure 20 : Classification de la pigmentation de l'angle iridocornéen selon Scheie.

Rapport SFO 2014

La prise en charge devra être individualisée en fonction du contexte clinique, des variations pressionnelles, du degré d'atteinte et de progression de la neuropathie optique glaucomateuse (fig. 21).

- Le traitement médical : Il repose sur les classes thérapeutiques hypotonisantes oculaires utilisées en matière de glaucome primitif à angle ouvert. On prendra en considération l'abaissement pressionnel espéré, la pression intra-oculaire cible, la diminution des variations pressionnelles au cours du nyctémère, le rythme de progression de la neuropathie glaucomateuse, et les effets adverses des médicaments utilisés.

- Les traitements laser : L'iridotomie périphérique Elle a été proposée dans le but de lever le blocage pupillaire inverse, et de ce fait limiter les décharges pigmentaires induites. Ce traitement laser semble d'autant plus indiqué que la dispersion pigmentaire est active et plutôt justifiée à un stade précoce de la neuropathie optique glaucomateuse. Une étude récente souligne que l'iridotomie réalisée au stade de dispersion pigmentaire associée à une hypertonie oculaire ne préviendrait pas une éventuelle conversion vers un GP. L'iridotomie est à proposer notamment en cas d'iris concave, et sera d'autant plus bénéfique que le dommage trabéculaire n'est pas établi de façon permanente (c'est-à-dire idéalement avant la survenue du glaucome). La trabéculoplastie au laser argon a donné de bons résultats en matière de GP, notamment sur des patients jeunes. L'efficacité de ce traitement diminue avec le temps et serait de 45 % à 6 ans. La trabéculoplastie sélective pourrait avoir une efficacité équivalente avec moins de dommages tissulaires, il a néanmoins été décrit des crises d'hypertonie oculaire après ce type de traitement.
- La prise en charge chirurgicale : Elle peut être proposée en cas de résistance au traitement médical ou laser. La chirurgie filtrante peut être perforante ou non, avec un effet sur la PIO mais également sur les variations de la PIO. Les complications potentielles sont les mêmes qu'en cas de glaucome primitif à angle ouvert. Il faut savoir envisager cette alternative thérapeutique avant de laisser s'installer des déficits importants du champ visuel.

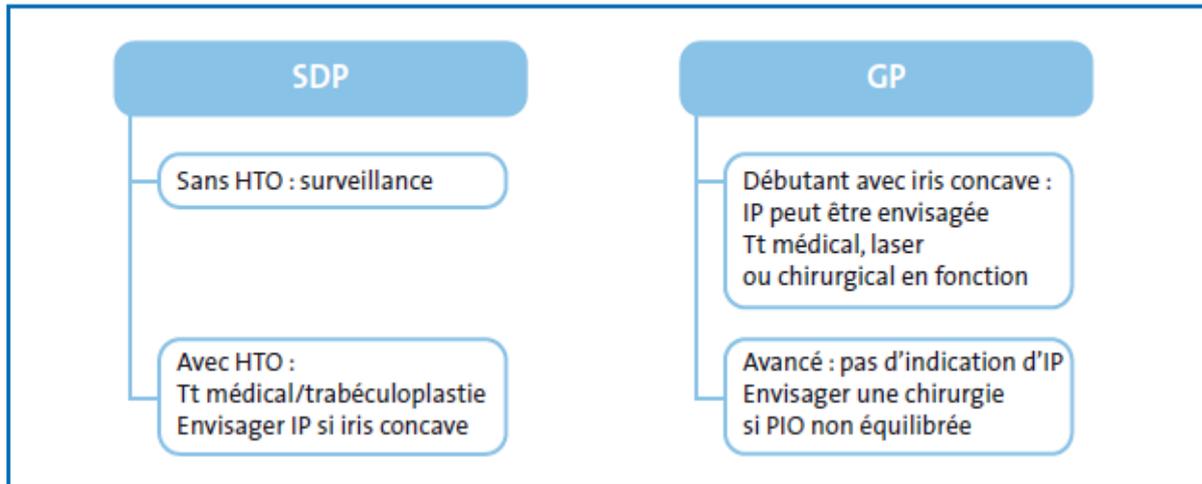


Figure 21 : Algorithme de prise en charge du syndrome de dispersion pigmentaire et du glaucome pigmentaire). [69]

3.2.3. Le glaucome exfoliatif [70] :

Le syndrome exfoliatif correspond à la production et à une accumulation progressive anormale de matériels fibrillaires au niveau extracellulaire dans différents organes. Il s'agit d'une maladie systémique, touchant non seulement l'œil mais également le système vasculaire, le cœur (risque de dysfonctionnement myocardique, angor, hypertension artérielle), les poumons ou les méninges.

Cette maladie de système a une incidence croissante avec l'âge et a été décrite pour la première fois par Lindberg en 1917. Ce syndrome est particulièrement représenté en Scandinavie.

Le matériel exfoliatif est constitué de composants de la membrane basale (laminine et fibronectine) et de fibres élastiques (fibrilline, fibuline, vitronectine et amyloïde P) qui se déposent sous forme d'agrégats extracellulaires.

Les gènes *LOXLI* et *CACNA1A* sont respectivement impliqués dans la formation et la maintenance de la matrice extracellulaire et dans la modification de concentration en calcium, utilisé par la fibrilline pour stabiliser les agrégats fibrillaires. Il a été mis en évidence une association forte entre l'hyperhomocystéinémie

plasmatique et le syndrome ou le glaucome exfoliatif, l'homocystéine pouvant induire, lorsqu'elle est en excès, une hypoxie chronique et des altérations de la matrice extracellulaire via un stress oxydatif. Récemment, 7 loci ont été identifiés comme fortement associés au syndrome exfoliatif.

Le matériel exfoliatif accroît le risque de glaucome car il s'accumule sur le trabéculum au sein de la voie uvéosclérale, ainsi qu'au niveau du réseau de drainage des veines épisclérales, en majorant les résistances à l'écoulement de l'humeur aqueuse. Des modifications dans la composition et l'élasticité des fibres élastiques de la lame criblée, créant une déformation accrue de celle-ci sous l'effet de la pression, a été décrite en cas de mutation de *LOXL1*. L'accumulation du matériel exfoliatif dans les structures oculaires et péri-oculaires est responsable d'une diminution du flux sanguin oculaire, associée à une hypoperfusion chronique de la tête du nerf optique, et serait, en soi, un facteur additionnel de dégradation glaucomateuse.

Le diagnostic ophtalmologique est clinique. On recherche à la lampe à fente des dépôts blancs sur la surface antérieure de la cristalloïde antérieure, répartis de façon circulaire sur les zones de frottement entre l'iris et la cristalloïde antérieure lors du jeu pupillaire. Le matériel exfoliatif est très fréquemment retrouvé sur le bord pupillaire et le sphincter de l'iris (Fig. 22). On estime que 20% des syndromes exfoliatifs sont méconnus en l'absence d'examen sous mydriase. Le matériel s'accumule aussi au niveau de la zonule, avec une instabilité zonulaire responsable d'un phacodonésis ou de subluxations spontanées de cristallin ou d'implant dans la cavité vitrénne.

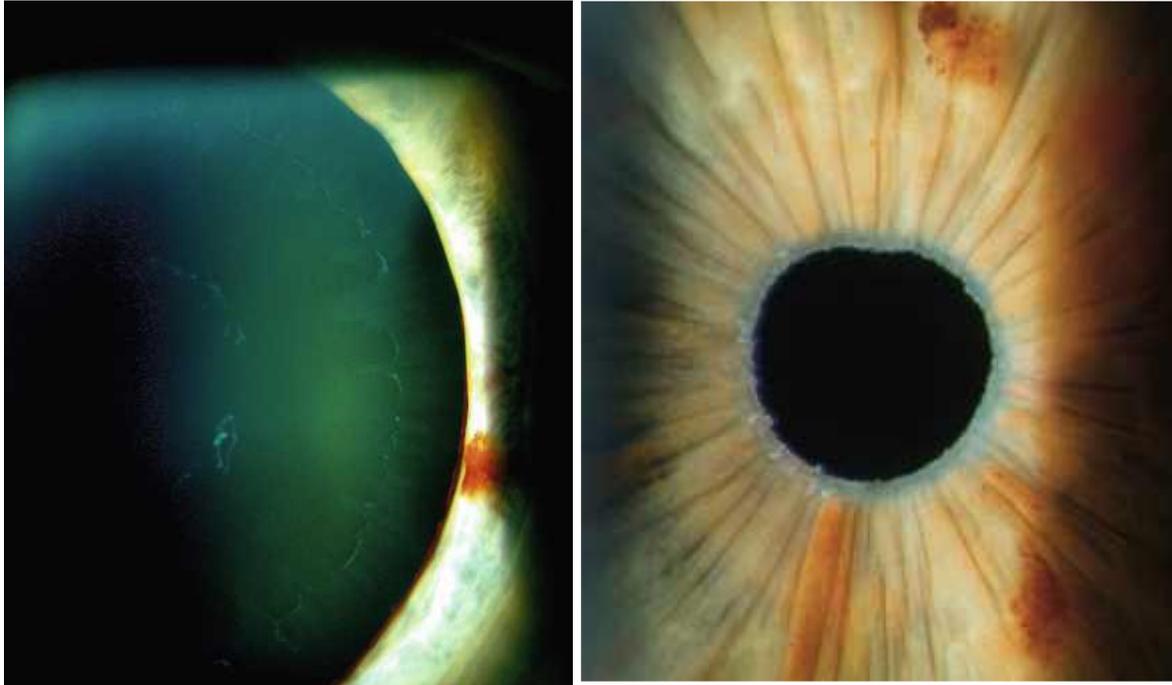


Figure 22. Dépôts givrés de matériel exfoliatif disposés en cocarde sur la cristalloïde. (Rapport SFO 2014)

En gonioscopie, la présence de matériel exfoliatif se révèle par une ligne de Sampaolesi, identifiable sous forme de pigmentation irrégulière en mottes de l'angle iridocornéen et de la ligne de Schwalbe. L'angle est classiquement ouvert, mais des formes de glaucome exfoliatif à angle étroit sont retrouvées dans 9 à 18% des cas. (Fig. 23)



Figure 23. Vue gonioscopique sur 6 heures d'un angle ouvert large avec hyperpigmentation régulière du trabéculum ainsi qu'en avant de l'anneau de Schwalbe (ligne de Sampaolesi). Rapport SFO 2014)

Les patients hypertones présentant un syndrome exfoliatif, à cause du risque important de conversion vers un glaucome, doivent être traités. Le traitement médical reste la première intention, mais l'escalade thérapeutique est souvent plus rapide que pour les glaucomes primitifs à angle ouvert, et le traitement initial doit être adapté au degré d'hypertonie (taux de bithérapies plus élevé d'emblée). La tension cible visée est plus basse que dans le glaucome primitif à angle ouvert et la PIO doit être contrôlée à différents moments de la journée pour s'assurer de la stabilité nyctémérale. Les collyres inhibiteurs des Rho-kinases et donneurs de NO, qui agissent directement sur le trabéculum, vont certainement avoir de bons résultats pressionnels dans le traitement des glaucomes exfoliatifs.

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

Le laser SLT a montré son efficacité sur la réduction pressionnelle dans les glaucomes exfoliatifs à angle ouvert [14]. Ces patients sont toutefois exposés à des pics pressionnels post-laser plus importants et à des réactions inflammatoires plus marquées que pour les autres types de glaucome.

La chirurgie reste réservée aux glaucomes exfoliatifs insuffisamment contrôlés ou réfractaires au traitement médical. Au sein des chirurgies de glaucome, il n'existe pas de complication spécifique au glaucome exfoliatif, mais les taux de cataracte, d'inflammation ou d'hyphéma postopératoires sont plus fréquents, d'où une surveillance accrue recommandée. La sclérectomie ou la trabéculectomie peuvent être pratiquées selon le degré d'ouverture de l'angle et les préférences du chirurgien. La pose de valves donne également de très bons résultats.

La chirurgie de la cataracte seule pourrait diminuer le taux de conversion de patients atteints de syndrome exfoliatif en glaucome exfoliatif et diminuerait de façon significative la PIO chez les glaucomes exfoliatifs. On recommande la chirurgie de cataracte tôt dans la prise en charge de ces patients [16], bien que la phacoémulsification soit greffée d'un taux de complication plus important en cas d'exfoliation capsulaire.

3.3. Hypertonie oculaire isolée [71] :

L'hypertonie oculaire (HTO) se définit actuellement par une pression intraoculaire (PIO) mesurée au tonomètre à applanation de Goldmann supérieure stricte à 21 mmHg. Sa fréquence dans la population générale est de l'ordre de 4 à 9% et est plus importante que la fréquence du glaucome (1 à 2 % de la population de plus de 40 ans). Par ailleurs, l'HTO est le principal facteur de risque de développement et de progression du glaucome et la PIO est actuellement le seul facteur modifiable de cette maladie chronique. Par conséquent, une meilleure compréhension de la mesure

de PIO et des biais associés ainsi que l'appréciation du risque de conversion en glaucome sont des éléments importants de prise en charge des patients atteint d'HTO.

À ce jour, la détermination de la vraie PIO n'est pas mesurable en pratique clinique, mais elle est estimée à partir de différents tonomètres. Le tonomètre à aplplanation de Goldman est le principal outil de mesure de la PIO et son principe technique est basé sur la loi de Imbert-Fick qui détermine la pression à l'intérieure d'une sphère comme le rapport entre la force qu'on y applique sur une unité de surface. Ce principe physique permet d'estimer la vraie pression d'une sphère à condition que sa paroi soit fine et déformable alors que la cornée est asphérique et présente des propriétés de déformation viscoélastiques qui peuvent différer d'un individu à l'autre. La norme est ainsi définie comme la moyenne de la PIO mesurée au Goldman dans une population générale plus ou moins deux déviations standard (15,8 +/-5,14mmHg) et ces valeurs constituent toujours des valeurs seuils notamment car l'ensemble des études diagnostiques et thérapeutiques ont été menées grâce à cet outil de mesure. Le tonomètre à aplplanation de Goldman constitue ainsi un marqueur essentiel dans la prise en charge du glaucome. Les mesures de tonométrie de Goldman peuvent cependant être biaisées par certains paramètres cornéens qui peuvent surestimer ou sous-estimer la vraie PIO. L'épaisseur cornéenne représente la principale source d'erreur avec notamment une surestimation des mesures pour des cornées plus épaisses que la normale. [71]

L'étude OHTS est la principale étude qui a analysé une série de 1398 yeux présentant une HTO sans glaucome au cours d'un suivi longitudinal pour évaluer le risque de conversion et les facteurs de risque de cette conversion. Cette étude a randomisé les yeux soit dans le bras traitement hypotonisant, soit dans le bras placebo afin d'évaluer l'effet du traitement sur le risque de conversion en glaucome

au cours du suivi. Lors du suivi à 5 ans, le taux de conversion d'HTO à glaucome était de 4,4 % pour le groupe d'yeux traités et de 9,5% pour le groupe d'yeux non traités, ce qui signifiait que le traitement diminuait le risque de conversion de 50 % à 5 ans. Cette étude retrouvait également que les principaux facteurs de risque de conversion étaient une épaisseur de cornée plus fine, l'augmentation en âge, l'élévation du paramètre pattern standard déviation du champ visuel ainsi que le niveau d'HTO. [72]

Les investigateurs de l'OHTS ont tenté de mettre en évidence un modèle prédictif de conversion de l'HTO en glaucome à partir de tous les facteurs de risque observés dans l'étude en y apportant la pondération retrouvée pour chacun d'entre eux. Il s'agit notamment de la PIO, de l'âge, de l'épaisseur centrale de la cornée, du paramètre pattern standard déviation du champ visuel ou encore de la mesure du rapport cup/disc vertical. Ces données ont été croisées avec les données de la cohorte de l'étude EGPS (European Glaucoma Prevention Study) pour valider ce modèle. Les auteurs ont ainsi permis de mettre en place un calculateur de risque de conversion en glaucome à 5 ans qui peut s'avérer utile en pratique clinique pour déterminer une prise en charge avec le patient (<https://ohts.wustl.edu/risk/>). [72]

Ainsi, en pratique clinique, il sera donc utile de mesurer la PIO au tonomètre à aplplanation de Goldmann et de vérifier cette PIO avec d'autres tonomètres moins sensibles aux propriétés physiques intrinsèques de chaque cornée comme le tonomètre de Pascal ou encore l'Ocular Response Analyzer pour tenter d'estimer la vraie PIO. Ensuite, un calcul de l'estimation du risque de conversion en glaucome à partir des données de l'étude OHTS peut permettre de discerner les patients les plus à risque de conversion et qui pourraient bénéficier d'un traitement hypotonisant préventif des patients moins à risque de conversion qui nécessiteront un simple suivi annuel selon les recommandations de la Société européenne du glaucome. [72]

4. La Trabéculoplastie

4.1. La trabéculoplastie au laser Argon (ALT) [73]

L'ALT a été introduite en 1979 par les travaux de Wise et Wittter. [73] Ils ont démontré que le traitement par laser Argon, en réalisant des impacts avec une taille de spot de 50 μm , une durée d'exposition de 0,1 s et d'une puissance comprise entre 800 et 1 200 mW pouvait fournir une baisse de la PIO chez une large proportion de GPAO.

4.1.1 Mécanisme d'action

Le mécanisme d'action de l'ALT demeure encore incertain mais plusieurs théories ont été avancées.

- La théorie mécanique : Elle suggère que les brûlures causées par l'énergie thermique entraîneraient une rétraction tissulaire et par la suite un étirement des lamelles trabéculaires, d'où le terme trabéculo-rétraction.
- La théorie biologique suggère que le laser agirait par effet cellulaire et biochimique. Certains travaux réalisés ont mis en évidence une augmentation de la réplication des cellules trabéculaires adjacentes aux brûlures lasers [75].

La trabéculoplastie pourrait réactiver l'activité des cellules trabéculaires. Les impacts de laser libèrent des cytokines (Il 1 α et β , et TNF α) susceptibles d'entraîner une augmentation de la production de métalloprotéinases, enzymes responsables de la lyse de la matrice extracellulaire. Ceci provoquerait une migration des macrophages qui vont phagocytter les débris du trabéculum et entraîner une multiplication et un renouvellement de cette dernière [76]. Le turn-over est alors accéléré, ce qui augmenterait la facilité d'écoulement de l'humeur aqueuse.

4.1.2 Protocole technique [77]

L'ALT est pratiquée à l'aide d'un verre de gonioscopie après instillation d'un collyre myotique et d'un collyre analgésique. On réalise des impacts laser sur une hémicirconférence trabéculaire lors d'une première séance puis l'autre hémicirconférence entre 4 à 6 semaines après la première séance pour avoir un traitement complet sur 360°.

Initialement, Wise proposait la réalisation d'impacts directement sur le trabéculum pigmenté mais une réaction inflammatoire ou une poussée pressionnelle étaient fréquentes après laser. Depuis, un consensus a été obtenu pour appliquer les impacts, soit à la partie antérieure du trabéculum non pigmenté, soit à la jonction trabéculum pigmenté/ trabéculum non pigmenté, facilement repérable dans la majorité des cas. Cette localisation donne moins de poussées pressionnelles post-laser et moins de gonio-synéchies.

Les paramètres utilisés pour le laser sont les suivants :

- La taille du spot doit être très petite, on privilégie donc une taille de spot de 50 µm;
- Un temps d'exposition de 100 ms voire parfois 200 ms est préconisée pour des trabéculums peu pigmentés ;
- La puissance nécessaire pour obtenir une réaction tissulaire (blanchiment avec ou sans formation d'une microbulle) varie d'un trabéculum à l'autre et d'une région trabéculaire à l'autre sur un même oeil. Elle est inversement proportionnelle au degré de pigmentation et se situe habituellement entre 700 et 1 200 mW (il est recommandé de commencer à 800 mW) ;
- Il est conseillé de réaliser 50 impacts par séance, soit approximativement un espacement de 3 largeurs de zone photocoagulée entre chaque impact.

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

L'efficacité maximale est souvent acquise dès la première séance mais l'incertitude face à cette efficacité conduit souvent à traiter sur 360° en deux séances plutôt qu'uniquement 180°.

Après la séance de laser, il est préconisé l'instillation d'une goutte d'apraclonidine 1 % pour diminuer le risque d'hypertonie oculaire post-laser. Puis un traitement par anti inflammatoires stéroïdiens est recommandé pendant une semaine après le geste en plus du traitement anti-glaucomeux habituel qui doit être poursuivi.

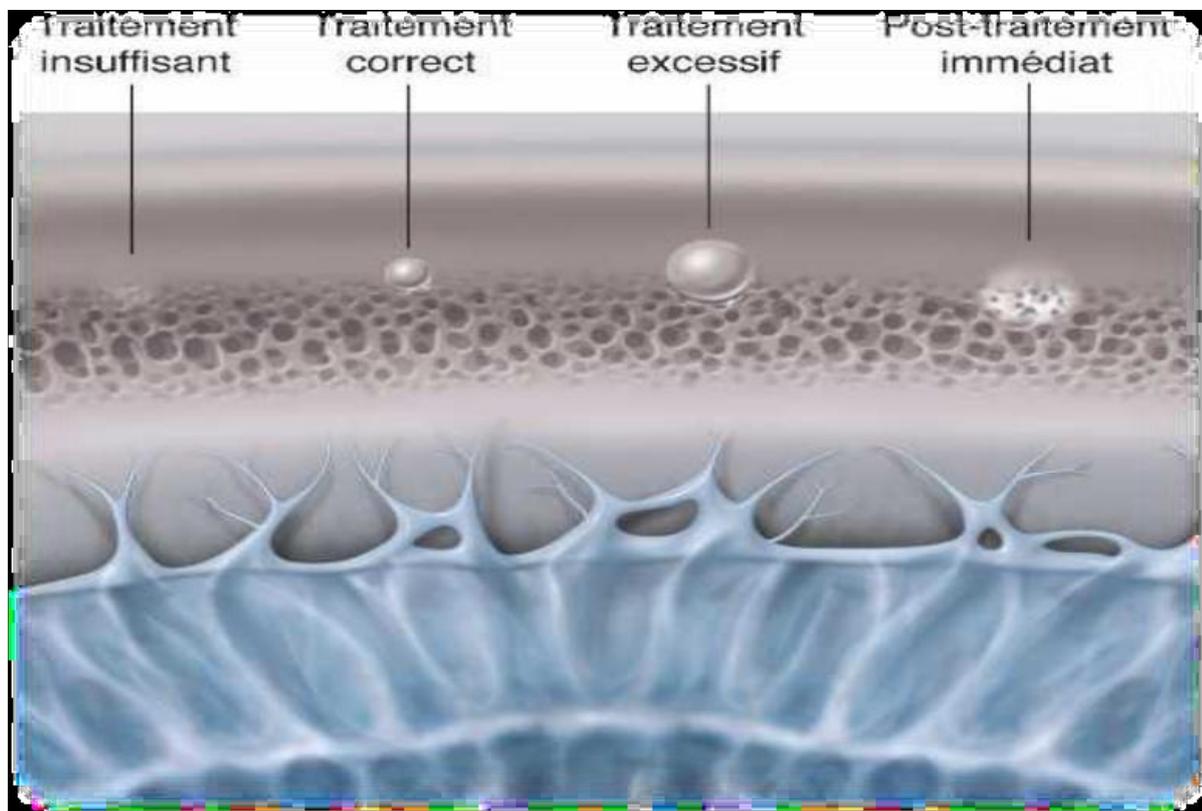


Figure 24 : Différents aspect du marquage laser lors de la procédure de trabéculoplastie Argon (d'après E. Sellem, Glaucome primitif à angle ouvert, chap 16, Rapport SFO 2014)

4.1.3 Indication

L'ALT est indiquée soit en première intention dans la prise en charge du GPAO, du g-Pig ou du G-PEC, soit dans les glaucomes cités précédemment non contrôlés de façon satisfaisante par un traitement médical unique.

Elle est également indiquée en cas de mauvaise observance pour l'instillation des collyres hypotonisants.

L'ALT peut être proposée dans le glaucome par récessus traumatique de l'angle mais elle se révèle souvent peu efficace.

- Il est déconseillé de la pratiquer en cas de glaucome inflammatoire, glaucome néovasculaire, présence de synéchies antérieures périphériques ou d'ICE syndrome.

4.1.4 Résultats cliniques

La Glaucoma laser trial (GLT) est une étude multicentrique et randomisée pour comparer la sécurité et l'efficacité de l'ALT sur 360° par rapport au traitement par timolol 0,5 % chez les patients avec un diagnostic initial de glaucome jamais traité. Les résultats initiaux de la GLT montraient que l'ALT réduisait en moyenne de 9 mm Hg contre 7 mm Hg pour le traitement médical. Pendant les 2 premières années, l'ALT a semblé aussi efficace que le timolol. Cependant, plus de la moitié des yeux traités par laser ont nécessité un ou plusieurs traitements médicaux pour contrôler la PIO. [78]

De nombreuses publications sont venues depuis étayer cette étude. Les résultats sont souvent bons au départ mais décevants sur le long terme. Certaines publications récentes ont permis de synthétiser ces résultats [79,80]. A court terme, les résultats de l'ALT donnent un abaissement pressionnel de 30 % allant de 6 à 13 mm Hg et les taux de succès à 6 mois vont de 65 à 97 %. L'ALT permet également de

repousser l'indication chirurgicale.

4.1.5 Complications

Plusieurs complications ont été décrites après trabéculoplastie :

- Poussée d'hypertonie oculaire précoce [81] : elle est provoquée par la libération de débris et de cellules inflammatoires en chambre antérieure par le laser. Elle ne signifie pas forcément l'échec du traitement. Les facteurs favorisant l'hypertonie sont l'importance de la pigmentation trabéculaire et celle du nombre d'impacts réalisés. Elle reste cependant dans plus de la moitié des cas inférieure à 5 mm Hg et dure moins de 24 h ;
- Synéchies antérieures périphériques [82] : elles se forment au point d'impact du laser et apparaissent rapidement. Ce sont les impacts postérieurs qui favorisent leurs apparitions ;
- Trouble du champ visuel secondaire à l'hypertonie oculaire ;
- Réaction inflammatoire de chambre antérieure souvent limitée et de courte durée ;
- Hyphéma ; Brûlure cornéenne.

4.1.6 Facteurs pronostiques : [83]

- La PIO initiale avant le traitement : la baisse pressionnelle après trabéculoplastie est d'autant plus importante que la PIO de départ est élevée ;
- L'âge : les patients de plus de 40 ans répondent mieux à l'alt ;
- L'aphakie : les patients aphaques répondent moins bien à l'alt ;
- La myopie forte : un nombre important d'échecs est constaté chez ces patients la première année ;
- Syndrome exfoliatif : une réponse très favorable est constatée après laser ;
- Syndrome de dispersion pigmentaire : la réponse est favorable surtout chez

les sujets jeunes de moins de 40 ans. En effet, chez les sujets âgés, l'alt semble aggraver les altérations trabéculaires causées par la dispersion pigmentaire au fil des années. [84]

4.2. LA TRABÉCULOPLASTIE AU LASER SELECTA (SLT) [85]

Ce type de trabéculoplastie est apparu dans la deuxième moitié des années 90. Elle a été développée notamment dans le but de pallier les faiblesses de l'ALT, à savoir la formation de lésion histologique de nécrose de coagulation, l'efficacité démontrée uniquement à court terme et le peu de possibilité de retraitement.

Ce sont les travaux initiaux en 1995 de Latina et al [8] utilisant le laser SLT sur des cellules trabéculaires in vitro qui ont établi les bases de la trabéculoplastie SLT actuelle. Latina et al. ont publié leur première étude clinique prospective multicentrique sur l'efficacité et la sécurité de la trabéculoplastie SLT en 1998 [86]. L'étude comportait 53 patients suivis pour un GPAO non contrôlé qui avait bénéficié d'un traitement par laser SLT sur 180°. 23 patients avaient déjà bénéficié au préalable d'une ALT. Les résultats de cette étude montraient une réduction de PIO d'au moins 3 mm Hg dans 70% des cas dans chaque groupe (traité par ALT avant ou non). Après 26 semaines de suivi, la réduction moyenne de PIO était de 5.8 mm Hg pour le groupe sans ALT et de 6 mm Hg pour le groupe en ayant déjà bénéficié.

Cette étude mettait donc en évidence l'efficacité de cette nouvelle procédure ciblant de manière spécifique une population cellulaire donnée au sein du trabéculum et posait les bases de la trabéculoplastie SLT actuelle. Elle a par la suite été approuvée aux Etats Unis par la Food and Drug Administration dès 2002.

4.2.1. Mécanisme d'action

Le laser SLT utilise un laser vert impulsif de 3 nanosecondes, dont la fréquence Nd-YAG est doublée (532 nm), et cible plus particulièrement les cellules trabéculaires pigmentées chargées de chromophore. L'application d'impact laser SLT au niveau du trabéculum va permettre par un mécanisme complexe et novateur par rapport à l'ALT d'augmenter l'écoulement d'humeur aqueuse avec très peu de dommage tissulaire.

Comme nous l'avons vu précédemment, c'est grâce aux caractéristiques du laser SLT et notamment à son mode impulsif très bref de l'ordre de la nanoseconde qu'il va pouvoir cibler une population cellulaire spécifique au sein du trabéculum.

En effet, grâce au phénomène de photothermolyse sélective décrit précédemment, ce sont les chromophores de mélanine situés dans les mélanosomes des cellules pigmentées trabéculaires qui vont être ciblés par le laser. L'élévation très rapide de la température au sein des mélanosomes va aboutir à une vaporisation de l'eau, contenue dans les cellules pigmentées autour de ces mélanosomes et ainsi entraîner une lyse cellulaire.

L'élévation thermique reste cependant très localisée et respecte les cellules non pigmentées et la trame de collagène extracellulaire. La vaporisation cellulaire se manifeste sous forme de microbulles lors de la réalisation du laser.

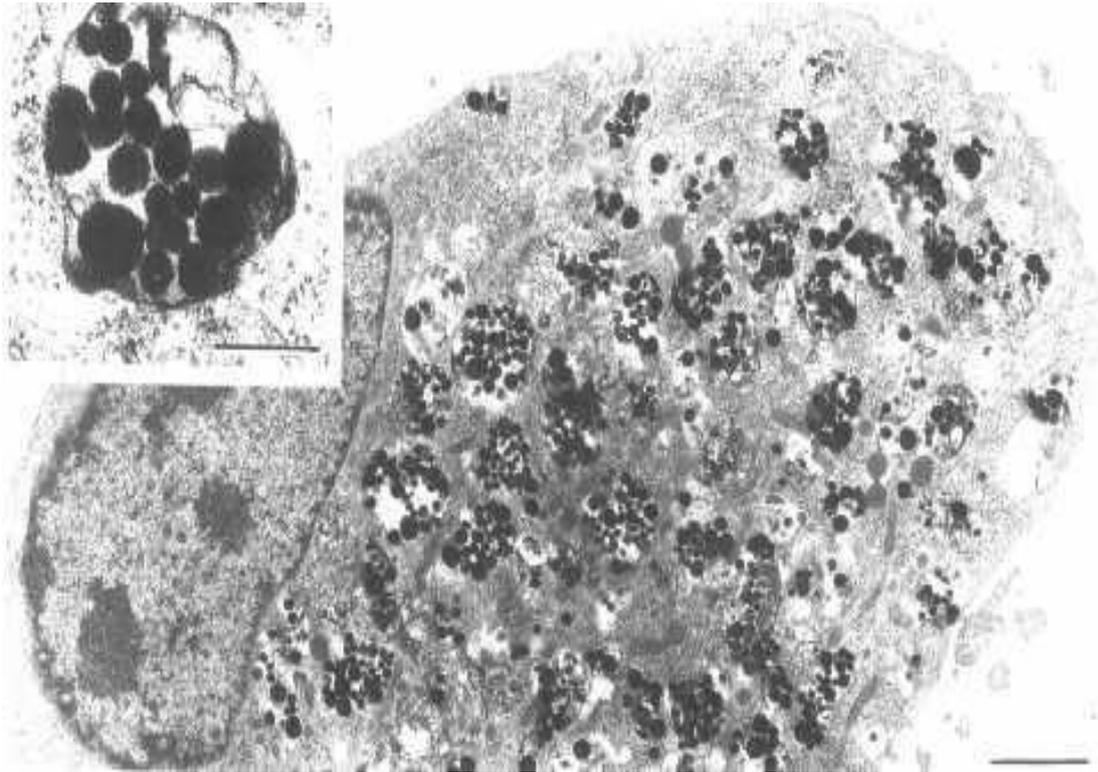


Figure 25 : Image ultrastructurale de cellule pigmentée trabéculaires, avec au plus fort grossissement les mélanosomes contenant les granules de mélanines, cibles du laser SLT (d'après Latina et al)

Cependant, le mécanisme exact d'augmentation du débit d'humeur aqueuse au niveau trabéculaire demeure encore compris de manière partielle. Au cours des 20 dernières années plusieurs équipes ont permis de mieux comprendre le mode d'action de la trabéculoplastie en mettant en évidence des modifications ultra structurales, cellulaires et biochimiques secondaires au laser.

Ce sont tout d'abord les travaux de Kramer et al [4] qui ont permis d'analyser les effets sur le plan histologique et ultra structural des 2 types de trabéculoplastie, de comprendre les différences cliniques qui en découlent et de voir l'intérêt de la SLT par rapport à l'ALT.

Ils ont réalisé une analyse histologique avec un microscope électronique de transmission (MET) et à balayage (MAB) du trabéculum sur des yeux humains sur lesquels on a réalisé sur une moitié une SLT et sur l'autre une ALT après autopsie.

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

Concernant les yeux ayant reçu du laser Argon, la microscopie électronique mettait en évidence une disjonction des composants du trabéculum uvéal associés à la présence de cratère d'ablation mesurant 70 μm , avec des dommages de coagulation à leur base et sur les bords. Ils constataient également une disruption et une fragmentation de la trame de collagène et des faisceaux trabéculaires mais aussi la présence de débris tissulaires (fragments de cellules et de fibrilles de collagène) dans les espaces inter-trabéculaires. Les granules de pigments intracellulaires étaient en revanche ronds et intacts.

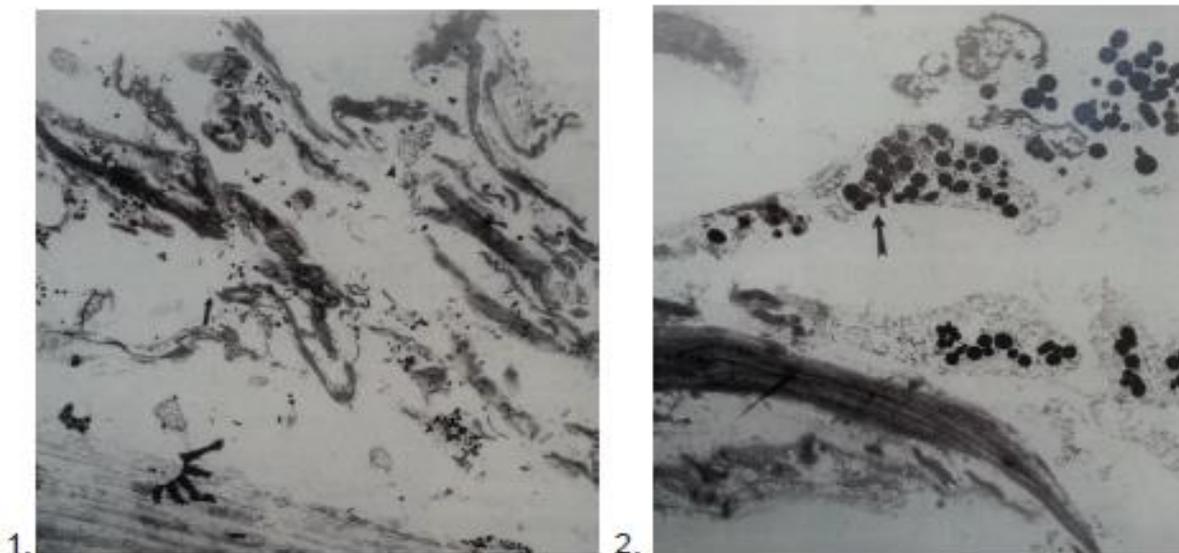


Figure 26 : Aspect MAB après ALT : 1. Eclatement des lamelles et des cellules trabéculaires avec fragmentation des structures collagéniques (grossissement x1680) 2. Pigments intracellulaires ronds et intacts intracellulaires (grossissement x 8400), d'après Kramer et al. [4]

Leurs résultats concernant les yeux sur lesquels le laser SLT avait été appliqué étaient les suivants : il n'y avait ni formation de cratère au sein du trabéculum ni lésion de coagulation. Le trabéculum uvéal était intact. Quelques rares craquelures au sein des lamelles du trabéculum corneo-scléral étaient constatées. Les auteurs remarquaient par ailleurs l'éclatement de certaines cellules endothéliales

trabéculaires ainsi que la présence de granules de pigments intracytoplasmiques qui étaient éclatés, craquelés ou fragmentés.

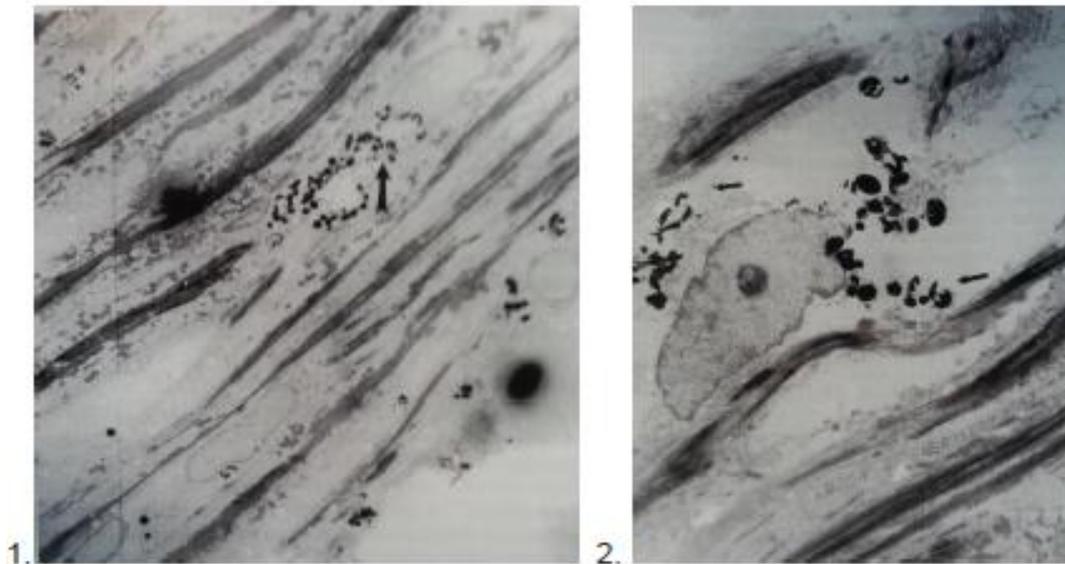


Figure 27 : Aspect MAB après SLT 1. Lamelles et espaces intertrabéculaires discrètement irréguliers (grossissement x 2800) 2. Les pigments intracellulaires sont craquelés, voire fragmentés ou éclatés. Les structures adjacentes semblent respectées (grossissement x 8400), d'après Kramer et al. [4]

Les auteurs ont ainsi mis en évidence d'une part le peu de dommages collatéraux (cratères, lésions de coagulation et débris) entraînés par la SLT par rapport à l'ALT mais aussi l'atteinte ciblée des granules pigmentés au sein de cellules trabéculaires. Cela a donc permis de confirmer la capacité à respecter l'architecture trabéculaire, le ciblage spécifique des cellules pigmentées mais aussi de mieux comprendre les possibilités de retraitement offertes par la SLT.

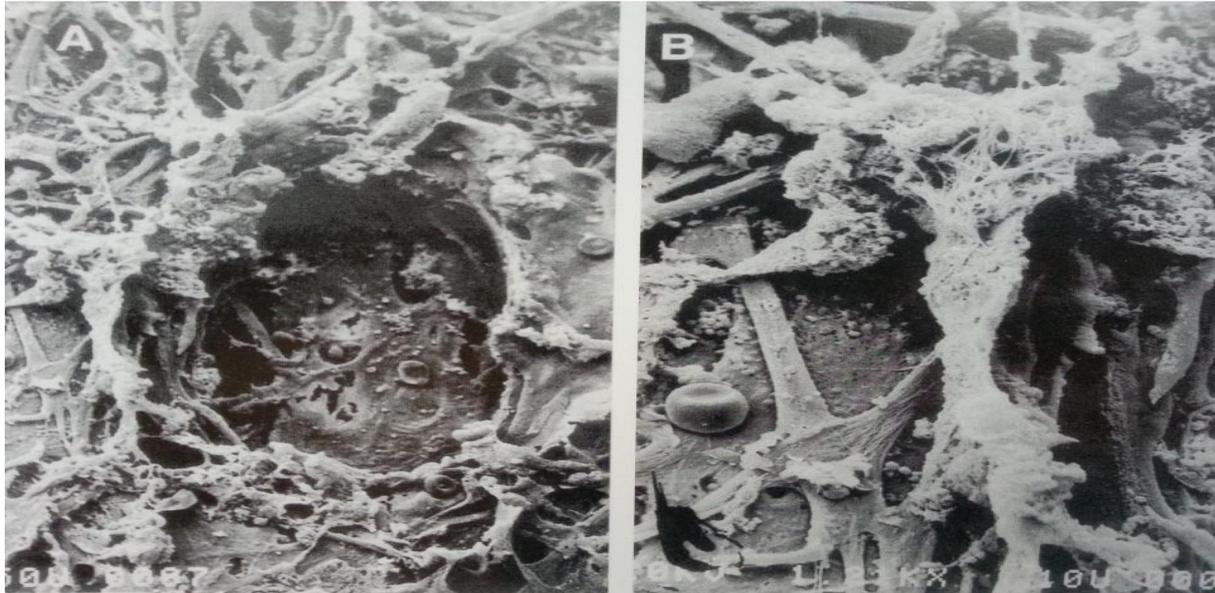


Figure 28 : Aspect en MET après ALT : A. Cratère d'ablation au sein du trabéculum uvéal mesurant $95 \times 70 \mu\text{m}$ (grossissement $\times 469$) B. Blanchiment et formation bulleuse des fibres de collagène indiquant des lésions de coagulation (grossissement $\times 1210$), d'après Kramer et al.[4]

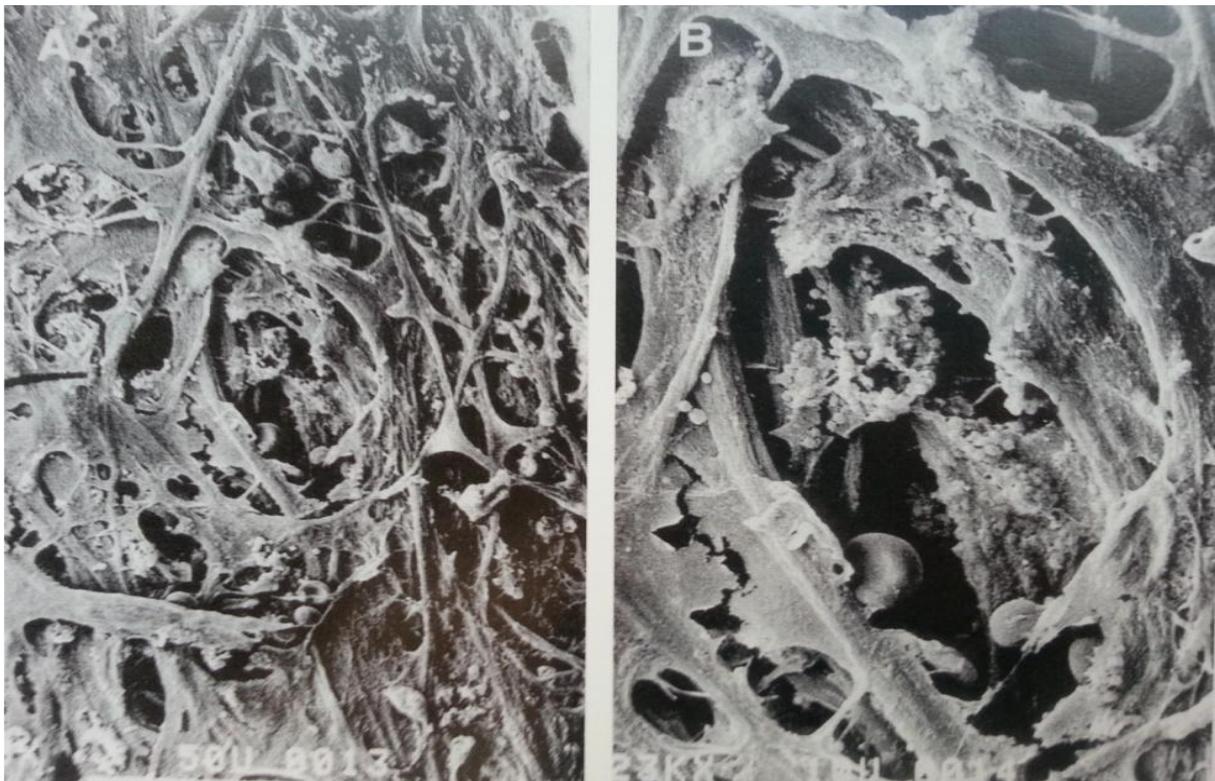


Figure 29 : Aspect en MET après SLT : A. Les faisceaux du trabéculum uvéal et les lamelles du cornéosclérale sont intactes avec quelques discrètes craquelures (grossissement $\times 473$) B. Craquelure dans les lamelles du trabéculum cornéosclérale (grossissement $\times 1230$), d'après Kramer et al. [4]

Ensuite, ce sont les travaux d'Alvarado et al. qui ont permis de mieux appréhender la physiologie du mécanisme de la SLT. Leurs travaux ont permis de mettre en évidence différents mécanismes impliqués dans l'augmentation de l'excrétion de l'humeur aqueuse après SLT.

Dans leurs travaux de 2005, il ressort que la mise en contact de cellules trabéculaires irradiées par STL a le même effet que certaines cytokines sur la perméabilité des cellules du mur interne du canal de Schlemm.

De plus, en 2010, une autre publication⁴⁰ met en évidence une augmentation par un facteur 4 à 5 de la population de monocytes au sein du trabéculum après SLT. Les auteurs mettent également en avant le fait que l'infusion de sérum contenant des macrophages en chambre antérieure augmente l'excrétion de l'humeur aqueuse, sur des modèles animaux.

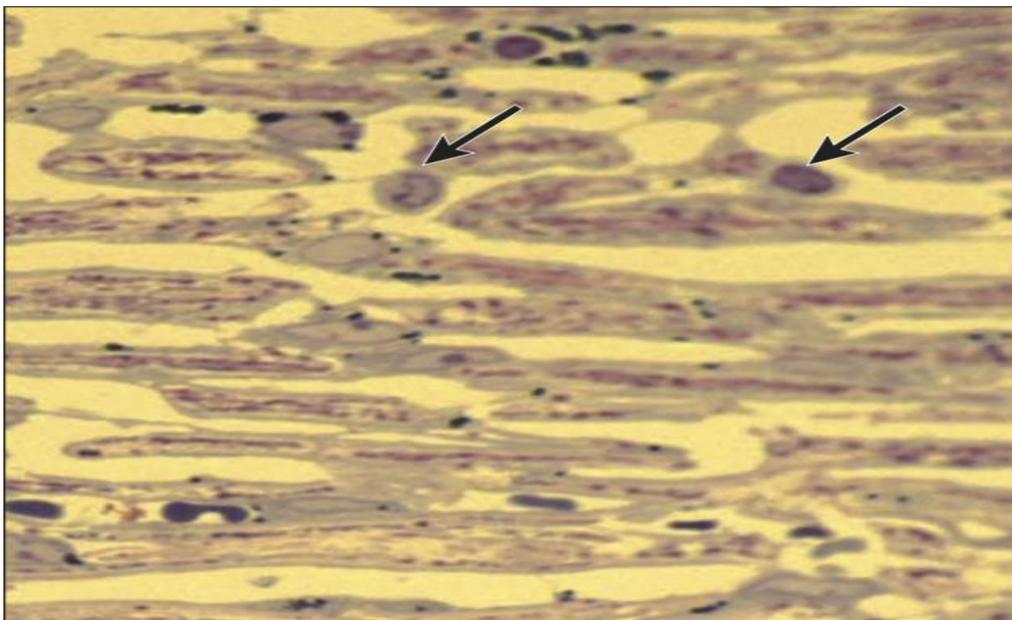


Figure 30 : Recrutement monocytaire au niveau du trabéculum après SLT. Coupe histologique de trabéculum de singe (coloration bleue de méthylène, grossissement x120). Les flèches montrent les monocytes (d'après Alvarado et al.)

Ces deux publications aboutissent à la proposition d'un modèle théorique sur le mécanisme d'action du SLT avec des interactions cellulaires tripartites à la fois autocrine et paracrine.

Par ailleurs, une autre publication en 2010 étudie le fait que l'exposition des cellules du mur interne à des cellules trabéculaires irradiées par SLT a pour effet le désassemblage des jonctions serrées du mur interne, les zonula occludens de type 1 (ZO1) et que cet effet est aussi retrouvé avec les analogues des prostaglandines.

A la lumière de ces différentes publications, le mécanisme d'action du SLT semble essentiellement médié par des effets biologiques. En effet, la théorie mécanique comme pour l'ALT semble peu probable au vu du grand respect de l'architecture histologique par le SLT.

Le SLT entraîne par son ciblage spécifique des cellules endothéliales pigmentées du trabéculum une lyse cellulaire avec libération de plusieurs cytokines (notamment IL1- α et β , IL6 et TNF α). Ces cytokines auraient alors plusieurs effets d'une part sur les cellules du mur interne du canal de Schlemm en augmentant leur perméabilité à l'humeur aqueuse notamment par le biais d'un désassemblage des ZO1 mais aussi en recrutant des monocytes/macrophages qui interviendraient au niveau trabéculaire d'une part par la production de cytokines mais également par la phagocytose de débris.

De plus, les trabéculocytes vont aussi libérer des métalloprotéinases dirigées contre la matrice extracellulaire, ce qui entraîne une augmentation du flux d'humeur aqueuse à travers la matrice extracellulaire. [87]

C'est probablement l'ensemble de ces interactions cellulaires qui participe à la facilitation de l'écoulement de l'humeur aqueuse sans altération histologique après SLT.

4.2.2. Protocole technique

La trabéculoplastie se réalise en ambulatoire, sous anesthésie topique. Le patient est en position assise. Il est conseillé d'instiller une goutte d'un agent myotique (pilocarpine 2 %) dans la demi-heure précédant la réalisation du geste pour permettre une meilleure visualisation de l'angle et notamment du trabéculum. Après instillation d'une goutte d'anesthésique, un verre focalisateur est placé sur l'oeil avec un collyre lubrifiant.

Un verre spécial (verre de Latina) a été conçu pour ce laser permettant une meilleure visualisation de l'angle et localisation des impacts. Le verre doit être maintenu bien perpendiculaire à l'axe de l'oeil. Si on veut « dérouler » l'angle en cas de bombement, il faut demander au patient d'orienter son regard et non pas basculer le verre.

a. Réglages fixes

Le temps d'exposition est pré-réglé dans la machine à 3 ns ainsi que la taille de spot. Associée au verre de Latina, on obtient une taille de spot fixe de 400 μm (elle est de 376 μm si on utilise un verre de Goldmann et de 268 μm si on utilise un verre CGA d'Haag Streit).

La taille du spot est donc huit fois plus large que celle du laser Argon (50 μ) imposant ainsi moins de contrainte de focalisation du faisceau et rendant la technique moins « opérateur dépendante ». La taille du spot est adaptée à la zone à traiter puisqu'elle recouvre aisément la largeur des structures angulaires, de la bande ciliaire à l'anneau de Schwalbe.

La particularité pour ce traitement laser est que le spot du faisceau est perçu flou par l'opérateur et que la mise au point doit être faite sur les structures de l'angle pour que le traitement puisse être délivré de manière efficace.



Figure 31 : Image gonioscopique avec verre de Latina lors de la réalisation d'un SLT. On constate que le spot englobe une grande partie des structures angulaires. Le spot est vu flou alors que l'angle est net (d'après P. Denis, Glaucome primitif à angle ouvert, Chap 16, Rapport SFO 2014)

b. Niveaux d'énergie

Les niveaux d'énergie utilisés par le laser vont de 0.6 mJ à 2 mJ. Il est recommandé de commencer à la plus faible énergie et d'augmenter progressivement la puissance, par palier de 0,1 mJ, suivant les besoins du laser jusqu'à observation du point d'évaluation clinique. Cela correspond à l'obtention de bulles de cavitation, ressemblant à de petites « bulles de champagne » qui correspondent à la vaporisation de l'eau contenue dans les cellules pigmentées trabéculaires. Une fois que les bulles de cavitation sont visibles, il est éventuellement conseillé d'abaisser la puissance de 0.1mJ pour rester en dessous du seuil de cavitation.

En pratique, le principe retenu et décrit par les concepteurs est d'obtenir globalement ces microbulles sur la moitié des impacts réalisés. Les impacts ne provoquent que très rarement une dispersion pigmentaire et exceptionnellement un blanchiment trabéculaire. Il est préconisé d'utiliser une énergie moins importante

pour des angles avec une importante pigmentation.

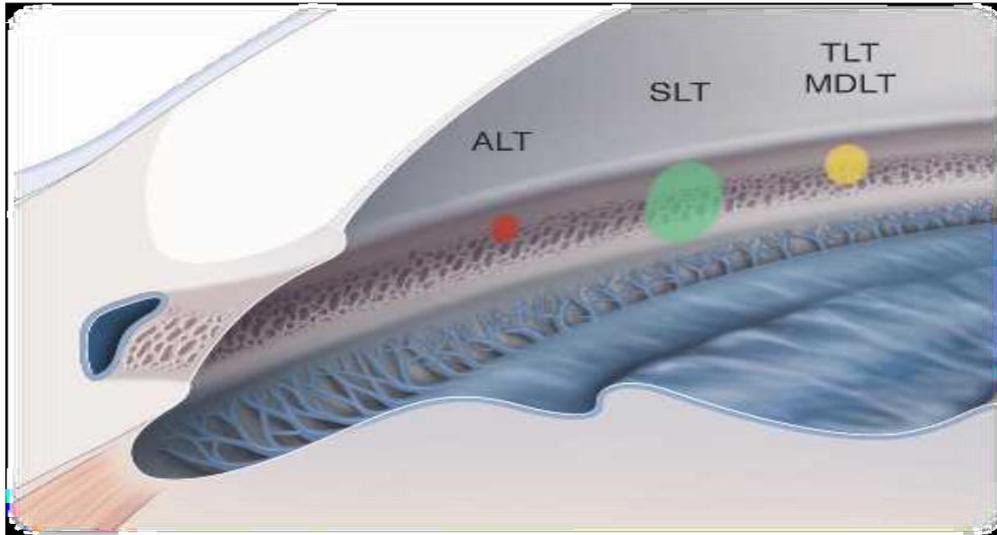


Figure 32 : Comparaison des différentes tailles de spot et localisation des impacts en fonction du type de trabéculoplastie (d'après E.Sellem, Glaucome primitif à angle ouvert, Chap 16, Rapport SFO 2014)

c. Surface traitée

Le nombre de spots réalisés ainsi que la surface traitée ne font pas l'objet d'un consensus et les protocoles varient suivant les publications. Le trabéculeum peut être traité soit sur 180° soit sur 360°.

d. Conduite à tenir après traitement

Une prévention des pics de PIO est réalisée par instillation d'apraclonidine à 1% en collyres et un traitement anti-inflammatoire par stéroïdes et/ou anti inflammatoires non stéroïdiens pendant 15 jours pour prévenir les réactions inflammatoires de chambre antérieure.

Le traitement antiglaucomateux doit être maintenu pendant toute cette période avant d'envisager un éventuel allègement.

4.2.3. Indications : [88 ;89]

La SLT peut être utilisée en cas de GPAO, glaucome pseudo exfoliatif, glaucome pigmentaire, glaucome à pression normale ainsi que dans la plupart des autres glaucomes à angle ouvert. Les situations cliniques qui amènent à proposer une trabéculoplastie SLT sont nombreuses :

- En première intention lors du diagnostic initial de glaucome à angle ouvert;
- En cas de glaucome insuffisamment contrôlé par une thérapeutique médicale, la SLT permet parfois d'éviter ou de différer une chirurgie filtrante;
- Alternance au traitement médical par collyres dans diverses situations : mauvaise observance thérapeutique, intolérance locale au traitement antiglaucomateux, difficultés physiques d'instillation, désir de réduire le nombre de collyres ;
- Eventuellement après chirurgie filtrante avec des résultats insuffisants.

En revanche, certains autres types de glaucome, comme un glaucome néovasculaire, un glaucome congénital ou encore un glaucome inflammatoire, ne sont pas des indications à une trabéculoplastie SLT. Il en est de même pour toutes les formes primitives et secondaires associées à une fermeture de l'angle. Par ailleurs, les glaucomes d'origine traumatique sont des indications limitées de la SLT. La SLT peut être proposée mais les résultats se révèlent souvent décevants.

4.2.4. Complications

- **Pic initial de PIO** après réalisation du laser dans 10 % des cas, 1 à 2 heures après la réalisation du laser. Ces pics d'hypertonies vont de 0 à 27 % de la PIO initiale. Ils sont souvent spontanément résolutifs en 24 h et ne nécessitent que rarement un traitement supplémentaire [90] . Ces pics apparaissent plus souvent quand l'énergie délivrée est trop élevée. C'est plus

souvent le cas chez les patients qui présentent une pigmentation angulaire plus importante et notamment dans le cadre de glaucome pigmentaire où l'on constate souvent une élévation paradoxale de la PIO [91]. C'est pour cela qu'une instillation de collyres alpha-agonistes, par exemple la Brimonidine 2 % est souvent réalisée après la réalisation du laser pour réduire le pic d'hypertonie post SLT [92].

- **Réaction inflammatoire de chambre antérieure** (Tyndall, flaire, hyperhémie conjonctivale) qui est modérée dans 50 % des cas. Elle survient après réalisation du laser et dure souvent moins de 24 h, répond bien au traitement anti inflammatoire local [93].
- **Hyphéma** : de rares cas ont été décrits dans la littérature [94 ;95]
- **Œdème de cornée** : quelques rares cas ont aussi été rapportés dans la littérature [96], résolutifs avec traitement AINS local.
- **Œdème maculaire cystoïde** : quelques cas retrouvés dans la littérature souvent résolutifs avec traitement AINS collyre en 3 semaines [97].

III. MATÉRIELS ET MÉTHODES :

1. Données Cliniques

L'étude que nous avons réalisée est une étude prospective, monocentrique observationnelle chez des patients suivis et traités pour un glaucome à angle ouvert dans le service d'ophtalmologie de l'hôpital Militaire My Ismail de Meknès. Cette étude a été menée du mois de septembre 2018 au mois de décembre 2019 incluant 4 groupes égaux de patients traités par SLT au sein de notre service. Les indications de la trabéculoplastie était variable.

Les critères d'inclusion étaient les suivants : Tous patients naïf atteint de glaucome à angle ouvert (primitif, exfoliatif ou pigmentaire) ou d'hypertonie oculaire isolée (HTOI) avec un suivie au minimum d'une année avant la réalisation du laser avec mesure trimestrielle de leur PIO.

Les critères d'exclusion étaient les suivants : le non-respect des critères d'inclusion ; Changement du traitement hypotonisant après le laser ; Un antécédent Laser ou de chirurgie filtrante avant le traitement par SLT ; L'existence de toute autre pathologie oculaire en particulier inflammatoire ; Un antécédent de traumatisme ou de chirurgie oculaire.

Nous avons étudié les paramètres suivants : Age, Sexe, type de glaucome, nombre de traitement, épaisseur cornéenne centrale, le profil pressionnel sur une durée de 1 ans avant la réalisation du laser, les complications après SLT ; puissance de l'énergie délivrée ; nombre d'impacts sur 360° ; résultats pressionnels avant SLT immédiatement et après 1 h, à j15, à 1 mois, 3 mois, 6 mois.

2. Déroulement de la procédure

Mise en condition : La procédure était réalisée sous anesthésie topique. Le laser utilisé était le LightLas Deux™ (Fig.33). Le laser était réalisé à l'aide d'un verre de contact de Latina après instillation de collyre à l'Oxybuprocaine (Fig.34). Une séance de laser était réalisée sur toute la circonférence trabéculaire, en débutant à une énergie par impact de 0,4 mJ pour le groupe de G-P et de 0,8 pour les 3 autres groupes puis augmentée pour obtenir au moins 50 % de bulle de cavitation lors de la réalisation des impacts.

L'ensemble des paramètres étaient relevés après réalisation du laser pour déterminer l'énergie délivrée au trabéculum (exprimée en millijoule, mJ) au cours de la séance et la surface traitée ainsi que les difficultés au cours de la procédure. Tous cela a été rapporté sur une fiche de donné pratique (Fig.35/a).

Le traitement post laser comportait, en plus des collyres hypotonisants habituels, un collyre anti inflammatoire stéroïdien 4 fois par jour pendant 7 jours. En cas de traitement bilatéral, la trabéculoplastie controlatérale était différé de deux semaine.



Figure 33 : Iridotomy laser LIGHTLas YAG/SLT Deux



Figure 34: Ocular Latina SLT Gonio Laser

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

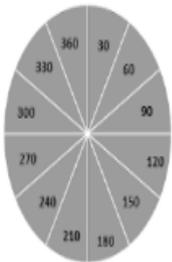
FICHE D'EXPLOITATION

Nom et prénom :	AGE :	Traitement en cours :	N° tel :	N° de dossier :
-----------------	-------	-----------------------	----------	-----------------

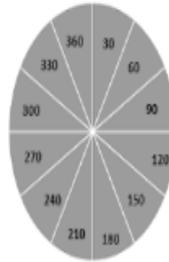
• **Diagnostic retenu :**

HTIO isolée	Glaucome Primitif à angle ouvert	Glaucome pigmentaire	Glaucome exfoliatif
-------------	----------------------------------	----------------------	---------------------

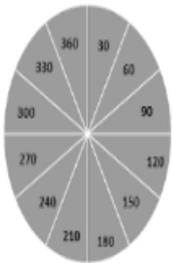
• **Marquage de zones d'efficacité de la SLT sur 360° : (Critères d'efficacité : bulles)** **+** **—**



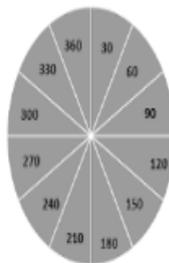
SLT 1 OD	Date :
Opérateur	Puissance :
Nombre d'impact :	
<u>Causes apparentes d'inefficacité :</u>	
Changement d'énergie : P	
Atrésie du canal de Schlemm : A	
Difficulté de repérage du Trabéculum : R	
Indentation : I	Yeux creux : Y



SLT 2 OD	Date :
Opérateur	Puissance :
Nombre d'impact :	
<u>Causes apparentes d'inefficacité :</u>	
Changement d'énergie : P	
Atrésie du canal de Schlemm : A	
Difficulté de repérage du Trabéculum : R	
Indentation : I	Yeux creux : Y



SLT 1 OG	Date :
Opérateur	Puissance :
Nombre d'impact :	
<u>Causes apparentes d'inefficacité :</u>	
Changement d'énergie : P	
Atrésie du canal de Schlemm : A	
Difficulté de repérage du Trabéculum : R	
Indentation : I	Yeux creux : Y



SLT 2 OG	Date :
Opérateur	Puissance :
Nombre d'impact :	
<u>Causes apparentes d'inefficacité :</u>	
Changement d'énergie : P	
Atrésie du canal de Schlemm : A	
Difficulté de repérage du Trabéculum : R	
Indentation : I	Yeux creux : Y

Figure 35/a : fiche de recueil des données.

3. Suivi ophtalmologique :

Le suivi des patients comportait une consultation initiale au cours de laquelle les différents paramètres ophtalmologiques étaient recueillis de manière bilatérale : Pression intraoculaire, examen biomicroscopique, gonioscopie, pachymétrie, bilan fonctionnel et structurale du glaucome pour confirmer le diagnostic. L'indication du laser était posée au cours de cette consultation par le praticien responsable systématique chez tous les glaucomes à AIC ouvert.

Le patient était revu le jour de la réalisation de la trabéculoplastie avec mesure de la pression intraoculaire avant le geste et mesure une heure après la séance de laser puis à deux semaines du laser, à un mois, à trois mois et finalement à six mois. Au cours de chaque consultation on réalisait une mesure de la pression oculaire corrélé à la pachymétrie, un examen biomicroscopique complet. La mesure de la pression intraoculaire était réalisée à l'aide d'un tonomètre à aplanation de Goldmann et sa valeur est exprimée en millimètres de Mercure (mm Hg). La survenue d'éventuelles complications après trabéculoplastie ont été notées.

Les données cliniques et paracliniques ont été recueillies à partir des dossiers des patients comportant un glaucogramme. (Figure 35/b)

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

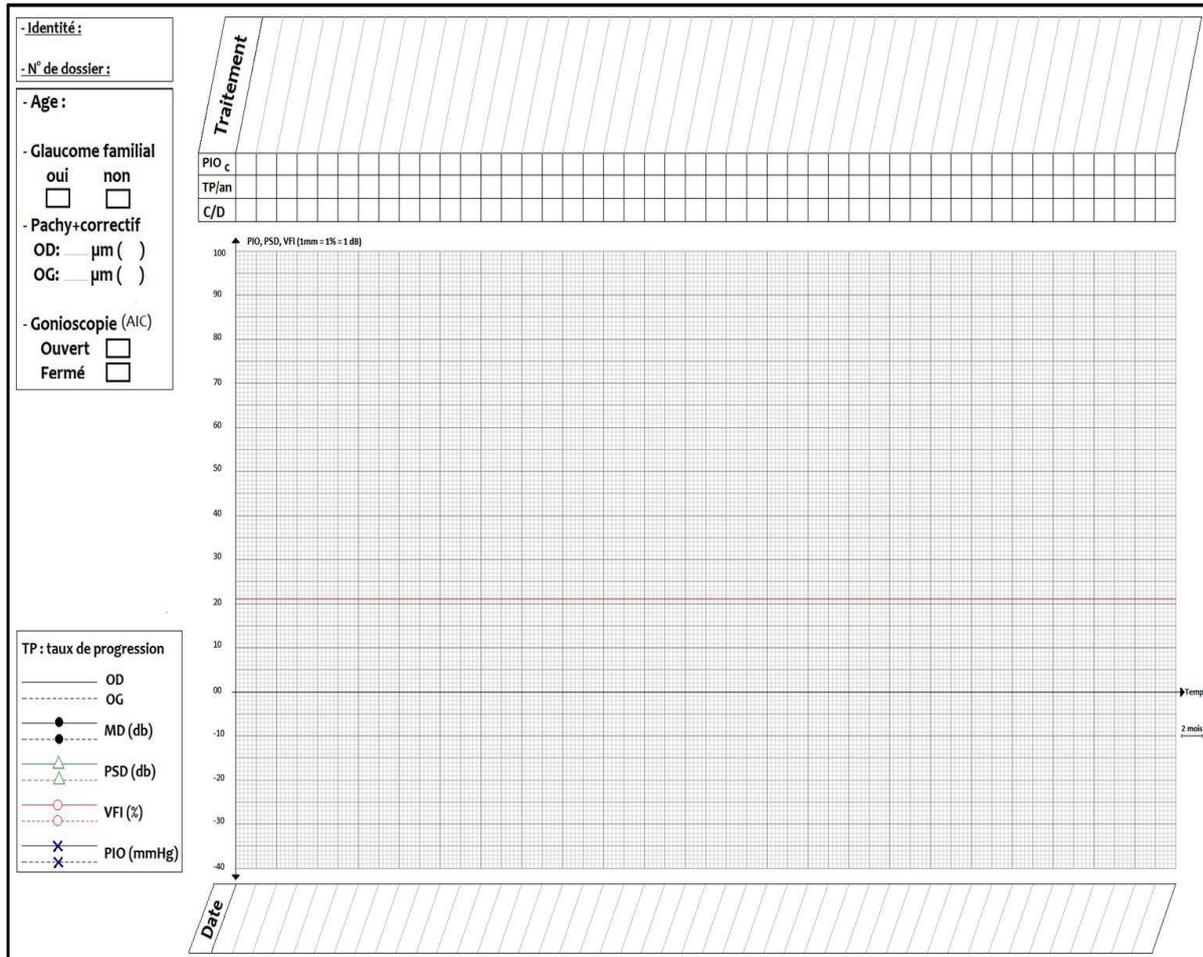


Figure 35/b : Le glaucogramme.

4. Critères de succès :

Un critère secondaire a été évalué (le succès immédiat) : défini par l'obtention de bulles de cavitation après l'impact du laser SLT.

Le critère d'efficacité à court terme : il s'agissait de la baisse de la pression intraoculaire supérieure ou égale à 20 % de la pression initiale après 3 mois de la trabéculoplastie sans aucun changement thérapeutique.

5. Analyses statistiques :

Les paramètres quantitatifs ont été décrits en termes de fréquence et de pourcentage. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du Tableau Excel et le logiciel XLSTAT 2016 (LE T.TEST / ANOVA). Le niveau de significativité a été fixé à 5 %.

IV. RÉSULTATS

1. Profil de la population étudiée :

Nous avons inclus dans notre étude 100 yeux traités par SLT de 66 patients. 4 patients ont été exclus : l'un pour une modification thérapeutique avec introduction d'un traitement hypotonisant per os après le traitement, le deuxième patient ayant bénéficié d'une chirurgie filtrante un peu plus d'un mois après le laser ainsi que les 2 derniers malades ont présenté une uvéite antérieure aigue sans hypertonie jugulé par traitement topique seul.

La population de l'étude comportait 53 hommes et 13 femmes avec un sex-ratio de 4,07, l'âge moyen était de $59 \pm 8,49$ ans avec des extrêmes allant de 41 à 78 ans. Le nombre de collyres moyen pris en pré-SLT était de $1,39 \pm 0,99$. La majorité des patients étaient sous bithérapie 43 % ou monothérapie 42 %, 9 % des yeux étaient sous trithérapie et 5 % des yeux était naïfs traités en première intention par SLT et 1% était sous quadrithérapie. L'épaisseur cornéenne centrale moyenne était de 530.04 ± 38.83 μm ainsi que la PIO moyenne était de $20 \pm 2,12$ mmHg. L'ensemble des caractéristiques initiales de la population traitée sont résumés dans le tableau suivant:

Tableau 2 : caractéristiques de la population traité :

Variables		Valeurs		
		Population : 100 yeux / 66 patients		
SEXE	Homme	77%		
	Femme	23%		
AGE (ans)	MOY : 59 ± 8,49	MIN : 41	MAX : 78	
Type de Glaucome				
HTIO	25			
GPAO	25			
G-PEC	25			
G-PIG	25			
Nbr de Traitement				
Pas de TRT	5%			
Monothérapie	42%			
Bithérapie	43%			
Trithérapie	9%			
Quadrithérapie	1%			
Paramètre oculaire				
Epaisseur cornéenne centrale MOY		530.04 ± 38.83 µm		
PIO	MOY : 20 ±	MIN : 17 ±	MAX : 26 ±	
initiale(mmH)	2,12	4,25	3,55	

2. Données concernant la procédure :

Au cours de cette études Le traitement par laser SLT a été réalisé par le même opérateurs sur 360° pour tous les yeux de l'étude. Les indications de la trabéculoplastie était dominé par l'intention de réduire le nombre de collyres dans 78%, l'intolérance au traitement dans 16 %, un traitement médical antiglaucomateux maximal insuffisant avec refus de chirurgie dans 1 % des cas, et dans 5 % l'indication était de première intention sur des yeux naïf qui souffrent d'une hypertonie oculaire isolée avec risque de conversion.

Le nombre moyen d'impact était de $115 \pm 9,62$ impacts avec une énergie moyenne de $105,69 \pm 16,82$ mJ. Le nombre moyen de quadrant horaire ou on a obtenu les bulles de cavitations était de $10,3 \pm 1,14$. La majorité de ces quadrants non marqués par les bulles de cavitations se situé dans le quadrant supérieur et nasal probablement due à la faible pigmentation trabéculaire de ces régions.

Les difficultés de réalisations de la trabéculoplastie sélective au cours de notre études était dominé par le changement d'énergie entre les quadrants horaire suivie des difficultés de repérage du trabéculum avec recours à l'indentation chez 50 % de notre population traitée surtout chez les patients présentant des yeux creux avec blocage du rebord orbitaire supérieur ou du nez. Les paramètres utilisés ainsi que les difficultés de réalisation du laser sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : caractéristiques de la procédure

Variables		Valeurs
		Population : 100 yeux / 66 patients
Coté traité	OD	52%
	OG	48%
Nombre MOY d'impact		115 ± 9,62
Energie MOY délivrée		105,69 ± 16,82 mJ.
Nombre MOY de Quadrant		9,3 ± 2,14
		Difficulté
Changement d'énergie : P		70 (yeux)
Difficulté de repérage du Trabéculum : R		15 (yeux)
Indentation : I		50 (yeux)
Yeux creux : Y		18 (yeux)
		Indication
Réduire le nombre des collyres		78%
L'intolérance au traitement		16 %
Première intention		5%
Traitement insuffisant		1%

3. Résultats sur la pression intraoculaire :

La PIO initiale moyenne pour les 100 yeux traités par SLT était de $20 \pm 2,12$ mm Hg. 15 jours après la SLT la PIO moyenne a baissé de 1 mmHg et devenu de 19 ± 4.56 mmHg, a 1 mois la PIO moyenne a encore baissé de 2 mmHg devenant $17 \pm 2,92$ mmHg, après trois mois du laser la baisse était maximale de 5 mmHg avec une PIO moyenne de 15 ± 2.36 mmHg et finalement au 6 mois, il y avait une légère augmentation de la PIO moyenne devenant $16 \pm 1,98$ mmHg.

L'évolution des valeurs de PIO moyenne aux différents temps de l'étude avec la valeur maximal et minimale sont représentée dans le graphique suivant :

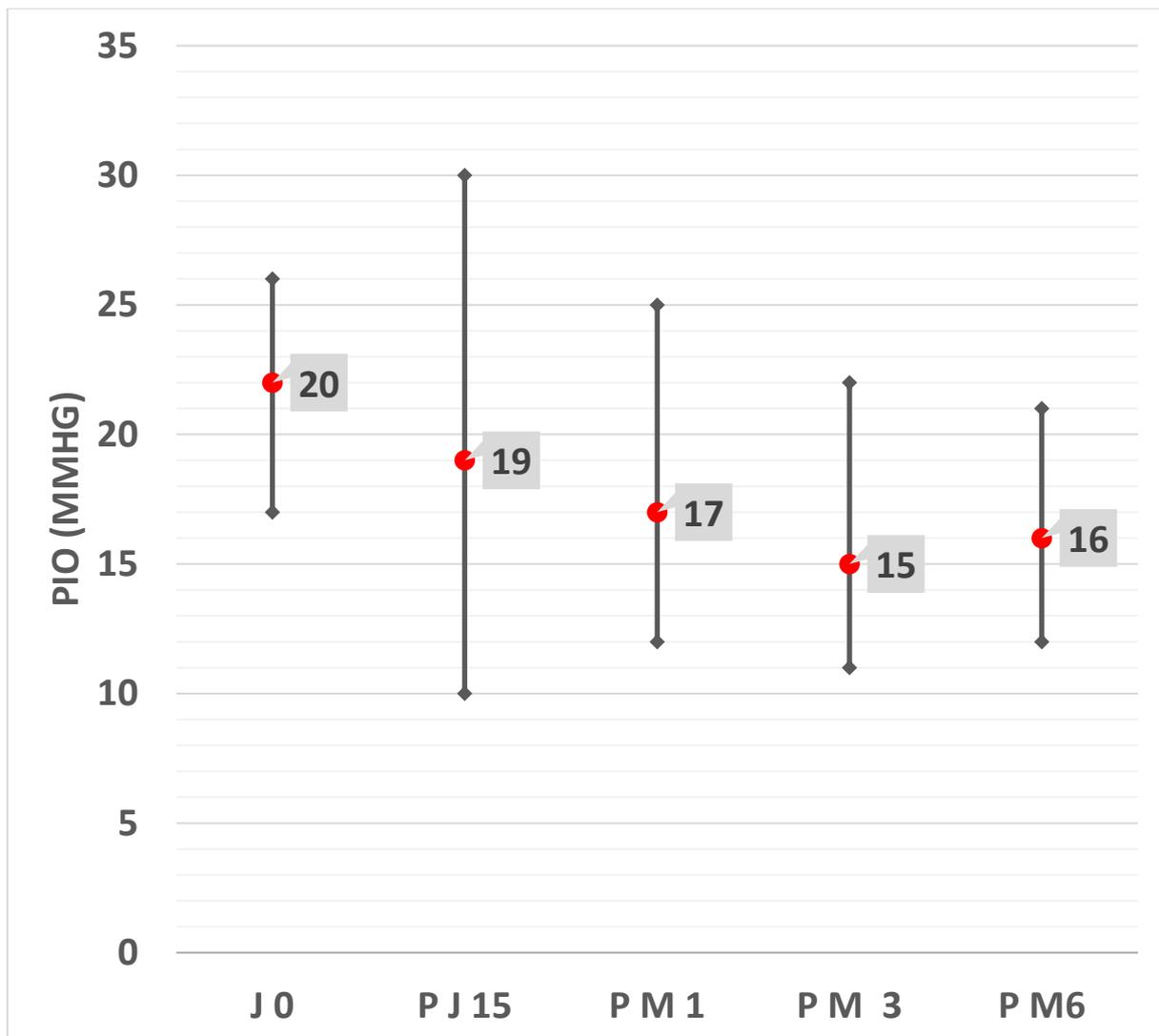


Diagramme 1 : Variation pressionnel après le SLT au cours de la période de suivi.

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

Nous présentons ci-après les résultats concernant la réduction de la baisse de PIO moyenne par rapport la PIO initiale pour les yeux traités par SLT :

- À deux semaines, la baisse de PIO obtenue était de 2,04 mm Hg soit une baisse de 6 % de la PIO initiale.
- À 1 mois la réduction de PIO moyenne était de 3 mm Hg, donc une baisse de 12 % de la PIO initiale.
- Ensuite, à 3 mois la réduction de PIO était maximale avec une baisse moyenne de 5 mm Hg soit 18 % de la PIO initiale.
- Enfin, à 6 mois, la baisse de PIO moyenne à régressé avec une réduction de 4 mm Hg soit une diminution de 14 % de la PIO initiale.

Les profils de réduction de PIO sont représentés dans les courbes ci-après :

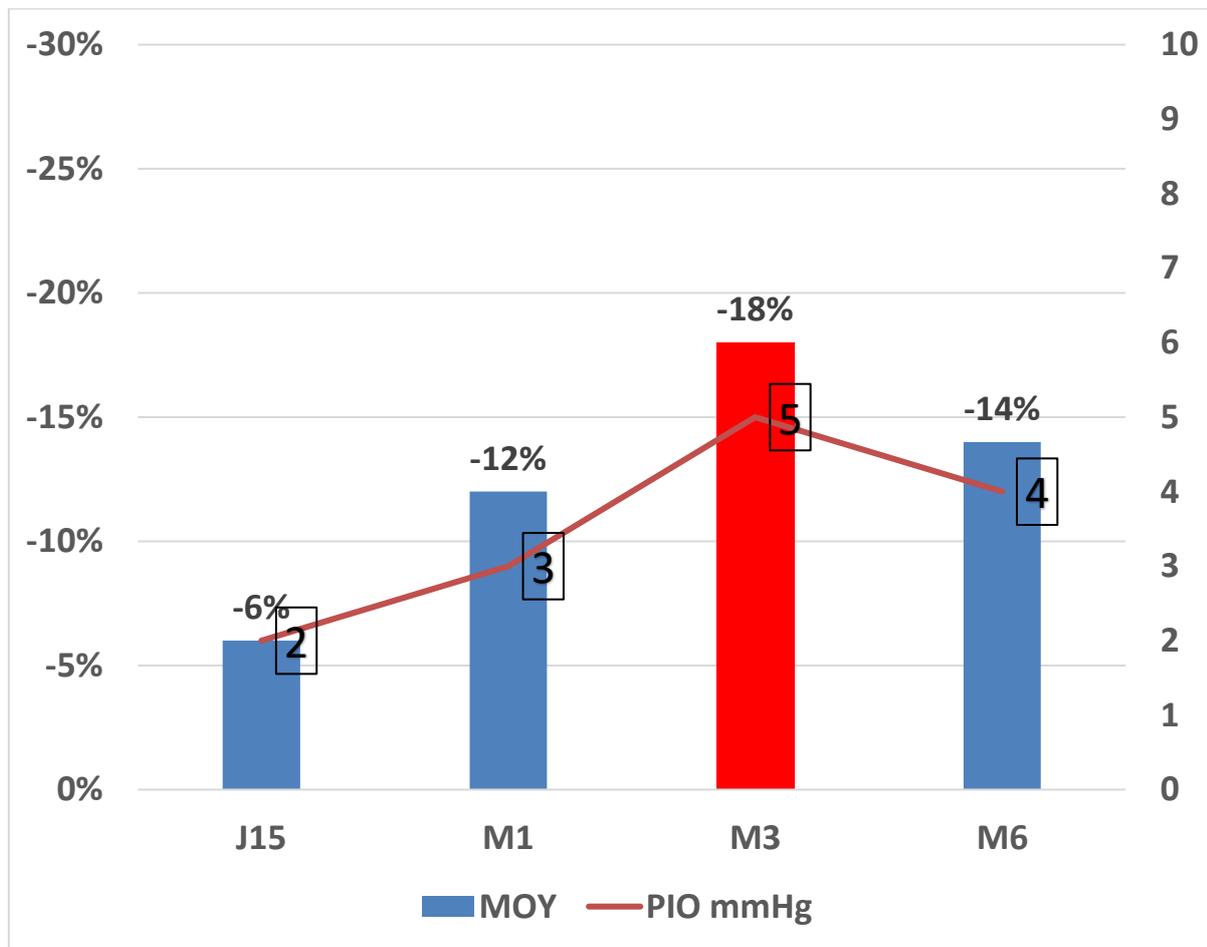


Diagramme 2 : Moyenne d'efficacité au cours du suivi après la SLT.

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

En fonction du critère de jugement principale, nous avons noté 16 % de répondeur « réduction supérieure ou égale à 20 % de la PIO initiale » 15 jours après le laser, 28% de répondeur après 1 mois puis 42% de répondeur après 3 mois et finalement 36% de répondeur après 6 mois.

Le laser était effectif chez 42 % des 100 yeux traités par SLT, après trois mois de suivi avec une baisse moyenne de PIO de 6 mmHg. Les résultats sont représentés dans le diagramme suivant :

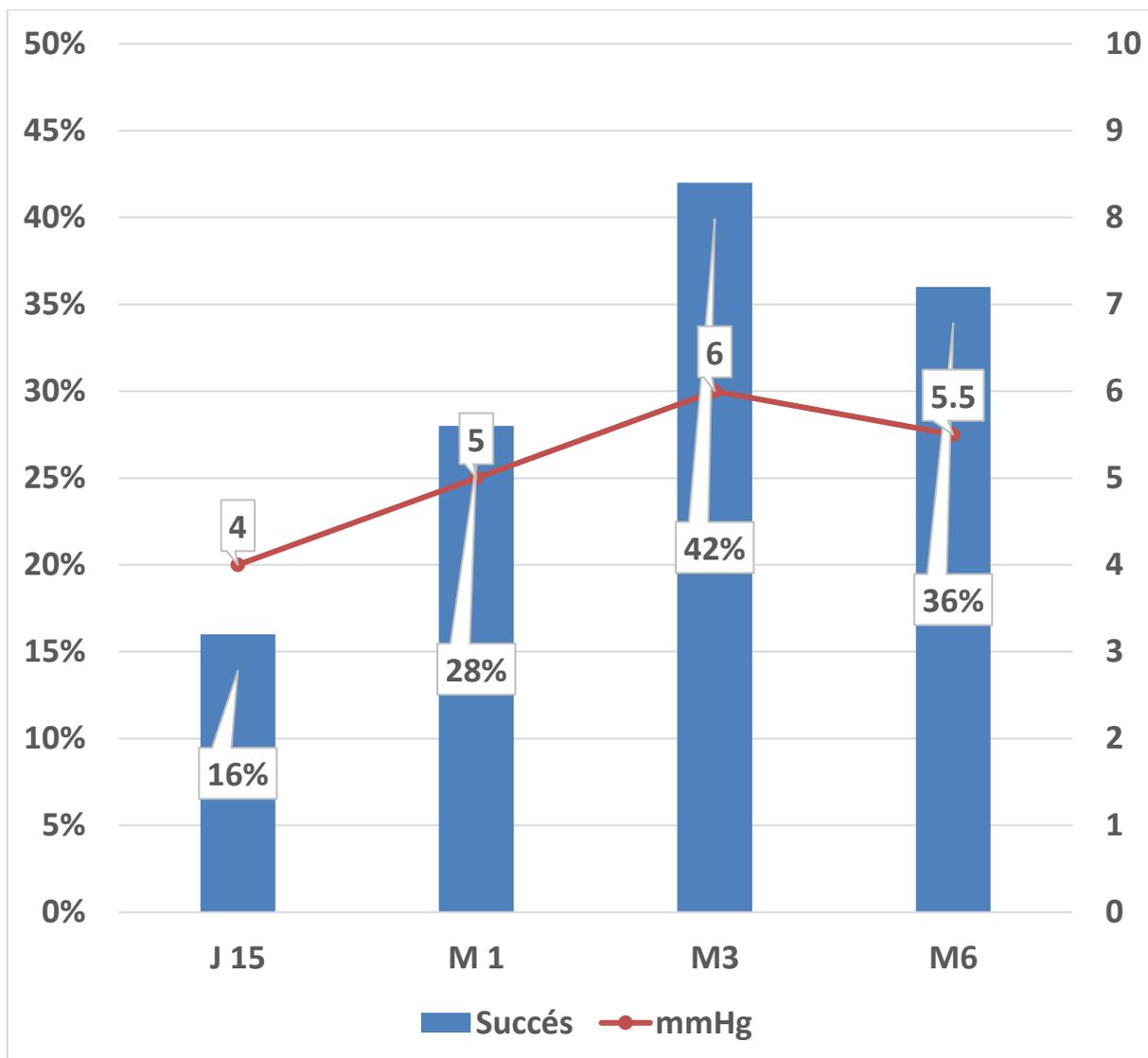


Diagramme 3 : Histogramme représentant la proportion de patient ayant une réduction de PIO moyenne supérieure ou égale à 20 % de la PIO initiale

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

Nous avons représenté ensuite le caractère stable, diminué ou augmenté de la PIO moyenne aux différents temps de l'étude pour les patients traités par SLT. La PIO moyenne était considérée comme stable si la PIO moyenne à un temps donné était égale à la PIO initiale \pm 5 %. À 3 mois du laser 16% des yeux avait une PIO stable avec 75% des yeux avait une réduction $>$ 5% de la PIO initiale versus 9% qui avait une élévation de $>$ 5% de leur PIO initiale. Pour ces dernier la moyenne d'élévation de la PIO était de 10% de hausse par rapport à la PIO initiale équivalent de 2 mmHg en termes de pression.

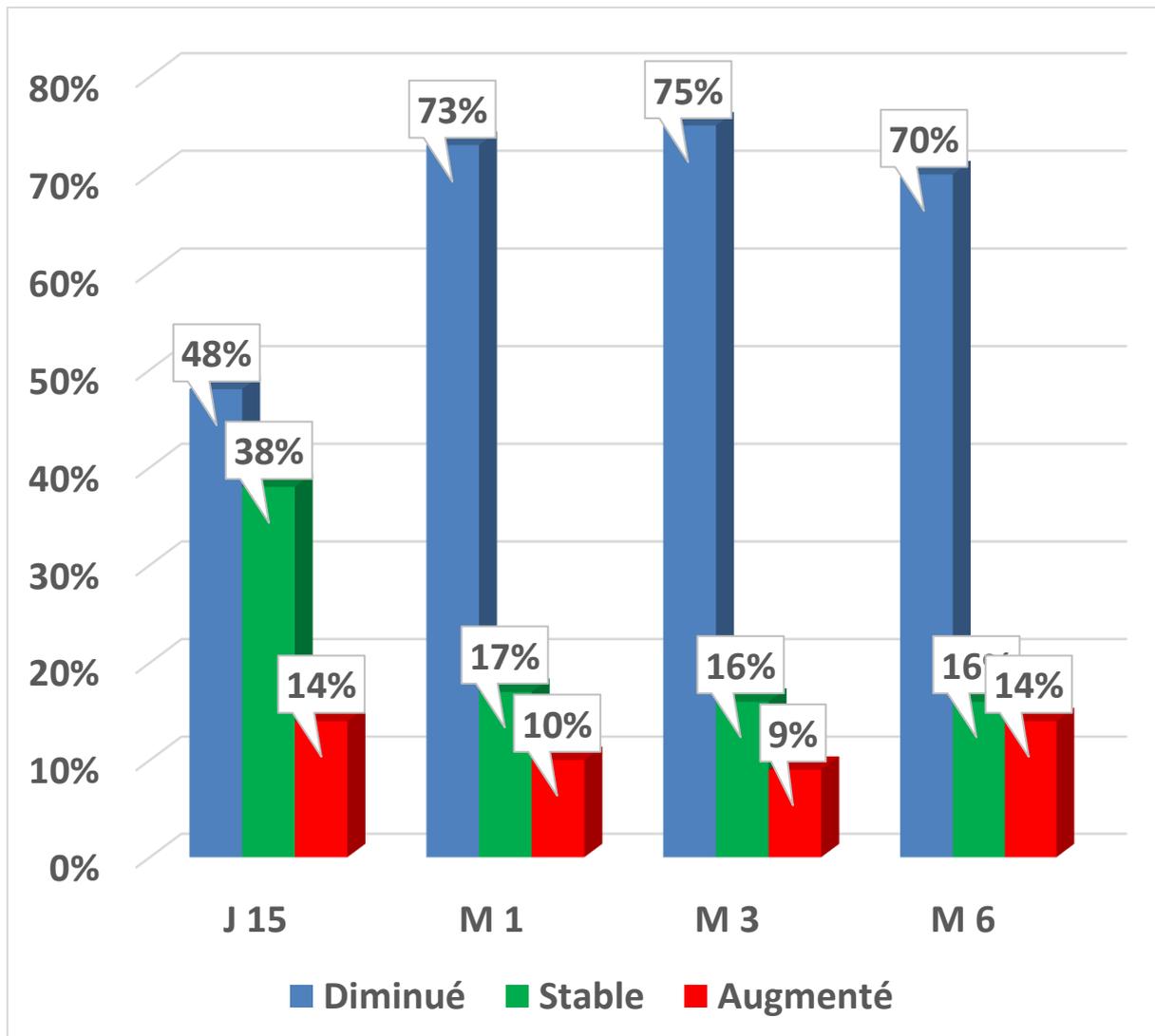


Diagramme 5 : Histogramme représentant le profil de modification de la PIO aux différents temps de l'étude

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

Et pour finir nous avons schématisé le profil pressionnel chez les patients répondeurs au SLT, c'est-à-dire les patients présentant une baisse de PIO supérieure ou égale à 20% à 3 mois du SLT, versus patients non répondeurs au cours des différents temps de l'étude. Les patients répondeurs constitué que 42% de l'ensemble de la population traité avec une réduction de 6mmHg en moyenne.

Il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre la moyenne de PIO initiale des deux groupes ($p = 0,111$) avec une différence de 1,75 mmHg. Ensuite le principal diagnostic appartenant au groupe répondeur était le G-P avec un pourcentage de 45,23% (19 Yeux) suivie du G-PEC avec un pourcentage de 26,19% (11 Yeux) et finalement l'HTIO et le GPAO avec un pourcentage de 16,6% et de 12% soit 7 Yeux pour l'HTIO et 5 yeux pour le GPAO.

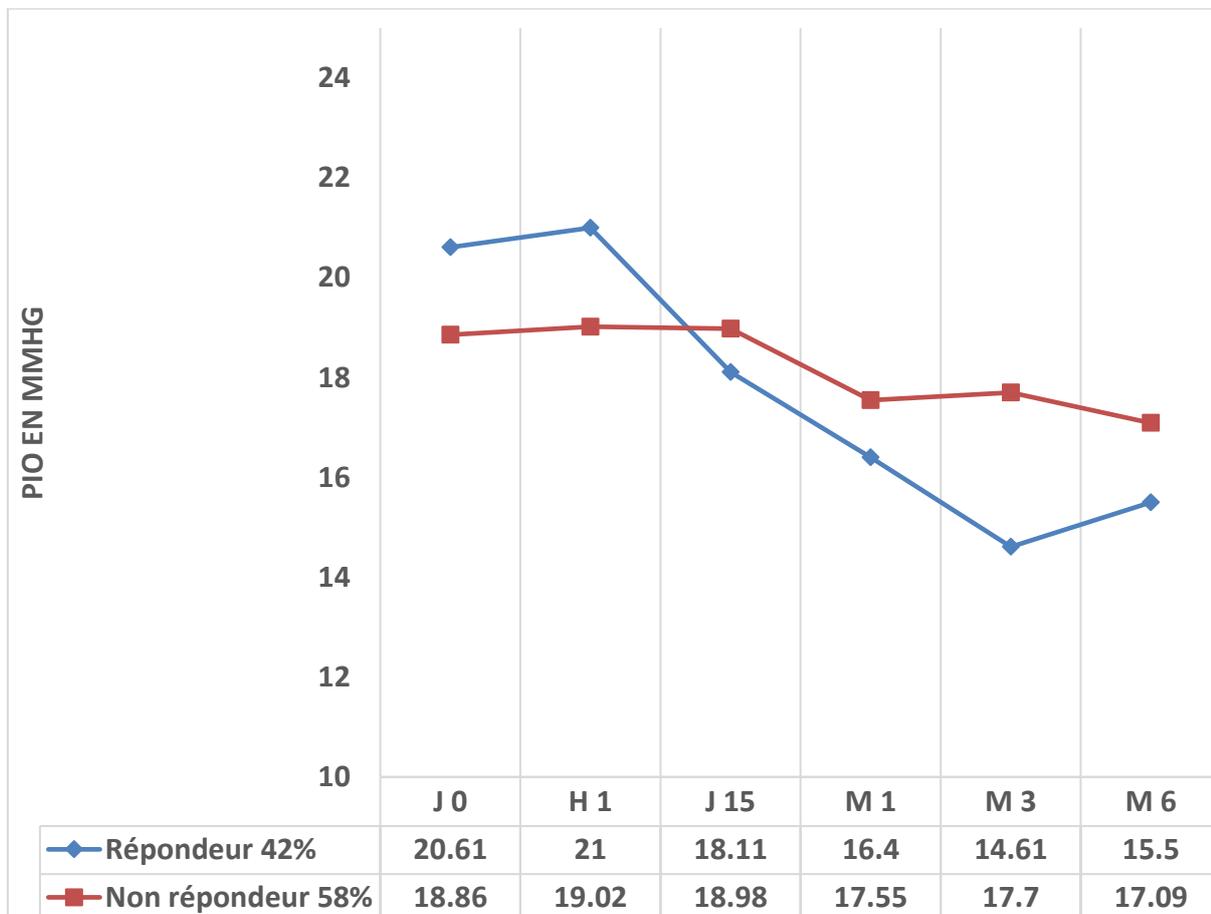


Diagramme 6 : Représentation de l'évolution de la PIO moyenne chez les patients répondeurs au SLT versus patients non répondeurs

4. Les résultats en fonction du type de glaucome :

Afin d'évaluer le résultat de la trabéculoplastie sélective sur les 4 groupes, on a recueilli les données ainsi que les résultats de la procédure séparément. Les paramètres sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4 : caractéristique des 4 groupes traités

Groupes	HTIO	GPAO	G-PEC	G-PIG
Nombres de yeux	24	24	25	23
Age MOY(Ans)	57	78	59	62
PIO MOY Initial(mmHg)	19 ,72	18,56	19,88	20,24
Nombres TRT MOY	0,9	1,5	2,2	2,4
Variation Pressionnel avant SLT (%)	22%	25%	29%	35%
Nombres MOY de Quadrants	10,5	10,5	9,5	11,5
Nombres MOY d'impacts	119	114	128	118
Energie MOY délivrée (MJ)	120	116	130	108

L'âge moyen était plus élevé chez le groupe de GPAO de 78 ans, la PIO moyenne initiale était plus élevée chez le groupe de G-P de 20,24 mmHg, Le nombre de collyres moyen pris en pré-SLT était plus élevé chez le groupe G-PEC avec une moyenne de 2,4.

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

Nombre moyen d'impacts ainsi que la moyenne d'énergie délivrée était plus élevée chez le groupe de G-PEC avec une moyenne de 128 impacts et une moyenne de 130 mJ, par contre c'est le groupe de glaucome pigmentaire ou on a réussi à obtenir les bulles de cavitation avec une moyenne de 11,5 quadrants.

Il y avait une différence statistiquement significative entre le taux de réduction des 4 groupes (P value= 0,0115) avec le taux de réduction le plus élevé de 22% chez le groupe de G-P suivie de G-PEC avec un taux de réduction de 15% suivi de l'HTIO avec un taux de réduction de 10% et en dernier lieu le GPAO avec un taux de réduction de 9%.

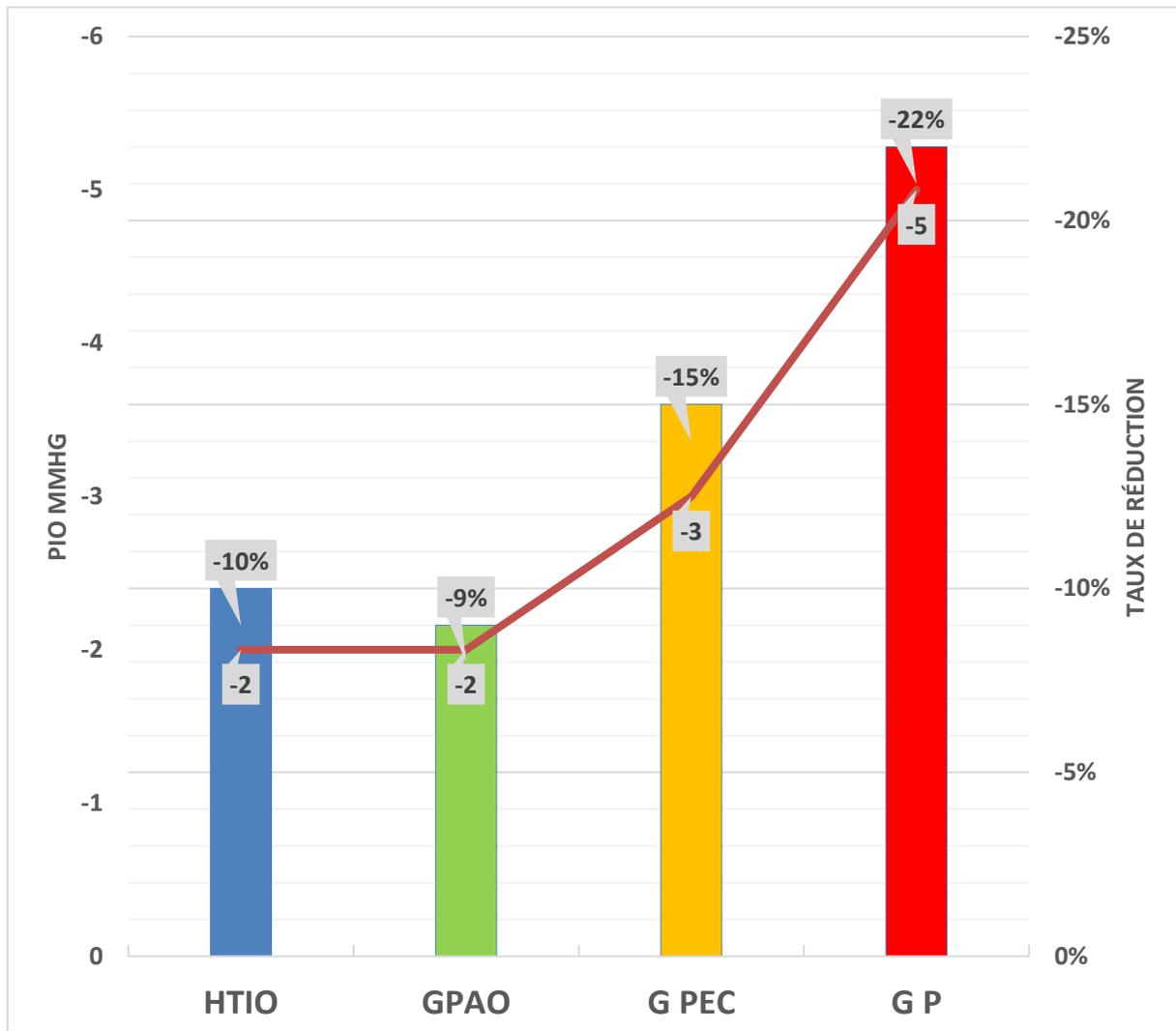


Diagramme 7 : Le taux de réduction de la PIO moyenne au troisième mois en fonction du groupe traité.

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

Le taux de succès (c'est-à-dire les patients présentant une baisse de PIO supérieure ou égale à 20% à 3 mois) de la trabéculoplastie entre les 4 groupes a aussi montré une différence statistiquement significative avec le taux le plus élevé de 76% chez le groupe de glaucome pigmentaire suivie du groupe de G-PEC avec un taux de 44% puis les groupes d'HTIO et GPAO à part égale avec un taux de 36%.

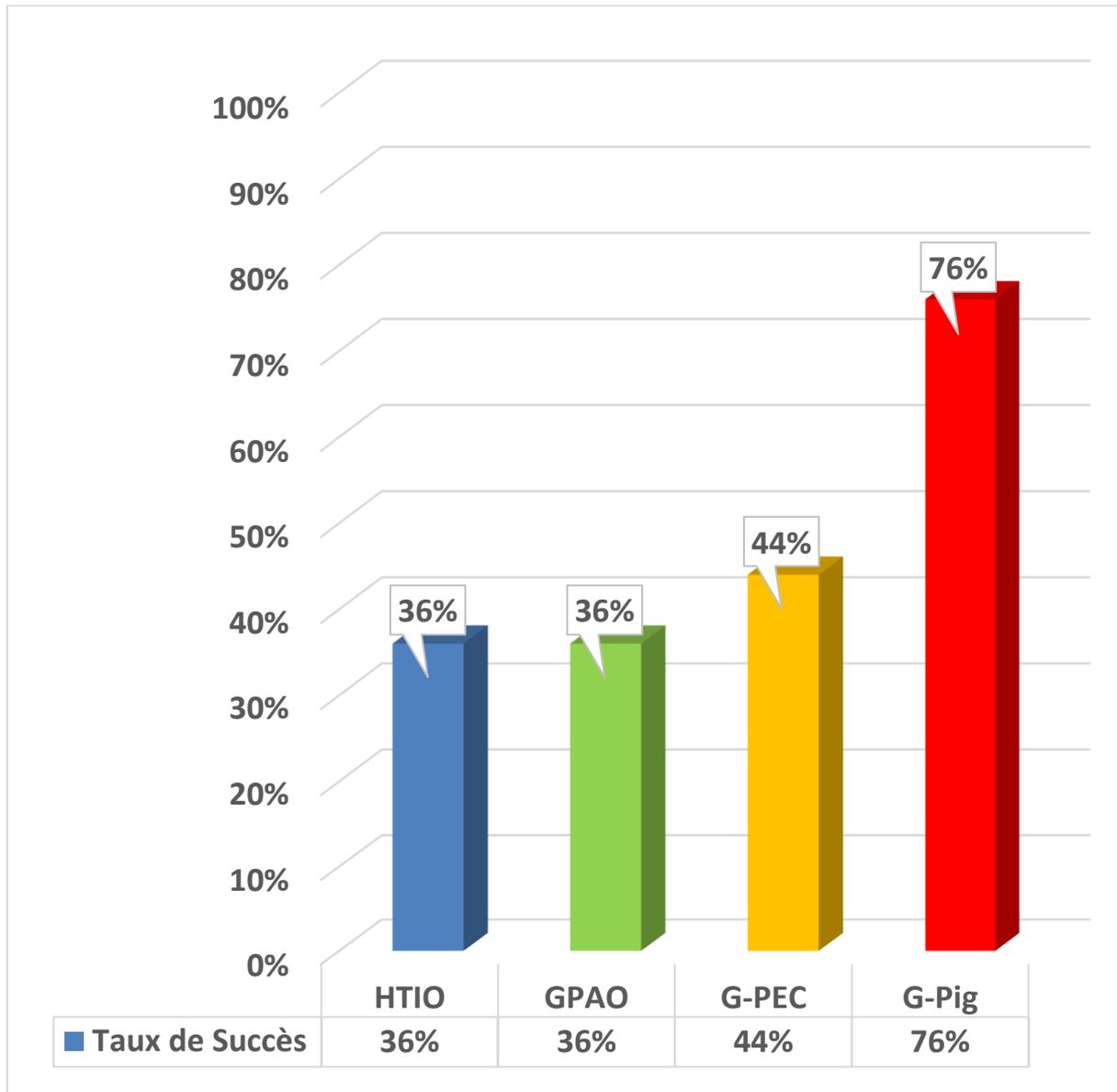


Diagramme 8 : Le taux de succès de la SLT au troisième mois en fonction du groupe traité

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

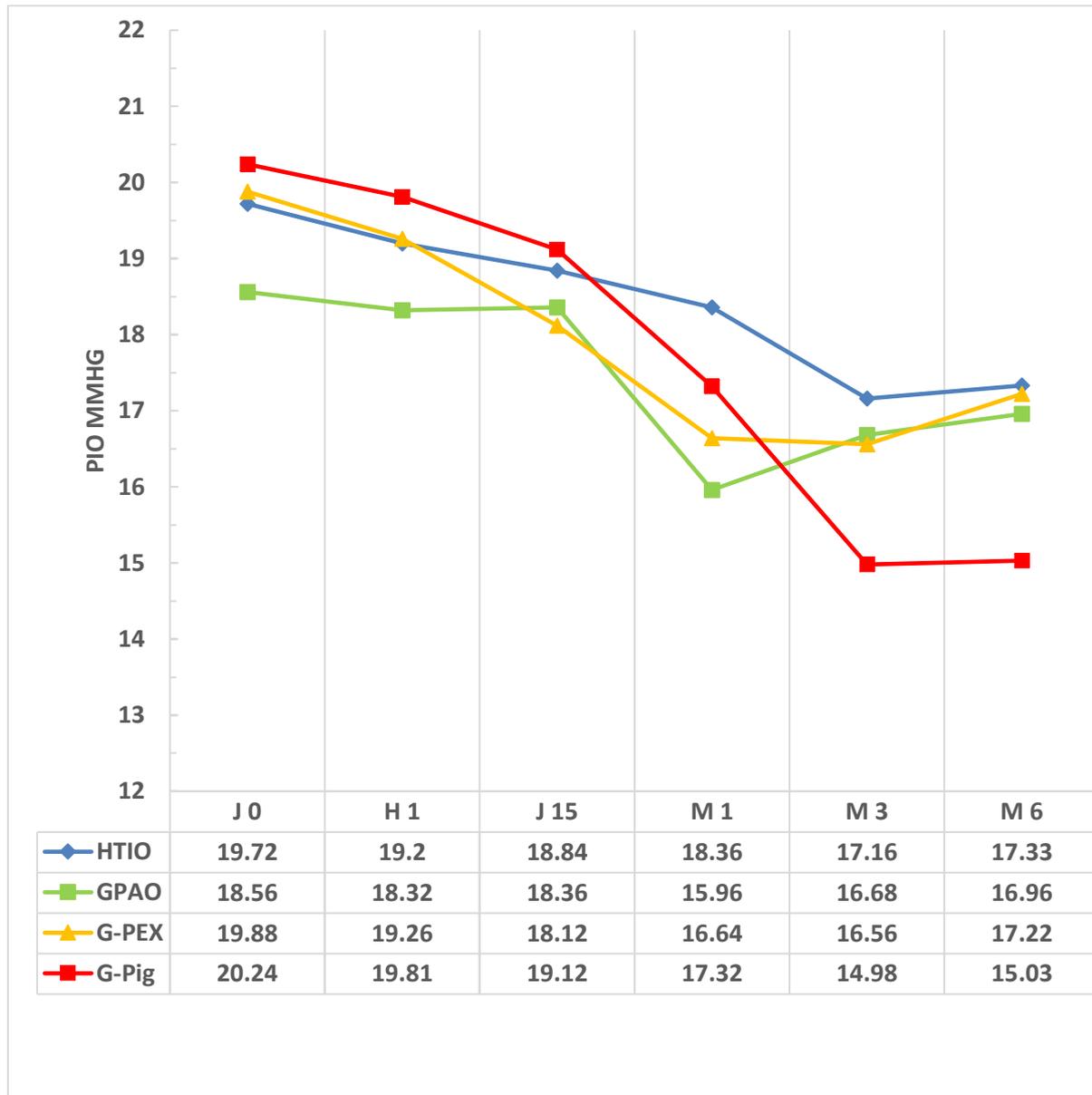


Diagramme 9 : Représentation de l'évolution de la PIO moyenne des 4 groupes de l'étude au cours des différents temps de l'étude.

5. Les résultats en fonction de la surface marquée par les bulles de cavitation :

On a aussi évalué la corrélation entre l'apparition de bulles de cavitation et succès de la trabéculoplastie puisque le groupe de G-P qui possède le taux de succès le plus élevée (76%) dans notre étude avait le nombre moyen de quadrants marqué le plus élevé (11,5).

Le nombre moyen de quadrants marqué était de $9,3 \pm 2,14$ et le marquage des douze quadrants horaires n'a été obtenu que dans 51% des yeux.

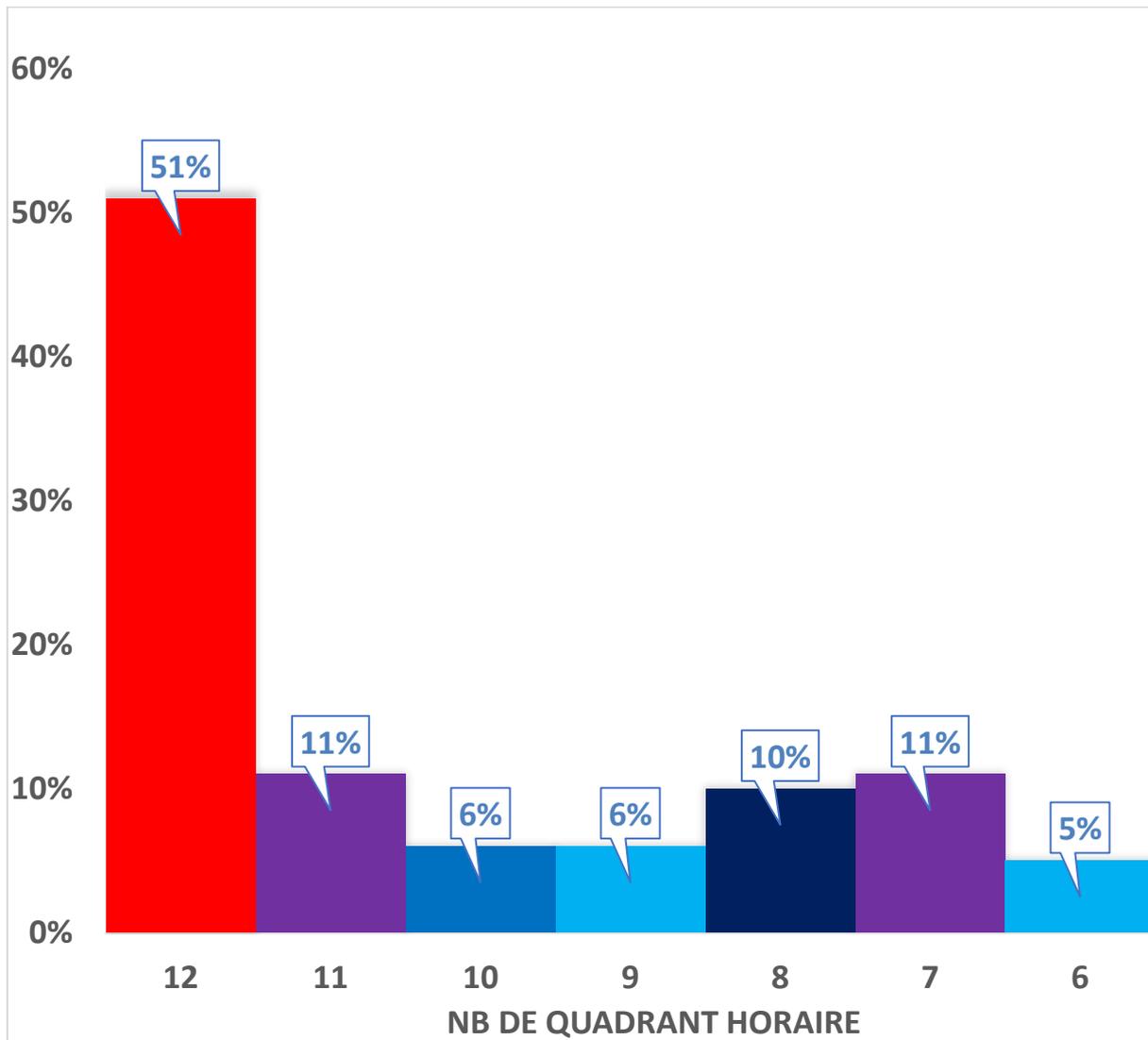


Diagramme 10 : le pourcentage des yeux par rapport au nombre de quadrant horaire marqué par les bulles de cavitations.

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

Mais l'efficacité immédiate de cette procédure jugée sur l'apparition de bulles après l'impact de laser était très variable d'un groupe à l'autre. On a comparé aussi la réduction de la PIO moyenne au troisième mois en fonction des quadrants horaires ou le laser était jugé cliniquement efficace. Les résultats étaient aléatoires avec le taux de réduction maximale chez le groupe avec 10 quadrants (réduction pressionnelle de 26% soit 6 mmHg), par contre le taux de réduction minimale était retrouvé chez le groupe de 8 quadrants (réduction de 5% soit 1 mmHg). Du fait du nombre très variable des Yeux dans les différents groupes, les comparaisons statistiques n'ont pas pu être effectuées.

Nous avons représenté dans le diagramme suivant l'évolution de la PIO moyenne dans les différents groupes en fonction de l'obtention ou non de bulles de cavitations au niveau des 12 quadrants horaires :

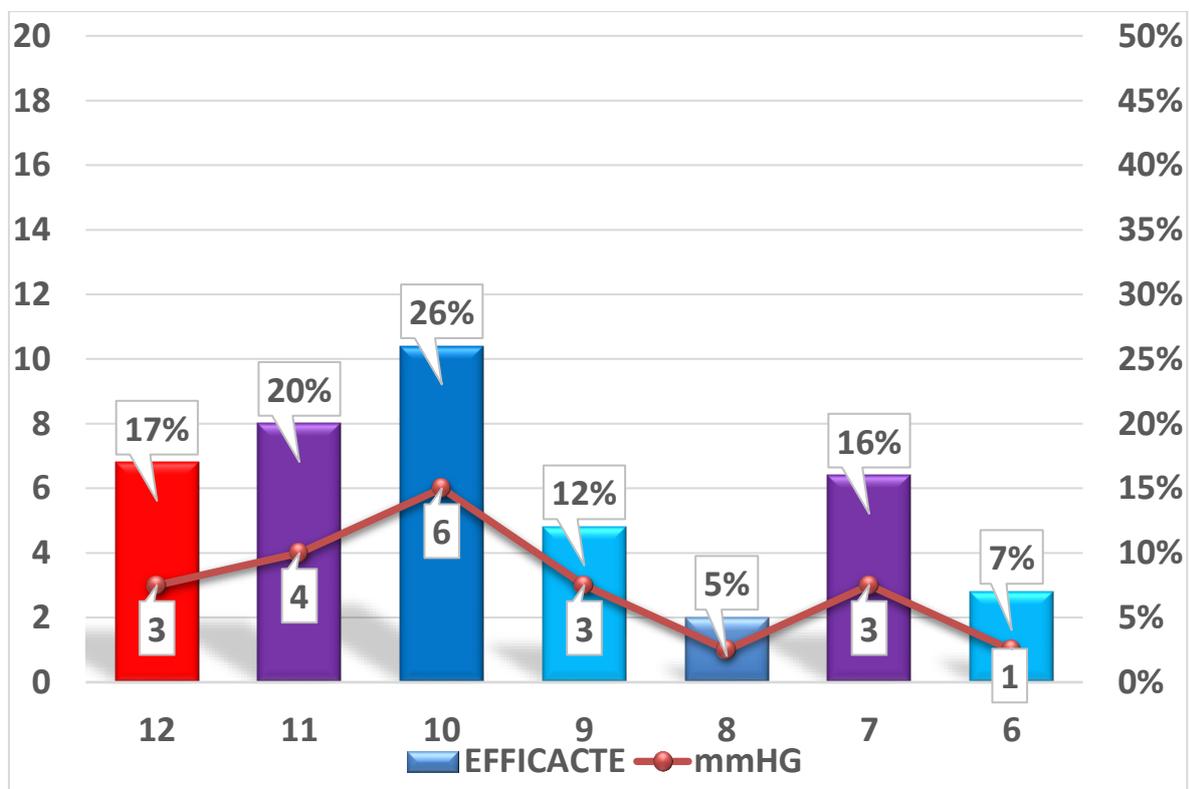


Diagramme 11 : représentation du taux de réduction de la PIO moyenne au troisième mois en pourcentage et en mmHg par rapport au quadrants horaires marqué par bulles.

6. Complications :

Au cours de notre étude, peu de complications ont été observées :

- La survenue de pic de pression intraoculaire précoce, nous avons constaté la survenue d'une augmentation supérieure à 20 % de la pression intraoculaire à 1 heure du laser chez 19 des yeux traités dont 10 de ces yeux appartenait au groupe de G-Pig soit 52,63% des yeux avec hyperpression oculaire précoce. Ce pic pressionnel a été jugulé par le traitement prophylactique post-laser.
- La survenue d'une uvéite antérieure sans hypertonie chez deux yeux appartenant au groupe d'HTIO et de GPAO soit 2% des Yeux traité. On les a traités comme une uvéite antérieure probablement virale après avoir éliminé les autres étiologies d'uvéite antérieure aigue et ces deux yeux ont été écartée de l'étude.
- La survenue d'une hyphéma au cours de la procédure chez 1 œil traité appartenant au groupe GPAO avec une résorption spontanée au bout de 15 jours. (Fig 36)
- Finalement Nous n'avons pas relevé de Haze ou d'œdème de cornée, pas de SAP et aucun cas d'œdème maculaire cystoïde dans la période de suivi.



Figure 36 : image de gonioscopie montrant une hyphéma au cours d'une SLT. (Photo du service)

V. DISCUSSION :

1. L'efficacité de la trabéculoplastie SLT à court terme :

1.1. L'efficacité immédiate de la SLT :

Le seul Critère d'évaluation de traitement c'est l'obtention de bulles de cavitation (« bulles de champagne »). Lorsqu'on obtient ces bulles de cavitation, il est nécessaire de réduire la puissance de 0,1 mJ. Une fois la puissance réduite, les bulles de cavitation ne seront donc plus visibles (le traitement est alors considéré comme infraliminaire). Étant donné que la pigmentation trabéculaire varie dans un même oeil (notamment dans les zones inférieures et temporales), les réglages de puissance doivent être adaptés au moins pour chaque quadrant afin d'éviter un surdosage thérapeutique. [98]

Cliniquement, le niveau d'énergie utilisé pour la trabéculoplastie est dépendant de l'apparition de ces microbulles. Une nouvelle technique de laser pulsé pour traiter de façon sélectif l'épithélium pigmentaire rétinien (EPR) empreinte le même principe. Il existe des preuves histologiques de la mort des cellules EPR survenant au seuil d'énergie pour la formation de microbulles après ce traitement. On pense que le mécanisme le plus probable des dommages cellulaires est la formation de microbulles transitoires apparaissant autour des mélanosomes avec une augmentation du volume cellulaire de manière transitoire, ce qui conduit à leur altération mécanique. Deux semaines après une nouvelle population de cellules RPE couvrent ces lésions. Quatre semaines après l'EPR est morphologiquement restauré.

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

Dans notre étude il n'y avait pas de corrélation entre ce critère et la réduction de la PIO puisque les patients où on a pu marquer toute la circonférence trabéculaire n'avaient pas le meilleur taux de réduction pressionnelle et du fait du nombre très variable des Yeux dans les différents groupes, les comparaisons statistiques n'ont pas pu être effectuées. (Diagramme 10)

1.2. L'efficacité à court terme de la SLT :

Les résultats de notre étude retrouvent une réduction de PIO à trois mois de 18% soit 5 mm Hg avec un taux de succès à 42 % et une réduction à six mois de 14% soit 4 mm Hg avec un taux de succès à 36 %. Ces résultats semblent inférieurs aux résultats des différentes études évaluant l'efficacité de la trabéculoplastie que nous avons recensés dans la littérature et que nous avons rassemblés dans le tableau ci-après.

La majeure partie de ces études sont prospectives comme la nôtre. Elles rassemblent entre 31 et 89 yeux, ce qui rend notre étude assez grande avec 100 yeux inclus. Les différents résultats retrouvés concernant la réduction de PIO moyenne à la fin de l'étude sont compris 2,75 et 8,3 mm Hg en valeur absolue et entre 14 % et 33,5 % pour le pourcentage de baisse, intervalle dans lequel se situent les résultats de notre étude. Enfin les taux de succès (dont la définition varie en fonction des études concernées, mais la définition la plus retrouvée est une réduction supérieure ou égale à 20 % de PIO) sont compris entre 41 et 88 %.

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

Tableau 5 : tableau comparatif entre les différentes séries publiées et notre étude

<i>Auteurs</i>	Protocole thérapeutique	Population	Période de suivi	PIO initiale (mm Hg)	Réduction de PIO	Critères de succès	Taux de succès
<i>Notre étude</i>	SLT sur 360° Prospective	100 YEUX HTIO/GPAO/G- PEC/G-Pig	6 mois	20.2	5 (18%)	Réduction de PIO Moyenne ≥ 20%	42%
<i>Latina et al.[8] 1998</i>	SLT sur 180° Prospective	53 yeux GPAO	6 mois (44 yeux)	24.6	4.6 (18%)	Réduction de PIO moyenne ≥ 3mm Hg	73%
<i>Gracner et al.[99] 2001</i>	SLT sur 180°	50 yeux GPAO	6 mois	22.5	5,06 ±2.37 (22.5%)	Réduction de PIO moyenne ≥ 3mm Hg	88%
<i>Lachkar et al.[12] 2003</i>	SLT sur 360° Prospective	31 yeux GPAO	1 an	25,05	33,51%	Non connu N C	N C
<i>Chen et al.[5] 2004</i>	SLT sur 180° SLT sur 90° Prospective	32 patients 32 patients GPAO	7 mois	26,1 ±1,7	6,16 7,01	Contrôle pressionnel sans modification thérapeutique	59% 53%
<i>Hodge et al. 2005[7]</i>	SLT sur 180° Prospective	72 yeux GPAO	1 an (43 yeux)	23.8±4,9	5,8	Réduction de PIO moyenne ≥ 20%	60%
<i>Damji et al.[88] 2006</i>	SLT sur 180° Prospective	89 yeux GPAO	12 mois	23,8 ±4,9	6,1 ±5,9 (23%)	Réduction de PIO moyenne ≥ 20%	59,7%
<i>McIlraith et al.[3] 2006</i>	SLT 180° Prospective	74 yeux GPAO	12 mois	26	8,3 (31%)	Réduction de PIO moyenne ≥ 30%	55%

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

<i>Zaninetti et al.[100] 2008</i>	SLT sur 180° ou 360, Prospective	44 yeux GPAO/GPEC	3 ans (36 yeux)	19,2 ±4,7	3,3 (17%)	Réduction de PIO moyenne ≥ 20%	41%
<i>Hong et al. [101] 2009</i>	SLT sur 360, 2 fois Rétrospective	44 yeux GPAO/PEC	8 mois	20,1 (SLT1) 19,5 (SLT2)	4 2,9	Réduction de PIO moyenne ≥ 20%	50% 43%
<i>Shazly et al [102] 2010</i>	SLT sur 180° Prospective	19 yeux GPAO 18 yeux GPEC	27,1 mois 20,4 mois	23,3 ±3 25,5±3,4	5,7 ± 2,8 5,5±3,3	Absence de retour à la PIO initiale (<3 mm Hg) et/ou pas de modifications du traitement	77% 74%
<i>Hirn et al.[126] 2012</i>	SLT sur 180° Prospective	30 patients GPAO/GPEC	12 mois	19.60 ± 4.69	2,75 (14%)	NC	NC
<i>Lee et al.[127] 2014</i>	SLT sur 360	83 yeux GPN	6 mois	16.1±2.2	4,7±1,8 (29,7%)	Réduction de PIO moyenne ≥ 30%	NC

1.3. Efficacité sur le long terme :

Notre étude ne propose qu'un suivi à court terme allant jusqu'à six mois et ne permet malheureusement pas de refléter l'efficacité à long terme de la trabéculoplastie. Comme nous pouvons le voir dans le tableau précédent, les études évaluant la trabéculoplastie SLT sur le long terme sont moins nombreuses.

La première étude évaluant un suivi sur le long terme la trabéculoplastie SLT est celle de Juzych et al [103]. Cette étude rétrospective, avec un suivi moyen de 37,4+/- 14,7 mois, retrouvait un taux de succès de 68 % à un an et de 32 % à cinq ans.

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

C'est cependant l'étude prospective de Gracner et al [99] qui évalue l'efficacité de la SLT avec le suivi le plus long. En effet, cette publication compte 90 yeux pour un suivi total de 72 mois avec un suivi moyen de 41,2 mois. La PIO initiale était de $22,4 \pm 2,3$ mm Hg. Les résultats d'efficacité évalués sur une longue période étaient les suivants :

Tableau 6 : Résultats par année de l'étude de Gracner et al [99] sur l'efficacité de la trabéculoplastie à long terme, avec comme critère de succès une réduction de PIO $\geq 20\%$.

Durée de suivi	1 an	2 ans	3 ans	4ans	5 ans	6 ans
Réduction de PIO (mm Hg)	5.4 ± 2.4 (24.0 %)	5.8 ± 2.3 (25.5 %)	5.7 ± 2.1 (25.1 %)	5.2 ± 1.9 (23.1 %)	5.2 ± 2.0 (22.6 %)	5.4 ± 2.3 (22.8 %)
Taux de succès	94%	85%	74%	68%	NC	59%

Par ailleurs, l'étude prospective de Weinand et al[104] a également mis en évidence une efficacité sur le long terme après SLT sur 52 yeux de patients atteints de GPAO, traités par SLT sur 180°. L'évolution de la PIO au cours du suivi est présentée ci-après :

Tableau 7 : Résultats par année de l'étude de Weinard et al. [104] sur l'efficacité de la trabéculoplastie à long terme.

Durée de suivi	1 an	2 ans	3 ans	4ans
Réduction de PIO (mm Hg)	6,0 (24,3%)	6,12 (27,8%)	5,53 (24,5%)	6.33 (29,3%)
Taux de succès	60%	53%	44%	44%

L'efficacité à court terme de la trabéculoplastie au laser sélective (SLT) :

Deux méta-analyses ont été publiées en 2015 [128,129], montrant que la trabéculoplastie au laser sélective à 360° degrés donne une réduction similaire de PIO à la monothérapie par un analogue de prostaglandine. Les études examinées avaient adopté diverses périodes de suivi et un large éventail de critères de succès. En termes de rentabilité, la trabéculoplastie sélective au laser a été modélisée pour être rentable par rapport à l'abaissement médical de la pression intraoculaire, mais aucune étude n'a utilisé des mesures directes des coûts. Depuis la publication de la revue systématique Cochrane, le seuil de temps auquel la SLT devient rentable contre les baisses de pression intraoculaire a été modélisé et estimé à 1-3 sur 3 ans, en fonction du coût des gouttes. Il a également été prédit que la SLT serait rentable lorsqu'elle est répétée une fois dans les 3 ans suivant l'application initiale par rapport à la monothérapie ou à la polythérapie. Les données économiques disponibles sont basées sur les systèmes de santé canadien, américain ou australien.

L'étude LIGHT au Royaume-Uni [129-132] a récemment montré que la SLT sur des yeux naïfs est sûre et efficace comme traitement de première intention du glaucome à angle ouvert et de l'hypertension oculaire. Elle offre une stabilité supérieure de la pression intraoculaire aux gouttes, à moindre coût et, surtout, elle permet à près des trois quarts des patients (74%) d'être contrôlés avec succès sans gouttes pendant au moins 3 ans après le début du traitement. Il s'agit du premier essai de comparaison directe entre la SLT et les baisses de pression intraoculaire en termes de qualité de vie liée à la santé. Cependant, les facteurs discutés ci-dessus suggèrent que les conclusions de l'étude peuvent ne pas être complètement généralisables à d'autres populations de patients et systèmes de remboursement de santé car de nombreux facteurs peuvent affecter les résultats de la trabéculoplastie au laser. L'acceptation de la SLT comme traitement primaire dans la pratique clinique

quotidienne peut également être influencée par d'autres facteurs tels que l'expérience du chirurgien et donc sa préférence ; des considérations médico-légales, voire des problèmes logistiques comme l'accès aux laser.

1.4. Efficacité du retraitement :

Comme nous l'avons vu précédemment, le laser SLT offre des possibilités de retraitement du fait de son respect de l'architecture trabéculaire et de ses effets médiés par voie biologique. La question de l'efficacité sur le très long terme paraît donc moindre et de ce fait la durée absolue d'efficacité n'est pas aussi importante que pour l'ALT.

Le retraitement est à bien différencier du complément de traitement. Ce dernier consiste à compléter un traitement SLT déjà réalisé sur 180° pour totaliser une surface traitée de 360° alors que le retraitement consiste à la réalisation de nouveaux impacts sur une zone déjà préalablement traitée par SLT. Dans notre étude nous n'avons pas retraité de patient à cause de la courte durée de l'étude. En effet, il est préconisé d'attendre au moins six mois après la première séance pour retraiter [85].

Une étude de Tardif et al. [110] a étudié les résultats à court terme de la SLT comparatif entre patient ayant bénéficié d'une séance de SLT sur 180° et ceux ayant eu une séance de retraitement. Les résultats ne mettaient pas en évidence de différence statistiquement significative d'efficacité après première et deuxième séance de SLT : le groupe traité par une séance de SLT obtenait une réduction de PIO de 3,02 mm Hg, soit 14,82 % et un taux de succès de 40,7 % (n=118) alors que le groupe retraité avait une réduction de PIO de 3,4 mm Hg, soit 16,82 % et un taux de succès de 50 % (n=34).

Les travaux de Khouri et al. [111] confirment également l'efficacité du retraitement chez le patient ayant déjà eu une réponse « complète » ou partielle après une première séance, avec une réduction de PIO statistiquement significative après la première et la deuxième séance de SLT avec un recul de 12 mois.

A la lumière de ces différentes publications, l'efficacité du retraitement semble être confirmée au moins pour une deuxième séance de SLT. Il semble également selon les différents auteurs qu'une seconde trabéculoplastie ne sera pas efficace si le patient n'a pas répondu à la première séance.

2. Comparaison ALT et SLT :

Damji et al. [7] ont comparé l'hémi-trabéculoplastie au laser à l'argon et au laser SLT. Au bout d'un an, la baisse de PIO permise par les deux techniques est équivalente, avec une réduction moyenne de 5,86 mmHg pour le SLT et de 6,0 mmHg pour le laser argon. Cette étude a des limites puisque le recours à la chirurgie et les traitements antiglaucomateux pouvaient être adaptés lors du suivi.

D'autres travaux confirment l'équivalence des deux techniques, avec possiblement une inflammation moindre induite par le laser SLT [105]. Un certain nombre de patients ayant bénéficié d'une ALT présentent un échappement thérapeutique avec le temps, la PIO remontant progressivement à distance de la procédure.

Ce phénomène s'observe aussi avec le laser SLT et plusieurs études confirment cette observation [103] : lorsque le critère du succès thérapeutique est défini par une baisse de PIO de 3 mmHg sans traitement additionnel, le pourcentage des patients atteignant cet objectif est de 68, 46 et 32 % respectivement après un, trois et cinq ans. Lorsque ce critère exige à la fois une baisse de PIO de 3 mmHg et de 20 % par rapport à la PIO initiale, ces pourcentages sont plus bas de 58, 38 et 31 % au décours

de ces mêmes périodes. Alors, la fréquence des échappements thérapeutiques avec le temps est jugée similaire à celle observée avec le laser argon.

Ces différentes publications convergent toutes vers le fait que les résultats en termes de réduction de PIO entre SLT et ALT semblent équivalents avec cependant peut-être moins de complications avec le SLT.

3. Comparaison entre SLT et prostaglandines :

Au cours de notre étude l'efficacité de la SLT était inférieure à celle des prostaglandines en termes de réduction de PIO ainsi que de taux de succès.

Les travaux qui ont comparé ces deux modalités thérapeutiques retrouvent une baisse de la PIO comparable entre les deux traitements sur 12 mois [106]. À plus long terme, l'efficacité reste également comparable. En termes d'effets secondaires initiaux, à la différence des prostaglandines, une sensation de douleur, une inflammation très modérée ou encore une petite hypertonie précoce sont retrouvées avec la SLT.

Par ailleurs, l'efficacité du laser diminue progressivement avec le temps, avec un échappement thérapeutique fréquent après cinq à dix ans de traitement, alors que les traitements médicaux ont généralement une action pérenne dans le temps. Enfin, selon une étude canadienne, le coût du traitement en cas d'efficacité du laser serait moins important avec la SLT comparé aux prostaglandines [107].

Tableau 8 : Comparaisons du traitement PG et de la trabéculoplastie sélective dans le glaucome primitif à angle ouvert.

Etude	Méthodologie	Population	Suivi	Paramètres étudiés	Résultats
Nagar et al. 2005 [108]	Randomisée. SLT 90°180°360° Vs Latanoprost	167 GPAO/ HTO	12 mois	Réduction pressionnelle moyenne	SLT 90° : -8 mmHg, SLT 180° : -10 mmHg, SLT 360° : -12 mmHg Latanoprost : -12 mmHg
				Pourcentage d'yeux avec une réduction de PIO > 20%	SLT 90° : 34 % ; SLT 180° : 65 % ; SLT 360° : 82 % Latanoprost : 90 %
McIlraith et al. 2006 [93]	Non randomisée. SLT Vs Latanoprost	74 GPAO/ HTO	12 mois	Réduction pressionnelle moyenne	SLT : -8,3 mmHg Latanoprost : -7,7 mmHg
				Pourcentage d'yeux avec une réduction de PIO > 20%	SLT : 83% Latanoprost : 84 %
Nagar et al. 2009 [109]	Randomisée. SLT Vs Latanoprost	40 GPAO/ HTO	6 mois	Réduction pressionnelle moyenne	SLT : -6,2 mmHg Latanoprost : -7,8 mmHg
				Pourcentage d'yeux avec une réduction de PIO > 20%	SLT : 75 % Latanoprost : 73%

4. Réduction de la fluctuation de la PIO avec SLT :

Les fluctuations diurnes importantes de la PIO sont considérées comme un facteur de risque indépendant de progression du glaucome. La SLT est efficace pour réduire les fluctuations diurnes de la PIO mais pas aussi efficace que les analogues de prostaglandine. Une étude prospective a montré que la fluctuation diurne moyenne de la PIO était de 5,5 mmHg avant le traitement et que celle-ci était réduite de 2,5 mmHg 4 à 6 mois après SLT et de 3,6 mmHg dans le groupe latanoprost. La moitié des patients du groupe SLT ont obtenu une réduction d'au moins 50% de la fluctuation de la PIO. [133]

Une étude rétrospective a révélé que 100% des yeux avec un SLT à 360 ° et 84% des yeux avec un traitement à 180 ° maintenaient une fluctuation de la PIO <3 mmHg pendant la période de 6 à 24 mois après le SLT avec une différence statistiquement significative entre ces deux régimes en faveur du traitement à 360°. [134]

Une étude récente mesurant les fluctuations de la PIO chez des patients atteints de NTG à l'aide d'un capteur de lentilles de contact a révélé une diminution statistiquement significative de la plage de fluctuation nocturne de la PIO 1 à 2 mois après le SLT. [135]

5. Facteurs influençant la réponse thérapeutique :

5.1. La surface traitée :

A la lecture des résultats retrouvés dans la littérature, on ne retrouve pas de consensus franc concernant la surface traiter. Dans l'étude de départ de Latina et al.[8], le traitement était de 50 impacts réalisés sur les 180° nasal du trabéculum. D'autres publications ont par la suite évalué la réponse thérapeutique en fonction de la surface traitée. La plus intéressante est celle de Nagar et al.[108] comparant différentes surfaces traitées : 90°, 180 et 360°. L'étude ne retrouve pas de différence

statistiquement significative d'efficacité entre trabéculoplastie sur 180 et 360° mais les auteurs ont en revanche noté que le taux de succès était plus important avec des impacts sur 360° plutôt que 180° (le traitement sur 90° est en revanche inférieur aux deux autres). De même Goyal et al [112] ne trouvaient pas de différence significative entre les deux surfaces traitées 180 et 360°.

D'autres études rétrospectives comme les travaux de Prasad et al [113] ont conclu que le SLT sur 360° était plus efficace pour contrôler les fluctuations de PIO que le SLT sur 180° (sur 41 patients avec un suivi de 6 à 24 mois). Ensuite, l'étude de Shibata et al [114] retrouvait une efficacité plus importante du SLT sur 360° que sur 180° avec un taux de réduction de PIO statistiquement plus haut.

A la lumière de ces différents résultats, on peut supposer que la trabéculoplastie sur 360° pourrait avoir des résultats supérieurs en termes de succès et de baisse de pression mais les analyses statistiques ne l'ont pour le moment pas confirmé et c'est le même protocole adapté au cours de notre étude.

5.2. La pression intraoculaire initiale

La pression intraoculaire initiale est l'un des facteurs pronostiques souvent retrouvés dans les thérapies anti-glaucomeuses, que ce soit pour les collyres hypotonisants ou l'ALT. L'étude Advanced Glaucoma Intervention Study (AGIS) a démontré qu'un niveau élevé de PIO avant une ALT est un facteur de pronostic péjoratif et nécessite alors un nombre plus important de collyres antiglaucomeux [115].

Concernant la SLT seule la PIO initiale semble influencer ses résultats. Cela s'explique en partie par la définition couramment utilisée du succès (la réduction de la PIO \geq 20% par rapport à la valeur de départ) qui tend à favoriser des PIO de base élevées, car l'ampleur de la réduction de la PIO après le traitement est souvent plus

grande avec des PIO plus élevées. Cela se reflète dans les études sur le glaucome à pression normale où la PIO de base est plus faible et la réduction absolue de la PIO ainsi que le taux de réussite sont également inférieurs par rapport aux autres types de glaucomes.

En d'autres termes après une SLT, la PIO est d'autant plus diminuée que la PIO initiale est plus élevée [116]. Cette constatation n'est pas compatible avec les résultats de notre étude puisqu'on n'a pas trouvé de différence statistiquement significative entre la moyenne des PIO initiale des deux groupes ($p = 0,111$) avec une différence de 1,75 mmHg, (Diagramme 6)

5.3. Le type de glaucome

Parmi les objectifs de notre étude, On a voulu comparer l'efficacité de la SLT en fonction du type du glaucome et pour cela on a sélectionné quatre groupes égaux fait de 25 yeux représentant les principaux types de glaucome à angle ouvert GPAO, G-PEC, G-Pig et HTIO tout en éliminant tous les autres facteurs qui peuvent influencer la réponse thérapeutique à savoir la PIO initiale et la technique de réalisation de la trabéculoplastie qui était fixe. Les résultats étaient en faveur d'une différence statistiquement significative entre le taux de réduction des 4 groupes ($P \text{ value} = 0,0115$). La réponse était meilleure pour le groupe de glaucome pigmentaire avec une réduction de 22% (5 mm Hg) suivie du groupe de G-PEC avec une réduction de 15% (3 mm Hg) suivi de groupe d'HTIO avec une réduction de 10% (2 mm Hg) et finalement le groupe de yeux avec GPAO avec une réduction de 9% (2 mm Hg).

Certains auteurs ne retrouvent aucune différence d'efficacité de la SLT selon le type de glaucome, mais notent un taux de complications plus élevé en cas de SLT pour G-Pig avec une réduction pressionnelle à 6 mois plus faible, et un taux de chirurgies filtrantes supérieur [13]. Contrairement à notre étude où le G-Pig avait le

taux de réduction de PIO moyenne au troisième mois le plus élevé de 22% parallèlement avec le taux de succès le plus élevé de 76%. (Diagramme 7,8)

Pour le G-PEC nos résultats semblent différent de ceux trouvés dans la littérature, notamment ceux de Shazly et al [102], qui ont retrouvé initialement une réduction de PIO moindre dans le groupe G-PEC que dans le groupe GPAO à trois mois. Mais la plupart des études comparant les effets de la SLT à court terme entre patients atteints de GPAO et de G-PEC sont en faveur d'une efficacité similaire entre ces deux types de glaucomes.

5.4. Les antécédents de chirurgie ophtalmologique

Dans la littérature, les publications évaluant le rôle de la chirurgie de la cataracte dans le SLT ne mettent jamais en évidence de différences statistiquement significatives entre patients phaques et pseudo-phaques. [117]

Ensuite, concernant les patients opérés de chirurgie filtrante Il est possible de réaliser une trabéculoplastie sélective après une chirurgie filtrante, et on recommande généralement de respecter un délai de trois mois entre les deux procédures. Cependant aucune étude n'a retrouvé de différence statistiquement significative entre patients opérés ou non, les patients opérés étant souvent en effectif faible.

5.5. Les traitements hypotonisants associés

La SLT permet une diminution de PIO supplémentaire malgré un traitement collyre complet. Certaines publications suggèrent un plus grand taux d'échec chez les patients sous prostaglandines. Alvarado et al [26] ont proposé lors d'une récente publication que la SLT et les prostaglandines partageraient un mécanisme d'action commun pour augmenter la perméabilité trabéculaire. Cette voie de signalisation serait donc déjà stimulée par les prostaglandines et donc les effets biologiques liés au SLT, qui majorent l'évacuation de l'humeur aqueuse, seraient moindres. Mais

jusqu'à présent la prise de prostaglandines n'est pas reconnue comme facteur d'échec de la trabéculoplastie SLT.

5.6. L'énergie délivrée

Nous avons recherché une corrélation entre énergie délivrée et réponse thérapeutique. Cependant aucun lien statistique n'a pu être mis en évidence. Dans la littérature, l'étude la plus approfondie sur la relation entre énergie et réduction de PIO est celle de Habib et al. [118]. Cette étude rétrospective retrouve une réduction plus importante de PIO sur le long terme (30 mois) pour des énergies délivrées au trabéculum plus haute, avec une corrélation statistiquement significative. On note que la moyenne de l'énergie utilisée était proche ($93,73 \pm 21,83$ mJ) que dans notre étude (105,69 mJ.). Cela signifierait également qu'une plus large surface traitée serait plus efficace (à savoir 360° plutôt que 180°).

Les auteurs supposent qu'une énergie plus élevée permettrait d'améliorer l'activation des cellules endothéliales trabéculaires et le recrutement macrophagique au sein du trabéculum. Il paraîtrait alors peut être judicieux de réévaluer le fait de se placer sous le seuil de cavitation lors de la trabéculoplastie et d'essayer d'avoir 100 % de bulles lors des impacts plutôt que seulement la moitié pour optimiser l'efficacité du laser. [119,120]

5.7. Les autres facteurs

Tout d'abord, comme dans la plupart des études publiées, l'âge, le sexe ou le degré de pigmentation de l'angle n'entre pas en compte dans la prédictibilité de la réponse au SLT.

Concernant l'épaisseur cornéenne centrale, quelques rares publications rapportent le fait qu'une cornée plus fine (inférieure à 555 µm) serait un facteur de réponse positive à la trabéculoplastie SLT, ce que nous n'avons pas retrouvé dans notre étude. [121]

Enfin, concernant la longueur axiale, certaines publications ont évalué un éventuel rôle de la myopie mais aucune d'entre elles n'a évalué le rôle de la longueur axiale dans la réponse au traitement par SLT. [110]

6. Complications :

La définition des divers effets secondaires variait selon les études, en particulier sur leur gravité, bien que les effets secondaires graves soient rares. Les effets secondaires les plus fréquemment rencontrés étaient un pic précoce de la PIO, une inflammation de la chambre antérieure, une douleur ou un inconfort oculaire, une photophobie et une hyperémie conjonctivale. Ces effets secondaires étaient généralement de courte durée et pouvaient être résolus avec un traitement médicale simple.

Les synéchies antérieures périphériques (**SAP**) ont été considérées par certains auteurs comme un des effets secondaires grave car ils sont irréversibles. Le taux de SAP peut atteindre 12% à 47% chez les patients post-ALT, mais était que de 2,86% ou moins chez les patients post-SLT. [122]

L'incidence rapportée du pic de PIO variait de 0% à 62% avec des taux plus bas dans les études où le traitement prophylactique a été utilisés avec une incidence de 0% à 28,8%. [123]

L'œdème maculaire cystoïde (OMC) a également été signalé. Cependant, Klamann et al [124] ont étudié de manière prospective une série de 64 patients qui n'ont pas montré d'augmentation de l'épaisseur maculaire après SLT. Tous ceux qui

ont développé un œdème maculaire présentaient d'autres facteurs de risque, par exemple, le diabète et l'occlusion veineuse rétinienne, d'où l'intérêt d'une surveillance particulière chez ces patients prédisposés.

Les effets secondaires cornéens de la SLT peuvent entraîner des conséquences permanentes mais ils sont rares. Dans le cas de Regina et al [96], l'amincissement cornéen a entraîné un trouble cornéen local persistant, une modification de la réfraction et une augmentation de l'astigmatisme. Ong et al [125] a montré qu'il y avait une anomalie endothéliale cornéenne transitoire après SLT chez 50% des patients; mais malgré une diminution transitoire du comptage des cellules endothéliales à 1 semaine un suivi de plus longue durée et de plus grande taille d'échantillon serait nécessaire pour vérifier ces résultats.

Au totale le profil de sécurité est généralement bon, la plupart des effets secondaires étant transitoires et géré par un traitement médical seul. Les rares effets secondaires de Pic précoce de PIO après le laser, de l'amincissement de la cornée et de l'œdème maculaire doivent être pris en compte en particulier chez les patients présentant des facteurs de risque prédisposés.

7. Limites de notre étude :

Bien que notre étude soit prospective et reflète de manière intéressante l'efficacité du traitement par laser SLT, elle comporte plusieurs limites.

Tout d'abord c'est une étude monocentrique et non randomisée qui reflète l'expérience d'un seul service et un seul opérateur.

Le nombre de patients et d'yeux traités rend l'étude moins puissante et surtout rend les analyses en sous-groupes difficiles compte tenu du faible effectif souvent présent dans l'un des sous-groupes, ne permettant souvent qu'une analyse descriptive.

Les critères d'inclusion était limité à l'ouverture de l'AIC, 1 seul opérateur réalisant le laser pour éliminer un biais de réalisation mais les indications étaient laissées à l'appréciation des opérateurs entraînent ainsi un biais de sélection.

La faible durée du suivi (suivi des 6 mois) ne permet que des analyses sur le court terme de l'efficacité ainsi que les facteurs pronostiques de la SLT.

Nous n'avons pas étudié le rôle de l'âge, le sexe, la race, la myopie, l'hypertension artérielle, le diabète, Les antécédents familiaux de glaucome, les traitements antiglaucomateux associés, l'acuité visuelle, La pigmentation du trabéculum, le degré d'ouverture de l'angle, l'état du cristallin (phaque versus pseudophaque), le stade du glaucome sur le résultat de la SLT.

Enfin, le dernier point faisant défaut à notre étude est l'absence de comparaison de l'efficacité de la SLT avec les autres thérapeutiques anti-glaucomateuses médicales ou physiques, à savoir les collyres hypotonisants et l'ALT.

VI. CONCLUSION

A travers cette Mémoire, nous avons pu mettre en évidence l'ensemble des mécanismes physiques et biologiques impliqués dans la trabéculoplastie SLT. Cela a permis de comprendre et d'évaluer au mieux son efficacité au travers de notre étude et des différents travaux recueillis dans la littérature.

La trabéculoplastie SLT est une technique à efficacité variable pour prendre en charge l'hypertonie oculaire dans le cadre d'un glaucome à angle ouvert, d'une part à la lecture des résultats de notre étude mais aussi à celle des nombreux travaux effectués depuis 20 ans sur ce laser.

Ce laser apparaît comme une technique fiable, reproductible, bien tolérée par le patient, entraînant peu de complications et comportant des indications assez larges. Son efficacité est très variable pour réduire la PIO dans plusieurs types de glaucome à angle ouvert, primitif ou secondaire tel que le glaucome pigmentaire.

De même, grâce à ses indications assez larges, la SLT voit son intérêt également dans son éventuelle utilisation pour l'épargne de la surface oculaire notamment en diminuant le nombre de collyres utilisés, pour éviter les problèmes d'observance mais aussi d'un point de vue du coût annuel comme le suggèrent certaines publications.

Cependant, ce laser n'a probablement pas encore livré toute l'étendue de son potentiel et plusieurs domaines encore flous restent à explorer comme la compréhension exacte des mécanismes biologiques qui lui confèrent son effet, rendant l'ajustement des paramètres de la procédure (surface traitée, énergie délivrée) encore incomplet. Le rôle de certains facteurs influençant son résultat comme la prise de prostaglandine ou une chirurgie filtrante préalable reste à définir pour pouvoir prédire au mieux la réponse thérapeutique. En effet, le seul facteur prédictif reconnu est la valeur de la PIO initiale avant laser. De plus, certaines données, principalement

sa durée à long terme et l'intérêt ou pas de traiter l'angle sur 360°, nécessiteraient la réalisation d'études prospectives plus poussées pour répondre véritablement à ces questions.

Son utilisation reste cependant encore limitée notamment en première intention, les collyres étant souvent privilégiés. L'accès à ce laser et particulièrement l'investissement qu'il représente pour un faisceau de pathologies ophtalmologiques réduites restent probablement un frein à son utilisation ; contrairement au laser Argon utilisable dans de nombreux autres domaines de l'ophtalmologie.

Enfin, L'acceptation de la SLT comme traitement primaire dans la pratique clinique quotidienne peut également être influencée par d'autres facteurs tels que l'expérience du chirurgien et donc sa préférence ; des considérations médico-légales, voire des problèmes logistiques comme l'accès aux laser.

VII. Bibliographie :

- [1] Spaeth GL. Définitions : what is glaucoma worldwide ? In : Shaarawy TM, Sherwood MB, Hitchings RA, Crowston JG (eds). Glaucoma. Elsevier, 2009 ; 1 : 293–306.
- [2] Quigley HA, Broman AT. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. Br J Ophthalmol. 2006; 90(3):262–7.
- [3] McIlraith I, Strasfeld M, Colev G, Hutnik CM. Selective laser trabeculoplasty as initial and adjunctive treatment for open– angle glaucoma. J Glaucoma. 2006 ; 15 : 124–30.
- [4] Kramer TR, Noecker RJ. Comparison of the morphologic changes after selective laser trabeculoplasty and argon laser trabeculoplasty in human eye bank eyes. Ophthalmology. 2001 ; 108 : 773–9.
- [5] Chen E, Golchin S, Blomdahl S. A comparison between 90 degrees and 180 degrees selective laser trabeculoplasty. J Glaucoma. 2004 ; 13 : 62–5.
- [6] Alvarado JA, Iguchi R, Martinez J, et al. Similar effects of selective laser trabeculoplasty and prostaglandin analogs on the permeability of cultured Schlemm canal cells. Am J Ophthalmol. 2010 ; 150 : 254–64.
- [7] Damji KF, Bovell AM, Hodge WG, et al. Selective laser trabeculoplasty vs. Argon laser trabeculoplasty : results from a one– year randomised clinical trial. Br J Ophthalmol. 2006 ; 90 : 1490–4.
- [8] Latina MA, Sibayan SA, Shin DH, et al. Q– switched 532nm Nd– YAG laser trabeculoplasty (selective trabeculoplasty), a multicenter, pilot, clinical study. Ophthalmology. 1998 ; 105 : 2082–90.
- [9] Mouillon M, Bru MM. Anatomie de l'angle iridocornéen. EMC (Elsevier Masson SAS,Paris), Ophtalmologie, 21–003–C–10, 2000

- [10] R.R Alligham, Shield's book of glaucoma, Lipincott, Williams & Wilkins, 2005
- [11] Alward W., Color Atlas of gonioscopy, 2nd edition, AAO, 2008
- [12] Lachkar Y, Cohn H. Chapitre 9 Méthode d'examen, gonioscopie. Dans : Renard JP, Sellem E. Glaucome chronique à angle ouvert. Rapport SFO. Paris, Elsevier–Masson SAS ; 2014.
- [13] Buller C, Johnson D. Segmental variability of the trabecular meshwork in normal and glaucomatous eyes. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1994; 35:3841–3851
- [14] Inomata H, Tawara. An Anterior and posterior parts of human trabecular meshwork. Jpn J Ophthalmol. 1984 ; 28:339–348
- [15] Aptel F. Chapitre 6. Mécanisme d'écoulement de l'humeur aqueuse. Dans : Renard JP, Sellem E. Glaucome chronique à angle ouvert. Rapport SFO. Paris, Elsevier–Masson SAS; 2014.
- [16] Aptel F, Romanet JP, Chiquet C. Humeur aqueuse et pression intraoculaire. EMC (Elsevier Masson SAS,Paris), Ophtalmologie, 21–020–D–10, 2014
- [17] Grant WM. Experimental aqueous perfusion in enucleated eyes. Arch Ophthalmol. 1963; 69:783–801
- [18] Inomata H, Billa A, Smelser GK. Aqueous humeur pathways through the trabecular meshwork and into Schlemm's canal in the cynomolgus monkey. Am J Ophthalmol. 1972; 73:760–89
- [19] Raviola G, Butler JM. Unidirectional transport mechanism of horseradish peroxidase in the vessels of the iris. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1984 ; 25 : 827–36.
- [20] Armaly MF. Studies on intraocular of the orbital parasympathics. AMA Arch Ophthalmol. 1959; 62:117–24

- [21] Raviola et al. Para cellular routes of aqueous outflow in the trabecular meshwork and canal of Schlemm. Invest Ophthalmol Vis Sci.1981; 21:52–72
- [22] Bradley JM, Vranka J, Colvis CM, et al. Effect of matrix metalloproteinase activity on outflow in perfused human organ culture. Invest Ophtalmol Vis Sci. 1998; 39:2649–58
- [23] Barany EH, ScotchbrookS. Influence of testicular hyaluronidase on the resistance to flow through the angle of the anterior chamber. Acta Physiol Scand. 1954; 30:240–8
- [24] Alvarado JA, Yeh RF, Franse–Carman L, Marcellino G, Brownstein MJ. Interactions between endothelia of the trabecular meshwork and of Schlemm's canal: a new insight into the regulation of aqueous outflow in the eye. Trans Am Ophthalmol Soc. 2005; 103:148–62
- [25] Alvarado JA, Katz LJ, Trivedi S, Shifera AS. Monocyte modulation of aqueous outflow and recruitment to the trabecular meshwork following selective laser trabeculoplasty. Arch Ophthalmol. 2010 Jun; 128(6):731–7.
- [26] Alvarado JA, Iguchi R, Martinez J et al. Similar effects of selective laser trabeculoplasty and prostaglandin analogs on the permeability of cultured schlemm canal cells. Am J Ophthalmol. 2010; 150:257–64
- [27] European Glaucoma Society Terminology and Guidelines for Glaucoma. 4th Edition – Chapter 2: Classification and terminology Supported by the EGS Foundation. Br J Ophthalmol 2017;101:73–127
- [28] Tham YC, Li X, Wong TY, Quigley HA, Aung T, Cheng CY. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta–analysis. Ophthalmology 2014;121:2081–90.

- [29] Quigley HA, Broman AT. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br J Ophthalmol* 2006;90:262-7.
- [30] deVoogdS, IkramMK, WolfsRCW, JansoniusNM, HofmanA, de Jong PTVM. Incidence of open-angle glaucoma in a general elderly population: the Rotterdam Study. *Ophthalmology* 2005;112:1487-93.
- [31] Rudnicka AR, Mtlisa S, Owen CG, Cook DG, Ashby D. Variations in primary open-angle glaucoma prevalence by age, gender, and race: a Bayesian meta-analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47:4254-61.
- [32] Armaly MF, Krueger DE, Maunder L, Becker B, Hetherington J, Kolker AE, et al. Biostatistical analysis of the collaborative glaucoma study. I. Summary report of the risk factors for glaucomatous visual field defects. *Arch Ophthalmol* 1980;98:2163-71.
- [33] Klein BE, Klein R, Sponsel WE, Franke T, Cantor LB, Martone J, et al. Prevalence of glaucoma. The Beaver Dam Eye Study. *Ophthalmology* 1992;99:1499-504
- [34] Burgoyne CF, Downs JC, Bellezza AJ, Suh JKF, Hart RT. The optic nerve head as a biomechanical structure: a new paradigm for understanding the role of IOP-related stress and strain in the pathophysiology of glaucomatous optic nerve head damage. *Prog Retin Eye Res* 2005;24:39-73.
- [35] Crawford Downs J, Roberts MD, Sigal IA. Glaucomatous cupping of the lamina cribrosa: a review of the evidence for active progressive remodeling as a mechanism. *Exp Eye Res* 2011;93:133-40.
- [36] Wolfs RC, Klaver CC, Ramrattan RS, van Duijn CM, Hofman A, de Jong PT. Genetic risk of primary open-angle glaucoma. Population-based familial aggregation study. *Arch Ophthalmol* 1998;116:1640-5.

- [37] Fingert JH. Primary open-angle glaucoma genes. *Eye (Lond)* 2011;25:587-95.
- [38] Khan AO. Genetics of primary glaucoma. *Curr Opin Ophthalmol* 2011;22:347-55.
- [39] Hollands H, Johnson D, Hollands S, Simel DL, Jinapriya D, Sharma S. Do findings on routine examination identify patients at risk for primary openangle glaucoma? The rational clinical examination systematic review. *JAMA* 2013;309:2035-42.
- [40] Kass MA, Heuer DK, Higginbotham EJ, Johnson CA, Keltner JL, Miller JP, et al. The Ocular Hypertension Treatment Study: a randomized trial determines that topical ocular hypotensive medication delays or prevents the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2002;120:701-13 [discussion 829-830].
- [41] Miglior S, Zeyen T, Pfeiffer N, Cunha-Vaz J, Torri V, Adamsons I, et al. Results of the European Glaucoma Prevention Study. *Ophthalmology* 2005;112:366-75.
- [42] Bowe A, Grünig M, Schubert J, Demir M, Hoffmann V, Kütting F, et al. Circadian variation in arterial blood pressure and glaucomatous optic neuropathy—a systematic review and meta-analysis. *Am J Hypertens* 2015;28:1077-82.
- [43] Tielsch JM, Sommer A, Katz J, Royall RM, Quigley HA, Javitt J. Racial variations in the prevalence of primary open-angle glaucoma. The Baltimore Eye Survey. *JAMA* 1991;266:369-74.
- [44] Liu S, Lin Y, Liu X. Meta-analysis of association of obstructive sleep apnea with glaucoma. *J Glaucoma* 2016;25:1-7.

- [45] Shi Y, Liu P, Guan J, Lu Y, Su K. Association between Glaucoma and Obstructive Sleep Apnea Syndrome: a meta-analysis and systematic review. *PLoS One* 2015:e0115625, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0115625>.
- [46] Tham YC, Cheng CY. Associations between chronic systemic diseases and primary open-angle glaucoma: an epidemiological perspective. *Clin Experiment Ophthalmol* 2017;45:24-32.
- [47] Boland MV, Quigley HA. Risk factors and open-angle glaucoma: classification and application. *J Glaucoma* 2007;16:406-18.
- [48] Shetgar AC, Mulimani MB. The central corneal thickness in normal tension glaucoma, primary open-angle glaucoma and ocular hypertension. *J Clin Diagn Res* 2013;7:1063-7.
- [49] Kerrigan-Baumrind LA, Quigley HA, Pease ME, Kerrigan DF, Mitchell RS. Number of ganglion cells in glaucoma eyes compared with threshold visual field tests in the same persons. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;41:741-8.
- [50] Harwerth RS, Carter-Dawson L, Shen F, Smith EL, Crawford ML. Ganglion cell losses underlying visual field defects from experimental glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1999;40:2242-50.
- [51] Lombardi M, Zenouda A, Azoulay-Sebban L, Lebrisse M, Gutman E, Brasnu E, et al. Correlation between visual function and simulated performance of daily living activities in glaucomatous patients. *J Glaucoma* 2018;27:1017-24.
- [52] Bertaud S, et al. Le glaucome primitif à angle ouvert. *Rev Med Interne* (2018),
- [53] Heijl A, Leske MC, Bengtsson B, Hyman L, Bengtsson B, Hussein M, et al. Reduction of intraocular pressure and glaucoma progression: results from

the EarlyManifest Glaucoma Trial. Arch Ophthalmol 2002;120:1268–79.

- [54] Anderson DR, Drance SM, Schulzer M. Collaborative Normal Tension Glaucoma Study Group. Factors that predict the benefit of lowering intraocular pressure in normal tension glaucoma. Am J Ophthalmol 2003;136:820–9.
- [55] Leske MC, Heijl A, Hyman L, Bengtsson B, Dong L, Yang Z, et al. Predictors of long-term progression in the early manifest glaucoma trial. Ophthalmology 2007;114:1965–72.
- [56] Jampel HD. Target pressure in glaucoma therapy. J Glaucoma 1997;6:133–8.
- [57] Baudouin C, Labbé A, Liang H, Pauly A, Brignole-Baudouin F. Preservatives in eyedrops: the good, the bad and the ugly. Prog Retin Eye Res 2010;29:312–34.
- [58] van der Valk R, Webers CAB, Schouten JSAG, Zeegers MP, Hendrikse F, Prins MH. Intraocular pressure-lowering effects of all commonly used glaucoma drugs: a meta-analysis of randomized clinical trials. Ophthalmology 2005;112:1177–85.
- [59] Higginbotham EJ, Hansen J, Davis EJ, Walt JG, Guckian A. Glaucoma medication persistence with a fixed combination versus multiple bottles. Curr Med Res Opin 2009;25:2543–7.
- [60] McIlraith I, Strasfeld M, Colev G, Hutnik CML. Selective laser trabeculoplasty as initial and adjunctive treatment for open-angle glaucoma. J Glaucoma 2006;15:124–30.
- [61] Garg A, Gazzard G. Selective laser trabeculoplasty: past, present, and future. Eye 2018;32:863–76.

- [62] Cheng JW, Cheng SW, Cai JP, Li Y, Wei RL. Systematic overview of the efficacy of nonpenetrating glaucoma surgery in the treatment of open-angle glaucoma. *Med Sci Monit* 2011;17:RA155-63.
- [63] Gedde SJ, Singh K, Schiffman JC, Feuer WJ. Tube Versus Trabeculectomy Study Group. The Tube Versus Trabeculectomy Study: interpretation of results and application to clinical practice. *Curr Opin Ophthalmol* 2012;23:118-26.
- [64] Kramp K, Vick HP, Guthoff R. Transscleral diode laser contact cyclophotocoagulation in the treatment of different glaucomas, also as primary surgery. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2002;240:698-703.
- [65] Leske MC. Ocular perfusion pressure and glaucoma: clinical trial and epidemiologic findings. *Curr Opin Ophthalmol* 2009;20:73-8.
- [66] Caprioli J, Coleman AL. Blood flow in glaucoma discussion. Blood pressure, perfusion pressure, and glaucoma. *Am J Ophthalmol* 2010;149:704-12.
- [67] Sena DF, Lindsley K. Neuroprotection for treatment of glaucoma in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2013;2:CD006539, <http://dx.doi.org/10.1002/14651858.CD006539.pub3>. Review.
- [68] Sena DF, Lindsley K. Neuroprotection for treatment of glaucoma in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2017;1, <http://dx.doi.org/10.1002/14651858.CD006539.pub4> [Art. No.: CD006539].
- [69] E. BLUMEN OHANA, J.P. NORDMANN. Mise au point sur le glaucome pigmentaire Centre du Glaucome CHNO des XV-XX PARIS.
- [70] BLUWOL E. Le glaucome exfoliatif. Cabinet d'ophtalmologie, PARIS, Institut

du Glaucome, Hôpital saint Joseph, PARIS. LE 17 JUILLET 2019

- [71] Pepose JS, Feigenbaum SK, Qazi MA et al. Changes in corneal biomechanics and intraocular pressure following LASIK using static, dynamic, and noncontact tonometry. *Am J Ophthalmol*, 2007;143:39–47
- [72] Brandt JD, Beiser JA, Kass MA et al. Central corneal thickness in the Ocular Hypertension Treatment Study (OHTS). *Ophthalmology*, 2001;108:1779–1788.
- [73] Sellem E. Chapitre 16. Trabéculoplastie au laser Argon. Glaucome chronique à angle ouvert. Rapport SFO. Paris : Elsevier–Masson SAS ; 2014.
- [74] Melamed S, Pei J, Epstein DL. Delayed response to argon laser trabeculoplasty in monkeys: morphological and morphometric analysis. *Arch Ophthalmol*. 1986; 104:1078–1083.
- [75] Bylsma SS, Samples JR, Acott TS, et al. Trabecular cell division after argon laser trabeculoplasty. *Arch Ophthalmol*. 1988; 106:544–7
- [76] Bradley JM , Andersohn AM, Colvis CM, Parshley D, Zhu XH, Ruddat MS, et al. Mediation of laser trabeculoplasty–induced matrix metalloproteinase expression by $IL-1\beta$ and $TNF-\alpha$. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2000; 41:422–3
- [77] American Academy of ophtalmology Comittee on Ophtalmic Procedure Assessments. Laser trabeculoplasty for primary angle glaucoma. *Ophthalmology*. 1996; 103:1706–12
- [78] The Glaucoma Laser Trial (GLT): 2. Results of argon laser trabeculoplasty versus topical medecines. Glaucoma Laser Trial Research Group. *Ophthalmology*. 1990; 97:1403–1413.
- [79] Rolim de Moura, CR , Paranhos A, Worlmal R. Laser trabeculoplasty for open angle glaucoma. *Cochrane database. Syst Rev*. 2007; 4:CD003919

- [80] Sample J, Singh K et al. Laser trabeculoplasty for open angle glaucoma: a report by the American academy of ophthalmology. *Ophthalmology*. 2011; 118:2296–302
- [81] The Glaucoma Laser Trial (GLT). I. Acute effects of laser trabeculoplasty on intraocular pressure. Glaucoma Laser Trial Research Group. *Arch Ophthalmol*. 1989; 107:1135–42
- [82] Traverso CE, Greenidge KC, Spaeth GL. Formation of peripheral anterior synechiae following argon laser trabeculoplasty. A prospective study to determine position of laser burns. *Arch Ophthalmol*. 1984; 102:861–3
- [83] Thomas JV, Simmons RJ, Belcher CD. Argon laser trabeculoplasty in the presurgical patient. *Ophthalmology*. 1982; 89:187–97
- [84] Ricth R, LiebmannJ, Robin A et al. Argon laser trabeculoplasty in pigmentary glaucoma. *Ophthalmology*. 1993; 100:909–13
- [85] Denis P, Chap 16.Trabéculoplastie sélective au laser, Dans : Renard JP, Sellem E. Glaucome chronique à angle ouvert. Rapport SFO. Paris : Elsevier–Masson SAS ; 2014. p.537–540,
- [86] Latina MA, Sibayan SA, Shin DH, et al: Q-switched 532-nm Nd:YAG laser trabeculoplasty (selective laser trabeculoplasty): a multicenter, pilot, clinical study. *Ophthalmology*. 1998; 105:2082–8, discussion 2089–90
- [87] Acott T, Wirtz M. Biochemistry of aqueous outflow. In: Krupin T, ed. *The Glaucomas*. St Louis: Mosby; 1996:281–305.
- [88] Damji KF. Selective Laser Trabeculoplasty: A Better Alternative. *Surv Ophthalmol*. 2008 Nov–Dec; 53 (6):646–651
- [89] Lachkar Y et al. Trabéculoplastie au laser Selecta. *RO* 110 Dec 2007; 12:5–11

- [90] Ayala M. et al. Long term outcome of selective laser trabeculoplasty treatment. *Open Ophthalmol J.* 2011; 5:32–34
- [91] Van de Veire et al. I. Argon versus selective laser trabeculoplasty. *Bull Soc Belge Ophthalmol.* 2006; (299):5–10
- [92] Lai JS et al. Five years follow up of selective laser trabeculoplasty in Chinese eyes. *Clin Experiment Ophthalmol.* 2004; 32(4):368–372
- [93] McIlraith I. et al. Selective laser trabeculoplasty as initiale and adjunctive treatment for open angle glaucoma. *J Glaucoma* 2006; 15(2):124–13.
- [94] Rhee DJ, Krad O, Pasquale LR. Hyphema following selective laser trabeculoplasty. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging.* 2009 Sep–Oct; 40(5):493–4. 87 Shihadeh WA1, Ritch R, Liebmann JM. Hyphema occurring during selective laser trabeculoplasty. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging.* 2006 Sep–Oct; 37(5):432–3.
- [95] Moubayed SP, Hamid M, Choremis J, Li G. An unusual finding finding of corneal oedema complicating selective laser trabeculoplasty. *Can J Ophthalmol.* 2009; 44(3):337–8
- [96] Regina M, Bunya VY, OrlinSE, Ansari H. Corneal oedema and haze after selective laser trabeculoplasty. *J Glaucoma.* 2011; 20(5):327–9
- [97] Wechsler DZ, Wechsler IB. Cystoid macular oedema after selective laser trabeculoplasty. *Eye (Lond).* 2010 Jun; 24(6):1113
- [98] P. DENIS . TRABÉCULOPLASTIE SÉLECTIVE AU LASER . Rapport de la SFO 2014
- [99] Gracner T, Falez M, Gracner B, Pahor D. Long–term follow–up of selective laser trabeculoplasty in primary open–angle glaucoma. *Klin Monbl Augenheilkd.* 2006 Sep; 223(9):743–7.
- [100] Zaninetti M, Ravinet E. Two–year outcomes of selective laser trabeculoplasty

in open-angle glaucoma and ocular hypertension. J Fr Ophtalmol. 2008 Dec; 31(10):981-6.

- [101] Hong BK, Winer JC, Martone JF, Wand M, Altman B, Shields B. Repeat selective laser trabeculoplasty. J Glaucoma. 2009 Mar; 18(3):180-3.
- [102] Shazly TA, Smith J, Latina MA. Long-term safety and efficacy of selective laser trabeculoplasty as primary therapy for the treatment of pseudoexfoliation glaucoma compared with primary open-angle glaucoma. Clin Ophthalmol. 2010 Dec; 16(5):5-10.
- [103] Juzych M.S., Chopra V., Banitt M.R., Hughes B.A., Kim C., Goulas M.T., et al. Comparison of long-term outcomes of selective laser trabeculoplasty versus argon laser trabeculoplasty in open-angle glaucoma. Ophthalmology. 2004 ; 111:1853-1859
- [104] Weinand FS, Althen F. Long-term clinical results of selective laser trabeculoplasty in the treatment of primary open angle glaucoma. Eur J Ophthalmol. 2006 Jan-Feb; 16(1):100-4.
- [105] Martinez- de- la- Casa JM, Garcia- Feijoo J, Castillo A, et al. Selective vs argon laser TRABECULOPLASTY: hypotensive efficacy, anterior chamber inflammation, and postoperative pain. Eye. 2004 ; 18 : 498-502.
- [106] Nagar M, Ogunyomade A, O'Brart DP, Howe F, Marshall J. randomised, prospective study comparing selective laser trabeculoplasty with latanoprost for the control of intraocular pressure in ocular hypertension and open angle glaucoma. Br J Ophthalmol, 2005;89:1413-7.
- [107] Lee R, Hutnik CM. Projected cost comparison of selective laser trabeculoplasty versus glaucoma medication in the Ontario Health Insurance Plan. Can J Ophthalmol, 2006;41: 449-56.

- [108] Nagar M, Ogunyomade A, O'Brart DP, Howes F, Marshall J. Une étude prospective randomisée comparant la trabéculoplastie sélective au laser au latanoprost pour le contrôle de la pression intraoculaire dans l'hypertension oculaire et le glaucome à angle ouvert. *Br J Ophthalmol.* 2005; 89 (11): 1413-1417.
- [109] Nagar M, Luhishi E, Shah N. Intraocular pressure control and fluctuation: the effect of treatment with selective laser trabeculoplasty. *Br J Ophthalmol.* 2009;93(4):497-501.
- [110] Tardif et al. Trabéculoplastie au laser sélective : résultats après première et deuxième séance, comparaison globale puis dans trois indications. *J Fr Ophtalmol.* 2014 Mai; 37(5):353-7.
- [111] Khouri AS, Lin J, Berezina TL, Maltzman B, Fechtner RD. Repeat selective laser trabeculoplasty can be effective in eyes with initial modest response. *Middle East Afr J Ophthalmol.* 2014 Jul-Sep; 21(3):205-9.
- [112] Goyal S, Beltran Agullo L, Rashid S, Shah SP, Nath R, Obi A, Lim KS. Effect of primary selective laser trabeculoplasty on tonographic outflow facility: a randomized clinical trial. *Br J Ophthalmol.* 2010; 94 (11):1443-7.
- [113] Prasad N, Murthy S, Dagianis JJ, Latina MA. A comparison of the intervisit intraocular pressure fluctuation after 180 and 360 degrees of selective laser trabeculoplasty (SLT) as a primary therapy in primary open angle glaucoma and ocular hypertension. *J Glaucoma.* 2009 Feb; 18(2):157-60.
- [114] Shibata M, Sugiyama T, Ishida O, Ueki M, Kojima S, Okuda T, Ikeda T. Clinical results of selective laser trabeculoplasty in open-angle glaucoma in Japanese eyes: comparison of 180 degree with 360-degree SLT. *J Glaucoma.* 2012 Jan; 21(1):17-21.

- [115] AGIS Investigators. The Advanced Glaucoma Intervention Study (AGIS). 11. Risk factors for failure of trabeculectomy and argon laser trabeculoplasty. *Ophthalmology*. 2002; 134 : 481–982.
- [116] Pillunat KR, Spoerl E, Elfes G, Pillunat LE. Preoperative intraocular pressure as a predictor of selective laser trabeculoplasty efficacy. *Acta Ophthalmol*. 2016 ;94:692–696.
- [117] Lindegger DJ, Jaggi GP, Bauer G, Zweifel S, Töteberg–Harms M, Hirn C, Zehnder S, Funk J. Long–term efficacy of selective laser trabeculoplasty in pseudophakic patients – a "real–life" analysis. *Klin Monbl Augenheilkd*. 2014 Apr; 231(4):357–62
- [118] Habib L, Lin J, Berezina T, Holland B, Fechtner RD, Khouri AS. Selective laser trabeculoplasty: Does energy dosage predict response? *Oman J Ophthalmol*. 2013 May; 6(2):92–5.
- [119] Song J, Lee PP, Epstein DL, Stinnett SS, Herndon LW Jr, Asrani SG, Allingham RR, Challa P. High failure rate associated with 180 degrees selective laser trabeculoplasty. *J Glaucoma*. 2005 Oct; 14(5):400–8.
- [120] Ayala M, Chen E. Predictive factors of success in selective laser trabeculoplasty (SLT) treatment. *Clin Ophthalmol*. 2011; 5:573–6.
- [121] Shazly TA, Latina MA, Dagianis JJ, Chitturi S. Effect of central corneal thickness on the long–term outcome of selective laser trabeculoplasty as primary treatment for ocular hypertension and primary open–angle glaucoma. *Cornea*. 2012 Aug; 31(8):883–6
- [122] Rouhiainen HJ, Terasvirta ME, Tuovinen EJ. Peripheral anterior synechiae formation after trabeculoplasty. *Arch Ophthalmol*. 1988;106:189e91.

- [123] Harasymowycz PJ, Papamatheakis DG, Latina M, et al. Selective laser trabeculoplasty (SLT) complicated by intraocular pressure elevation in eyes with heavily pigmented trabecular meshworks. *Am J Ophthalmol*. 2005; 139:1110e3.
- [124] Klamann MK, Maier AK, Gonnermann J, et al. Adverse effects and short-term results after selective laser trabeculoplasty (SLT). *J Glaucoma*. 2014; 23:105e8
- [125] Ong K, Ong L, Ong LB. Corneal endothelial abnormalities after SLT. *J Glaucoma* 2013 Apr 29. [Epub ahead of print]
- [126] Hirn C, Zweifel SA, Töteberg-Harms M, Funk J. Effectiveness of selective laser trabeculoplasty in patients with insufficient control of intraocular pressure despite maximum tolerated medical therapy. *Ophthalmology*. 2012 Jul; 109(7):683–90
- [127] Lee JW, Gangwani RA, Chan JC, Lai JS. Prospective Study on the Efficacy of Treating Normal Tension Glaucoma With a Single Session of Selective Laser Trabeculoplasty. *J Glaucoma*. 2014 Jul 25; Epub
- [128] Li X, Wang W, Zhang X. Meta-analysis of selective laser trabeculoplasty versus topical medication in the treatment of open-angle glaucoma. *BMC Ophthalmol* 2015; 15: 107
- [129] Vickerstaff V, Ambler G, Bunce C, Xing W, Gazzard G, LiGHT Trial Study Group. Statistical analysis plan for the Laser-1st versus Drops-1st for Glaucoma and Ocular Hypertension Trial (LiGHT): a multi-centre randomised controlled trial. *Trials* 2015; 16: 517

- [130] Konstantakopoulou E, Gazzard G, Vickerstaff V, et al. The laser in glaucoma and ocular hypertension (LiGHT) trial. A multicentre randomised controlled trial: baseline patient characteristics. *Br J Ophthalmol* 2018; 102: 599–603.
- [131] Gazzard G, Konstantakopoulou E, Garway–Heath D, et al. Laser in Glaucoma and Ocular Hypertension (LiGHT) Trial. A multicentre, randomised controlled trial: design and methodology. *Br J Ophthalmol* 2018; 102: 593–98.
- [132] Gazzard G, Konstantakopoulou E, Garway–Heath D, Garg A, Vickerstaff V, Hunter R, et al. Trabéculoplastie sélective au laser versus collyre pour le traitement de première intention de l'hypertension oculaire et du glaucome (LiGHT): un essai contrôlé randomisé multicentrique. *Lancette*. 2019; 393: 1505–16..
- [133] Nagar M, Luhishi E, Shah N. Contrôle et fluctuation de la pression INTRAOCULAIRE : l'effet du traitement par trabéculoplastie sélective au laser. *Br J Ophthalmol*. 2009 ; 93 (4) : 497–501.
- [134] Prasad N, Murthy S, JJ Dagianis, Latina MA. Une comparaison de la fluctuation de la pression intraoculaire entre visites après 180 et 360 degrés de trabéculoplastie sélective au laser (SLT) en tant que traitement primaire dans le glaucome à angle ouvert primaire et l'hypertension oculaire. *J Glaucome*. 2009; 18 (2): 157–160.
- [135] Tojo N, Oka M, Miyakoshi A, Ozaki H, Hayashi A. Comparaison des fluctuations de la pression intraoculaire avant et après la trabéculoplastie sélective au laser chez les patients atteints de glaucome à tension normale. *J Glaucome*. 2014; 23 (8): e138 à e143.