

Laser et rétine

Laser and Retina

M Maille

Professeur agrégé du Val-de-Grâce

Service d'ophtalmologie Institut National des Invalides 6, Boulevard des Invalides 75700 PARIS 07 SP

Mots clés

- ◆ Laser
- ◆ Rétine
- ◆ Néovaisseaux
- ◆ Dégénérescence maculaire liée à l'âge
- ◆ Diabète
- ◆ Photothérapie dynamique
- ◆ Laser multispots
- ◆ Pointeur laser
- ◆ Accidents laboratoire

Résumé

Au niveau de la rétine le laser peut avoir des indications cliniques mais aussi des applications non thérapeutiques.

Les applications thérapeutiques recouvrent trois grands types d'indications.

La première est le traitement de néovaisseaux anormaux occultes avec la photothérapie dynamique basée sur le principe de la concentration d'un produit photosensibilisant dans ces vaisseaux anormaux, et dont l'activation par un laser entraîne la libération de radicaux libres qui détruisent ces néovaisseaux. Cette technique, qui a permis de stabiliser de nombreuses formes exsudatives de DMLA, est actuellement beaucoup moins utilisée depuis l'avènement des injections intravitréennes d'anti VEGF.

La deuxième est la réalisation d'une cicatrice chorioretinienne solide autour d'une lésion susceptible d'évoluer vers un décollement de rétine ou dans le cadre du traitement de ce dernier par voie endoculaire.

La troisième est la destruction de zones pathologiques, comme dans le diabète, susceptibles d'entraîner des complications néovasculaires gravissimes.

Dans ces deux dernières indications, les lasers multispots de dernière génération comme le suprascan de Quantel ou le laser PASCAL (*Pattern Scan Laser Photocoagulator*) apportent un progrès technique considérable avec une efficacité accrue dans la réalisation, un gain de temps appréciable et un plus grand confort du patient.

Les applications non thérapeutiques concernent essentiellement les accidents de laboratoire ou en milieu militaire et, surtout, l'utilisation de laser « du commerce » à des fins nuisibles comme en témoigne la recrudescence des incidents rapportés par les pilotes, les chauffeurs de bus... ou les sportifs.

Keywords

- ◆ Laser
- ◆ Retina
- ◆ Neovascularisation
- ◆ Macular degeneration age-related
- ◆ Diabetes
- ◆ Multispot laser
- ◆ Pointer laser
- ◆ Photodynamic therapy
- ◆ Laboratory accidents

Abstract

In the retina the laser may have clinical indications as well as non-therapeutic applications.

Therapeutic applications cover three broad types of information.

The first one is the treatment of occult abnormal neovascularization with photodynamic therapy based on the principle of concentration of a photosensitizer in these abnormal vessels and whose activation by a laser will result in the release of free radicals that destroy these neovessels. This technique, which has stabilized in many forms of exudative AMD, is currently much less common since the advent of intra vitreal injections of anti VEGF.

The second one is the realization of a chorioretinal scar around a solid lesion which may progress to retinal detachment or in the treatment of the latter by intraocular.

The third one is the destruction of pathological areas, such as diabetes, may lead to complications neovascular severe.

In the last two indications, laser multispot last generation as the above scan from Quantel or laser PASCAL (*Pattern Scan Laser Photocoagulator*) provide a leap in technology with greater efficiency in achieving a saving in time and greater patient comfort.

Non-therapeutic applications are mainly laboratory accidents or in the military and especially the use of laser "trade" for harmful purposes as evidenced by the increase in incidents reported by pilots, bus drivers... or athletes.

Les lasers ont à l'heure actuelle de multiples applications qui sont toutes susceptibles de retentir au niveau oculaire. Au niveau de la rétine on peut distinguer les applications thérapeutiques et les applications non thérapeutiques. Les applications thérapeutiques, connues depuis les années 1970, ont enregistré des progrès très importants ces 10 der-

nières années dans le domaine de la rétine. C'est essentiellement sur ces applications que nous insisterons, et nous évoquerons plus rapidement les applications non thérapeutiques qui méritent d'être connues en raison de la banalisation de l'utilisation et de la facilité d'acquisition de laser avec possibilités d'incidents ou d'accidents graves.

Correspondance :

*Michel Maille - Professeur agrégé du Val-de-Grâce
70 Boulevard de Port-Royal 75005 Paris
E-mail : sofram@wanadoo.fr*

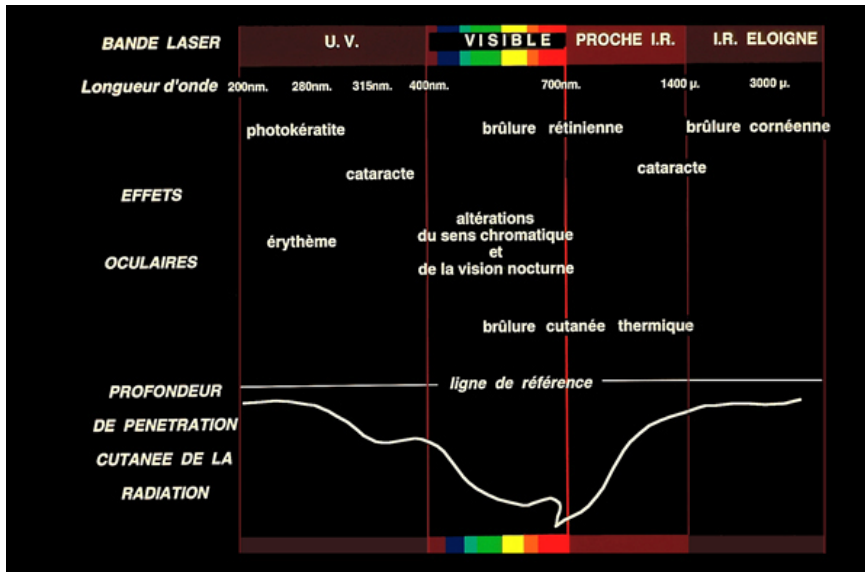


Figure 1. Effets biologiques des lasers.

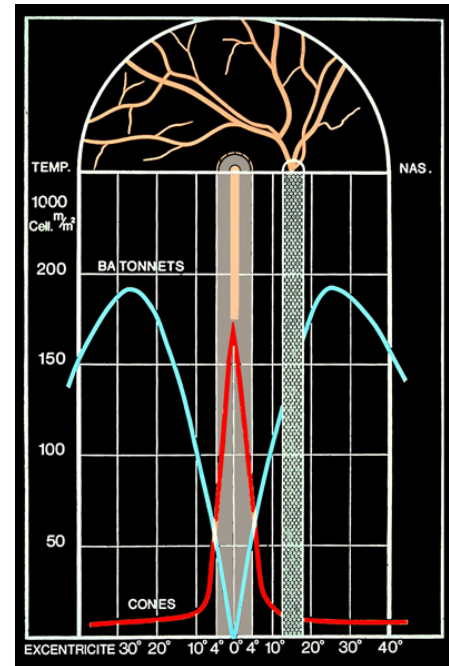


Figure 2. Répartition des photorécepteurs.

Rappels physiques

Effets biologiques des lasers

Les effets biologiques (fig. 1) dépendent de la longueur d'onde, de la durée d'exposition, de l'énergie délivrée, de la nature du tissu exposé et de l'absorption du rayonnement (1).

Parmi les pigments oculaires absorbant l'énergie du laser, la mélanine est le plus important avec une absorption entre 400 et 1400 nm, correspondant à un spectre s'étendant du bleu aux infrarouges proches. La mélanine étant fortement concentrée dans le tissu uvéal et l'épithélium pigmentaire rétinien, ce dernier et la choroïde sont les sites les plus importants d'absorption de l'énergie laser dans le segment postérieur, ce qui est mis à profit dans les applications thérapeutiques mais explique aussi les possibilités d'atteintes fonctionnelles ou physiques accidentelles.

L'UV lointain est arrêté au niveau de la cornée et l'IR lointain au niveau du segment antérieur.

Les quatre classes de laser

Quatre classes de laser (1) sont définies en fonction de leur puissance. Le domaine de l'ophtalmologie est concerné par les classe I pour les instruments diagnostiques et classe III pour les matériels thérapeutiques ; cette classe est divisée en deux sous classes :

- la classe IIIa dans laquelle les réflexions diffuses ne présentent aucun risque et où la vision directe du faisceau n'est dangereuse qu'à travers des instruments d'optique ou pour des temps supérieurs à 0,25 secondes ;
- la classe IIIb où la vision directe du faisceau est toujours dangereuse, de même que l'exposition à des sources réfléchies pendant plus de 10 secondes ou à une distance inférieure à 13 cm.

Les pointeurs laser appartiennent à la classe II. Le risque est faible, car il s'agit de dispositifs de faible puissance émettant un rayonnement visible et la protection de l'œil est normalement assurée par le réflexe de clignement.

Histophysiologie de la rétine

Pour comprendre l'enjeu fonctionnel un très bref rappel histophysiologique de la rétine (fig. 2) est indispensable (2) :

- la rétine moyenne et périphérique particulièrement riche en photorécepteurs de type bâtonnets est responsable du champ visuel et de la vision de nuit ;
- la rétine centrale avec la macula centrée par la fovéola est essentiellement de cônes. Ce véritable œil de l'œil qui fonctionne aux niveaux photopiques, c'est-à-dire en vision de jour permet en effet l'acuité visuelle, la vision des couleurs, le sens du mouvement, l'appréciation des distances et la résistance à l'éblouissement. Toute atteinte maculaire se traduit par un syndrome avec atteinte de ces différents éléments.

Une technique d'examen utilisant le laser : la tomographie par cohérence optique

Pour l'aspect diagnostique, la tomographie par cohérence optique (ou OCT), technique simple et non invasive, représente une véritable révolution avec sa quatrième génération commercialisée depuis quatre ans. Elle est fondée sur une nouvelle technologie dite « domaine spectral ». Le principe est l'utilisation de la réflexion des rayons laser (proche infrarouge) par les différentes structures histologiques pour mesurer l'épaisseur rétinienne après analyse du signal par un spectromètre.

La résolution de ces nouveaux OCT est de 5 µm dans le sens axial, et de 1,5 à 12 µm dans le sens longitudinal permettant une très nette amélioration de la corrélation des coupes avec l'aspect du fond d'œil.

Chaque couche réfléchissante de l'échantillon produit un interférogramme, à partir duquel il est possible de déterminer la profondeur de la réflexion. Par conséquent, un échantillon hétérogène produit des réflexions multiples à partir d'un seul point d'échantillonnage. Si l'on observe plusieurs points sur l'échantillon, il devient possible de reconstruire une image de la morphologie interne de l'échantillon. L'OCT est devenu un examen incontournable dans de nombreuses pathologies, en



Figure 3. OCT « domaine spectral » mise en évidence d'un œdème dans une chorioretinopathie séreuse centrale du sujet jeune.

particulier dans la détection et le suivi des pathologies de la jonction vitréorétiniennes et des œdèmes maculaires que l'on rencontre dans de nombreuses pathologies comme dans la rétinopathie diabétique, les DMLA (3) ou dans la chorioretinopathie séreuse centrale du sujet jeune (fig. 3). En revanche, dans la détection des néovaisseaux choroïdiens, l'OCT reste une technique complémentaire de l'angiographie à la fluorescéine, permettant de préciser le diagnostic ou l'évolution d'un traitement, lorsque les données apportées par l'angiographie ne sont pas concluantes. L'OCT peut également être utilisée dans le suivi de la pathologie en alternative à l'angiographie (diabète et DMLA notamment).

Utilisations thérapeutiques du laser au niveau de la rétine

Sur le plan thérapeutique l'utilisation du laser recouvre trois grandes indications au niveau rétinien :

- la destruction de vaisseaux anormaux, en particulier dans les DMLA exsudatives, avec l'apport de la photothérapie dynamique ou PDT ;
- la réalisation d'une cicatrice chorioretinienne solide dans la prévention et le traitement des décollements de rétine ;
- la destruction de zones pathologiques, en particulier ischémiques, responsables de la formation de néovaisseaux.

Dans ces deux dernières indications, nous verrons l'intérêt des lasers multispots.

Apport de la photothérapie dynamique dans le traitement des néovaisseaux

Le traitement des néovaisseaux, en particulier dans les formes exsudatives de DMLA, est fonction de leur visibilité et de leur siège par rapport à la fovéola, le but étant de détruire la membrane néovasculaire choroïdienne en minimisant les séquelles du traitement. Si les injections intravitréennes d'anti-facteurs de croissance vasculaire sont actuellement le traitement préférentiel, elles peuvent toujours, dans certains cas, être associées à un traitement laser conventionnel ou à une photothérapie dynamique (4, 5).

La destruction directe des néovaisseaux par photocoagulation au laser Argon $\lambda = 500$ nm émettant dans le bleu-vert ou au laser Krypton émettant dans le rouge-jaune (650 - 570 nm) ne peut être réalisable qu'en cas de néovaisseaux choroïdiens visibles maculaires extrafovéolaires qui ne représentent qu'une minorité de cas (fig. 4). Dans ces cas favorables, le traitement, tout en respectant la fovéola, permet la réapplication du décollement de rétine maculaire, une disparition

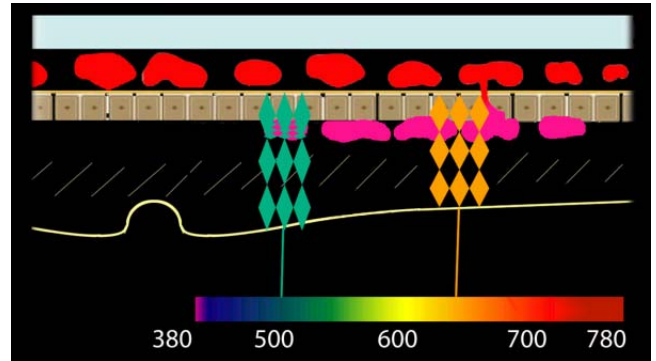


Figure 4. Destruction directe des néovaisseaux par photocoagulation directe au laser argon ou krypton.

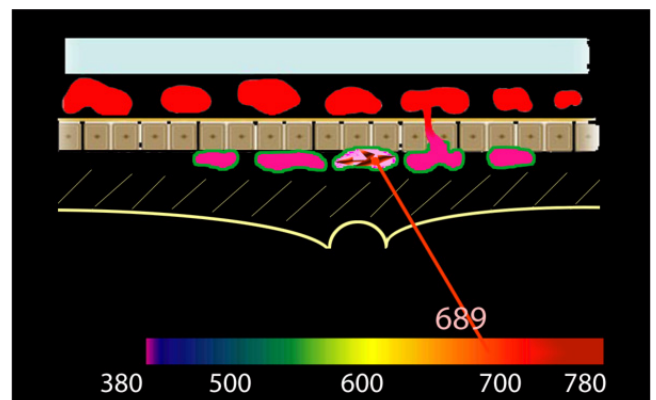
des métamorphopsies et une préservation de l'acuité visuelle. Mais cette destruction directe des néovaisseaux n'est pas possible s'ils ont une localisation rétrofovéolaire, car la photocoagulation entraînerait alors une destruction des cônes fovéolaires, responsable d'une atteinte visuelle sévère avec scotome central immédiat et définitif. On peut alors faire appel, depuis les années 2000, à une autre technique : la photothérapie dynamique (ou PDT) qui respecte la rétine. Le principe de la PDT est d'utiliser un photosensibilisateur, la vertéporphine, qui est capté préférentiellement par les néovaisseaux choroïdiens (fig. 5). L'exposition de la zone néovascularisée à une radiation correspondant au pic d'absorption de la vertéporphine autour de 689 nm entraîne l'activation de celle-ci libérant de l'oxygène singulet qui altère la membrane des cellules endothéliales provoquant une agrégation plaquettaire et la formation d'un thrombus au bout d'une semaine. L'occlusion de la membrane néovasculaire est plus ou moins complète au bout d'une semaine. Cette technique permet de traiter non seulement les néovaisseaux visibles rétrofovéolaires mais aussi les néovaisseaux sous épithéliaux occultes purs localisés grâce à l'angiographie au vert d'indocyanine. Le protocole thérapeutique comporte une perfusion de vertéporphine à la dose de 6 mg/m² de surface corporelle pendant 10 minutes et le laser 15 minutes après le début de la perfusion. La destruction des néovaisseaux peut nécessiter plusieurs séances, car ils peuvent se reperméabiliser imposant une surveillance attentive.

Cette technique qui ne détruit pas la rétine a pour but la conservation de l'acuité visuelle.

Lasers multispots

Concernant les traitements plus conventionnels, les laser multispots (6-8) représentent une avancée technologique importante lorsque l'on veut traiter une plus grande surface de

Figure 5. Le principe de la PDT.



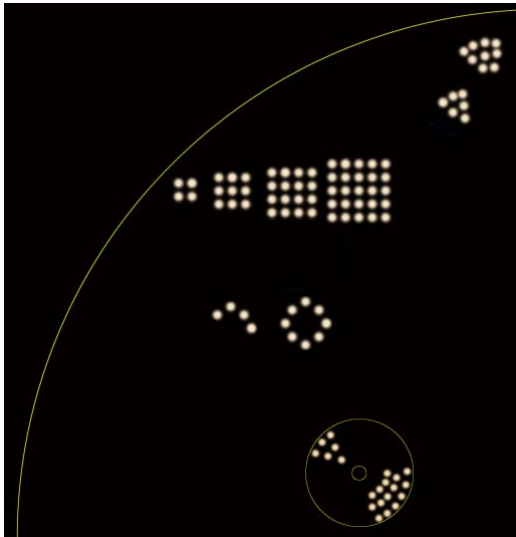


Figure 6. Les différents motifs des lasers multispots.

réтина extramaculaire pour réaliser une cicatrice chorioretinienne solide dans la prévention et le traitement des décollements de rétine ou pour détruire des zones pathologiques, en particulier ischémiques, responsables de la formation de néovaisseaux et de complications cécitantes. Par rapport aux photocoagulations classiques, ce traitement semi-automatisé permet de réduire par 3 le temps de la séance de photocoagulation, de mieux optimiser la répartition des impacts et de mieux les doser grâce à un zoom continu parfocal. Les temps d'exposition sont très courts (millipulse, micropulse), ce qui est plus confortable pour le patient.

Les émissions laser se font dans le vert ou dans le jaune. Outre le classique spot simple dont on peut faire varier la taille de 50 à 500 µm qui permet le dosage initial et éventuellement les finitions, différents motifs (fig. 6) peuvent être programmés en fonction de l'indication avec des tailles de spots de 100 à 500 µm :

- carrés : photocoagulation pan rétinienne ;
- triple arcs : photocoagulation pan rétinienne (périphérie) ;
- cercles : déchirures rétinienne ;
- grille maculaire : œdèmes maculaires diffus.

Effets rétinien des applications non thérapeutiques des lasers

Des incidents ou des accidents parfois graves peuvent également survenir avec des lasers utilisés à d'autres fins que thérapeutiques (1).

Rappel physiologique

Il faut rappeler qu'une variation brutale et importante du niveau lumineux provoque un éblouissement responsable d'un déficit plus ou moins intense et prolongé des performances visuelles (fig. 7). En fonction de son importance, différents seuils peuvent être franchis : successivement, un seuil d'inconfort, un seuil d'incapacité et un seuil des lésions. Chaque sujet possède ses propres caractéristiques vis-à-vis de l'éblouissement en fonction de l'âge. Les autres paramètres sont la surface pupillaire, l'état de la rétine maculaire. Enfin, la quantité de lumière nécessaire pour créer l'éblouissement dépend du niveau préalable de l'adaptation, ce qui explique le risque tout particulier en vision de nuit (2).

Pointeur laser

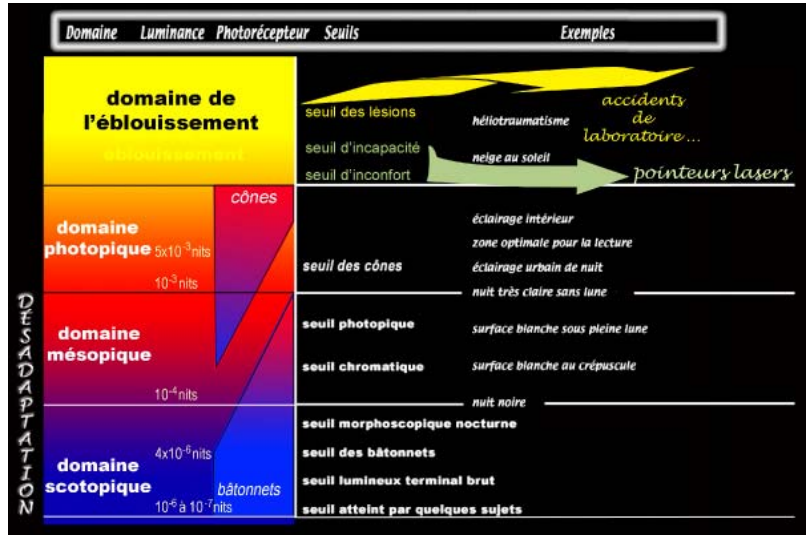


Figure 7. Seuils et domaines de la vision.

Un banal pointeur laser classe II, en vente libre, peut être responsable d'un inconfort avec gêne visuelle et, éventuellement, de douleurs et de blépharospasme si l'illumination se prolonge.

Les caractéristiques sont normalement obligatoirement précisées par le fabricant, ce qui n'est pas toujours le cas pour certains lasers de provenance douteuse.

D'utilisation maintenant quasi-quotidienne, sont les lasers de poche, théoriquement classe II, qui visent les conducteurs de bus, de trains ou d'avions. Ainsi, en aéronautique seuils d'inconfort et d'incapacité sont souvent proches, car le pilote ne peut se priver plus de 2 secondes des informations visuelles sans risque pour la sécurité. Les risques sont maximum au moment de l'atterrissage compte tenu de la multiplicité des paramètres à gérer et en vol de nuit où vont se combiner des effets rétinien plus importants du fait de la semi mydriase liée à l'obscurité ambiante initiale et de la désadaptation liée à l'illumination brutale du cockpit avec gêne plus ou moins prolongée pour la lecture des éléments du tableau de bord. Quatre cent incidents de ce type ont été enregistrés en 2010, ce qui a entraîné la création d'un groupe de travail spécialisé à la gendarmerie des transports aériens. Il existe également des lunettes de protection laser pour pilotes :

- jour : filtre « bronze » avec une transmission de la lumière verte inférieure à 4 % et une transmission de la lumière rouge inférieure à 10 % ;
- nuit : « filtre saumon » avec transmission de la lumière verte inférieure à 1 %.

Figure 8. Accident de laboratoire (cliché Pr. Maurin).



Laser de neutralisation

Ils sont responsables de phénomènes de papillotement et d'incapacité avec postimages colorées vertes, rouge et jaune dont l'intensité décroît progressivement avec la possibilité de troubles de la vision binoculaire, scotome central absolu puis relatif, suppression de la vision colorée et du contraste.

La récupération dans le temps se fait le plus souvent en jour qu'en minutes avec même la possibilité de lésions en fonction de la distance. Ces lasers sont normalement sécurisés par des filtres qui peuvent facilement être enlevés, le rendant alors dangereux.

Le développement rapide des lasers diode, petits, peu coûteux, très efficaces pourrait entraîner la prolifération de ces systèmes lors d'émeutes ou de manifestations.

Laser de laboratoires

À un stade de plus, on peut observer des lésions avec des lasers de classe III ou IV.

Si l'impact est extramaculaire, il y aura peu de séquelles ; mais le plus souvent, il s'agit comme dans l'accident de laboratoire de la figure 8 (cliché Pr. Maurin) d'une atteinte maculaire qui laissera des séquelles définitives.

Quatre grades de gravité croissante peuvent être décrits (Wolfe) :

- grade I avec œdème rétinien blanc grisâtre laissant voir la choroïde rouge orangée sous jacente ;
- grade II avec nécrose rétinienne blanc intense masquant la choroïde ;
- grade III avec hémorragie sous et intrarétinienne par rupture de la membrane de Bruch ;
- grade IV avec diffusion de l'hémorragie dans la cavité vitréenne avec ou sans trou maculaire de pleine épaisseur.

Les accidents laser surviennent dans 50 % des cas en laboratoire et dans 13 % cas dans le domaine médical. Dans 40 % des accidents, on constate l'absence de protection par simple oubli ou pour des raisons ergonomiques mais dans 30 % l'atteinte survient malgré le port d'une protection, le filtre n'étant alors pas adapté à la longueur d'onde responsable.

Conclusion

Si la technologie laser est incontournable en ophtalmologie où elle est mise à profit de façon quotidienne, elle nécessite aussi une vigilance particulière avec la nécessité d'une sélection et d'une information dans le cadre de la prévention ainsi que des mesures particulières de sécurité et de protection.

Absence de conflits d'intérêts : l'auteur ne déclare aucun conflit d'intérêt.

Références

1. M.-P. Massoure. Phototraumatismes rétiens liés aux lasers en milieu militaire : à propos de 13 cas. Thèse médecine Bordeaux. 2003.
2. JF Risse, et al. Exploration de la fonction visuelle. In : Rapport Société Française d'Ophtalmologie 1999. Paris : Masson ; 1999. p. 69-71.
3. Coscas G, Coscas F, Vismara S, Souied E, Soubrane G. Tomographie par cohérence optique de type Spectral Domain dans la dégénérescence maculaire liée à l'âge. J Fr Ophtalmol 2008 ; 31 : 353-61.
4. Soubrane G, Coscas G, Souied E. Les DMLAs. In : Rapport Société Française d'Ophtalmologie 2007. Paris : Elsevier Masson ; 2007. p. 508-9.
5. Dethorey G, Leveziel N, Lalloum F, Forte R, Guigui B, et al. Comparaison du traitement par injections intravitréennes de ranibizumab à la photothérapie dynamique dans la néovascularisation choroïdienne compliquant la myopie forte - J Fr Ophtalmol 2012 ; 35 : 106-12.
6. Lumbruso B, Rispoli M. Practical guide for the use of the Quantel Multispot Laser suprascanTM 2011, 12 pages - <http://www.quantel-medical.com/popup-produit-laser-supra-scan-article-clinique.php>
7. Miller JW, Kiss S. The Pattern Scanning Laser (PASCAL®) Photocoagulator for Diabetic Retinopathy - US Ophthalmic Review 2011 ; 4 : 94-5.
8. Favard C, Maugé Fayssé M. Intérêt du laser PASCAL pour le traitement des pathologies de la périphérie rétinienne. J Fr Ophtalmol 2009 ; 32 (Supp 1) : 1S56.