

L'EFFET DE L'IRRADIATION LASER SUR LE CORPS HUMAIN

dr. ing. Adelina Han

Universite „Politehnica” de Timisoara

Resumé: On analyse les phénomènes d'interaction faisceau laser-tissus biologiques du point de vue des risques potentiels pour l'organisme humain. On présente les lésions oculaires et cutanées induites par irradiation laser. On met en évidence les facteurs déterminants des risques d'accident laser, parmi lesquels la longueur d'onde a le rôle déterminant.

Mots clés: lasers, effets biologiques, risques potentiels

1. INTRODUCTION

La rapide évolution technologique des lasers a conduit à l'utilisation de plus en plus ample des systèmes laser, dans nombreux domaines d'activité: stockage optique, traitement des matériaux, télécommunication, médecine, mesures et control, techniques d'impression. Une attention particulière est accordée à l'investigation des risques et à la conception de normes de sécurité pour que les systèmes laser soient construits et utilisés avec de précautions en rapport avec ses dangers potentiels.

La statistique sur les dommages suite aux accidents déclarés, impliquant des lasers de 1964 à 1992 aux Etats-Unis, a montré que 82% d'accidentés ont été lié à l'organisme humain (70% lésions oculaires; 12% lésions cutanées), les autres dommages (dus aux problèmes électriques, disfonctionnement du système laser, incendies) ayant une proportion réduite [1]. On note que les lésions d'organisme humain sont déterminées particulièrement par la phénoménologie de l'interaction entre faisceau laser et les tissus humain, tandis que les autres accidents sont déterminés des sous-systèmes constructifs du laser.

La diversité de phénomènes et processus qui interviennent pendant l'irradiation avec un faisceau laser rend difficile la détermination des liaisons de causalité entre les caractéristiques d'irradiation et les effets biologiques sur la surface du corps humain. L'ouvrage présent a comme but principal la mise en évidence des facteurs les plus importants, caractérisant les conditions de l'irradiation laser, qui conduisent aux lésions

sur les tissus biologiques, ainsi que des types de blessures possibles sur l'œil et la peau.

2. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

La radiation laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) est une forme particulière de radiation électromagnétique, ayant des longueurs d'onde λ comprises entre 0,1 μ m et 20 μ m. Elle est caractérisée par la capacité de propagation linéaire, selon de longues distances, avec une très faible divergence angulaire. La radiation peut être focalisée avec des dispositifs relativement simples dans focales de diamètres et profondeurs réduites.

La radiation laser est obtenue par la conversion d'une énergie primaire (dit de pompage) en énergie électromagnétique, par phénomènes d'émission stimulée de la radiation, dans un milieu actif, placé à l'intérieur d'une cavité optique [2]. En fonction de la nature du milieu actif (gaz, liquide, solide), la radiation a une certaine valeur d'onde (figure 1).

Une de plus importantes caractéristiques du faisceau laser est la puissance, qui peut atteindre quelques W jusqu'à dixième de kW (pour les lasers à CO₂). L'augmentation de la puissance d'un faisceau laser est limitée par de problèmes de refroidissement du milieu actif.

Du fait que la radiation peut-être focalisée dans spots de dimensions réduites, le transfert du faisceau laser conduit à l'obtention des intensités locales de la radiation très élevées. En fonction du mode de fonctionnement du laser, ces intensités locales se quantifient par [3] :

– intensité I [W/cm^2], pour lasers en continu :

$$I = \frac{P}{A_c} \quad [W/cm^2] \quad (1)$$

– fluence F [J/cm^2], pour lasers en impulsions:

$$\Phi = \frac{E_p}{A_c} \quad [J/cm^2] \quad (2)$$

ou: A_c [cm^2] – aire de la surface momentanée de couplage faisceau laser-objet à usiner ;

E_p [J] – énergie d'une impulsion laser.

Les effets de l'irradiation laser dépendent fortement de l'absorption (surfactive ou volumique) de la radiation laser, les propriétés thermiques, physiques, mécaniques du matériau et de l'état de la surface irradié.

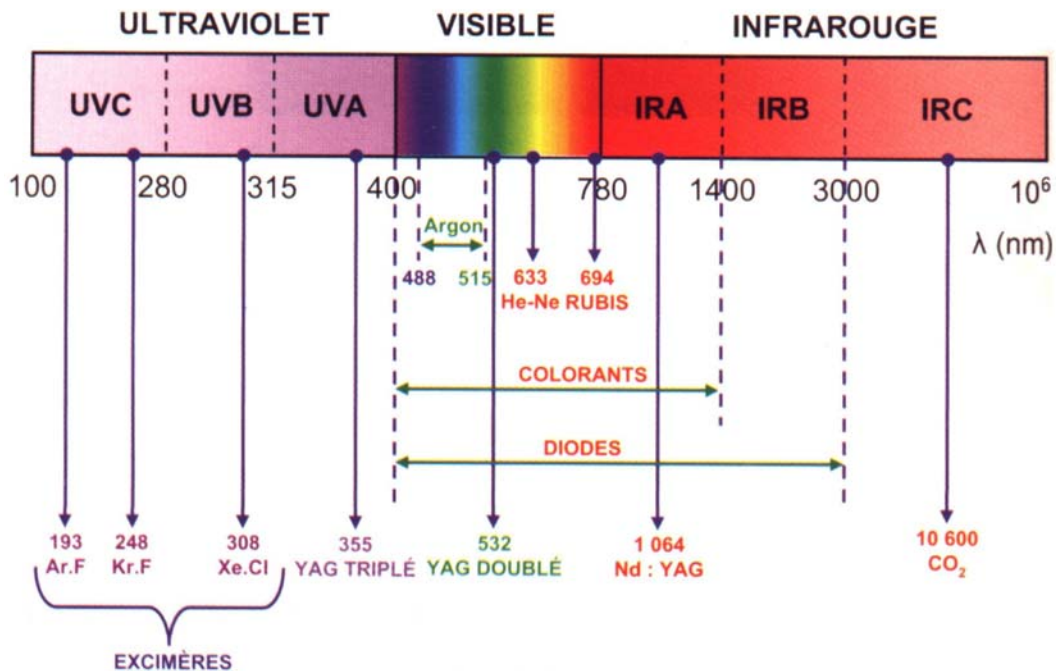


Figure 1. Emplacement des lasers dans le spectre électromagnétique

3. INTERACTIONS FAISCEAU LASER- TISSUS BIOLOGIQUES

La figure 2 présente un diagramme des corrélations causales entre les caractéristiques d'irradiation et les effets possibles sur les tissus biologiques. Les facteurs déterminants du niveau de risque engendrés par les systèmes laser sont [2]:

- **la longueur d'onde** de la radiation laser, qui contrôle l'absorption de l'énergie laser par les tissus ;
- **l'intensité** (ou la **fluence**) du faisceau laser, qui détermine le déclenchement et l'entretien de l'interaction entre faisceau laser et les tissus ;
- **la durée d'exposition** des tissus à l'irradiation par faisceau laser.

En fonction de la valeur de ces facteurs, les effets physico-chimiques induits par

l'irradiation des tissus avec faisceau laser peuvent être [4], [5]:

- **thermique**, par la conversion de l'énergie d'irradiation en chaleur, qui peut conduire à un échauffement, vaporisation et brûlure des tissus ;
- **photo-ablation**, par l'irradiation avec d'énergie supérieure à celle de liaisons intermoléculaires, qui conduit à la rupture des liaisons et désorption des composants des tissus, sans génération de chaleur ;
- **photo-chimique**, par déclenchement et entretiens de réactions chimiques et décomposition chimique, suite à l'irradiation par laser ;
- **mécanique**, par le développement d'un champ de tensions et de déformations locales,

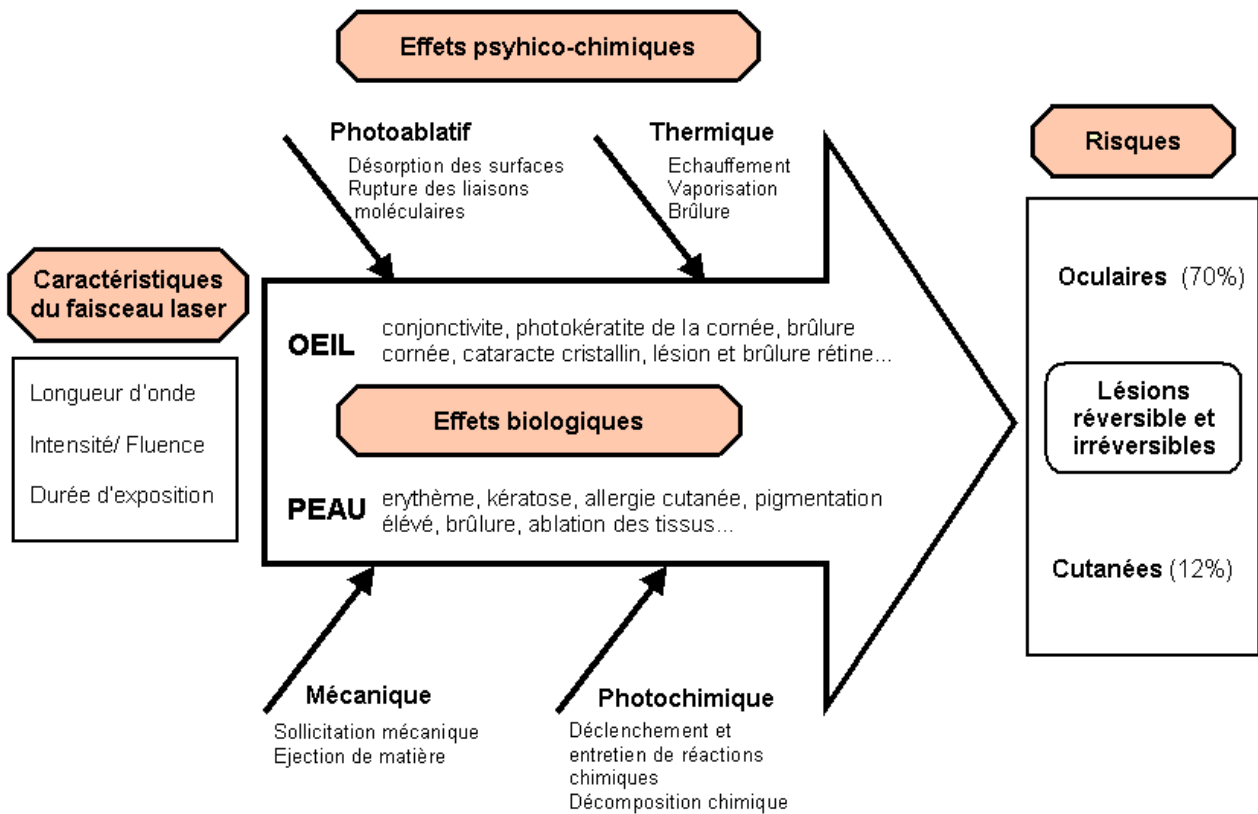


Figure 2. Diagramme causes-effets pour l'interaction entre faisceau laser et tissus biologiques

L'apparition de ces effets photochimiques peut induire des effets biologiques significatifs dans les tissus, avec de risques de lésions oculaires et cutanées réversibles ou irréversibles.

Lors qu'un faisceau laser interaction avec un tissu biologique, la radiation peut-être absorbée, transmise ou réfléchi. Les effets

physico-chimiques, et, implicite, ceux biologiques sont notamment influencés par la quantité d'énergie absorbée, ainsi que par la profondeur de pénétration de la radiation. La figure 3 présente la transmission et l'absorption des tissus composants de l'œil et la réflexion de la peau en fonction de la longueur d'onde du faisceau laser.

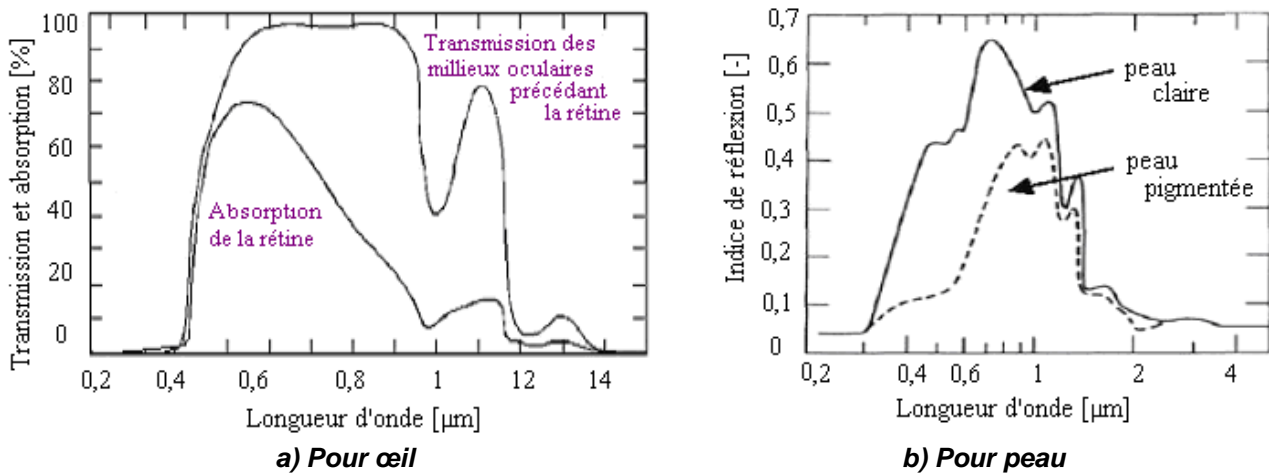


Figure 3. Propriétés optiques des tissus biologiques

On constat une variation complexe des propriétés optiques des tissus oculaires avec la longueur d'onde (figure 3.a). On note aussi que l'absorption de la radiation est plus

grande pour la peau pigmentée que pour la peau claire (figure 3.b).

Une vision globale des effets biologiques, dus à l'irradiation avec faisceau laser, en

fonction de la longueur d'onde est présentée dans la figure 4.

Dans l'**ultraviolet** l'énergie laser est absorbée par les tissus précédant la rétine (figure 2.a). Les principales conséquences sont l'irritation de la conjonctive (conjonctivites) et de la cornée (photokératite : rougeur, douleur, larmoiement). Lors d'expositions répétées et prolongées à des longueurs d'onde de 315 à 400 nm, des pertes de transparence du cristallin (cataracte) peuvent apparaître.

Dans le **visible** la cornée et le cristallin sont transparentes, la radiation laser étant

absorbée par la rétine. Si l'intensité/fluence du faisceau laser dépasse une certaine valeur critique, des lésions de petites dimensions, mais irréversibles, peuvent apparaître. En fonction de l'emplacement de ces lésions, on peut avoir :

- l'apparition d'un trou dans la rétine, dans une zone sans vision (tache noire), qui n'affecte pas l'acuité visuelle ;
- la perte quasi-totale de l'acuité visuelle lors la fovéa (tache visuelle) est atteinte.

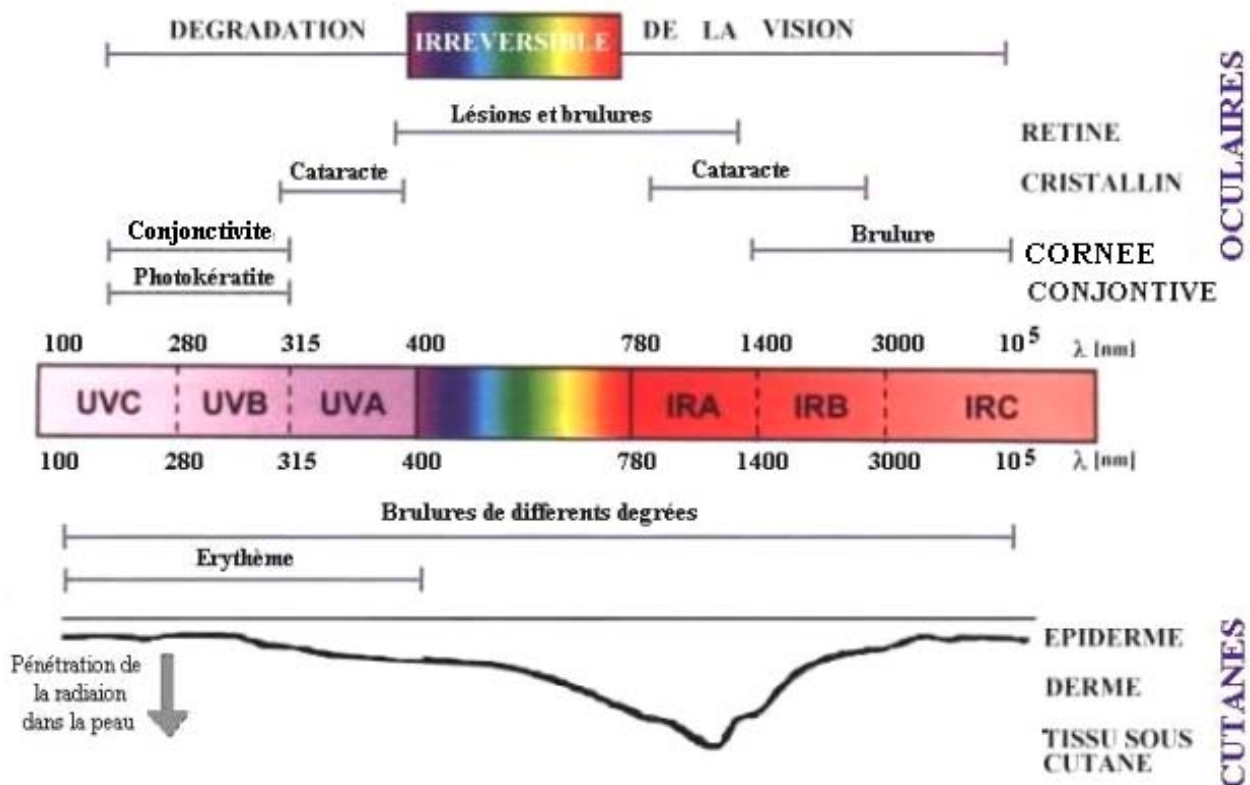


Figure 4 Effets biologiques sur l'œil

Dans l'**infrarouge**, pour l'intervalle 900 – 1400 nm, la radiation laser est partiellement absorbée par le cristallin et partiellement transmise par ce milieu oculaire, la rétine pouvant être aussi touchée. Pour l'intervalle 1400 – 3000 nm, les lésions se manifestent par une opacification de la cornée et/ou du cristallin. Les radiations avec longueurs d'onde supérieures à 3000 nm provoquent de lésions sous forme de la brûlure de la cornée.

Les effets biologiques sur la peau apparaissent pour des expositions plus longues par rapport à celles dangereuses

pour l'œil. Dans **ultraviolet** les effets biologiques peuvent se manifester avec un certain retard. Le seuil de l'apparition de brûlures est de quelques J/cm². Les longueurs d'onde les plus dangereuses sont comprises entre 250-315 nm et sont aussi cancérigènes. Dans **visible** et **infrarouge** les lésions se manifestent par erythème, kératose, allergie cutanée, pigmentation élevée, accélération du processus de vieillissement de la peau, brûlure.

En fonction de l'intensité/fluence du faisceau laser et de la durée d'exposition les

brûlures sur la peau peuvent être superficielles ou profondes.

Une statistique d'accidents en fonction du type de source laser est présentée dans la figure 5. On peut constater que la plus part

d'accidents (~70%) sont dus aux sources qui émettent dans visible et proche infrarouge, qui correspond à l'intervalle de longueurs d'onde de 400 -1400 nm.

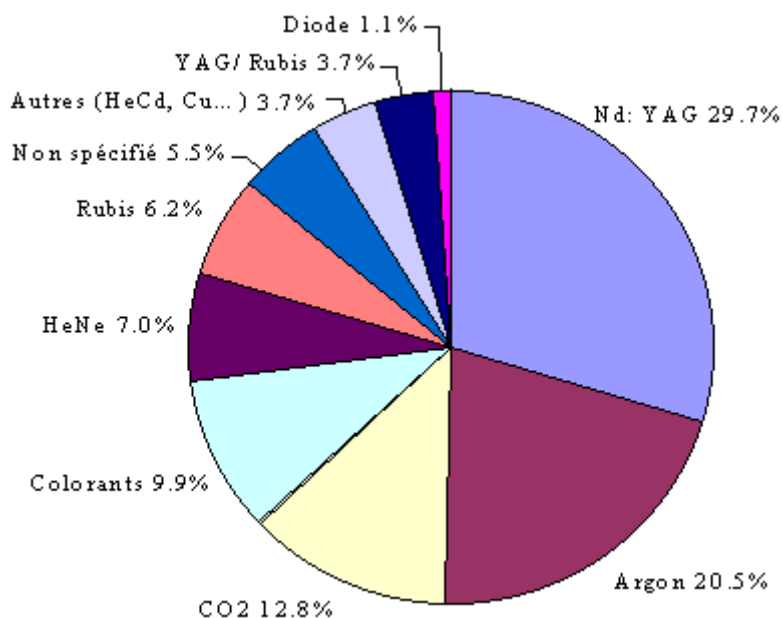


Figure 5 Statistiques d'accidents en fonction de source laser

4. CONCLUSIONS

Les propriétés optiques des tissus biologiques font de la longueur d'onde de la radiation laser le facteur le plus important d'influence sur l'organisme humain. La connaissance des effets biologiques induits par le faisceau laser est absolument nécessaire pour définir les risques et les normes de sécurité laser. Il est nécessaire une évaluation plus détaillée de tous les risques et une amélioration des normes actuelles de sécurité, en prenant en compte la phénoménologie de l'interaction entre le faisceau laser et les tissus biologiques.

RÉFÉRENCES

- [1] D. COURANT, C. CHAPEL, S. PAOLACCI-RIERA, J.C. PÉROT : *Rayonnement laser : risques oculaires et normes de protection*. Radioprotection 2000, Vol. 35, pag 443-456.
- [2] A. NICHICI : *La dimension écologique des systèmes technologiques d'usinage laser*. Buletinul stiintific al Universității „Politehnica” din Timișoara, Seria Mecanică, Tomul 51 (65), Fascicula 1, 2006, pag. 231-326.
- [3] D. DANGOISSE, D. HENNEQUIN, V. ZEHNLE : *Les lasers : cours et exercices corrigés*. Dunod, Paris, 2004.
- [4] MARIA CIOBANU : *La sécurité laser*. Rapport de stage, Université de Bourgogne, 2003.
- [5] *** – *Laser conseil. Sécurité laser : guide pratique de sécurité laser*, Impressions Lannion 2005.