

TRAITEMENTS PAR LASERS ET LUMIÈRE PULSÉE

P. PAQUET (1), C. PIÉRARD-FRANCHIMONT (2), F. HENRY (3), V. GOFFIN (4),
C. LETAWE (3), G.E. PIÉRARD (5)

RÉSUMÉ : Nombreux sont les types de lasers qui peuvent exercer des effets spécifiques très différents sur la peau. Les appareils délivrant de hautes intensités de lumière pulsée peuvent aussi exercer des effets comparables.

MOTS-CLÉS : Epilation - Laser - Lumière pulsée

PRINCIPES GÉNÉRAUX

L'effet d'un laser est le résultat d'une interaction entre la lumière émise par le laser et la cible. Dans la peau, cette dernière peut être un chromophore biologique tel que la mélanine ou l'oxyhémoglobine, ou un pigment particulier comme un tatouage. La cible peut également être l'eau intracellulaire et le but poursuivi est une vaporisation cellulaire. L'effet du laser varie principalement en fonction de sa longueur d'onde, de la durée d'impulsion, et dépend du type, de la taille et de la profondeur de la cible.

La lumière du laser doit traverser l'épiderme, puis une épaisseur plus ou moins importante du derme selon la position de la cible. La pénétration varie en fonction de deux paramètres qui, sont, d'une part, la longueur d'onde et, d'autre part, la taille des impacts. Plus la longueur d'onde augmente, plus la pénétration augmente (Tableau I). Par ailleurs, à puissance égale, plus l'impact est de grande taille, plus la pénétration est importante, jusqu'à un certain niveau maximal.

La chirurgie laser en dermatologie et en dermocosmétologie est en pleine expansion. Les équipements disponibles ne cessent de croître et de s'améliorer (Fig. 1). Les effets biologiques et thérapeutiques attendus sont bien connus pour beaucoup d'entre eux. Cependant, les industriels des lasers commercialisent leurs appareils très tôt au cours de leur développement, parfois bien avant de connaître leur potentiel thérapeutique réel. Parfois aussi, les promesses ne sont pas tenues. C'est ainsi qu'à ce jour, les lasers de faible puissance «soft lasers» n'ont pas fait la preuve d'un quelconque bénéfice thérapeutique.

Le chromophore est d'une importance capitale sur l'effet biologique du laser. Chaque chromophore absorbe plus ou moins les photons émis par le laser en fonction de leur longueur d'onde. L'absorption par la mélanine est très large pour quasiment toutes les longueurs

LASER AND PULSED LIGHT TREATMENTS

SUMMARY : Numerous types of lasers can exert different and specific effects in the skin. Devices delivering high intensity of pulsed light can exert similar effect.

KEYWORDS : Epilation - Laser - Pulsed light

d'onde, mais elle diminue progressivement avec l'accroissement de la longueur d'onde (Fig. 2). Les anomalies vasculaires dont le chromophore est l'oxyhémoglobine absorbent fortement la lumière dans la fenêtre de 500 à 600 nm. Il existe deux pics d'absorption particulièrement élevés, l'un situé à 530 nm environ, l'autre situé autour de 580 nm. Les UVB sont également fortement absorbés par l'hémoglobine, mais cette caractéristique n'est pas utilisée dans cette indication thérapeutique. L'eau吸orbe fortement les infrarouges, ce qui est utilisé pour obtenir un effet de vaporisation cellulaire.

La taille de la cible influence l'interaction entre l'irradiation laser et le tissu. Plus la taille est

TABLEAU I : LONGUEUR D'ONDE ET INDICE DE PÉNÉTRATION DES DIFFÉRENTS LASERS

Longueur d'onde (nm)	Laser	Indice de pénétration	Principaux chromophores
193	Excimer	0,5	Protéines
308	Excimer	40	ADN et Protéines
488	Argon	200	Mélanine, hémoglobine
514	Argon (ion, colorant)	300	Mélanine, hémoglobine
532	Nd: YAG doublé/KTP	400	Mélanine, hémoglobine
577,578	Colorant, vapeur de cuivre	400	Hémoglobine, mélanine
585-590, 595,600	Colorant pulsé	600	Hémoglobine, mélanine
694	Rubis «Q-switched»	1200	Mélanine
755	Alexandrite «Q-switched» ou «long pulse»	1300	Mélanine
1064	Nd : YAG «Q-switched» ou «long pulse»	1600	Mélanine
2100	Holmium	200	Eau
2940	Erbium - YAG	1	Eau
10600	C02	20	Eau

(1) Chercheur qualifié, (2) Chargé de Cours adjoint, Chef de Laboratoire, (3) Assistant de Recherche, (4) Chargé de Recherche, (5) Chargé de Cours, Chef de Service, CHU du Sart Tilman, Service de Dermatopathologie



Fig. 1 : Laser de type rubis (a) et appareil à lumière pulsée (lampe flash) à UVB (b).
A noter, la miniturisation de l'appareil b (fabriqué en 2004) par rapport à l'appareil a (fabriqué en 1998)

diffuse autour de la cible. Pour des kératinocytes, celui-ci est d'environ 1 millième de seconde. Pour les vaisseaux de 100 µm de diamètre, il est de 5 millièmes de seconde. L'emploi initial de lasers Argon continu pour le traitement de lésions vasculaires a conduit à un risque de lésions cicatricielles, traduisant un effet thermique trop peu sélectif. Afin de pallier ce problème, les lasers pulsés à colorant utilisent des durées d'impulsion extrêmement brèves, largement inférieures à 5 millièmes de seconde. D'autre part, des pièces à main automatisées (Hexascan, Multiscan, Smartscan, etc...) évitent un chevauchement des impacts, source d'effets thermiques trop importants.

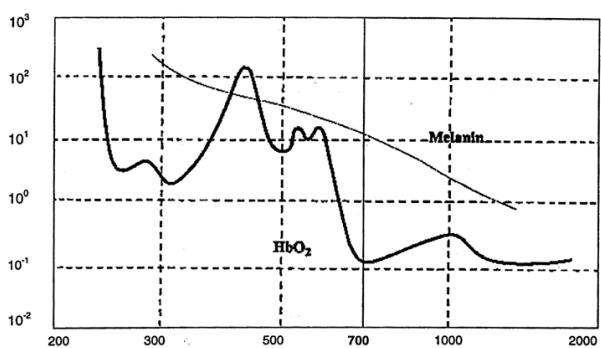


Fig. 2 : Absorption par l'hémoglobine et la mélanine en fonction de la longueur d'onde

tants, et réduisent les durées d'impulsion à quelques millièmes de seconde.

CLASSIFICATION DES LASERS

On peut classer les lasers suivant trois critères: la durée d'impulsion, la longueur d'onde et les indications électives. La durée d'impulsion définit trois types de laser : les lasers continus avec durée d'impulsion longue, les lasers continus ou pseudocontinus avec pièces à main automatisées, et les lasers pulsés dont les durées d'impulsion sont extrêmement brèves.

Quatre groupes de lasers sont actuellement définis selon leurs indications. Il s'agit des lasers vasculaires, dont la longueur d'onde est comprise entre 500 et 600 nm. Les lasers de coupe, de vaporisation, ou de dermabrasion sont les lasers CO₂ et Erbium. Les lasers dits pigmentaires (rubis «Q-switched», alexandrite «Q-switched») sont actifs sur la mélanine ou certains pigments de tatouage, ils provoquent un éclatement du pigment qui peut secondairement être résorbé par phagocytose. Ils sont utilisés dans le traitement de certaines surcharges mélaniques, ou dans le détatouage. Les lasers à visée épilatoire : ils sont proches des lasers pigmentaires, mais ils présentent des durées d'impulsion plus longues (rubis «long pulse» et alexandrite «long pulse»). Ils induisent l'élimination des poils riches en mélanine.

EFFETS BIOLOGIQUES À VISÉE THÉRAPEUTIQUE

Les applications thérapeutiques des lasers sont classées selon cinq mécanismes d'action qui sont de nature thermique, photochimique, électromagnétique, photo-ablatif et non linéaire multiphotonique.

A) EFFET THERMIQUE

L'action thermique résulte de l'absorption par les tissus de l'énergie lumineuse et sa dégradation locale en chaleur. Elle constitue l'effet principal recherché en thérapeutique. La production calorique dépend de la densité surfacique d'énergie (fluence) définie par la formule $D = Pt/S$, où D = densité surfacique d'énergie (joules/cm²), P = puissance d'émission (watts), t = durée d'exposition de la cible au rayonnement (secondes), S = surface d'impact du faisceau sur la cible (cm²).

La production calorique *in situ* dépend du volume interactif dans lequel se produit la dégradation énergétique en chaleur. L'importance de ce volume interactif varie selon le coefficient d'absorption et le coefficient de diffusion du tissu intéressé. Ainsi, l'action thermique est

modulée par la conductivité thermique du tissu et sa vascularisation, ces deux phénomènes assurant la diffusion des calories produites dans le volume interactif.

Selon la température atteinte dans le volume interactif, deux types d'effets peuvent survenir correspondant à une nécrose de coagulation ou à une volatilisation. En pratique, la nécrose de coagulation demande une élévation thermique modérée dans un volume interactif important. Inversement, la volatilisation d'un tissu nécessite une élévation thermique rapide et, donc, un volume interactif faible.

La nécrose de coagulation est obtenue en chauffant les tissus à 80°C pendant un temps de l'ordre de la seconde. Cet échauffement entraîne une dénaturation irréversible des protéines. Les tissus se rétractent par dessication sans destruction de leur architecture globale. La nécrose de coagulation peut être utilisée pour effectuer une hémostase, ou pour une destruction tumorale.

Au-delà d'une température de 100°C atteinte rapidement (de l'ordre du dixième de seconde), les tissus sont volatilisés et éliminés sous forme de fumée. Sur les berges de la perte de substance ainsi obtenue, la nécrose de coagulation est d'épaisseur variable selon le type de laser utilisé. La focalisation du faisceau laser sur une petite surface produit une incision fine. Une vaporisation tissulaire est obtenue lorsque la surface d'impact est plus importante dans un tir défocalisé.

B) EFFET PHOTOCHIMIQUE

L'action thermique concerne une absorption énergétique effectuée globalement par les tissus irradiés. Dans certains cas, l'absorption peut être beaucoup plus sélective n'intéressant alors qu'un constituant de la cellule. En effet, certaines substances, du fait de leur composition chimique, absorbent électivement une ou plusieurs longueurs d'onde. Il s'ensuit des réactions chimiques aboutissant à une destruction ou à une dénaturation *in vivo* d'un constituant cellulaire sans entraîner forcément la mort de la cellule. L'utilisation du laser, en permettant d'irradier ces molécules avec un très grand nombre de photons de même longueur d'onde, amplifie ces phénomènes photochimiques.

Un effet photochimique peut être provoqué artificiellement par injection préalable au malade d'un produit photosensibilisant. L'hématoporphyrine (HPD) est préférentiellement retenue par les tissus cancéreux. Son utilisation peut servir à localiser la tumeur maligne par fluorescence (excitation par une lumière bleue), ou à détruire sélectivement la lésion par irradiation avec une lumière rouge de 635 nm, qui pénètre profondément dans les tissus. Le caractère cohérent de la

lumière n'est pas indispensable, mais il permet l'emploi de fibres optiques et l'utilisation d'une forte puissance, ce qui réduit la durée du traitement. La mise au point d'autres photosensibilisateurs et l'utilisation de lasers à fréquence accordable devraient permettre le développement futur de la méthode.

c) EFFET ÉLECTROMAGNÉTIQUE

L'effet électromagnétique est la conséquence des champs électromagnétiques provoqués par les lasers à impulsion très courte (de la nano à la picoseconde). De tels lasers ont le potentiel de provoquer, au point de focalisation, une onde de choc très puissante, capable de dilacérer mécaniquement les tissus. Cet effet est utilisé en chirurgie non invasive intraoculaire et pour la destruction de plaques d'athérome.

d) EFFETS PHOTO-ABLATIFS

Les protéines, amides et peptides, absorbent de façon intense les UVB et UVC. Si un faisceau laser UV est focalisé sur un tissu de façon à obtenir un éclairement énergétique de l'ordre de 108 W/cm², l'absorption entraîne une photodissociation des chaînes polymérisées, avec répulsion de type électronique des fragments. Il s'ensuit une section tissulaire athermique de quelques microns, sans zone de nécrose de coagulation adjacente. La chirurgie de la cornée, la microchir-

rurgie, la chirurgie cardio-vasculaire bénéficient de cette technique.

e) EFFETS NON LINÉAIRES ET MULTIPHOTONIQUES

Dans certaines conditions et avec certains milieux, la longueur d'onde du faisceau laser incident peut changer. Il peut y avoir doublement ou quadruplement de fréquence. Ainsi, le faisceau IR de NdYAG 1060 nm peut donner naissance à un faisceau vert de 530 nm et un faisceau UV de 265 nm. De même, des soustractions, des additions ou des décalages de fréquence peuvent être effectués. L'effet multiphotonique combine l'énergie de plusieurs photons pour aboutir à un effet physicochimique.

APPLICATIONS THÉRAPEUTIQUES EN DERMATOLOGIE

Quatre grands types d'applications dermatologiques sont actuellement reconnus aux lasers. Les équipements sont ainsi classés en lasers vasculaires, pigmentaires, épilatoires et ablatifs. Des sources de lumière pulsée polychromatique sont également disponibles pour des indications similaires à certains lasers.

a) LASERS VASCULAIRES

Les lasers vasculaires émettent une lumière dont la longueur d'onde est préférentiellement absorbée par l'hémoglobine. Ils agissent donc d'une manière relativement sélective sur les vaisseaux sanguins du derme.

Les indications principales sont l'angiome plan, les télangiectasies de différents types, la rosacée, certaines radiodermites, divers hémangiomes, les angiomes stellaires, la maladie de



Fig 3 : Lentigo du visage avant (a) et après 3 séances de traitement (b) par laser rubis «Q-switch».



Fig. 4 : Tatouage amateur avant (A) et après 6 séances de traitement (B) par laser rubis «Q-Switch»

Rendu-Osler et les érythroses faciales et cervicales (1-3).

b) LASERS PIGMENTAIRES

Les lasers pigmentaires ont pour cible élective la mélanine contenue dans les mélanosomes et les pigments minéraux ou organiques qui rentrent dans la composition de tatouages. Ils sont utilisés pour le traitement des lentigos, mélasmes, mélanoses post-inflammatoires et tatouages noirs, verts ou bruns (Fig. 3,4).

c) LASERS ÉPILATOIRES

Les lasers épilatoires sont une variante des lasers pigmentaires qui visent à endommager les poils riches en mélanine (4,5). Les poils traités tombent après le traitement et le cycle pilaire



semble entrer dans une phase de sidération qui empêche la repousse pendant quelques mois. Les nouveaux poils sont souvent moins nombreux et plus fins que ceux initialement traités (Fig. 5).

d) LASERS ABLATIFS

Les lasers ablatifs sont ceux à CO₂ pulsés ou erbium YAG destinés au lissage ou «resurfacage» cutané effaçant certaines rides et cicatrices. Le laser CO₂ continu est utilisé pour la désintégration et la volatilisation de tumeurs (6).

e) LASERS ANTI-INFLAMMATOIRES ET REPIGMENTANTS

Les lasers à UVB sont actuellement les derniers modèles apparus sur le marché (Xtrac excimer laser® Talos excimer laser®). Ils permettent



Fig. 5 : Hirsutisme du visage chez une jeune femme avant (a) et 6 mois après 6 séances de traitement (b) par laser rubis «long-pulse».



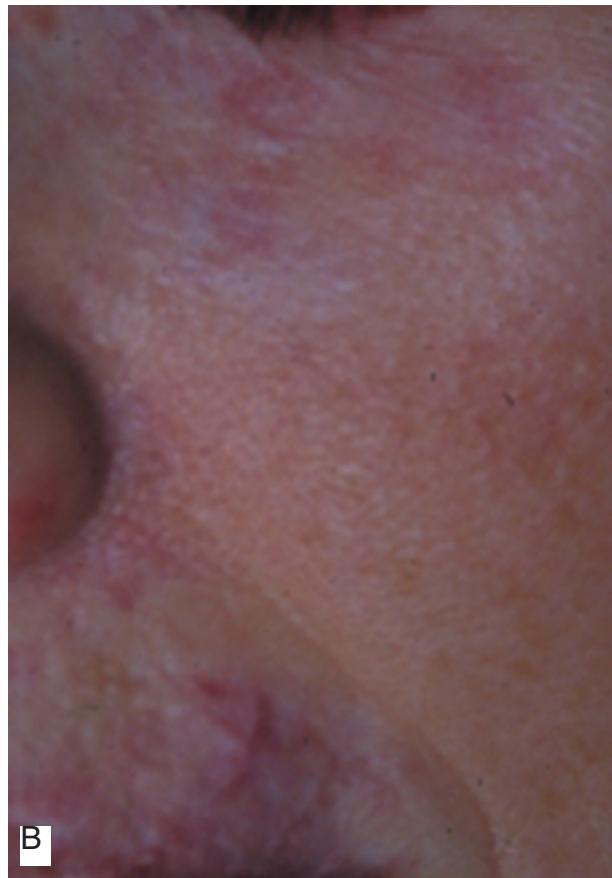
**A**

Fig. 6 : Angiome plan du visage avant (a) et après 8 séances de traitement (b) par lumière pulsée de type Photoderm®.

une photothérapie UVB très ciblée sur les lésions cutanées à la longueur d'onde optimale de 308 nm. A cette longueur d'onde, les UVB exercent de multiples influences biologiques sur la peau, comprenant notamment l'induction de l'apoptose des kératinocytes en prolifération rapide et des lymphocytes T activés ainsi que la stimulation de l'activité mélanocytaire. Diverses pathologies inflammatoires telles que le psoriasis ou l'eczéma atopique peuvent ainsi être traitées (7). De même, cette technologie semble prometteuse dans le traitement des dépigmentations de type vitiligo (8).

**A**

Fig. 7 : Psoriasis du coude avant (a) et après 5 séances de traitement (b) par lumière pulsée de type UVB

**B**

Les potentiels effets carcinogènes cutanée à long terme restent cependant à définir.

F) LUMIÈRE PULSÉE

Comme alternative au système laser, des sources de lumière pulsée intense sont également disponibles. Elles émettent une lumière polychromatique, non cohérente, dans le spectre de 500 à 1200 nm (Photoderm®). La longueur d'onde souhaitée pour le traitement peut être obtenue par l'interposition de filtres. Avec ce type d'appa-

**B**

reillage, il est en outre possible de moduler l'énergie délivrée, la durée de l'impulsion et de la fractionner de façon variable. Les effets secondaires sont de la sorte réduits. La flexibilité des paramètres permet le traitement des lésions vasculaires, des lésions pigmentaires et l'épilation (9,10) (Fig. 6).

Des lumières pulsées émettant des UVB entre 311 et 315 nm de longueur d'onde sont utilisées pour les mêmes indications que les lasers à UVB (B-Clear®, Platinum G®, ...). Ils permettent une distribution d'énergie plus uniforme sur des surfaces de peau plus grandes, minimisant ainsi les risques d'effets secondaires de type brûlure (11) (Fig. 7).

RÉFÉRENCES

1. Al Buainian H, Verhaeghe E, Dierckxsens L et al.— Early treatment of hemangiomas with lasers. A review. *Dermatology*, 2003, **206**, 370-373.
2. Paquet P, Hermanns JF, Piérard GE.— Effect of the 585 nm flashlamp-pumped pulsed dy laser for the treatment of keloids. *Dermatol Surg*, 2001, **27**, 171-174.
3. Retamar RA, Chames C, Pellegrano G.— Treatment of linear and spider telangiectasia with an intense pulsed light source. *J Cosmet Dermatol*, 2004, **3**, 187-190.
4. Paquet P, Piérard GE.— Les lasers à épilation : entre espoirs et réalités. *Rev Med Liège*, 1999, **54**, 739-745.
5. Paquet P, Fumal I, Piérard-Franchimont C, Piérard GE.— Long-pulsed ruby laser-assisted hair removal in male-to-female transsexuals. *J Cosmet Dermatol*, 2002, **1**, 8-12.
6. Läuchli S, Kempf W, Dragieva G, et al.— CO₂ laser treatment of warts in immunosuppressed patients. *Dermatology*, 2003, **206**, 148-152.
7. Bianchi B, Campolmi P, Mavilia L et al.— Monochromatic excimer light (308 nm) : an immunohistochemical study of cutaneous T cells and apoptosis-related molecules in psoriasis. *J Eur Acad Dermatol Venereol*, 2003, **17**, 408-413.
8. Esposito M, Soda R, Costanzo A et al.— Treatment of vitiligo with the 308 nm excimer laser. *Clin Exp Dermatol*, 2004, **29**, 133-137.
9. Piérard-Franchimont C, Henry F, Paquet P, Piérard GE.— Comment je traite...une hypertrichose. *Rev Med Liège*, 2003, **58**, 605-610.
10. Paquet P, Piérard GE.— Intense pulsed light treatment of persistent facial hypermelanosis following drug-induced toxic epidermal necrolysis. *Dermatol Surg*, 2004, **30**, 1522-1525.
11. Tanghetti E, Gillis P.— Photometric and clinical assessment of localized UVB phototherapy systems for the high-dosage of stable plaque psoriasis. *J Cosmetic Laser Ther*, 2003, **5**, 101-106.

Les demandes de tirés à part sont à adresser au Dr. P. Paquet, Service de Dermatopathologie, CHU du Sart Tilman, 4000 Liège.
E-mail : p.paquet@chu.ulg.ac.be