

# Projet tutoré

ISIFC 1<sup>ère</sup> année

Année scolaire 2009-2010

## LES LASERS EN DERMATOLOGIE

Maxime BILLON

Marjolaine MYSSON

Noémie VIALA

Tuteur : Philippe BOYER

**femto-st**  
sciences & technologies

**Femto-st**

32 avenue de l'observatoire  
225044 Besançon cedex

Tél : +33 (0) 3 81 85 39 99



**ISIFC**

*Ingénierie biomédicale*

16 Route de Gray

25030 BESANCON CEDEX

Tél : + 33 (0) 3 81 66 66 90

Fax : + 33 (0) 3 81 66 60 63



## Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier le tuteur de ce projet, Philippe Boyer. Ayant dès le début rappelé les notions importantes du sujet, il a su, grâce à sa rigueur scientifique, nous donner le fil conducteur nous ayant permis d'orienter nos recherches et de nous poser les bonnes questions.

Toute notre reconnaissance va aussi à Caty pour ses conseils éclairés, sa patience et sa disponibilité qui ont fait d'elle une valeur de référence rassurante tout au long de l'avancement de la rédaction de ce rapport.

Nous tenons à adresser un remerciement spécial à l'attention du Docteur Hervé Van Landuyt, dermatologue, dont les explications pédagogiques et les documents spontanément fournis ont éclairé notre vision de l'aspect médical des lasers. Merci de nous avoir autorisés à assister à des opérations au laser, qui ont été la révélation de l'authentique côté pratique du métier et de notre intérêt grandissant pour le sujet.

Nous devons également à Thomas Lihoreau, ingénieur d'études et de recherches cliniques dans le département de dermatologie de l'hôpital Saint Jacques et ancien élève de l'ISIFC l'opportunité d'avoir pu contacter une des entreprises qui fournit les lasers de l'hôpital Saint Jacques de Besançon. Merci de nous avoir aiguillés et fait confiance dans la réalisation de ce rapport qui, nous l'espérons, pourra servir aux ingénieurs biomédicaux de Besançon.

Merci à Christian Vieron-Lepoutre, documentaliste, qui par sa rigueur et son inébranlable patience durant les séances de recherches documentaires qu'il a encadrées, nous a permis d'ouvrir nos champs de recherche et de réaliser une bibliographie aussi complète.

Enfin nous voudrions remercier Linda McGinn, responsable Marketing & Sales Coordinator chez HOYA ConBio France pour avoir pris la peine de nous répondre aussi précisément et d'avoir bien voulu nous fournir des informations complètes sur les lasers proposés au sein de cette entreprise.

## Sommaire

Introduction .....	5
I. Historique .....	6
II. Le principe du laser .....	7
1. Définition de la lumière laser .....	7
2. L'émission stimulée .....	8
3. Fonctionnement du laser .....	9
4. Les différentes caractéristiques des lasers .....	10
a) Milieux actifs .....	10
b) Moyens d'émission .....	11
c) Les grandeurs .....	11
d) Lasers en dermatologie .....	12
III. Applications à la dermatologie .....	13
1. Définition de la dermatologie .....	13
2. Les différents types de lasers et leurs applications en dermatologie .....	14
a) Lasers vasculaires .....	14
b) Lasers pigmentaires .....	18
c) Lasers dépilatoires .....	19
d) Lasers d'abrasion cutanée .....	20
e) Lasers de remodelage et de rajeunissement cutanés .....	21
IV. Lasers : Risques et précautions de sécurité .....	22
1. Risques du rayonnement laser pour les tissus humains .....	22
a) Dangers pour la peau .....	23
b) Effets secondaires éventuels liés aux opérations dermatologiques .....	23
2. Norme officielles de sécurités et Classification .....	25
a) Normes .....	25
b) Limites de tolérance et classification .....	25
c) Pratiques de sécurité .....	27
Conclusion .....	29
Glossaire .....	30
Bibliographie .....	34
Table des annexes .....	39

## Introduction

Possédant de nombreuses applications dans l'industrie comme au quotidien, le laser est déjà largement utilisé dans de nombreux secteurs technologiques. Basé sur le principe physique de l'émission stimulée, un rayon laser est directionnel et puissant. Dans le domaine de la médecine, où la précision et l'efficacité des opérations sont indispensables, il est, à l'heure actuelle, un outil de référence pour agir sur de nombreux tissus. Plus précisément, ses caractéristiques remarquables ont trouvé une application en dermatologie pour soigner efficacement de nombreuses affections de la peau et des poils.

Le sujet de ce projet porte donc sur les applications d'un principe scientifique à la pointe de la technologie dans une branche de la médecine qui requiert tout autant de rigueur. La dermatologie, à l'heure actuelle, est une discipline de précision, à tel point qu'il est parfois difficile de distinguer traitement chirurgical et esthétique. C'est dans ce contexte que s'inscrit l'utilisation du laser pour traiter des lésions de la peau. Il est aussi utilisé pour traiter des maladies jusqu'alors incurables ou laissant des séquelles cutanées importantes. Grâce au laser, les traitements dermatologiques ont tendance à se banaliser et le but de cette étude est de comprendre ce que cette technologie apporte à la médecine ainsi que de quelle manière elle est utilisée par les médecins.

C'est pourquoi afin de bien cerner l'intérêt de son utilisation en dermatologie, l'origine de la découverte du laser et l'historique de son utilisation seront évoqués en premier lieu ; puis le principe physique en jeu pour l'émission d'un tel faisceau est expliqué et les différents lasers utilisés sont répertoriés. Dans un troisième temps, les affections dermatologiques, leur traitement et les différentes techniques d'utilisation du laser sont mis en lumière. Enfin, le dernier point traite de l'aspect normatif et des précautions de sécurité à observer lors de l'utilisation des lasers.

## I. Historique

Dès 1917, Einstein réalise qu'il existe trois types d'interaction entre la lumière et la matière. Les deux premiers types déjà connus sont l'absorption de la lumière par la matière et l'émission spontanée de la lumière par la matière excitée. Einstein découvre que le processus d'absorption peut être inversé pour devenir un second type d'émission : l'émission stimulée. C'est ce processus qui est à la base du fonctionnement du laser, qui sera développé ultérieurement.

En 1953, Charles Townes fabrique le premier maser (acronyme de Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation), qui utilise de l'ammoniac (NH<sub>3</sub> gazeux) et produit un rayonnement monochromatique à une longueur d'onde de 1,25 cm. En fait, les expérimentateurs de l'époque entrevoyaient déjà les possibilités d'un maser optique fonctionnant dans le domaine de la lumière visible, mais concevaient difficilement comment le construire.

En effet, pour faire fonctionner un laser, un phénomène d'émission stimulée et d'amplification lumineuse doit être produit et entretenu. Il fallait donc d'abord trouver le moyen de maintenir une majorité d'atomes à l'état excité grâce à un mécanisme de "pompage" électrique, chimique ou optique.

Le premier laser optique a été conçu par Théodore Maiman en 1960. Il avait constaté que les ions de chrome d'un rubis artificiel émettent de la lumière rouge lorsqu'ils sont irradiés par la lumière verte d'une lampe au xénon. Maiman a réussi à produire le premier faisceau laser optique en déposant une couche d'aluminium réfléchissant à chaque extrémité de la tige de rubis ; la lumière monochromatique ainsi piégée dans le milieu actif est amplifiée à chaque réflexion avant de s'échapper par un minuscule orifice. On obtient ainsi un faisceau d'énergie monochrome cohérent, concentré et rectiligne.

L'histoire du laser dermatologique est assez ancienne, le premier dermatologue à l'utiliser fut l'Américain Goldman en 1967 pour le traitement de certains cancers de la peau.

Dans les années 1970, les lasers argons et à colorant continu ont été remplacés par :

- ♣ Le laser à colorant pulsé qui a transformé le traitement des lésions vasculaires comme les angiomes ;
- ♣ Les lasers pigmentaires dont les lasers Q-Switch ;
- ♣ Les lasers chirurgicaux et CO<sub>2</sub> qui ont permis le développement de la technique de relissage.

Vers la fin des années 1980, des nouveaux lasers destinés à l'esthétique ont été mis sur le marché américain. Ils ont l'objet d'un fort engouement de la part des patients qui souhaitent paraître plus jeunes sans chirurgie.

Vers la fin des années 1990 sont apparus les premiers lasers dépilatoires, et les lasers de remodelage ou de rajeunissement ont été développés au début des années 2000.

## II. Le principe du laser

### 1. Définition de la lumière laser

Le mot LASER est l'acronyme de « Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation » c'est-à-dire « amplification de la lumière par l'émission stimulée de radiation ».

La lumière a une nature double : d'une part ondulatoire, chaque photon\* possède une énergie  $E$  telle que  $E = h\nu$  avec  $h$  la constante de Planck\* et  $\nu$  la fréquence de l'onde ; d'autre part, une nature corpusculaire, dont la grandeur caractéristique la quantité de mouvement\*  $p$  est lié à l'énergie par  $E=pc$  avec  $c$  la vitesse de propagation de la lumière dans le vide. Ces deux aspects sont reliés par la relation  $p = h/\lambda$ .

La lumière laser possède entre autres trois caractéristiques propres :

- ♣ monochromatique : l'émission se fait sur une longueur d'onde précise ou tout du moins sur un spectre étroit ;
- ♣ unidirectionnelle : les photons suivent une même direction avec une faible divergence ;
- ♣ cohérente : les photons sont émis en phase. Ils sont ordonnés dans le temps et dans l'espace. Ainsi, chaque photon qui la compose oscille en même temps, de la même manière (fig.1).



*Figure 1 : Schéma de la lumière cohérente*

## 2. L'émission stimulée

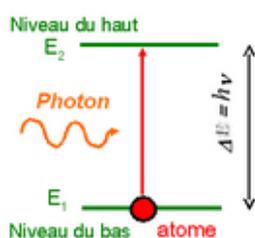


Figure 2 : Absorption

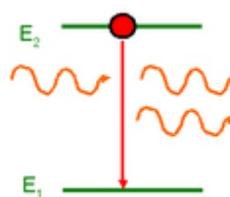


Figure 3 : Emission stimulée

L'émission stimulée est le processus complémentaire à l'absorption, c'est-à-dire que les photons incidents interagissent avec un atome et excitent ce dernier pour qu'il émette exactement le même type de photons. Une amplification se produit alors car il y a davantage de lumière après l'émission. Mais dans les conditions normales, cette amplification de la lumière est largement compensée par le phénomène d'absorption (*fig.2 et 3*).

En effet, cette absorption de lumière par un atome est le processus qui le fait passer à un niveau d'énergie supérieur, on dit que l'atome est excité. Au contraire, l'émission stimulée fait descendre l'atome d'un état d'énergie supérieur ou état métastable ( $E_2$ ) à un état d'énergie inférieur ou état fondamental ( $E_1$ ). L'énergie perdue de l'atome est transformée en énergie lumineuse (*fig.4*).

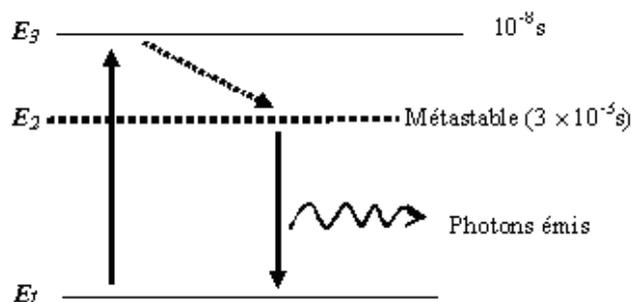
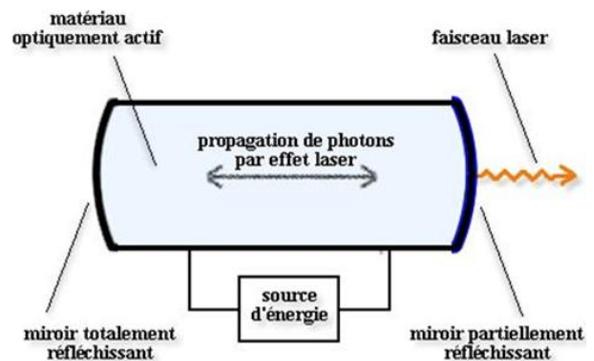


Figure 4 : Le phénomène d'émission de photon par

En répétant de nombreuses fois ce phénomène, il est possible de créer un rayon lumineux, de même fréquence, émis simultanément et dans la même direction comme s'ils étaient la copie conforme les uns des autres : c'est la lumière laser.

Dans des conditions normales, lorsqu'ils ne sont pas excités, les atomes ont une énergie minimale (état d'énergie fondamental). C'est pourquoi l'absorption est généralement dominante par rapport à l'émission stimulée.

Pour obtenir l'effet laser, on cherche à obtenir de la matière qui possède plus d'atomes excités que dans l'état fondamental. On nomme cette situation «inversion de population».



Grâce à cet effet, il y a plus de photons produits par émission stimulée que de photons perdus par processus d'absorption. Une réaction en chaîne peut alors se produire, entraînant une multiplication des photons dans le milieu actif. L'amplification de la lumière dans le laser devient possible. En pratique, pour amplifier le nombre d'atome dans l'état excité, on utilise des sources d'énergie de nature très variable (électricité, énergie chimique, lampe flash, laser...) appelées systèmes de pompage.

### 3. Fonctionnement du laser

Les trois principales composantes d'un laser sont les suivantes : un milieu actif, un système de pompage et un résonateur optique (fig.5). Un système laser peut être schématisé de la façon suivante:

*Figure 5 : Schéma de principe d'un laser*

Le milieu actif (ou matériau optiquement actif ici sur le schéma) est caractérisé par la présence de particules possédant au moins un état d'énergie métastable. Une particule qui se trouve dans cet état le restera suffisamment longtemps ( $10^{-5}$ s) pour que le phénomène d'émission stimulée puisse se produire (fig.6).

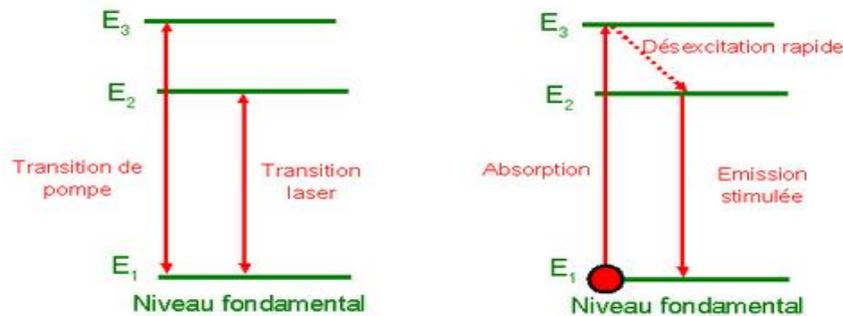


Figure 6 : Exemple d'un système à trois niveaux avec pompage.

Cependant, l'émission stimulée n'est pas suffisante pour produire à lui seul un faisceau laser. C'est pourquoi le milieu actif est placé dans un résonateur optique (oscillateur laser) permettant d'accumuler les photons émis.

Le résonateur est constitué de deux miroirs parallèles entre lesquels est placé le milieu actif. Le premier miroir, le réflecteur, est totalement réfléchissant alors que le second, le coupleur, est semi transparent afin d'évacuer le faisceau laser. Le résonateur contribue en grande partie à l'amplification de la lumière dans le laser. Les photons, en étant réfléchis par les miroirs, peuvent traverser plusieurs fois le milieu actif et provoquer l'émission stimulée d'un plus grand nombre de photons. Lorsque le processus d'amplification se produit dans le laser, on dit qu'il oscille.

## 4. Les différentes caractéristiques des lasers

### a) Milieux actifs

Il y a différents types de milieux actifs qui déterminent la longueur d'onde. Il existe les lasers :

- ♣ à gaz : le milieu actif de ce type de laser est un gaz, pur ou en mélange. Le milieu est habituellement excité par une décharge électrique, mais le pompage peut aussi être optique. Les lasers de ce type sont d'une efficacité moyenne, d'une directivité\* du faisceau exceptionnelle et d'une puissance variable. Lorsque le milieu actif du laser est gazeux, les constituants du mélange sont appelés gaz lasants ;

- ♣ à solide : les lasers à solide utilisent des verres ou des cristaux comme milieu actif. De tous les lasers, ce sont ceux qui fournissent la plus grande puissance utile et sont généralement utilisés dans un mode à impulsions (voir 4-b) ;
- ♣ à liquide : ce sont les lasers à colorant organique en solution ou en suspension (rhodamine) ;
- ♣ à semi conducteur : ils sont très compacts et essentiellement utilisés en optoélectronique (nanotechnologies). Le faisceau résultant d'un tel laser est cependant peu directionnel, ayant une divergence de 5° à 30°. Il est aussi peu puissant : entre 1 et 100 mW.

### b) Moyens d'émission

Il y a aussi différents moyens d'émission du faisceau qui déterminent la longueur d'onde :

- ♣ Les lasers émettant sur un mode continu : un obturateur en dehors de la cavité détermine le temps de tir. Ces lasers ont une puissance faible (de 1 à 10 W) et conduisent, après absorption des photons par le chromophore\*, à une action thermique ;
- ♣ Les lasers émettant en mode impulsionnel : le système de pompage du laser détermine le temps de l'impulsion, leurs puissances sont de l'ordre du kilowatt. Ils conduisent des applications thermomécaniques (usinage des matériaux et dermatologie) ;
- ♣ Les lasers émettant en mode déclenché : un Q-switch c'est-à-dire un permutteur optique\* est placé dans la cavité laser, et ouvre la cavité pour laisser passer le rayonnement quand l'inversion de population est maximale dans le milieu actif. Leurs puissances sont de l'ordre du mégawatt et conduisent à une action disruptive (explosion de la cible) ;
- ♣ Le faisceau des lasers émettant en mode déclenché et ceux qui émettent dans l'UV ou l'infrarouge (longueur d'onde supérieur à 3µm) sont transmis par un bras optique jusqu'au tissu biologique. Dans le cas des autres lasers, la transmission du faisceau est obtenue au moyen d'une fibre optique.

### c) Les grandeurs

D'autres grandeurs autres que la longueur d'onde caractérisent le faisceau laser :

- ♣ La puissance : elle s'exprime en Watt, elle est relative à la quantité de photon contenue dans

$$\text{le faisceau laser : } P = \frac{\text{énergie}}{\text{temps}} = \frac{\text{joules}}{s} = \text{watts}$$

♣ L'énergie : elle s'exprime en joules. C'est le produit de la puissance du faisceau et du temps d'exposition :  $E \text{ (joules)} = \text{puissance (Watts)} * \text{temps de tir (secondes)}$ .

♣ L'irradiance : elle s'exprime en Watts/cm<sup>2</sup>. Elle traduit une densité surfacique de puissance :

$$I = \frac{\text{puissance}}{\text{surface}} = \frac{\text{watt}}{\text{cm}^2}$$

♣ La fluence : elle s'exprime en joules/cm<sup>2</sup>. C'est une densité surfacique d'énergie. Elle est le produit de l'irradiance et du temps. La fluence est un élément très important de l'effet biologique. Une même valeur de fluence peut être obtenue avec des valeurs différentes d'irradiance et de temps d'exposition.

$$\text{fluence} = \frac{\text{puissance} * \text{temps}}{\text{surface}} = \frac{\text{watts} * \text{s}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{joules}}{\text{cm}^2}$$

### d) Lasers en dermatologie

Les lasers plus spécialement utilisés en dermatologie sont :

♣ Laser Co2 : Il fait partie des lasers à gaz. Il est surtout reconnu pour sa forte puissance (1 W à 1 kW). Ses caractéristiques exceptionnelles lui permettent de sectionner un tissu organique et d'empêcher le saignement au cours de la découpe. Le mélange gazeux est généralement constitué de CO<sub>2</sub> pour l'émission Laser, d'azote pour permettre l'excitation ou "pompage" et d'hélium pour désexciter et refroidir la cavité optique. Il émet à de nombreuses longueurs d'onde dans l'infrarouge mais est surtout utilisé à 9,4 et à 10,4 μm.

♣ Laser CO<sub>2</sub> fractionné : C'est un laser infrarouge à 10600 nm. Si les lasers CO<sub>2</sub> sont maintenant assez anciens, ils ont été améliorés grâce à une modification de la façon d'appliquer les impacts: le mode fractionné. Ce mode permet de laisser des intervalles de peau saine entre les impacts, ce qui permet une récupération très rapide et un délai de cicatrisation raccourci.

♣ Laser Nd:Yag : Ce laser utilise un barreau d'Yttrium Aluminium Garnet pour produire une lumière laser calibrée sur une longueur d'onde de 1064 nanomètres, dans l'infrarouge. Le laser Nd:Yag est un laser relativement polyvalent avec des capacités de pénétration en profondeur dans la peau. C'est notamment ce type de laser qui est utilisé à l'hôpital de Besançon (*annexe 1*). Les lasers YAG fonctionnent avec des temps d'exposition très brefs de l'ordre de la nanoseconde. Ce sont les lasers Q switch.

Parmi les lasers YAG, on distingue :

- *Laser KTP*: Il s'agit d'un laser Nd:Yag dans lequel on a ajouté un cristal qui a la propriété de diviser la longueur d'onde par 2. Le laser KTP émet donc une lumière de 532 nanomètres de longueur d'onde (Jaune vert) ;
- *Laser Erbium* : Les lasers Erbium constituent une variété de laser de type YAG. La lumière produite dispose d'une longueur d'onde de 2940 nanomètres. Les lasers Erbium-Yag sont à rapprocher des lasers CO2, notamment par leurs propriétés abrasives.
- ♣ **Laser Alexandrite** : Le laser alexandrite est basé sur la production de lumière à l'aide d'un cristal d'alexandrite. La lumière est calibrée pour une longueur d'onde bien précise de 755 nanomètres (rouge profond). Cette longueur d'onde, qui correspond à une couleur dans le rouge, est fortement absorbée par la mélanine de la peau et notamment celle du poil. La plupart du temps, le tir laser est couplé à un système de refroidissement par jet de gaz réfrigérant ou par soufflerie d'air froid. Il existe des catégories de lasers Alexandrite Q switch.
- ♣ **Laser Diode** : Il est basé sur la production de lumière par un composant électronique appelé diode. Il existe plusieurs types de diodes avec des longueurs d'onde différentes entre 800 et 900 nanomètres (infrarouge).
- ♣ **Laser Colorant pulsé** : Ils produisent leur rayonnement lumineux par stimulation d'un colorant liquide. Les lasers à colorants sont la plupart du temps 'accordables' entre 550 et 590 nm. Leur lumière est visible.

### III. Applications à la dermatologie

La médecine est également une des applications technologiques principales des lasers. En effet, en raison de leur précision directionnelle, les rayons laser servent à couper et à cautériser\* les tissus organiques, sans endommager les tissus sains environnants. Utilisés dans plusieurs branches de la médecine, par exemple en ophtalmologie pour les opérations de décollement de la rétine, une de leurs utilisations concerne la dermatologie.

#### 1. Définition de la dermatologie

La dermatologie est la branche de la médecine qui s'occupe de la peau, des muqueuses et des phanères (ongles, cheveux, poils,...).

La peau est constituée de trois couches superposées : sur l'hypoderme, qui assure la jonction avec les structures anatomiques sous-cutanées, repose le derme (ou chorion) tapissé par l'épiderme (fig.7).

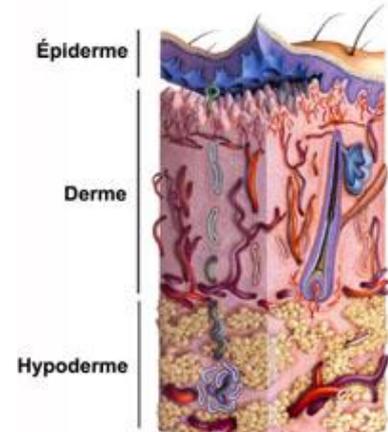


Figure 7 : schéma d'une coupe de peau

L'hypoderme comprend trois couches superposées : le panicule\* adipeux (tissu graisseux), la toile sous-cutanée (fascia superficialis) et le tissu celluleux sous-cutané.



Le derme, couche essentielle de la peau, lui confère sa résistance et son élasticité. Riche en fibres conjonctives, il contient les récepteurs des divers modes de la sensibilité extéroceptive\* et le collagène permettant son soutien, son extensibilité et sa résistance.

L'épiderme, ou couche superficielle recouvre le derme et reproduit la surface de la peau. C'est un épithélium pavimenteux stratifié kératinisé\* (cinq couches) fabriqué en permanence par la couche basale.

## 2. Les différents types de lasers et leurs applications en dermatologie

### a) Lasers vasculaires

#### ☞ Angiomes

Un angiome est une malformation vasculaire qui peut être congénitale, c'est-à-dire présente dès la naissance, ou acquise, lorsqu'elle apparaît par la suite.

On distingue trois types d'angiomes :

- ♣ L'angiome plan, classiquement appelé « tache de vin » : c'est une malformation congénitale des vaisseaux, de couleur rouge, sans relief, n'ayant pas tendance à diminuer dans le temps (*fig.8*) ;
- ♣ Les hémangiomes, autrefois appelés « angiomes immatures », sont caractérisés par des malformations vasculaires souvent complexes et d'épaisseur importante. Ils ont souvent tendance à régresser dans le temps. Leur prise en charge fait habituellement l'objet d'une décision pluridisciplinaire et le laser n'est envisagé que dans de rares cas, notamment en phase finale de régression ;
- ♣ Les angiomes stellaires : il s'agit de ces petites lésions vasculaires fréquentes apparaissant habituellement sur le visage, et qui ont la forme de petits vaisseaux dilatés en étoile autour d'une petite tache rouge vif. Ceux-ci sont classiquement traités par laser (*fig.9*).

*Figure 8 : Angiome plan*

Les angiomes peuvent avoir de fortes répercussions psychologiques, voire causer une véritable inadaptation sociale.

Comme ce sont des lésions vasculaires, le rayonnement laser doit être absorbé par la couleur rouge des vaisseaux (constitués par l'oxyhémoglobine\*). Le rayon laser, après avoir traversé la partie superficielle de la peau, est absorbé par les vaisseaux, ce qui entraîne une hausse de leur température. Il s'ensuit une rupture et une oblitération des vaisseaux qui seront alors progressivement résorbés par l'organisme.

Les lasers utilisés sont :

- ♣ le laser à colorant pulsé (LCP) pour le traitement des angiomes plans ; dans certains cas, les praticiens effectuent des compléments de traitement avec des lasers plus énergétiques, comme le laser YAG long pulse (*annexe5*);
- ♣ le LCP ou le laser KTP, de longueur d'onde de 532nm, spécifique de l'oxyhémoglobine pour le traitement des angiomes stellaires.



*Figure 9 : Angiome stellaire*

Le traitement d'un angiome plan est long, puisque six à huit séances espacées d'un minimum de trois mois (pour laisser à la peau le temps de cicatriser) doivent être réalisées pour obtenir un résultat optimal. Le résultat espéré varie d'un patient à l'autre et dépend essentiellement de la profondeur de l'angiome. Dans la majorité des cas, l'angiome disparaît. Dans d'autres cas, le résultat est moins significatif, mais permet cependant un éclaircissement notable de la malformation vasculaire. Le traitement d'un angiome stellaire est plus rapide et une à deux séances suffisent généralement.

*Figure 10 : Couperose*

Le prix de la séance dépend de la zone à traiter et varie de 80 à 120€.

### ∞ Erythrose et Rosacée

L'érythrose est une rougeur diffuse du visage, prédominant au niveau des joues, due à un dysfonctionnement de la circulation au niveau des capillaires\* superficiels de la peau (*annexe 6*).

La rosacée, connue aussi sous le nom de couperose, est une maladie cutanée qui se manifeste par une inflammation et des rougeurs sur le visage (nez, joue, menton, front) avec de petits vaisseaux sanguins apparents. Certaines rougeurs peuvent aussi atteindre le cou et le décolleté. Ces symptômes s'accompagnent d'une sensation de picotement, notamment au niveau des yeux. La couperose associe donc des vaisseaux dilatés (télangiectasies\*) sur un fond d'érythrose du visage (*fig.10, annexe 7*).



Le traitement laser permet d'obtenir une diminution de la densité vasculaire, par coagulation\* des vaisseaux. Cet effet est obtenu par des lasers sélectifs, qui coagulent à travers l'épiderme les vaisseaux du derme, sans effectuer d'altération de surface. L'érythrose et la couperose sont des lésions vasculaires, la longueur d'onde du laser doit donc se focaliser sur la couleur rouge des vaisseaux (*annexe 1*).

- ♣ Les lasers principalement utilisés sont :
- ♣ le laser à colorant pulsé ;

- ♣ le laser Yag Long Pulse, essentiellement utilisé pour le traitement des gros vaisseaux.

Le traitement d'une érythrose varie en fonction de la surface traitée : de 200 €/séance pour une petite zone, à plus de 400 €/séance pour une surface importante.

### ∞ Varicosités

Les varicosités des membres inférieurs sont des dilatations des petites veinules superficielles (*fig.11, annexe 8 et 9*).



*Figure 11 : Varicosités*

A cause de leur caractère inesthétique, elles sont un motif très fréquent de consultation dermatologique. Avant tout traitement, il est nécessaire de réaliser une exploration des axes veineux profonds des membres inférieurs : un écho-doppler\* permet de vérifier l'absence de trouble veineux plus profond. Le traitement reposant sur le principe de la photothermolyse\*, le laser idéal doit présenter les caractéristiques suivantes :

- ♣ une longueur d'onde mieux absorbée par l'hémoglobine et la désoxyhémoglobine que par les chromophores\* voisins ;
- ♣ une pénétration jusqu'à la profondeur du vaisseau sanguin visé ;
- ♣ une énergie suffisante pour endommager le vaisseau sanguin, mais sans léser l'épiderme ;
- ♣ une durée d'impulsion permettant de coaguler lentement le vaisseau sans léser les tissus voisins.

Traversant la peau, le rayon laser va entraîner une montée en température des vaisseaux, et celle-ci va provoquer sa coagulation par le biais d'altérations de la paroi, ou bien le fissurer lorsque cet échauffement est brutal.

Actuellement, les lasers les plus utilisés sont :

- ♣ laser à colorant pulsé (LCP à 585nm): pour les toutes petites varicosités ;
- ♣ laser Nd : YAG à impulsion longue à 1064nm : pour les plus gros vaisseaux ;
- ♣ laser KTP pulsé à 532nm (absorption favorable à l'hémoglobine).

Deux à trois séances espacées de six semaines sont à prévoir, le prix d'une séance, dépendant de la zone à traiter et du laser utilisé, varie de 150 à 220€.

### b) Lasers pigmentaires

#### ☞ *Tatouages*

Un tatouage est une inclusion volontaire ou accidentelle de pigment dans le derme ou l'hypoderme, laissant une trace visible et indélébile. Différentes techniques ont déjà été essayées pour enlever les tatouages (dermabrasion\*, électrochirurgie, excision chirurgicale, laser à CO<sub>2</sub>,...) mais toutes laissent des cicatrices.

Il existe deux types de tatouages :

les tatouages amateurs dans lesquels les pigments, distribués aléatoirement, s'étendent dans le derme profond et parfois dans l'hypoderme. Un tatouage amateur superficiel s'efface rapidement en un à trois passages lasers, alors qu'un tatouage profond est susceptible de laisser sous la peau des particules responsables de séquelles (*fig.12, annexe 10*).



*Figure 12 : Tatouage coloré*

les tatouages professionnels dans lesquels les dépôts de pigments sont denses et parfois capables d'atteindre le derme moyen. Un tatouage professionnel nécessite cinq à dix passages lasers.

Le laser pénètre la partie superficielle de la peau et interagit avec l'encre du tatouage. Celle-ci va être fragmentée et l'organisme va progressivement résorber l'encre dans les semaines qui suivent la séance. La rapidité et la qualité du détatouage sont essentiellement liées à la profondeur de l'encre mais également à la couleur du tatouage : les tatouages colorés sont problématiques et s'effacent difficilement (surtout le vert).

Le laser utilisé principalement est le laser Nd-Yag.

Le traitement s'effectue avec ou sans utilisation d'une crème anesthésiante. Le passage sur l'ensemble du tatouage est effectué en points jointifs ou se chevauchant légèrement. Un intervalle d'au moins deux mois entre deux séances doit être respecté afin de limiter le risque de séquelles cicatricielles. Ce délai peut être augmenté si une inflammation persiste. Au fur et à mesure de la disparition du tatouage, les fluences sont augmentées afin d'atteindre les pigments situés plus profondément. Cependant, l'utilisation trop précoce de fluences élevées peut conduire à d'importants phénomènes de cavitation\*. Toute exposition solaire est fortement déconseillée jusqu'à la résolution complète de l'érythème inflammatoire.

Le prix d'une séance de détatouage, pouvant aller de 70 à 180€, est fonction de la taille et de la nature du tatouage.

### c) Lasers dépilatoires

L'épilation est une technique très utilisée depuis ces dernières années. Elle est une avancée technique certaine dans la prise en charge de l'hyperpilosité.

Le principe de l'épilation laser est simple : la lumière laser réglée sur une longueur d'onde spécifique, détruit le bulbe du poil en se focalisant sur la mélanine\* qu'il contient. Le rayon traverse la partie superficielle de la peau sans faire de dégât et, lorsqu'il rencontre le poil en dessous, il y a une interaction rayon laser / pigment du poil avec libération de chaleur. Cette montée en température du poil détruit le follicule pileux (*annexe 11*).

Actuellement les lasers les plus utilisés sont :

- ♣ Le laser Alexandrite (755 nm) ;
- ♣ Le laser Yag Long Pulse (1064 nm) ;
- ♣ Il existe d'autres dispositifs correspondant à des lampes flash « filtrées » mais ce ne sont pas à proprement parler des lasers.

Il existe deux types d'épilation :

- ♣ Epilation à caractère médical : elle concerne des patients ayant une pilosité anormale du visage et du corps (hirsutisme), souvent associée à une anomalie hormonale. Cette dernière doit faire l'objet d'une évaluation et d'une éventuelle correction, conjointement au traitement laser de la pilosité ;
- ♣ Epilation à caractère de confort : l'épilation par laser est devenue maintenant un traitement standard pour traiter à titre de confort toute pilosité gênante chez les femmes (jambes, bikini, aisselles...) et chez les hommes souffrant d'une pilosité très dense.

L'efficacité du laser est maximale sur les peaux claires avec poils noirs. Pour les peaux plus mates, voire noires, un traitement est possible mais avec un dosage différent afin de ne pas abîmer la pigmentation de la peau, et dans ce cas il est préférable d'utiliser un laser plus sûr (YAG LP1064 nm). La zone doit être rasée environ 48h avant la séance, afin que le rayon laser puisse se focaliser sur les têtes d'épingles des poils qui auront commencé à repousser ; cependant la zone ne doit pas être épilée car les bulbes seront enlevés et le traitement laser serait inefficace. Le nombre de séances dépend de la zone à épiler et du type de poils, six à sept séances pouvant être nécessaires pour faire disparaître les poils les plus difficiles à atteindre.

A titre indicatif, une séance d'épilation des aisselles coûte environ 80€.

### d) Lasers d'abrasion cutanée

#### ☞ *Correction du vieillissement cutané*

Les rides se forment à la surface de la peau au cours du vieillissement, notamment à cause du relâchement cutané (perte des caractéristiques élastiques des tissus). Le resurfacing est un traitement par laser visant à obtenir une modification de la texture de la peau à partir d'une stimulation intense de celle-ci, permettant ainsi la correction d'un certain nombre de rides.

Le laser va entraîner d'une part une destruction superficielle de l'épiderme, et d'autre part un effet thermique dans la partie sous-jacente, le derme. Cette « agression maîtrisée » va entraîner une stimulation intense de la peau avec régénération de l'épiderme qui va prendre un aspect plus lisse, et densification du derme (formation de néo-collagène\*) qui va donner une meilleure tenue de la peau, permettant l'atténuation voire la disparition des rides (*annexe I2*).

Le laser utilisé est essentiellement le laser CO2 ultrapulsé, il associe l'ablation de l'épiderme à une reconstruction du derme contrôlée afin d'obtenir un collagène régénéré. Dans certains cas le laser Erbium peut être employé. Le traitement se déroule en clinique, sous anesthésie locale, il nécessite deux à trois sessions, espacées de six semaines environ.

Le tarif d'un resurfacing du visage complet est d'environ 400€ par séance.

#### ☞ *Cicatrices*

Une cicatrice est la partie visible d'une lésion du derme après que le tissu ait été réparé, à la suite d'une blessure ou d'une incision effectuée au cours d'une opération. Les cicatrices qui peuvent être traitées par laser sont les cicatrices d'acné à condition qu'elles ne soient pas trop en creux, ainsi que certaines cicatrices post-traumatiques (*fig.13, annexe 13*).

Le traitement consiste en une « laser-abrasion » qui réalise une destruction superficielle de l'épiderme permettant de corriger les imperfections cutanées.

Lasers utilisés :

- ♣ laser CO2 ;
- ♣ laser Erbium ;

- ♣ lasers fractionnés : le relissage par laser fractionné des cicatrices d'acné permet d'obtenir un résultat proche de la dermabrasion ou d'un peeling\* profond sans les risques et effets secondaires de ces techniques (risque de surinfection, plusieurs semaines d'éviction sociale...).

Le plan de traitement idéal s'adapte en fonction de l'état de la peau et des besoins du patient, généralement il nécessite deux à trois sessions espacées de six semaines.

Une séance de relissage du visage entier coûte environ 400€.

### e) Lasers de remodelage et de rajeunissement cutanés

Le remodelage est un réel traitement anti-âge qui vise à créer une restructuration du derme au niveau des fibres de collagène et d'élastine\*. Il permet ainsi d'améliorer les propriétés mécaniques d'élasticité et de fermeté de la peau. L'amélioration de surface qui en résulte au niveau du microrelief cutané participe à l'amélioration du teint, par une meilleure réflexion de la lumière. Le volume des rides est également diminué. Le laser va entraîner, à travers la peau, un effet thermique dans le derme. Cet effet thermique va stimuler la production de néo-collagène (par les fibroblastes) et induire des modifications du fonctionnement des glandes sébacées\* (*annexe 14*).

Lasers utilisés :

- ♣ les traitements par lumière pulsée (550-1000nm), mais les effets sont assez longs (dans un délai de trois à six mois) ;



*Figure 13 : Cicatrices d'acné*

- ♣ laser vasculaire, du type KTP, ou laser pulsé à colorant permet une action de remodelage par formation d'un néo-collagène ;
- ♣ les lasers à infrarouge ont directement une action dermique sur le fibroblaste, avec formation d'un néo-collagène (utilisés préférentiellement aussi pour les peaux pigmentées).

Le traitement se doit d'être peu ou pas douloureux, avec le minimum d'effets secondaires de façon à respecter une vie sociale active (les patients veulent pouvoir sortir juste après leur traitement laser sans marques apparentes sur leur visage). Le rythme des séances est d'un traitement toutes les quatre à six semaines, pour un total de quatre à cinq séances.

Le prix de la séance, qui varie en fonction de zone à traiter, est compris entre 90 et 180€ (*annexe 3, 4 et 15*).

## **IV. Lasers : Risques et précautions de sécurité**

Le rayonnement laser, potentiellement dangereux pour les tissus humains est toutefois utilisé en dermatologie, en essayant de minimiser les effets secondaires pour les patients. La dangerosité des lasers est liée à la cohérence des photons émis, qui induit une forte puissance de la lumière émise par unité de surface. Il faut savoir que sur les matières inertes, l'effet thermique du rayon laser risque d'abîmer les surfaces sur lesquelles il réfléchit et peut même être source d'incendie s'il y a contact avec des matières inflammables. Sur les tissus biologiques, le rayonnement laser est susceptible de causer des dommages du type : brûlures cutanées, brûlures de la cornée, kératoconjonctivites\*, brûlures voire trous dans la rétine. Pour garantir la sécurité des utilisateurs des lasers, il existe une série de normes qui répertorient les lasers en fonction de leur dangerosité ainsi que des lunettes spécifiques à chaque longueur d'onde à porter pour protéger les yeux, qui restent la zone la plus sensible aux rayons lasers (*annexe 16 et 17*).

### **1. Risques du rayonnement laser pour les tissus humains**

### a) Dangers pour la peau

Suivant la fréquence du rayonnement laser, la pénétration de l'onde dans la peau est plus ou moins profonde. L'effet thermique d'un rayonnement dépend aussi de la puissance délivrée par le laser et du type de pigmentation de la peau, la mélanine et l'hémoglobine jouant un rôle important dans l'absorption du rayonnement. Les effets d'un rayonnement laser sur la peau sont cependant moins importants que pour les yeux puisqu'il n'y a pas d'effet de concentration de la puissance (sauf en cas d'utilisation d'un élément optique externe de type loupe par exemple) et que la perception douloureuse est assez rapide. Les risques principaux encourus par la peau sont principalement de type thermique c'est-à-dire des brûlures, car l'épiderme ne peut supporter des densités de puissance calorique supérieures à quelques dixièmes de  $W/cm^2$  en permanence à quelques  $W/cm^2$  en impulsions. A titre d'exemple, l'été, au soleil par temps clair, la peau est soumise à  $0,14 W/cm^2$ . Les couches constitutives de la peau sont plus ou moins résistantes au rayonnement. Ainsi, les zones épaisses hyperkératosiques\* sont résistantes alors que les couches plus fines (derme) et plus proches de la surface sont fragiles.

Les lésions observées vont se manifester de différentes manières : les effets varient d'un érythème bénin (faible rougeur de la peau) à la phlyctène (ampoule ou cloque) ou une vasodilatation et une brûlure cutanée. Les rayonnements ultraviolets UVB et UVC ainsi que les infrarouge IRB et IRC sont les plus agressifs car ils sont fortement absorbés à la surface de la peau, voire plus profondément dans le cas du laser YAG. De même, l'exposition à des éclairages énergétiques particulièrement intenses, comme ceux émis dans l'infra rouge par certains lasers CO<sub>2</sub>, peut induire une lésion profonde susceptible d'atteindre l'os dans certains cas. En règle générale, plus la puissance du laser est importante, plus la profondeur de pénétration est grande et la dangerosité du laser augmentée.

### b) Effets secondaires éventuels liés aux opérations dermatologiques

Comme dans toute opération médicale, des effets secondaires sont à envisager à la suite d'une intervention dermatologique par laser. On retient principalement :

- ♣ La brûlure : elle survient le plus souvent avec un matériel mal réglé (trop fort) ou sur une peau dont le bronzage n'a pas été vu ou a été caché au praticien. Sauf exception, les brûlures laser sont du second degré superficiel. Bien traitée de façon précoce, elles évoluent traditionnellement bien sans laisser de séquelles ;

- ♣ La dépigmentation : elle survient après une brûlure, ou sur une peau bronzée lasérisée, ou sur tout type de peau. Les dépigmentations sur laser KTP ou colorant pulsé sont habituellement transitoires et disparaissent dans les semaines qui suivent l'acte. Ce délai est parfois plus long ;
- ♣ L'hyperpigmentation : il s'agit, le plus souvent, d'une réaction inflammatoire de la peau qui conduit à une surexcitation de la production de pigment (la mélanine). Il apparaît des taches brunes sur les zones lasérisées. La plupart du temps, les lésions sont réversibles et rentrent dans l'ordre en quelques mois. On peut aider et accélérer leur guérison par l'application de pommades dépigmentantes ;
- ♣ La cicatrice chéloïde ou hypertrophique : elle apparaît le plus souvent sur une cicatrice de brûlure. C'est une cicatrisation anormale par excès du processus de réparation. Ces cicatrices sont très rares avec les traitements de la couperose ;
- ♣ L'accident avec l'œil : Dans le cas où le praticien n'a pas pris la précaution pourtant indispensable de faire porter au patient des lunettes de sécurité, un simple impact sur la rétine peut entraîner la perte de l'œil (cf. risques des lasers l'œil).

Il faut aussi noter que les mêmes complications et risques qui existent pour la chirurgie conventionnelle sont aussi présents en chirurgie laser, et comprennent par exemple des réactions allergiques aux médicaments, des douleurs, des ulcérations, de la fièvre, des retards de cicatrisation. L'absence de résultat à la hauteur des espérances des patients est aussi un paramètre à ne pas méconnaître. L'expérience et l'honnêteté du médecin sont normalement là pour arrêter les frais et les séances avant qu'un contentieux n'apparaisse entre le traitant et le traité. Enfin, il est important de savoir qu'il existe toujours un risque d'effet temporaire comme une douleur immédiate, le rougissement de la peau, les ecchymoses et l'enflure. Cependant aujourd'hui certains lasers sont munis de dispositifs de refroidissement pour réduire ces risques.

## 2. Norme officielles de sécurités et Classification

### a) Normes

La mise au point des premiers lasers étant récente (1953), et le fait que la technologie évolue très rapidement pour des applications de plus en plus diversifiées explique en partie la faiblesse réglementaire tant en Europe qu'en France. Pour l'instant, le principal texte de référence est la norme NF EN 60825-1 « sécurité des appareils à laser, classification des matériels, prescription et guide de l'utilisateur » qui range les lasers en quatre classes de risques et dans laquelle on trouve aussi des définitions de termes techniques. Elle est référencée en France par les ministères du Travail, de la Santé et les Caisses Primaires d'Assurance Maladie. Tous les produits laser vendus en Europe doivent répondre à cette norme et comporter le marquage CE. D'autres normes spécifiques traitent des applications particulières des lasers. Il y notamment la norme NF EN 60601-2-22 « Appareils électro-médicaux. Partie 2 : règles particulières de sécurité pour les appareils thérapeutiques et de diagnostic à laser ».

### b) Limites de tolérance et classification

Des limites ont été définies à partir des paramètres de longueur d'onde et de temps d'exposition ou d'émission qui caractérisant les sources lasers afin d'assurer la sécurité du rayonnement laser : ce sont les EMP (Exposition Maximale Permises) et LEA (Limites d'Emission Accessibles).

Les EMP représentent le niveau maximal de rayonnement laser auquel les personnes peuvent être exposées sans subir de dommage immédiat ou à long terme. Cette exposition maximale permise est établie à partir des valeurs limites de densité d'énergie ou de puissance surfacique à admettre au niveau de la cornée et de la peau. Ces valeurs ont été obtenues en extrapolant à l'homme les résultats d'EMP obtenus sur des animaux (*fig. 14*) ;

LASERS	MODES DE FONCTIONNEMENT	E. M. P OEIL	E. M. P PEAU
Excimeres	Pulsé	30 J/m <sup>2</sup>	30 J/m <sup>2</sup>
He-Ne	Continu (t=2,25 s)	25 W/m <sup>2</sup>	3.10 <sup>4</sup> J/m <sup>2</sup>
Nd:YAG	Pulsé (t=1ms)	0,5 J/m <sup>2</sup>	9780 J/m <sup>2</sup>
CO <sub>2</sub>	Continu (t>10s)	1000 W/m <sup>2</sup>	1000 W/m <sup>2</sup>

Figure 14 : Exemples d'EMP pour différentes sortes de laser.

Les LEA (Limites d'Emission Accessibles) ont été définies selon la norme NF EN 60825-1/A2 : ce sont elles qui permettent de définir une classification des lasers en fonction des risques qu'ils présentent suivant leurs caractéristiques. Ces limites ont été établies sur des valeurs de puissance ou d'énergie que peut émettre le laser et qui sont accessibles à l'utilisateur, d'où l'acronyme LEA. Ainsi, chaque classe de laser possède un niveau maximal d'émission accessible à ne pas dépasser. Contrairement aux limites EMP, les LEA sont des limites basées sur l'émission laser alors que les EMP sont basées sur la réception de l'oeil ou de la peau d'une partie de cette émission directe ou réfléchi. Ces classes sont au nombre de quatre et ont été définies à partir de la norme européenne NF EN 60825-1/A2 et lorsque le laser est utilisé dans des conditions normales de fonctionnement.

On distingue :

- ♣ Classe 1 : Lasers intrinsèquement sans danger (pas de risque de dépassement des expositions maximales permises pour l'œil et la peau), ou sans danger du fait de leur conception technique. On peut les utiliser sans précaution particulière, mais il ne faut pas ouvrir leur capotage en cours de fonctionnement.
- ♣ Classe 2 : La classe 2 regroupe tous les dispositifs de faible puissance et dont la bande spectrale est comprise dans le spectre visible (400 à 700 nm de longueur d'ondes, et d'une puissance inférieure ou égale à 1mW). Les lasers de cette classe sont sans danger pour l'œil grâce à une protection naturelle de l'œil, le réflexe palpébral, c'est-à-dire le clignement de la paupière ; cependant une exposition prolongée peut entraîner un dépassement des valeurs limites.
- ♣ Classe 3 : Lasers de moyenne puissance, dont le rayonnement, visible ou non, est toujours dangereux pour l'œil sans toutefois que l'exposition momentanée de la peau n'entraîne de dommages. Cette classe est divisée en deux sous-classes : 3A et 3B qui diffèrent du fait que pour la classe 3B, les réflexions diffuses ou les sources étendues sont dangereuses (dans le cas le temps d'exposition est supérieur ou égal à dix secondes et si la distance minimale est inférieure à 13 cm) alors que pour la classe 3A, le risque est inférieur à celui présenté par les lasers de la classe 3B.

- ♣ Classe 4 : Ce sont les lasers de grande puissance, dont l'utilisation requiert des précautions extrêmes du fait des risques pour la santé, et des réflexions dangereuses qui peuvent provoquer des incendies. Tous les lasers de cette classe sont en effet dangereux pour l'œil, aussi bien en vision directe qu'en réflexions diffuses et provoquent aussi des dommages cutanés. Ainsi, leur utilisation exige une très grande précaution. A titre indicatif, la puissance continue émise par un laser de classe 4 est supérieure à 500 mW.

### c) Pratiques de sécurité

Une formation à la sécurité laser doit être obligatoire pour toute personne susceptible d'utiliser des lasers de classe supérieure à la classe 1. L'exploitation du laser doit avoir lieu dans un local suffisamment éclairé (cela limite l'ouverture des pupilles). Le sol doit être libre d'obstacle, et l'ouverture des locaux ne sera pas dans l'axe du laser, ni le faisceau à hauteur d'œil. Les surfaces réfléchissantes (miroirs, instruments métalliques...) seront éliminées.

Des panneaux d'avertissement doivent être également placés en évidence à l'entrée de la salle de soins et spécifier la longueur d'onde du laser en cours d'utilisation (*fig15, annexe 18 et 19*).

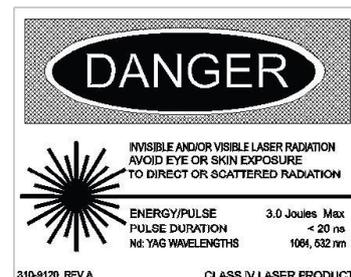


Figure 15 : Panneau de sécurité MedLite C6

De plus, les médecins doivent être formés plus largement à la manipulation et l'utilisation du laser. Ils sont susceptibles d'envisager des formations sous forme de stages pratiques, de cours spécifiques ou de formation accréditées dans le domaine de spécialisation du médecin. Certains types de formation peuvent être accessibles aux infirmières et personnel médical. Des formations plus spécifiques peuvent être apportées suivant le type de laser sur lequel le médecin va intervenir, notamment par l'entreprise fournissant le laser elle même. Par exemple, pour un laser à gaz ou à colorant, une formation sur les risques chimiques peut venir compléter la formation sur la sécurité laser.

La protection de sécurité pour utiliser les lasers comprend généralement la protection oculaire et parfois la protection cutanée. Les lunettes permettent d'atténuer suffisamment le faisceau laser de façon à avoir une exposition de l'œil toujours inférieure à l'EMP définie dans la norme. Elles sont spécifiques au laser utilisé puisqu'elles sont adaptées à la longueur d'onde émises par l'appareil, et à la densité maximale d'énergie. Cette protection est obligatoire lorsqu'il est impossible de canaliser par des moyens quelconques le faisceau laser et les éventuelles réflexions parasites (souvent le cas lors des expériences de laboratoire).

Les lunettes de protection sont elles aussi soumises à des normes de sécurité NF-EN 207 [ ] et NF-EN 208 [ ] selon si ce sont de simples lunettes de protection ou des lunettes de réglage laser. L'abréviation O.D. signifie « optical density », ou densité optique. Elle représente la capacité d'une protection oculaire à bloquer la lumière du laser. Les spécifications de densité optiques sont spécifiques à chaque laser étant donné qu'elles prennent en compte la longueur d'onde, la puissance et l'impulsion (*fig.16*).

De plus, une lunette de protection obéissant à la norme NF EN 207 doit être marquée de la manière suivante, avec la première lettre qui indique le type de laser :

- ♣ D pour les lasers continus,
- ♣ I pour les lasers à impulsions,
- ♣ R pour les lasers à impulsions géantes,
- ♣ M pour les lasers à modes bloqués.



*Figure 16 : Lunettes de protection*

Au vu de la dangerosité des lasers, il est nécessaire de respecter des consignes et normes de sécurité strictes pour leur utilisation en médecine.

## Conclusion

A l'issue de cette étude, il nous paraît indispensable de souligner que la technologie laser, pourtant assez récente, a permis de réaliser des opérations tout à fait spectaculaires en chirurgie dermatologique. Comme il allie précision, puissance et ciblage spécifique de la zone à traiter, l'outil laser est devenu une référence pour le traitement de multiples affections de la peau. De plus, nous nous sommes rendu compte que grâce à son potentiel de développement important, leur application en dermatologie est plus que jamais en plein essor à l'heure actuelle.

En ayant étudié le principe d'émission d'un rayon laser, répertorié les types de matériaux utilisés et cerné l'ensemble des traitements dermatologiques possibles nous avons mis en évidence les nombreux avantages de cette technologie pour la dermatologie. Par ailleurs, nous avons aussi compris en quoi la dangerosité du laser impose de respecter des consignes et normes strictes pour sécuriser leur utilisation en médecine.

A travers l'aboutissement de ce projet, nous avons eu un aperçu de l'importance du rôle crucial des ingénieurs biomédicaux en temps qu'intermédiaires entre la physique et la médecine. Pour finir, précisons que notre contact avec HoyaCon Bio France, fournisseur des lasers pour l'hôpital de Besançon nous a appris qu'un nouveau type de laser combinant deux faisceaux lasers de longueurs d'onde différentes pour une meilleure efficacité pourrait voir le jour dans quelque temps.

## Glossaire

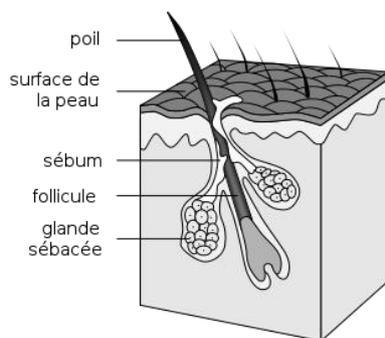
### II Le principe du laser

- ♣ **Photon** : En physique des particules, le photon est la particule élémentaire de masse nulle médiatrice de l'interaction électromagnétique. En effet, depuis le développement de la théorie de la nature corpusculaire de la lumière par Einstein, dans la conception actuelle de la lumière, les ondes électromagnétiques (dont la lumière visible fait partie, sont constituées de photons). Le concept de photon a donné lieu à des avancées importantes en physique expérimentale et théorique, notamment dans le domaine des lasers.
- ♣ **Constante de Planck** : Cette constante, portant le nom du physicien qui l'a mise en évidence, joue un rôle très important en mécanique quantique. Elle vaut  $h \approx 6,626\ 068\ 96 \times 10^{-34}$  J.s et est le coefficient de proportionnalité reliant la quantité d'énergie  $E$  d'un photon à sa fréquence  $\nu$  selon  $E = h * \nu$ . Elle sert à décrire les phénomènes de quantification qui se produisent pour les particules en mécanique quantique : les énergies de ces particules ne peuvent prendre que des valeurs multiples de valeurs fixes telles que la constante de Planck.
- ♣ **Etat fondamental** : En physique quantique, les états fondamentaux d'un système sont les états quantiques de plus basse énergie. Tout état d'énergie supérieure à celle des états fondamentaux est un état excité.
- ♣ **Chromophore** : un chromophore est une molécule colorée. Plus précisément, ce terme désigne le groupement d'atomes au sein de cette molécule qui est responsable de sa couleur. Cette propriété optique résulte d'une capacité à absorber l'énergie de photons dans une gamme du spectre visible tandis que les autres longueurs d'onde sont transmises ou diffusées.
- ♣ **Permutteur optique** : un permutteur optique est un dispositif optique placé dans la cavité laser, permettant d'attendre une inversion de population maximale avant d'ouvrir d'ouvrir la cavité et laisser passer les photons.

### III Applications à la dermatologie

- ♣ **Panicule adipeux** : masses graisseuses situées dans l'hypoderme et le tissu sous-cutané.
- ♣ **Sensibilité extéroceptive** : impressions tactiles, douloureuses, thermiques ou sensorielles recueillies à la surface du corps et perçues par certaines parties du système nerveux.
- ♣ **Epithélium** : tissu de recouvrement de la surface et des cavités internes de l'organisme.
- ♣ **Pavimenteux** : en forme de pavés.
- ♣ **Stratifié** : en strates.
- ♣ **Kératinisé** : qui contient de la kératine (protéine de structure de la peau, des cheveux, des poils et des ongles).
- ♣ **Cautérisation** : destruction d'un tissu vivant à l'aide d'un cautère (instrument destiné à brûler les tissus).
- ♣ **Oxyhémoglobine** : liaison de l'hémoglobine avec l'oxygène
- ♣ **Capillaires** : Les capillaires sont des fins et petits vaisseaux sanguins qui relient les veinules aux artérioles, fermant la boucle du réseau de la circulation sanguine. On les qualifie de « capillaires » par analogie avec les cheveux, du fait de leur extrême finesse.
- ♣ **Télangiectasie** : dilatation permanente des petits vaisseaux cutanés, elle peut avoir deux origines : acquise (due à un traumatisme ou à une radiothérapie) ou congénitale (due à une affection héréditaire). Les télangiectasies sont de couleur rouge à violet, et peuvent mesurer de quelques millimètres à quelques centimètres de long.
- ♣ **Coagulation** : transformation d'une substance organique liquide en une masse solide ou demi-solide, de consistance plus ou moins molle et gélatineuse.
- ♣ **Echo-doppler** : ou est un examen simple et indolore utilisant les ultrasons. L'effet Doppler permet de quantifier les vitesses circulatoires et l'échographie permet de visualiser les structures vasculaires. En pratique médicale l'écho-doppler est utilisé pour explorer le réseau artériel et le réseau veineux afin d'évaluer certaines pathologies : thrombose veineuse profonde (phlébite), varices,...
- ♣ **Photothermolyse** : c'est l'échauffement progressif des chromophores qui conduit à leur transformation ou à leur destruction

- ♣ **Dermabrasion** : En médecine, l'abrasion correspond à un enlèvement, une ablation ou un prélèvement par raclage ou frottement de certains tissus ou tumeurs. La dermabrasion est une abrasion cutanée, utilisée pour les lésions de la peau de cause traumatique (chute, accident,...)
- ♣ **Phénomène de cavitation** : formation de poches ou de bulles sous la peau
- ♣ **Mélanine** : la couleur de peau, des cheveux et des yeux de l'Homme dépendent du type et de la concentration de ce pigment.
- ♣ **Néo-collagène** : formation d'un nouveau collagène. Le collagène est une scléroprotéine (protéine simple existant dans les tissus de soutien et les phanères) du tissu conjonctif, présenté sous forme de fibres.
- ♣ **Peeling** : technique de médecine esthétique destinée à régénérer la peau du visage pour lui donner un coup d'éclat. Par des substances chimiques, on élimine les cellules mortes de l'épiderme. L'organisme va alors réagir en lançant la fabrication d'une "nouvelle peau" pour remplacer celle qui a été "agressée".
- ♣ **Elastine** : protéine qui possède des propriétés élastiques. Sa synthèse diminue avec l'âge et l'élastine se trouve remplacée par du collagène inextensible, ce phénomène apparaît lors du vieillissement cutané par exemple.
- ♣ **Glandes sébacées** : glandes sécrétant le sébum qui lubrifie le poil, elles débouchent dans la partie supérieure du follicule pileux.



Coupe de peau présentant des glandes sébacées

[source : Wikipédia]

#### IV Risque, sécurité

- ♣ **Zone hyperkératosique** : l'hyperkératose est le groupe des affections de la peau caractérisées par une hyperplasie (formation d'un tissu pathologique aux dépens d'un tissu sain) de la couche cornée de l'épiderme.
- ♣ **Sens chromatique** : vision des couleurs.
- ♣ **Œdème** : infiltration séreuse de divers tissus et en particulier du tissu conjonctif du revêtement cutané ou muqueux. Envahissement des tissus par un liquide organique qui a l'apparence du sérum.
- ♣ **Kératoconjonctivite** : inflammation de la cornée et de la conjonctive (muqueuse mince et transparente recouvrant la face postérieure des paupières).
- ♣ **Photokératite** : altération du tissu cornéen.
- ♣ **Conjonctivite** : inflammation de la conjonctive.

## Bibliographie

- ♣ [1] Docteur VAN LANDUYT H. LES LASERS EN DERMATOLOGIE, cours magistral, ISIFC, Besançon, 2010, 5 p.
- ♣ [2] Emission C'EST PAS SORCIER, documentaire télé-diffusé le 04/09/2008.
- ♣ [3] DAHAN S. et MICHAUD T. avec la participation du Groupe Laser de la Société Française de Dermatologie. Les lasers en dermatologie. DOIN, 295p. ISBN : 2-7040-1151-6
- ♣ [4] DAHAN S. et MICHAUD T. avec la participation du Groupe Laser de la Société Française de Dermatologie. Les lasers en dermatologie [CD-ROM]. Groupe liaison SA.
- ♣ [5] BOUISSOU, X ; DAHAN, S ; DUPIN, P. Les lasers en dermatologie. 1<sup>re</sup> éd. Paris : ARNETTE S.A., 1992. ISBN 2-7184-0625-9
- ♣ [6] BENOLIEL S. Le laser en dermatologie et esthétique. PAUF. Collection Que sais je ? ISBN: 2 13 049602 4.
- ♣ [7] VAN LANDUYT H., BLANC D., MEJAT F, BOUGAUD A., LAURENT R., HUMBERT P., AUBIN F. Laser Nd :YAG G-Switched MedLite II et MedLite C6 : 10 ans d'expériences. Se former Pratique dermatologique.
- ♣ [8] DANDLIKER, R. Les Lasers, principe et fonctionnement. 2<sup>e</sup> éd. Lausanne : Presse polytechniques et universitaire romandes, 1996, 77p. ISBN 2-88074-297-8.
- ♣ [9] DOCTEUR PHILIPPE ABIMELEC : Traitement laser [en ligne].Disponible sur <[http://www.abimelec.com/traitement\\_laser.html](http://www.abimelec.com/traitement_laser.html)>

- ♣ [10] J.M.MARCQ : Le laser [en ligne]. Disponible sur <[http://pagesperso-orange.fr/didier.hottois/laser/LE\\_LASER.htm](http://pagesperso-orange.fr/didier.hottois/laser/LE_LASER.htm)>
- ♣ [11] FOREY NICOLAS. Rosacée Mise au point, protocole catapressan Etude clinique. Thèse en Pharmacie. Besançon : Faculté de Médecine et Pharmacie de Besançon, 1992, 158 p.
- ♣ [12] MASHAAL M. - Laboratoire Kastler Brossel [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.lkb.ens.fr/recherche/atfroids>> (consulté le 03/03/2010).
- ♣ [13] INSA LYON – Eurinsa [en ligne]. Disponible sur : <<http://eurserveur.insa-lyon.fr/LesCours/physique/AppPhysique/approphys/9Math&Phys/Laser/fonctionnement.html>> (consulté le 17/03/2010).
- ♣ [14] HO C. et WANGRANGSHIMAKUL S. - Ecole centrale de Paris [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.etudes.ecp.fr/physique/illustrations/laser.htm>> (consulté le 24/02/2010).
- ♣ [15] LASERS DERMATOLOGIQUES LYON – Épilation laser à Lyon et détatouage, traitement couperose, taches, rides, cellulite [en ligne]. Disponible sur <<http://www.lasers-dermatologiques.com>> (consulté le 24/02/2010).
- ♣ [16] CENTRE LASER DIJON – Technologies laser à usage médical, Traitements lasers dermatologiques, Épilation laser [en ligne]. Disponible sur <<http://www.centrelaserdijon.com/intro/index.php>> (consulté le 12/02/2010).

- ♣ [17] DR HAYOT B. Tout savoir sur les progrès du laser en esthétique, chirurgie, dermatologie, rides, paupières, bouche, etc. Edition Favre. Lausanne : Editions Favre SA Lausanne, 1998, 144p. ISBN : 2-8289-0558-6
- ♣ [18] LASER DERMATOLOGIQUE SAINTE ODILE – Strasbourg, Dermatologues spécialistes du traitement laser des pathologies cutanées [en ligne]. Disponible sur <http://www.laserdermato67.com>
- ♣ [19] GOLDBERG D.J., DOVER J.S., ALAM M. Lasers et lampes Pratiques cliniques. Edition Elsevier, mars 2006, 295p. (Collection avancées en dermatologie cosmétique) ISBN 2-84299-742-5
- ♣ [20] ASFODER – Association des dermatologues de Franche-Comté [en ligne]. Disponible sur <http://www.asfoder.net> > (consulté le 03/03/2010).
- ♣ [21] SULIMOVIC L. [en ligne]. Disponible sur : [http://www.clubortho.fr/cariboost\\_files/main\\_20et\\_20laser.pdf](http://www.clubortho.fr/cariboost_files/main_20et_20laser.pdf)
- ♣ [22] LELEK M. – Institut Pasteur – OPI. Lasers et optique non linéaire Sécurité laser [en ligne]. Disponible sur : [http://prn1.univ-lemans.fr/data/application/bdd\\_opi/publisCours/OPI\\_fr\\_M01\\_C02/co/M1G2.html](http://prn1.univ-lemans.fr/data/application/bdd_opi/publisCours/OPI_fr_M01_C02/co/M1G2.html)
- ♣ [23] HEE G et MEREAU P. avec DORNIER G. - Institut national de recherche et de sécurité [en ligne]. Disponible sur : < [http://www.inrs.fr/htm/les\\_lasers.html](http://www.inrs.fr/htm/les_lasers.html) > (consulté le 24/02/2010)

## Table des illustrations

♣ *Figure 1 : Schéma de la lumière cohérente*

[<http://www.dsgentreprise.fr/manu/principe.html>]

♣ *Figure 2 : Absorption*

[[http://prn1.univ-lemans.fr/prn1/siteheberge/optique/M1G1\\_FBalembois/co/Contenu\\_05.html](http://prn1.univ-lemans.fr/prn1/siteheberge/optique/M1G1_FBalembois/co/Contenu_05.html)]

♣ *Figure 3 : Emission stimulée*

[[http://prn1.univ-lemans.fr/prn1/siteheberge/optique/M1G1\\_FBalembois/co/Contenu\\_05.html](http://prn1.univ-lemans.fr/prn1/siteheberge/optique/M1G1_FBalembois/co/Contenu_05.html)]

♣ *Figure 4 : Le phénomène d'émission de photon par désexcitation*

[[http://pagesperso-orange.fr/patrick.kohl/images/spectro\\_oem/spectro\\_2\\_10.gif](http://pagesperso-orange.fr/patrick.kohl/images/spectro_oem/spectro_2_10.gif)]

♣ *Figure 5 : Schéma de principe d'un laser*

[<http://www.lkb.ens.fr/recherche/atfroids/tutorial/index2.htm>]

♣ *Figure 6 : Exemple d'un système à trois niveaux avec pompage*

[[http://prn1.univ-lemans.fr/prn1/siteheberge/optique/M1G1\\_FBalembois/co/Contenu\\_08.html](http://prn1.univ-lemans.fr/prn1/siteheberge/optique/M1G1_FBalembois/co/Contenu_08.html)]

♣ *Figure 7 : Schéma d'une coupe de peau*

[<http://lessecretsdedamenature.unblog.fr/files/2008/06/peau1.jpg>]

♣ *Figure 8 : Angiome plan*

[[http://www.laserdermato68.org/fileManager/get/3/\\_bmpnalc0.jpg](http://www.laserdermato68.org/fileManager/get/3/_bmpnalc0.jpg)]

♣ *Figure 9 : Angiome stellaire*

[<http://www.fascicules.fr/data/image/gastroenterologie-cirrhose-angiomes-stellaires-79W1jAB8yg.jpg>]

♣ *Figure 10 : Couperose*

[<http://www.laserdermato67.com/img/illu-laser/couperose-laser-avant.jpg>]

♣ *Figure 11 : Varicosités*

[[http://christian.mougeolle.free.fr/img/VaT\\_026.jpg](http://christian.mougeolle.free.fr/img/VaT_026.jpg)]

♣ *Figure 12 : Tatouage coloré*

[<http://www.le-tatouage.com/medias/tatouages/maxi/dragon-colore.jpg>]

♣ *Figure 13 : Cicatrices d'acné*

[<http://www.aquadesign.be/im/news/images/img-3849.jpg>]

♣ *Figure 14 : Tableau : exemples d'EMP pour différentes sortes de laser*

[image personnelle]

♣ *Figure 15 : Panneau de sécurité MedLite C6*

[p18 du document 'MedLite\_C6\_Op\_Manual\_Rev\_C1\_FR.pdf' fourni par la société Hoya ConBio France]

♣ *Figure 16 : Lunettes de protection laser*

[[http://www.asphalt.ag/uploads/tx\\_templavoila/52022..jpg](http://www.asphalt.ag/uploads/tx_templavoila/52022..jpg)]

## **Table des annexes**

**Annexe 0 : Notre méthodologie**

**Annexe 1 : Compte rendu de l'entretien avec Hervé VAN LANDUYT, docteur en dermatologie.**

**Annexe 2 : Différentes applications technologiques des lasers**

**Annexe 3 : Caractéristiques générales essentielles de lasers médicaux**

**Annexe 4 : Classification des lasers en fonction de leur longueur d'onde et application dermatologique**

**Annexe 5 : Traitement par laser à colorant pulsé de l'angiome plan : photographies avant et après traitement**

**Annexe 6 : Traitement par laser à colorant pulsé d'une érythrose faciale : photographies avant et après traitement**

**Annexe 7 : Traitement par KTP de la couperose : photographies avant et après traitement**

**Annexe 8 : Traitement par LCP de varicosités : photographies avant et après traitement**

**Annexe 9 : Traitement par laser Nd YAG de varicosités : photographies avant et après traitement**

**Annexe 10 : Détatouage par laser pigmentaire : photographies avant et après traitement**

**Annexe 11 : Epilation par laser LFP : photographies avant et après traitement**

**Annexe 12 : Resurfacing : photographies avant et après traitement**

**Annexe 13 : Traitement de cicatrice par laser Erbium-Yag : photographies avant et après traitement**

**Annexe 14 : Remodelage : photographies avant et après traitement**

**Annexe 15 : Autres méthodes de traitement des pathologies détaillées**

**Annexe 16 : Dangers du rayonnement laser pour les yeux**

**Annexe 17 : Etat des lieux des risques liés au laser**

**Annexe 18 : Panneaux de sécurité**

**Annexe 19 : L'étiquetage du matériel laser**

### **Annexe 0 : Notre méthodologie**

Pour compléter les informations trouvées sur internet ou dans des livres, nous avons décidé de rencontrer des professionnels qui sont plus à même de nous expliquer comment ils utilisent un laser, comment se déroulent les séances,...

Après avoir trouvé sur internet un cours du docteur Hervé Van Landuyt traitant des Lasers en Dermatologie dispensé aux 2<sup>ème</sup> années de l'ISIFC, nous l'avons contacté par mail. Il nous a envoyé des documents complémentaires et nous a proposé de venir un après-midi pour assister aux séances de laser.

Nous avons également contacté Thomas Lihoreau, ingénieur biomédical au service de Dermatologie de l'hôpital Saint Jacques de Besançon. Il nous a conseillé un ouvrage de référence, nous a apporté de précieux renseignements et nous a proposé d'apporter quelques corrections à notre rapport. Il souhaiterait pouvoir utiliser notre rapport comme un référentiel des pathologies traitées par laser dans le service de Dermatologie.

Thomas Lihoreau nous a également donné des contacts dans les différentes entreprises qui fournissent les lasers à l'hôpital de Besançon. Ainsi, nous avons notamment pu communiquer par mails avec la société HoyaCon Bio France qui nous a donné accès à la documentation technique des lasers de l'hôpital de Besançon.

**Annexe 1 : Compte rendu de l'entretien avec Hervé VAN LANDUYT, docteur en dermatologie.**

Nous avons eu la chance de pouvoir rencontrer le Docteur Van Landuyt à l'hôpital Saint Jacques de Besançon l'après midi du 19 avril 2010. Au cours de notre entrevue, nous avons pu parler concrètement de la technique laser puisque nous avons eu l'autorisation d'assister à des séances de traitement au laser de différentes pathologies.

Tout d'abord, il faut savoir que le département de Dermatologie de Besançon dispose de deux lasers à usage dermatologique.

Voici un compte rendu de ce que nous avons pu retenir d'intéressant lors de cet entretien.

**Aspect technique**

Les dermatologues utilisent à Besançon un laser Q-switched Nd : YAG 1064-532 qui appartient à la première génération de laser. Il peut émettre plusieurs longueurs d'onde qui délivrent chacune des quantités d'énergie spécifiques : ce type de laser émet à 1064 nm mais en doublant sa fréquence, on obtient une longueur d'onde de 532 nm. A 532 nm, on traite les lésions pigmentées brunes ou noires (lentigo solaires ou taches café au lait) alors qu'à 1064 nm, c'est le traitement de référence pour les détatouages noirs et pour les poils ou duvets foncés.



*La salle du laser YAG, et les lunettes de protection associées*

## Les lasers en dermatologie



*Laser YAG de marque MedLite C6*

En pratique, après un temps de préchauffage qui peut prendre plusieurs minutes (initialisation de l'ordinateur), le chirurgien utilise une pédale à pied pour mettre en route le laser et il est nécessaire de l'éteindre à chaque fois entre deux interventions.

Le 2<sup>ème</sup> laser utilisé à Besançon est un laser fonctionnant à la longueur d'onde de 532 nm (couleur rouge). Ce type de laser évolue rapidement. Il est commandé par une pédale pneumatique.



*Laser et sa pédale pneumatique*

## Les lasers en dermatologie

Les effets secondaires sont à ne pas négliger avec ce type de laser : il est plus agressif donc plus dangereux.

Remarque 1 : Les lasers dont le bras mécanique est un tube (présence de miroirs pour propager le faisceau) sont plus puissants pour conduire le faisceau que ceux avec fibres optiques :



*Bras mécanique*



*Bras optique*

### **Aspect économique**

- Le prix du laser YAG de Besançon est de 85 000 dollars, et à titre indicatif, celui ci date d'il y a 3ans.
- Les coûts des opérations varient de 80 euros la séance pour un tatouage ancien et profond à 60 euros pour un jeune tatoué depuis moins de trois ans, sachant qu'1/3 du prix de l'opération est reversée au CHU.
  
- Les opérations laser les plus chères sont celles qui traitent les rides et les poils, viennent ensuite celles contre la couperose puis enfin les détatouages.

### **Aspect médical**

Le principe d'une opération laser, que nous avons largement développé plus haut nous a néanmoins été rappelé succinctement : le laser « efface » les tatouages en allant agir sur la zone même où se situe le tatouage, le derme, en dessous de l'épiderme. Comme il a été dit plus haut, le laser C6 cambio (YAG) est utilisé principalement pour les tatouages à la longueur d'onde de 1064 nm ainsi que pour les taches (à 532 nm). Avec ce laser, on chauffe simplement la peau : on va profondément dans le derme, mais de manière assez douce. Et lorsqu'on augmente le spot de la pièce à main, on va plus profond.

Nous avons ainsi assisté à une dizaine d'opérations de détatouage, et grâce aux commentaires et explications de M. Van Landuyt, nous avons pu particulièrement bien suivre la technique et le protocole de ces opérations. Les patients étaient très différents les uns des autres, nous avons vu un jeune homme avec une feuille de cannabis tatouée sur le torse, un monsieur avec un visage féminin dans le dos, un autre homme avec des tatouages amateurs sur les bras... Cette variété de patients nous a permis de poser les questions associées à chaque cas pour avoir une vision la plus complète de la technique.

## Les lasers en dermatologie

Avec le second laser qui est plus puissant, on a développé un système de refroidissement de la peau en parallèle avec l'émission du faisceau et qui permet d'atténuer la sensation de brûlure pour que le médecin puisse appliquer une dose encore plus forte. Il est donc normal que les patients ressentent une forte sensation de chaleur après la séance.

Les opérations réalisées avec ce laser ce jour là étaient principalement des traitements anti rougeur ainsi que du remodelage pour des femmes. Pour les rougeurs, les dermatologues utilisent aussi le 2<sup>ème</sup> laser qu'ils possèdent à 532 nm (longueur d'onde coupée en deux), ce qui correspond bien au ciblage de la couleur rouge. Ce laser, particulièrement agressif provoque le « boudinage » de la peau de la patiente à tel point qu'il est préférable de ne pas l'utiliser sur le cou.

Après plusieurs traitements, on a fini par remarquer un effet anti ride du au gonflement provoqué par la séance. Historiquement, c'est ainsi que l'on a découvert la possibilité de faire du remodelage. Le principe est simple : il suffit d'échauffer le derme pour l'étirer et effacer les rides.

Une fois de plus, on travaille ici à la frontière entre l'esthétique et la médecine. En effet, on va de plus en plus loin en prenant des risques pour l'esthétique.

Remarque 1 : Ne pas confondre l'érythrose qui désigne un fond rose global du visage alors que la couperose est la dilatation des petits vaisseaux du visage.

Remarque 2 : L'alcool étant un vasodilatateur, de même que les épices, leur consommation entraîne inévitablement une hausse des rougeurs.

## Les lasers en dermatologie

Nous nous sommes aussi rendus compte de l'étendue des utilisations possibles des lasers lorsque nous avons assisté à l'opération d'un patient atteint d'une pathologie assez particulière : ayant été atteint par un cancer de la peau sur la joue, ce patient a été traité par greffe de peau après l'ablation de la tumeur. Cependant, la capsule n'évoluant pas très bien, il a besoin d'un traitement laser pour atténuer la cicatrice boursouflée et colorée qu'il a sur la joue et qui est due à une mauvaise réaction d'hypervascularisation. Le but du laser est de brûler les vaisseaux en trop pour diminuer l'importance de la cicatrice. Cette opération a été particulièrement impressionnante pour nous. Comme soin post opératoires, ce monsieur pourra refroidir la zone si la sensation de chaleur persiste et mettre de la crème anti rougeur à volonté.

Remarque 3 : Concernant l'épilation, aucun laser n'est strictement définitive car la base du poil est située trop profondément dans le derme, par conséquent, il faudrait une trop forte dose de laser pour brûler la base du poil.

Remarque 4 : La peau des patients qui subissent un traitement laser ne doit pas comporter de trace de bronzage. De plus, elle ne doit absolument pas être exposée au soleil après l'opération. Les lasers ne sont en fait utilisés que 5 à 6 mois par an seulement puisqu'aucune opération n'est réalisée en été. D'ailleurs, les premières précautions à prendre juste après l'opération est de s'enduire de Biafine®, ce que le dermatologue n'a pas manqué de rappeler à chaque patient.

Remarque 5 : Le docteur a tenu à préciser que le risque était assez faible pour le chirurgien de se faire des lésions cutanées avec le laser car le faisceau est très directionnel ; cependant le risque pour les yeux est réel et c'est pour cela qu'on porte toujours des lunettes spécifiques lorsque le laser est en fonctionnement. Nous avons donc du utiliser deux paires de lunettes différentes, selon que nous assistions à une opération avec l'un ou l'autre des appareils.

### **Conclusion** : la voix des praticiens

Selon M. Van Landuyt, à Besançon, les dermatologues disposent avec l'équipement décrit ci-dessus du meilleur plateau technique de France, ce qui est une véritable aubaine pour l'innovation et la recherche dans ce domaine. A titre indicatif, nous voulons signaler que c'est M Bougaud, ingénieur au service biomédical de Besançon, et que nous avons déjà eu l'occasion de rencontrer cette année, qui est chargé de gérer l'achat de nouveaux lasers pour le CHU.

En ce qui concerne l'aspect technique, les médecins comme M. Van Landuyt jugent en général inutile d'essayer de miniaturiser les appareils, ceux-ci ne les encombrant pas spécialement ; et cela leur paraît vain, notamment car la présence d'un ventilateur volumineux est indispensable.

D'un point de vue juridique, le docteur regrette que la prévention sur les désagréments liés au détatouage soient trop souvent minimisés par les médias. En effet, le fait que cette pratique se banalise a tendance à pousser la population, et notamment les jeunes à franchir le pas du tatouage sur un coup de tête, et à le regretter par la suite. Dans cette optique, il se pourrait qu'une loi soit envisagée, obligeant le tatoueur à laisser au client un délai de quinze jours après avoir réalisé un tatouage non permanent, pour qu'il prenne le temps de réfléchir avant que le tatouage définitif ne soit fait. En effet, il n'est pas rare que des patients viennent demander aux dermatologues un détatouage dans les jours, voire les heures qui suivent le tatouage.

D'un point de vue humain et sociétal, M. Van Landuyt nous a parlé d'un reportage qui a été diffusé sur TF1 il y a quelques mois et à propos duquel son avis est particulièrement réservé. En effet, les journalistes, après avoir présenté la technologie et la chirurgie au laser, ont laissé sous entendre que l'accès à ces soins étaient simples, efficaces et sans douleur ni complications. Or, les traitements dermatologiques au laser ne sont pas anodins ni magiques et l'audimat a été largement induit en erreur par ces propos présentant le laser comme une pratique banale et accessible à tous, alors que nous avons vu au cours de notre étude qu'il n'en est rien. Il y a donc une nécessité de remettre les choses en place quant à la vision des gens au sujet des lasers.

## Les lasers en dermatologie

Enfin, l'été approchant, nous voulons préciser que le docteur Van Landuyt tient tout particulièrement à insister sur le rôle phare de la prévention pour la protection solaire. Les statistiques sont claires : une personne toutes les 6 heures meurt d'un cancer de la peau (mélanome) et ce chiffre ne cesse d'augmenter. Cela préoccupe beaucoup de nombreux praticiens, dont spécialement les dermatologues qui opèrent au laser puisqu'ils sont amenés à traiter au laser des cicatrices d'opération de cancer de la peau. Leur seule arme est la sensibilisation du grand public, d'où le message que souhaitent faire passer les professionnels de la santé : l'exposition au soleil n'est pas anodine et toute exposition doit être efficacement protégée par un chapeau, la crème solaire seule n'étant pas efficace.

*NB : Toutes les photos présentées dans cette annexe ont été prises le jour même (19/04/2010) par Maxime Billon, membre du trinôme avec l'autorisation du docteur Van Landuyt.*

## **Annexe 2 : Différentes applications technologiques des lasers**

**Le rayonnement laser est un outil largement utilisé dans de nombreux domaines technologiques et de la vie quotidienne. En voici quelques exemples :**

**L'Industrie :** Les rayons laser permettent de focaliser une forte puissance rayonnante sur une petite surface. Ils sont ainsi utilisés pour chauffer, fusionner ou vaporiser la matière.

**La Géodésie :** La faible dispersion spatiale des rayons laser et leur grande précision temporelle permettent de les utiliser pour mesurer des distances, à la manière des ondes radar. Le temps du trajet aller-retour du rayon laser permet de mesurer les distances au centimètre près.

**La Recherche Scientifique :** Dans les accélérateurs de particules, des commutateurs très rapides activés au laser sont en cours de développement. Le caractère monochromatique et hautement directionnel des rayons laser permet en effet de sonder la structure moléculaire de la matière, en mesurant les infimes décalages spectraux des rayons laser réfléchis à son contact.

**La Physique des Ultra-basses Températures :** Des faisceaux laser sont utilisés en recherche, notamment en physique des ultra-basses températures pour refroidir des atomes à des températures avoisinant le zéro absolu.

**Les Télécommunications :** Comme toute onde, le rayonnement laser peut être modulé en signal et servir aux télécommunications. En raison de sa fréquence élevée, le rayonnement laser est capable de véhiculer 1000 fois plus de canaux de télévision que les ondes micrométriques. Au sol, les fibres optiques véhiculent également les chaînes de radio, de télévision et les données informatiques.

**La Technologie Militaire :** Des systèmes de guidage à laser ont été développés pour les missiles, les avions et les satellites. Des canons laser de très haute énergie ont également été proposés comme nouvelle classe d'armement.

**Les Arts :** Grâce à ses impulsions lumineuses puissantes autant que brèves, le laser se prête à la photographie et en holographie. Le laser permet aussi des applications spectaculaires dans les arts scéniques et est parfois utilisé pour nettoyer la façade de certains monuments historiques.

**La médecine :** La médecine est également une des applications technologiques principales des lasers. En effet, en raison de leur précision directionnelle, les rayons laser servent à couper et à cautériser\* les tissus organiques, sans endommager les tissus sains environnants. Utilisés dans plusieurs branches de la médecine, par exemple en ophtalmologie pour les opérations de décollement de la rétine, c'est bien sur leur application à la dermatologie qui nous a intéressés tout au long de ce projet.

**Annexe 3 : Caractéristiques générales essentielles de lasers médicaux**

Tableau 2 - Caractéristiques générales essentielles de lasers médicaux					
Matériau actif	Longueur d'onde (en nanomètres)	Régime : continu ou pulsé	Cadence des impulsions	Énergie ou puissance	Utilisation
Excimères (*)	190 à 350, 248, 308	pulsé	1 à 400 Hz	100 mJ à qqes joules	angioplastie, ophtalmologie
Vapeurs métalliques (or), plasma	511 et 578 Or : 628	pulsé	10 kHz	5 à 20 W	dermatologie, chirurgie plastique, photothérapie
Hélium - Néon	632	continu		0,1 à 50 mW	acupuncture, médecine sportive et esthétique, rhumatologie, auriculothérapie, dermatologie, traumatologie
Argon krypton (plasma)	488 - 515 - 647 - 976	continu		0,1 à 20 W	dermatologie, pompage de laser à colorant, ophtalmologie, photocoagulation, chirurgie plastique
Monoxyde de carbone CO	5 300	continu		1 à 20 W	ORL, gynécologie, dermatologie, odontologie
Dioxyde de carbone CO <sub>2</sub>	10 600	pulsé - continu	10 kHz	100 J à 100 W	cardio-vasculaire, ORL, dermatologie, gynécologie, chirurgie plastique, gastrologie, odontologie
Yag - Erbium	2 930	pulsé	quelques Hz	10 J.cm <sup>-2</sup>	dermatologie, effets combinés des lasers CO <sub>2</sub> et excimères, ophtalmologie
Yag doublé avec cristal de Kr	532	pulsé - continu	1 à 50 Hz	1 à 120 W	dermatologie
Rubis	694	pulsé	quelques Hz	10 ou 50 mJ	photolithotritie, dermatologie, destruction des calculs rénaux
Diodes lasers	850	pulsé - continu		quelques W	ophtalmologie, angioplastie
Yag - Néodyme doublé avec cristal KDP, KTP	1 064 532 (doublé en fréquence)	pulsé - continu	1 à 50 Hz	1 à 60 W	ORL, gynécologie, urologie, neurologie, chirurgie générale, odontologie, ophtalmologie, dermatologie
Titane saphir	700 à 1 070 - Doublé : 350 à 535	pulsé - continu	1 à 50 kHz	quelques mJ - 1 W	photothérapie
Yag - Holmium	2 100	pulsé	1 à 5 Hz	0,5 à 100 J.cm <sup>-2</sup>	lithotritie
Colorants	320 à 1 200 surtout : 504 et 630	pulsé - continu		quelques W	photolithotritie, photothérapie, dermatologie, photochimiothérapie, photocoagulation

(\*) Excimères = contraction de « Excited dimers » : molécules dimères excitées (ou exiplexes). Cette définition repose sur le fait que ces dimères n'existent que dans un état excité électronique mais pas naturellement.

**Annexe 4 : Classification des lasers en fonction de leur longueur d'onde et application dermatologique**

<b>Classification des lasers en fonction de leur longueur d'onde</b>		
<b>Laser</b>	<b>Longueur d'onde</b>	<b>Application</b>
CO <sub>2</sub> impulsionnel	10,6 µm	Relissage
Erbium Yag impulsionnel	2,94 µm	Relissage
Erbium Glass avec refroidissement	1,54 µm	Remodelage
Diode milliseconde avec refroidissement	1,45 µm	Remodelage – Acné
Nd-YAG avec refroidissement	1,32 µm	Remodelage
Nd-YAG Q.Switched	1,064 µm	Dépigmentation – Détatouage
Nd-YAG milliseconde	1,064 µm	Épilation – vasculaire
Diode milliseconde	810 nm	Épilation
Diode milliseconde avec refroidissement	805 nm	Remodelage
Alexandrite Q.Switched	755 nm	Dépigmentation – Détatouage
Alexandrite milliseconde	755 nm	Épilation
Rubis Q.Switched	694 nm	Dépigmentation – Détatouage
Rubis milliseconde	694 nm	Épilation
Colorant pompé par flash	595 nm - 585 nm	Vasculaire – Remodelage – Psoriasis
Vapeur de cuivre	585-510 nm	Vasculaire – Dépigmentation
Nd-YAG doublé Q.Switched	532 nm	Dépigmentation – Détatouage
Nd-YAG doublé milliseconde	532 nm	Vasculaire – Dépigmentation
Colorant pompé par Argon	577-595 nm	Vasculaire
Argon	514-488 nm	Vasculaire – Dépigmentation
Excimer	308 nm	Psoriasis – Vitiligo

**Annexe 5 : Traitement par laser à colorant pulsé de l'angiome plan : photographies avant et après traitement**

**LASER A COLORANT PULSE ET ANGIOME PLAN**

Aspect avant traitement



Aspect avant traitement

Résultat après 12 séances de LCP



Résultat après 6 séances de LCP



**Laser pulsé à colorant et angiome plan**  
**Aspect avant traitement**

Photographie : Dr Michaud



**Laser pulsé à colorant et angiome plan**  
**Résultat après traitement**

Photographie : Dr Michaud

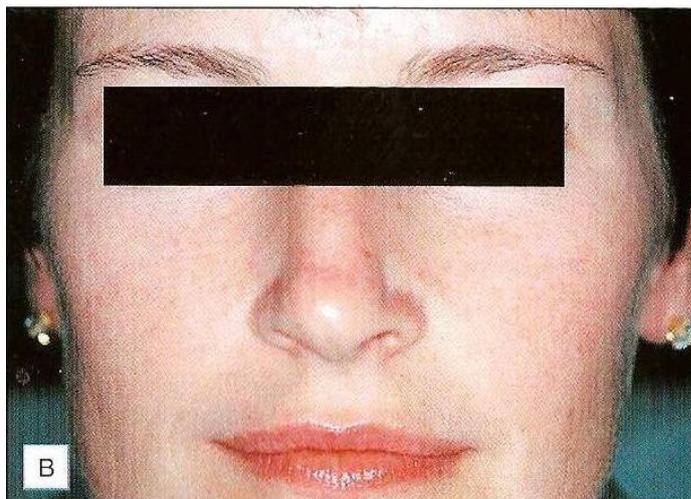


**Annexe 6 : Traitement par laser à colorant pulsé d'une érythrose faciale : photographies avant et après traitement**

Aspect avant traitement



Résultat après traitement



**Annexe 7 : Traitement par KTP de la couperose : photographies avant et après traitement**

**Traitement de la couperose par photocoagulation :  
laser KTP**

Photographie: Dr Tack



■ Avant traitement

**Traitement de la couperose par photocoagulation :  
laser KTP**

Photographie: Dr Tack



■ Après traitement

**Annexe 8 : Traitement par LCP de varicosités : photographies avant et après traitement**

**Traitement des varicosités par laser LCP**

Aspect avant traitement



Résultat après traitement



**Annexe 9 : Traitement par laser Nd YAG de varicosités : photographies avant et après traitement**

**Traitement des varicosités par laser Nd : YAG 1064nm**

Aspect avant traitement



Résultat après traitement



Aspect avant traitement

Résultat après traitement

Annexe 10 : Détatouage par laser pigmentaire : photographies avant et après traitement

## Lasers pigmentaires et tatouages

Photographies : Dr Meyer



- Tatouage amateur :  
traitement par laser  
Nd : YAG déclenché (4 séances)
- Noter les cicatrices résultant  
de tentatives préalables de  
destruction par laser CO<sub>2</sub>

## Lasers pigmentaires et tatouages

Photographies : Dr Haberstroh



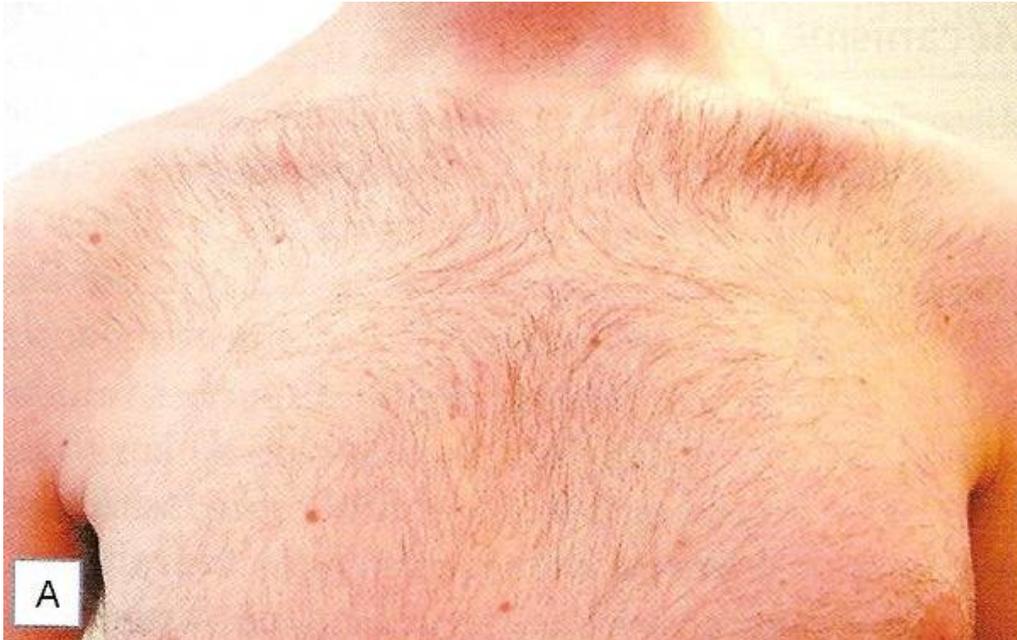
9

- Tatouage amateur :  
traitement par laser  
Nd: YAG déclenché (5 séances)

**Annexe 11 : Epilation par laser LFP : photographies avant et après traitement**

**Epilation par laser LFP**

Aspect avant traitement

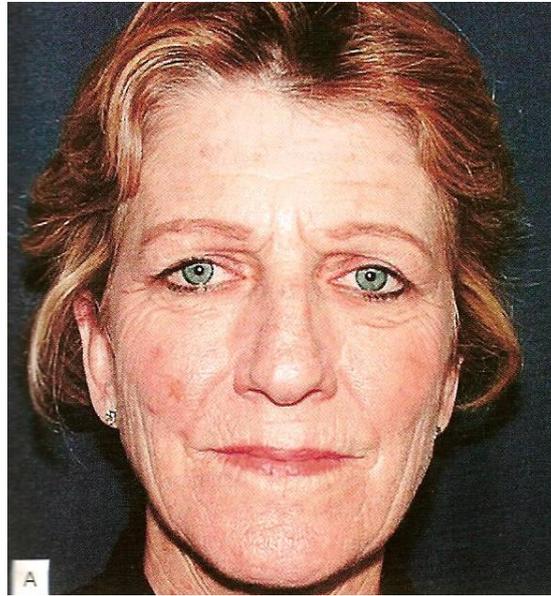


Résultat après traitement (4séances)



**Annexe 12 : Resurfacing : photographies avant et après traitement**

Aspect avant traitement



Résultat après trois mois de traitement



**Annexe 13 : Traitement de cicatrice par laser Erbium-Yag : photographies avant et après traitement**

**Laser Erbium-YAG et cicatrices  
Aspect avant traitement**

Photographie : Dr Fusade



**Laser Erbium-YAG et cicatrices  
Résultat après traitement**

Photographie : Dr Fusade



Annexe 14 : Remodelage : photographies avant et après traitement

## Remodelage par laser Erbium-Glass 1540 nm

Photographies : Dr Dahan



## Remodelage par laser Erbium-Glass 1540 nm

Photographies : Dr Dahan



■ Résultat après 5 séances de laser



### **Annexe 15 : Autres méthodes de traitement des pathologies détaillées**

Les pathologies étudiées dans ce rapport ont d'autres méthodes de traitement que nous détaillerons ici, pour certaines le laser est actuellement le seul traitement efficace.

- Angiomes

Dans le passé, de nombreuses tentatives thérapeutiques ont été testées pour soigner les angiomes : cryothérapie, chirurgie d'exérèse suivie ou non de greffes de lambeaux, ou radiothérapie. Elles se sont toutes révélées être inefficaces et même dangereuses pour le patient. A l'heure actuelle, le laser reste le seul moyen efficace de traitement.

- Erythrose et rosacée

Depuis 1995, des appareils à lampes pulsées filtrées sont proposés comme une alternative aux sources lasers. Ils ont un spectre d'émission très étendu et une surface d'illumination large. La lumière intense est délivrée à travers des filtres en quartz permettant de délivrer des longueurs d'onde de 560 à 1200nm.

- Varicosités

La sclérose reste le traitement de première intention en phlébologie, c'est une technique de soin permettant de neutraliser les varicosités, les veines variqueuses ou les varices par l'injection d'un produit sclérosant. Le laser représente cependant la seule possibilité de traitement des microvaricosités de petites tailles, inaccessibles à la sclérothérapie.

- Tatouages

Les lasers pigmentaires ont apporté un réel progrès dans la quête d'une disparition complète des tatouages et sont actuellement le seul traitement possible de ces lésions cutanées.

- Epilation

Par comparaison à l'épilation électrique, l'épilation laser est de pratique plus rapide, moins douloureuse et ne laisse aucune cicatrice. Les hirsutismes observés dans le cadre d'une hyperandrogénie (excès d'hormones mâles) doivent être traités médicalement, le laser constitue un traitement complémentaire.

## Les lasers en dermatologie

Les IPL (Lumière Intense Pulsée = lampe flash) pour lesquels on peut sélectionner la longueur d'onde (615 à 1200nm) pourraient permettre de traiter des poils clairs.

- Correction du vieillissement cutané

La méthode de l'abrasion laser a des limites et doit parfois être précédée ou complétée par d'autres techniques (toxine botulique, comblement, lifting,...)

- Cicatrices

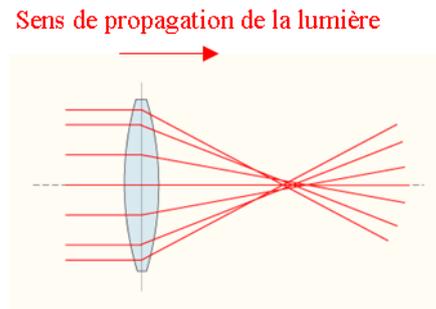
L'abrasion au laser d'une surface cutanée déprimée par des cicatrices d'acné représente une excellente méthode de traitement de ces lésions.

- Remodelage cutané

Les lampes flash pourraient être mieux adaptées au remodelage cutané.

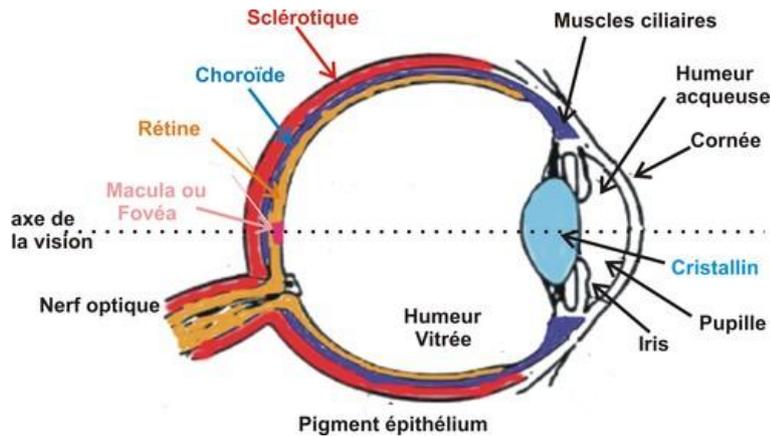
## Annexe 16 : Dangers du rayonnement laser pour les yeux

Bien que nous ayons évoqué plus en détail les risques des rayons laser pour la peau, nous tenions à préciser que les dégâts potentiels les plus importants liés aux rayonnements sont essentiellement ceux qui concernent les yeux, surface fragile et hypersensible à la lumière.



Le rayonnement issu d'une source laser est constitué de rayons lumineux qui peuvent être considérés comme quasi-parallèles entre eux. D'un point de vue optique, l'œil peut être assimilé à une lentille convergente. Or, les lois de l'optique montrent que des rayons parallèles qui traversent une lentille convergente en ressortent en convergent au même point, le foyer de la lentille. C'est pourquoi la lumière provenant d'un laser peut être très dangereuse si elle traverse l'œil, puisque toute la puissance du rayon se retrouve focalisée en un point, ce qui peut aller jusqu'à trouer les tissus irrémédiablement. De plus, la longueur d'onde, la durée d'exposition du laser ainsi que la répartition de cette exposition dans le temps (exposition continue ou pulsée) sont aussi des facteurs pouvant aggraver les dommages pour l'œil. Et comme le rayon laser est susceptible de rencontrer dans l'œil différents milieux d'indices de réfraction et de transparence différents et l'effet engendré par le rayon est variable.

## Les lasers en dermatologie



*L'œil n'est pas un organe simple, il est composé de différents éléments biologiques, optiques qui possédant un indice de réfraction différents.*

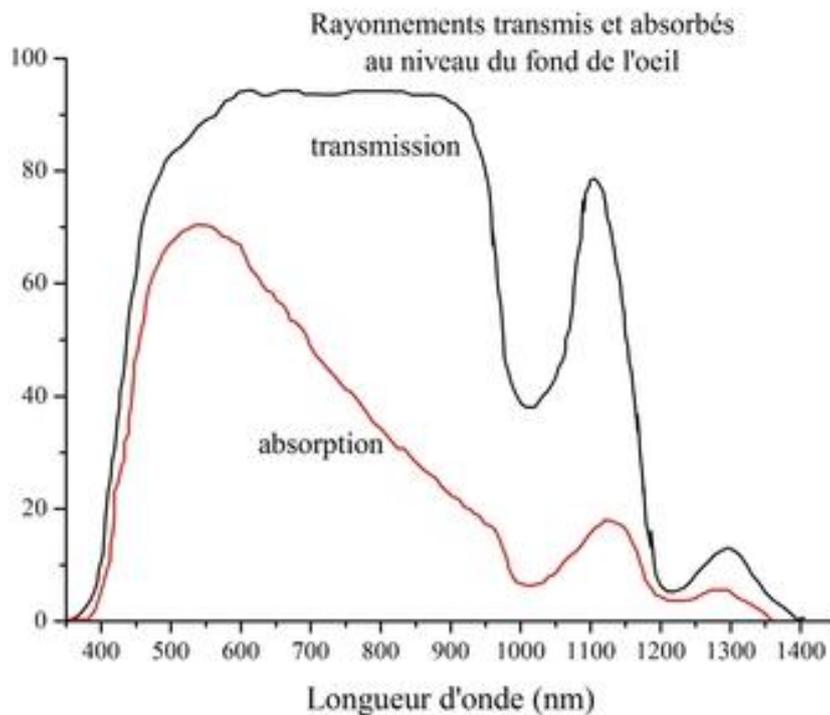
Les dégâts potentiels que peut causer un rayon laser dirigé vers l'œil peuvent toucher aussi bien la cornée, la rétine, l'iris ou le cristallin avec des conséquences plus ou moins importantes.

Suivant la fréquence absorbée par la cornée, les dommages seront de différentes natures. Les ultraviolets UV-B, UV-C faibles vont par exemple provoquer des conjonctivites, des photokératites de l'épithélium, des latences. Ces lésions sont accompagnées de rougeurs et de larmoiement mais ne sont pas irréversibles et finissent souvent par disparaître au bout d'environ 48 h grâce à une guérison naturelle de l'œil. Certains rayonnements UV précédemment cités peuvent provoquer sur la cornée une néovascularisation qui se caractérise par l'apparition de capillaires sanguins et par la suite conduire à l'apparition d'un oedème et à la production d'acide lactique qui entraîne à terme une éventuelle perte de transparence. Ces lésions sont irréversibles et la cornée est perdue.

Le rayonnement laser n'entraîne pas de lésions définitives sur l'iris mais a pour effet de créer des zones de pigmentation après un impact laser qui conduisent à un oedème et à l'apparition d'un myosis. Cependant, ce type de lésions s'atténuent naturellement après 2 à 3 semaines. Mais si les impacts sont répétés, on voit alors apparaître une atrophie voire une éventuelle déchirure de l'iris.

Les lésions que peut subir le cristallin sont principalement dues aux ultraviolets proches et infrarouges lointains. Les dommages sont soit des opacités ovoïdes grises-blanchâtres qui se situent sur le trajet du faisceau laser incident, soit des lésions définitives entraînant une cataracte d'origine thermique.

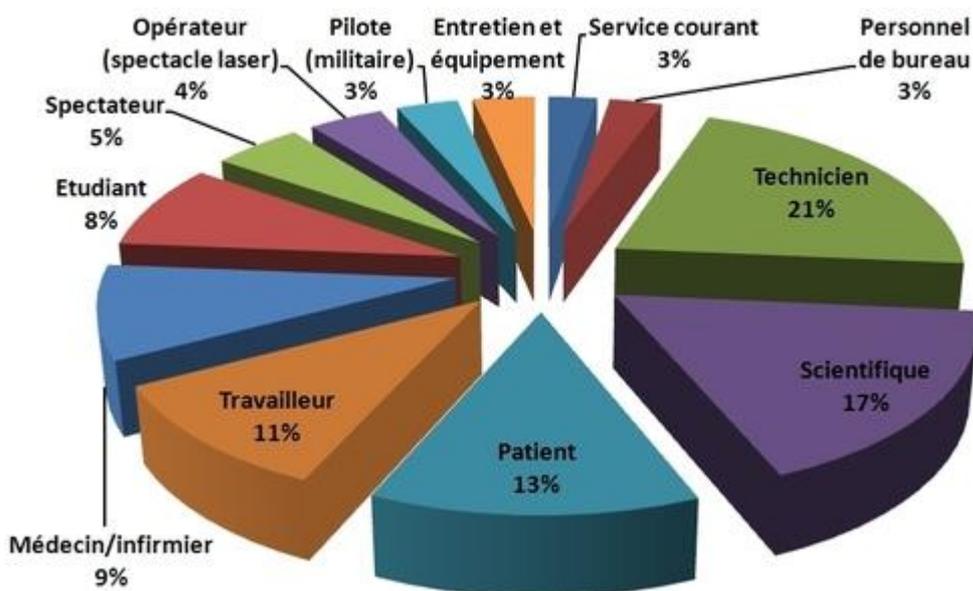
La rétine est une surface mince d'environ 0,5 mm d'épaisseur, qui se situe au fond de l'œil. C'est vers elle que converge, à travers le cristallin, la totalité des rayons lumineux émis par l'objet observé. On comprend alors rapidement que la rétine constitue la partie sensible de la vision.



Ce sont les rayonnements visibles et infrarouges (IR-A) qui vont provoquer le maximum de dommages sur la rétine. De plus, à ces fréquences correspond une pupille dont l'ouverture est maximale, ce qui explique en partie la transmission maximale au fond de l'œil. Cependant, la gravité des lésions est variable et va dépendre de leur localisation et de leur diamètre sur la surface rétinienne.

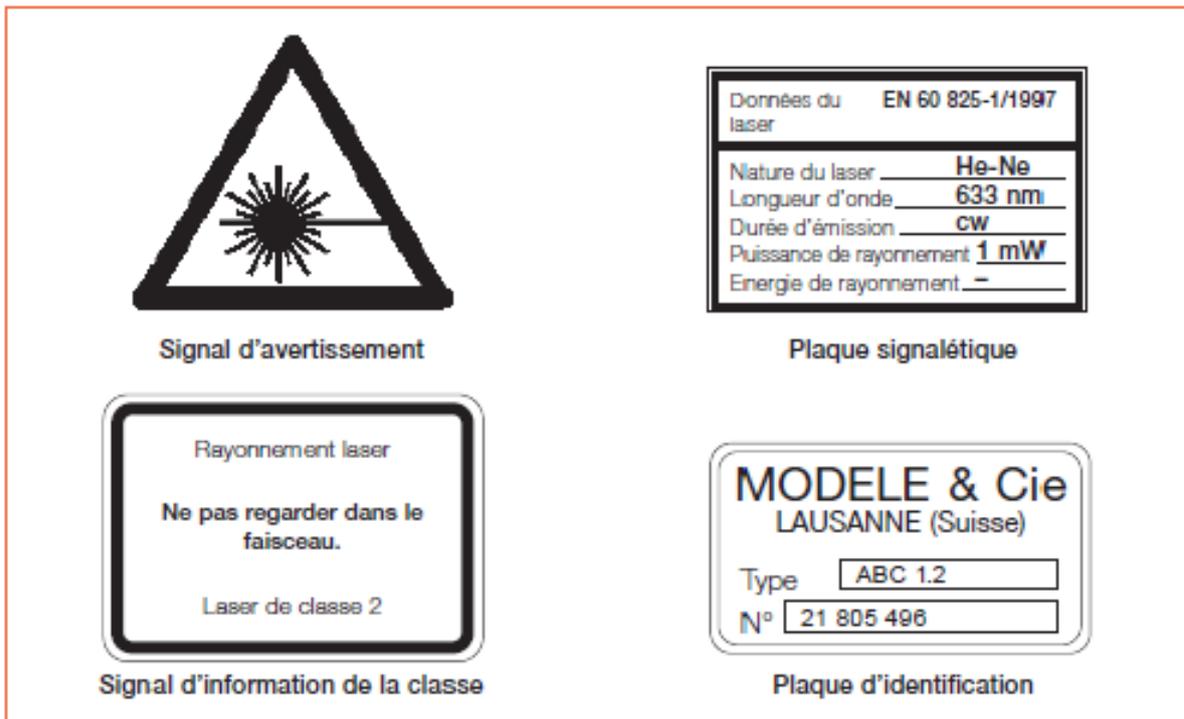
Les principales lésions observées sont des brûlures avec coagulation et destructions tissulaires, elles se localisent principalement au niveau de l'épithélium pigmenté qui offre une très bonne absorption au rayonnement. Elles sont diagnostiquées par l'apparition d'une zone circulaire centrale dépigmentée entourée d'un anneau de pigmentation dont le diamètre dépend de la dimension de l'image. Dans beaucoup de cas, s'ensuit le décollement de l'épithélium. Un endommagement de la rétine s'accompagne d'un éblouissement physiologique qui consiste en une diminution importante de la perception visuelle et parfois aussi d'une baisse significative de la sensibilité rétinienne se caractérisant par la difficulté de l'oeil à s'adapter à l'obscurité ou encore d'une baisse du sens chromatique.

### Annexe 17 : Etat des lieux des risques liés au laser



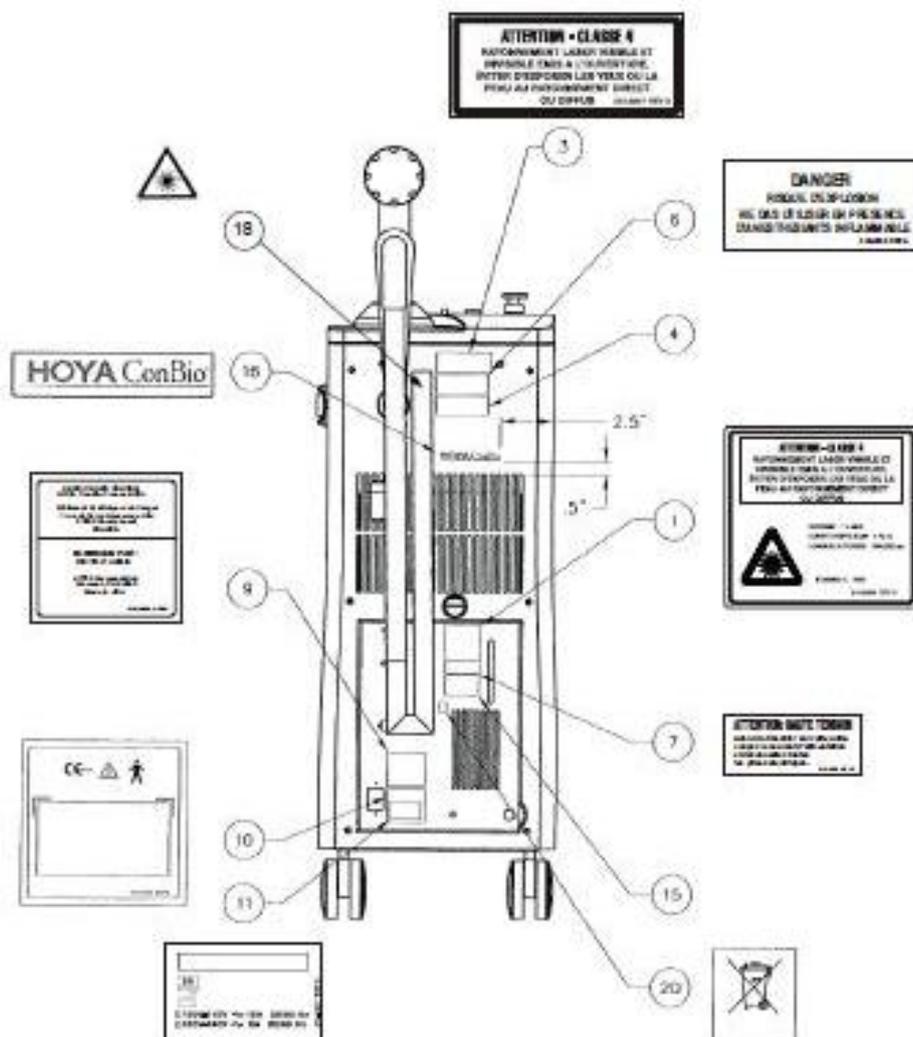
*Diagramme de répartition des personnes à risques liés au laser par catégories de métiers*

Annexe 18 : Panneaux de sécurité



*Pictogrammes de sécurité que l'on trouve sur les lasers*

Annexe 19 : L'étiquetage du matériel laser



*Etiquette de sécurité arrière du laser Medlite C6*

Le code of Federal Regulations des Etats Unis (CFR titre 21, Ch 1, Sections 1040,1.0, 104, 1.1), l'International Electrotechnical Commission 5IEC) et les normes EN obligent les lasers à avoir certaines caractéristiques. Ces normes exigent également que des étiquettes telles celles-ci soient posées sur chaque appareil pour identifier le fabricant, la classe ou les classes de radiation produite et l'emplacement de l'ouverture laser.



## Résumé et mots clés

**Mots clés :** laser, dermatologie, émission stimulée, fluence, YAG, eximère, colorant pulsé, angiomes, couperose, érythrose, détatouage, épilation.

**Résumé :** Ce rapport de projet tutoré traite de l'utilisation des lasers en dermatologie pour soigner de multiples d'affections de la peau. Avant toute chose, le principe de l'émission d'un rayon laser est décrit et mis à la portée de tous, ce qui permet d'apprécier dans quelle mesure un principe scientifique peut être appliqué à la médecine. De plus, pour cerner l'intérêt de la technologie laser dans cette discipline médicale, l'aspect dermatologique est ensuite explicité et les différentes maladies que l'on peut soigner avec les lasers sont répertoriées et illustrées par des photographies représentatives. Enfin, l'ensemble des normes et consignes de sécurité à respecter au cours de l'utilisation des lasers sont mises en évidence. Ce rapport propose une vision globale de l'utilisation actuelle des lasers en dermatologie et amène le lecteur à réaliser l'importance et l'efficacité de cette technique pleine d'avenir.

**Abstract :** This report is about the wide use of lasers in dermatology to treat a large range of skin diseases. First, the physical principle of the laser technology is described. We explain how the stimulated emission of photons produces the laser light to underline the reasons why the characteristics of such a light allow it to be routinely used in dermatology. Then, we list all the diseases that can be cured by this method; furthermore, photographs are shown to illustrate and prove the quality of laser surgery. And last, security instructions and legal standards are given to understand that lasers are dangerous and that it's necessary to protect doctors and patients. To conclude, we can say that this study offers a large view of the present use of this technology for medicine. All this elements must enable you realize that this technique will no doubt be increasingly used in medicine.