

# EXPOSE LASER

*Le marché des diodes laser dans le  
médical*

# Sommaire

<b>I. Pourquoi développer la diode laser dans le médical ? ...</b>	<b>2</b>
1. Etat de l'art.....	2
2. Les PDT et PDD pour les cancers .....	2
3. La diode pour ces procédés .....	2
<b>II. Fonctionnement et principe physique des produits.....</b>	<b>3</b>
1. Schéma de l'appareil .....	3
2. Principe de fonctionnement.....	4
<b>III. Les différents produits et leurs applications.....</b>	<b>5</b>
1. Les produits relatifs à l'endoscopie .....	5
a. Traitement du cancer à l'aide de la diode laser .....	5
b. Traitement endoscopique des varices, débouchage d'artères .....	6
c. Traitement endoscopique ophtalmologique .....	7
d. Autres traitements endoscopiques possibles .....	8
2. Les produits relatifs au dentaire.....	9
3. Les produits relatifs à l'esthétique .....	10
a. Pour l'épilation .....	10
b. Pour la dermatologie.....	11
4. Les produits relatifs au traitement des problèmes musculaires	12
<b>IV. Législation .....</b>	<b>13</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>14</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>15</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>16</b>
1. Tableau des produits et fabricants rencontrés.....	16
2. Classement des lasers selon la norme américaine .....	17

---

## Introduction

Les lasers ont vu leurs premières apparitions dans le domaine médical une vingtaine d'années après l'apparition des premiers lasers à rubis dans les années soixante. Les équipes médicales ont adopté cette technologie du laser pour remédier aux défauts de l'instrumentation mécanique. L'apparition des nouveaux lasers a été à chaque fois profitable au domaine médical. Par exemple en 1989 le professeur Sultan met au point le combo-laser (association CO<sub>2</sub> et YAG) qui est utilisé à la place du scalpel car il permet une découpe précise et une coagulation du sang simultanée. Les principaux inconvénients des lasers sont leur coût et leur encombrement important. C'est pourquoi on voit se multiplier les applications utilisant les diodes lasers, dernières nées de la « famille laser », beaucoup moins onéreuses et encombrantes.

La biophotonique dont l'une des applications concerne le laser dans le médical est utilisée pour le diagnostic et pour la thérapie. Dans l'état actuel du marché, la diode laser est principalement utilisée pour la thérapie. Le diagnostic reste pour le moment moins répandu et est en cours de développement.

Nous présenterons dans ce rapport l'intérêt de développer les différentes applications médicales utilisant la diode laser. Nous expliquerons ensuite le fonctionnement global des systèmes à diode laser. Enfin nous présenterons quelques produits que nous avons pu rencontrer, classés par application. Nous évoquerons à cette occasion les législations existantes pour le matériel médical.

# I. Pourquoi développer la diode laser dans le médical ?

## 1. Etat de l'art

Dans l'état actuel de la médecine, les lasers sont utilisés principalement pour leurs caractéristiques énergétiques (le CO<sub>2</sub> ou l'erbium en dermatologie par exemple). Outre cette utilisation, il peut être utilisé pour le traitement et le diagnostic de maladies. On appelle cela traitement et diagnostic photo dynamique (respectivement *PDT* et *PDD* pour *PhotoDynamic Treatment/Diagnostic*). Dans ce cas on ne fait plus appel aux propriétés énergétiques des lasers mais on utilise le faisceau laser comme médiateur de la réaction photodynamique. Ces processus sont réalisés en général à l'aide de lasers à colorant. Or ces lasers présentent un nombre non négligeable d'inconvénients. Tout d'abord ce sont des lasers très encombrants. Leur prix très élevé et le coût de chaque traitement ne les rendent pas très appréciés des médecins. Ce sont pour ces raisons que les PDD et PDT ne sont pas très répandus dans les services médicaux actuels. Pour palier à ces problèmes, le développement de la diode laser pour ce domaine peut être une solution.

## 2. Les PDT et PDD pour les cancers

Depuis quelques années, l'utilisation des méthodes optiques de diagnostic PDD basées sur des mesures de fluorescence tend à se développer. Ces techniques sont issues de la photochimiothérapie des cancers. Expliquons brièvement comment fonctionnent le PDT et le PDD.

Pour le PDT on injecte au patient un agent photosensible non toxique (en général un dérivé de l'hématoporphyrine) qui se fixe sur les tissus cancéreux. Cet agent devient toxique sous l'effet d'une excitation lumineuse. Cette excitation détruit alors la cellule cancéreuse.

Pour le PDD, on étudie la fluorescence naturelle des tissus concernés. C'est à dire qu'on étudie la réémission d'énergie sous forme lumineuse d'une molécule lors de son retour au niveau d'énergie fondamental après une absorption d'énergie d'excitation sous forme lumineuse. On peut alors repérer les cellules malades par fluorescence.

## 3. La diode pour ces procédés

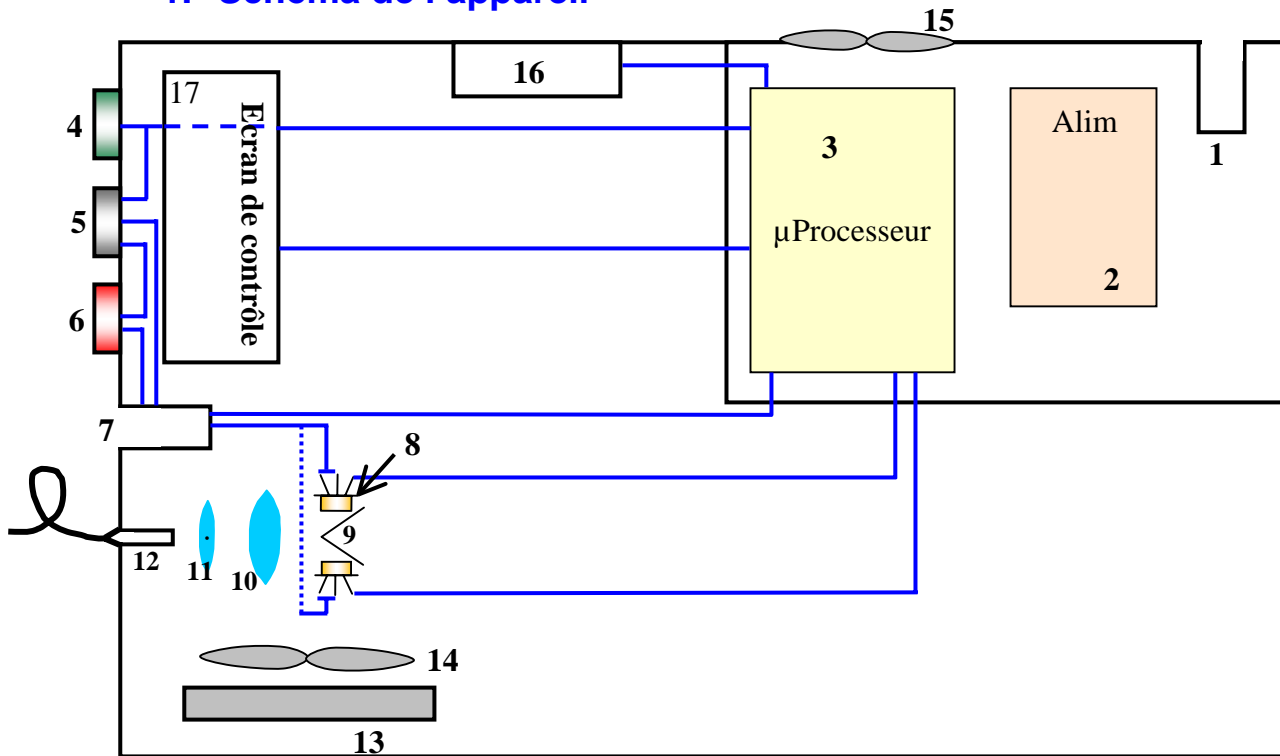
Toutes les cellules et tous les agents photosensibles ne sont pas sensibles à la même longueur d'onde. On traite par exemple les cellules cancéreuses (avec le PDT) aux longueurs d'onde 650-710 nm (Rouge) et on étudie la fluorescence (PDD) aux longueurs d'onde 400-460nm (Violet-Indigo)

Un intérêt des diodes laser est que leur petite taille permet d'en intégrer plusieurs sur la même puce. On peut donc disposer de plusieurs longueurs d'onde sur cette puce de taille réduite. Ceci permet de régler le problème de l'encombrement que posaient les lasers à colorant. Les coûts sont également réduits en ce qui concerne l'investissement de l'appareil ainsi que sa maintenance.

## II. Fonctionnement et principe physique des produits

Tous les appareils commercialisés ont le même principe de fonctionnement. Ils sont tous composés d'un boîtier contenant la diode laser couplée à une fibre optique. Le boîtier dispose d'une interface visuelle (tactile ou non) permettant de régler la puissance du laser et éventuellement de choisir un mode de fonctionnement prédéfini.

### 1. Schéma de l'appareil



#### Légende :

1. Prise secteur
2. Alimentation : Transfo et Convertisseur AC/DC
3. Microprocesseur de contrôle (Stabilise le courant, gère la sélection de la diode, l'écran tactile ...)
4. Bouton ON/OFF
5. Bouton de sécurité (Clé)
6. Bouton de tir
7. Entrée du Pédalier optionnel (qui gère le tir)
8. Diodes laser
9. Miroirs réfléchissants
10. Lentille de focalisation
11. Lentille de parallélisme du faisceau (située au foyer de la lentille 10)
12. Sortie optique avec interface pour fibre optique.
13. Filtre du système de refroidissement des diodes.
14. Ventilateur de refroidissement des diodes
15. Ventilateur de refroidissement de l'alimentation et du  $\mu$ processeur.
16. MelodyKit (produit 3 sons différents en fonction de l'état des interrupteurs)
17. Ecran tactile de contrôle

## 2. Principe de fonctionnement

Décrivons brièvement le principe de fonctionnement de cet appareil.

Celui-ci se branche directement sur secteur (1), puis l'interface d'alimentation convertit l'AC en DC (2). Cette tension est stabilisée par la cellule (3) puis envoyée à l'interrupteur principal ON/OFF (4). Cet interrupteur redirige cette tension au bouton de sécurité (5) qui à son tour l'envoie au bouton de tir (6) et à l'entrée du pédalier (7).

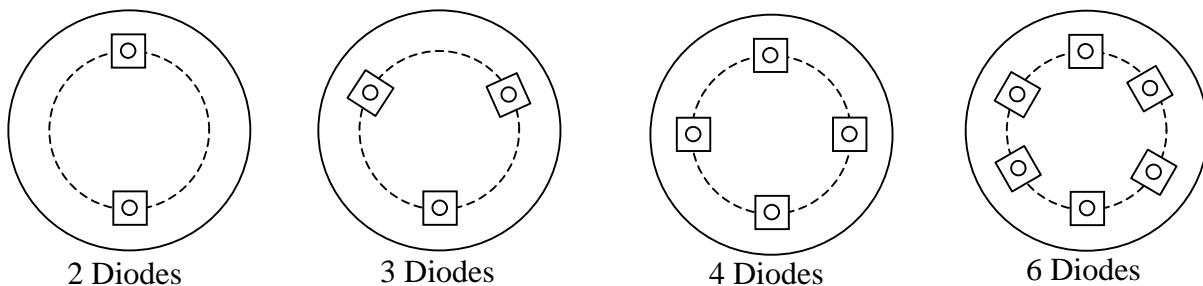
Cette tension alimente également les diodes (8) qui seront contrôlée par la section de contrôle ( $\mu$ Proc 3). Ce microprocesseur gère également l'écran tactile de contrôle (17) qui permet de choisir la longueur d'onde désirée, la puissance ou un mode pré-enregistré. Il contrôle également le MelodyKit (16).

Les faisceaux produits par les diodes se réfléchissent sur les miroirs (9), arrivent sur la lentille de focalisation (10) puis sur la lentille de parallélisme (11) située au foyer de cette dernière. Le faisceau issu de ce système optique est donc parallèle et peut être injecté dans une fibre optique (12).

Cet appareil contient deux systèmes de refroidissement : l'un pour les diodes (13 et 14) et l'autre pour l'alimentation et la cellule contrôle (15).

Comme nous l'avons vu précédemment, l'élément (8) du système représente un réseau de diodes laser qui ont des longueurs d'ondes adaptées pour le PDT et PDD c'est à dire qu'on a les deux gammes 400-460 nm et 650-710 nm. Ces deux gammes n'interfèrent pas entre elles ce qui permet de les injecter simultanément dans une même fibre et de faire le diagnostic et le traitement en même temps. Ceci représente un gain de temps et une plus grande facilité d'utilisation pour les médecins.

On peut utiliser deux ou plus diodes laser disposées symétriquement comme le montre le schéma suivant :



### III. Les différents produits et leurs applications

Les produits que nous avons rencontré sur le marché fonctionnent tous selon le principe décrit précédemment. On peut cependant distinguer trois grandes catégories d'applications :


- L'endoscopie (comprend le PDT/PDD)
- Le dentaire
- L'esthétique (Dermatologie et Epilation)
- Le musculaire

#### 1. Les produits relatifs à l'endoscopie

##### a. Traitement du cancer à l'aide de la diode laser

Prenons un exemple de produit utilisé dans le cas de traitement de cancer de l'œsophage, des poumons ou des bronches : le **630 PDT** de la société **Diomed**. Cette société américaine est spécialisée dans les techniques médicales à base de diodes.

Voici les caractéristiques de ce laser :

	Type de Laser	InGaAlP Diode Laser continue
	Longueur d'onde	630nm ±3nm
	Connecteur de fibre	Standard SMA 905
	Ouverture numérique	0,37 au niveau du connecteur
	Puissance	2W maximum au niveau du connecteur
	Refroidissement	Ventilation
	Alimentation	115V AC ± 10%, 60Hz < 10A
	Dimensions	485x220x405 (mm)
	Poids	20Kg

Plusieurs types de fibres sont fournis avec cet appareil en fonction de l'utilisation que le médecin en fait.




On trouve le même type de produit chez **Biolitec**, entreprise allemande qui fabrique et commercialise des diodes laser, fibres optiques et accessoires pour le domaine médical. Cette société est divisée en trois départements, **Biolitec Pharma** pour tout ce qui concerne le développement d'agents photosensibles, **CeramOptec** pour les fibres optiques compatibles avec les tissus humains et les méthodes PDT et PDD et enfin **Biolitec**, pour le développement des appareils médicaux. Cet appareil fonctionne avec des diodes laser de longueurs d'onde entre 650 et 760 nm.

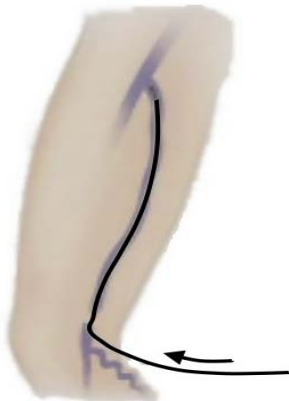
## b. Traitement endoscopique des varices, débouchage d'artères

Cette technique est de plus en plus répandue dans les cliniques américaines. On peut citer le produit *EVLV* (EndoVeneous Laser Treatment) chez *Diomed* et l'*ELVeS* (Endo Laser Vein System) chez *Biolitec*.

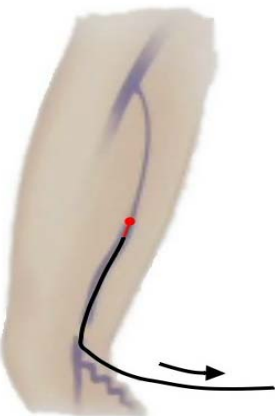
Voici les caractéristiques techniques de l'*ELVeS*.

	Type de Laser	Diode Laser
	Longueur d'onde	980 nm
	Faisceau de guidage	635 nm, 4mW ajustable
	Mode de fonctionnement	pulsé
	Durée des pulses	De 0.01 à 99.9 secondes
	Intervalle entre deux pulses	De 0.01 à 99.9 secondes
	Puissance	15, 25 ou 50W
	Dimensions	180x220x370 (mm)
	Poids	7.5Kg (16 pour le 50W)

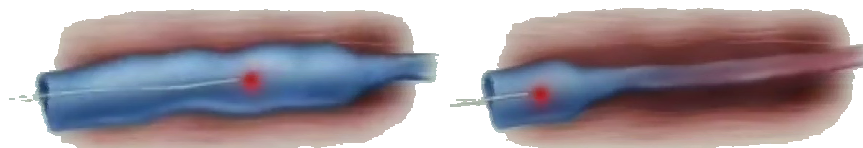
Décrivons brièvement le principe d'application de ces appareils à l'aide de schémas



L'opération s'effectue sous anesthésie locale de la zone à traiter. On repère le chemin de la fibre dans les veines à l'aide d'ultrasons. Un tuyau guidant est inséré dans la veine en aval des caillots de sang, puis on insère la fibre stérilisée (de diamètre environ 600  $\mu\text{m}$ ) dans ce tuyau. On pousse ensuite la fibre jusqu'à l'endroit à traiter, et on allume le laser.




Une fois le laser allumé, on retire progressivement la fibre. Le laser délivre des impulsions qui permettent à la veine de retrouver son aspect d'origine.



## c Traitement endoscopique ophtalmologique

Le PDT en ophtalmologie est actuellement la technique la plus innovante et fiable en ce qui concerne le traitement de la dégénérescence maculaire. On trouve le produit **Star PDT Laser** chez **Optosgroup** en Italie. Cette société est née de la volonté de deux entreprises spécialisées dans l'ophtalmologie de développer des produits technologiques innovants dans ce domaine. Puis **Optosgroup** fut rachetée par une société allemande **Os Endokopie**.

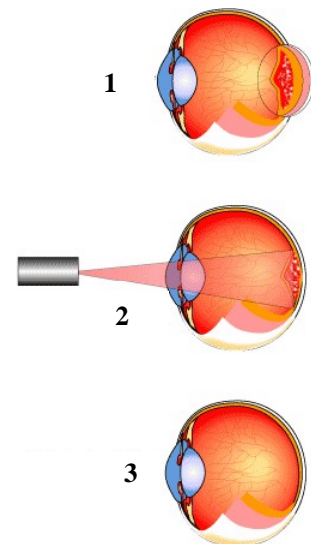
Voici les caractéristiques techniques de ce produit :

	Type de Laser	Diode Laser Visible
	Longueur d'onde	689 ± 3nm
	Mode de fonctionnement	Continu
	Laser de visée	650nm , 3mW
	Eclairement	600mW/cm <sup>2</sup>
	Classification	Appareil ophtalmologique
	Puissance Max	400mW
	Puissance Max dans la cornée	200mW
	Alimentation	220V 50Hz
	Refroidissement	Air
	Dimensions	350x250x120 (mm)
	Poids	4Kg

On observe sur la Figure 1 des vaisseaux sanguins anormaux dus à la dégénérescence maculaire. L'hémoglobine étant rouge, elle possède une absorption maximale pour les longueurs d'onde situées autour du rouge.

Après avoir injecté l'agent photosensible à l'aide d'une aiguille au niveau de la macula, on utilise le Star PDT Laser en injectant son faisceau directement dans la cornée (Figure 2).

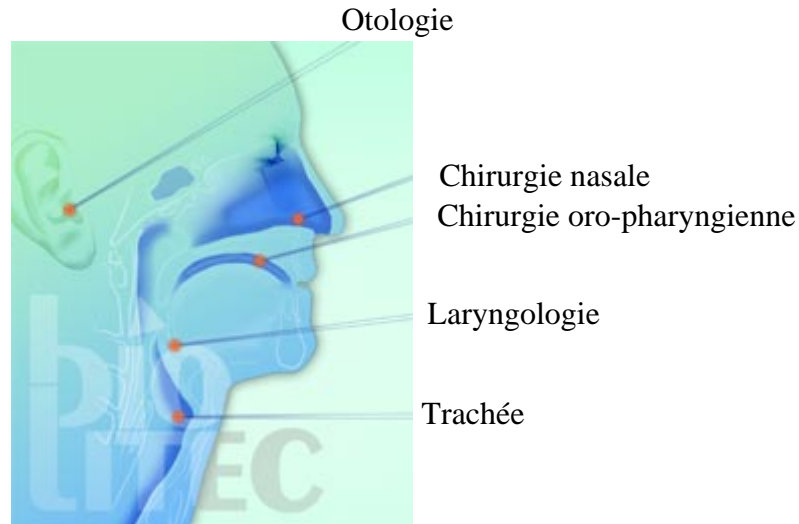
Le faisceau agit sur les cellules contenant l'agent photosensible et provoque leur destruction (Figure 3).



La société française **Quantel Medical** commercialise également ce type de produit sous le nom d'**Activis**.et d'Iridis 810. On peut également citer la société Iridex avec le produit Oculight SL (Leurs caractéristiques sont similaires).


## d Autres traitements endoscopiques possibles

Plusieurs autres pathologies peuvent également bénéficier de cette technique endoscopique. La société **Biolitec** commercialise le produit dénommé **Evolve** destiné au traitement des zones suivantes :



On peut également traiter la gynécologie et la gastro-entérologie avec ce type de produit.

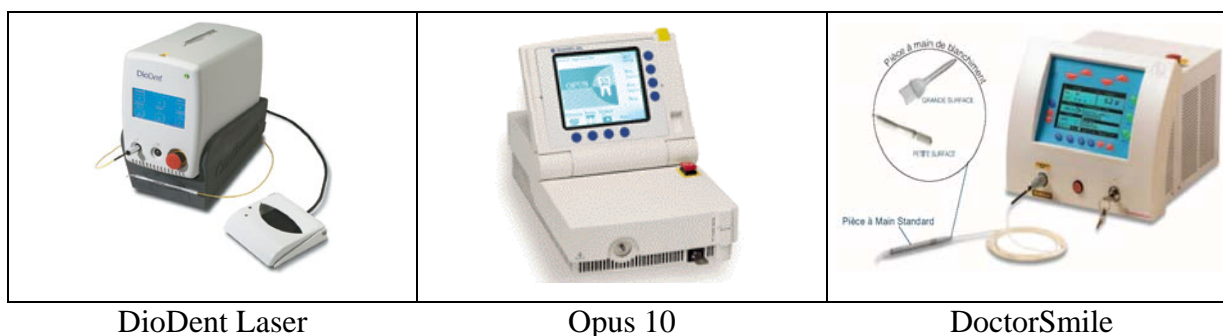
Ce produit a les caractéristiques suivantes.

	Type de Laser	Diode Laser
	Longueur d'onde	980 nm
	Faisceau de guidage	635 nm, 4mW ajustable
	Mode de fonctionnement	Continu ou pulsé
	Durée des pulses	De 0.01 à 99.9 secondes
	Intervalle entre deux pulses	De 0.01 à 99.9 secondes
	Puissance	15, 25 ou 50W
	Dimensions	180x220x370 (mm)
	Poids	7.5Kg (12 pour le 50W)

Les produits **MedTech** de **Dornier** et **Diolas980** de **LimmerLaser** sont les principaux concurrents de **Biolitec** pour ces traitements.

## 2. Les produits relatifs au dentaire

Les avantages de la diode laser dans ce domaine par rapport aux méthodes traditionnelles sont nombreux : La découpe et coagulation directe de la gencive, la minimisation des inflammations post-opératoires, le contrôle de la profondeur de la plaie, réduction de la quantité d'anesthésiant nécessaire voire élimination... Les appareils utilisant la diode laser sont donc développés par de nombreuses entreprises pour un marché essentiellement américain pour le moment : **Biolitec** avec son produit **Smile Pro**, **Lambda Scientifica** (Italie) avec **Doctor Smile**, **Lumenis** avec la famille **Opus**, **LimmerLaser** avec le produit **Diolas980**, **DekaLaser** avec le **SmartyA800** ou encore la société **Hoya Conbio** (Japon) avec son **DioDent Laser**.



DioDent Laser

Opus 10

DoctorSmile

Résumons leurs caractéristiques :



Société	$\lambda$ - Scientifica		HOYA Conbio	Lumenis	Biolitec
Nom du Laser	D2	D5, D10, D15	DioDent	Opus 5,10,20	SmilePro980
Type de Laser	Diode Laser		Diode Laser	Diode Laser	Diode Laser GaAlAs
Longueur d'onde	808 nm	808 et 980 nm	810 $\pm$ 10 nm	830 $\pm$ 10 nm	980 nm
Faisceau de guidage			650 $\pm$ 5 nm	635 nm, 3mW (Diode)	635 nm, 4mW ajustable
Mode de fonctionnement	Pulsé ou continu		Pulsé ou continu	Pulsé ou continu	Continu ou pulsé
Durée des pulses	25 $\mu$ s	0.5ms	2 types : "Rapide / lent"	0.5 à 30sec	De 0.01 à 99.9 secondes
Intervalle entre deux pulses	50 $\mu$ s à 99.9 sec	1 ms à 99.9sec	0.1, 0.2 ou 0.06 sec ou continu		10ms à 99.9 secondes
Puissance	2W	5, 10 ou 15W	300mW à 5W	5, 10 ou 20W	1 à 15W par pas de 1W
Diamètre des fibres	200/300/400/800 $\mu$ m		300/400 $\mu$ m	200/360/600 $\mu$ m	200/300/400 $\mu$ m
Dimensions	257x210x225 (mm)		257x210x225 (mm)	240x380x110 (mm)	180x220x370 (mm)
Alimentation	110/240 50/60Hz		110 / 240 50/60Hz	110 / 240 50/60Hz	110/220V
Poids	5kg	8.5kg	43kg	7,5Kg	9Kg
Prix			15,000\$	30,000\$ (20W)	25,000\$

### 3. Les produits relatifs à l'esthétique

#### a. Pour l'épilation

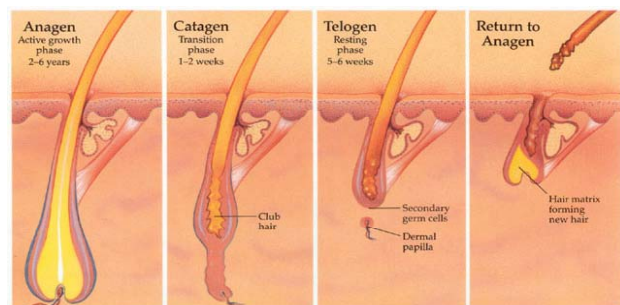
Une autre application majeure des diodes laser est de domaine de l'épilation. Un nombre très important de sociétés tentent de se positionner parmi les leaders dans ce domaine tant la manne financière est importante. La société **OpusMed** basée au Canada a développé la **F1 Diode Laser**. **OpusMed**, anciennement **OpusMedical**, est spécialisée dans les diodes (laser ou non) appliquées au médical. **Lumenis** est le leader dans ce domaine avec son produit **LightSheer** qui est le plus répandu chez les dermatologues. Cette société est née de l'union de **ESC Medical System** et du groupe **Coherent Medical**. Les autres sociétés importantes sont **Iridex** avec l'**Apex800**, **OrionLaser** avec le **Sonata**, **Asclepion Laser Technologies** avec le **MedioStar HC Pro** et enfin **Syneron** avec le **Galaxy** et le **Polaris**.

Voici un tableau comparatif de deux de ces deux produits :

 <p><b>F1 DiodeLaser</b></p>	Fabricant	OpusMed	Lumenis
	Type de Laser	Diode Laser	Diode Laser
	Longueur d'onde	810 nm	800
	Mode de fonctionnement	Pulsé	pulsé
	Durée des pulses	15-40msec	5-400ms
	Intervalle entre leurs pulses	250 msec	Jusqu'à 500ms
 <p><b>LightSheer</b></p>	Taille du spot	5mm <sup>2</sup> (40J/cm <sup>2</sup> ) 7mm <sup>2</sup> (21J/cm <sup>2</sup> )	9mm <sup>2</sup>
	Puissance		1600W (Crête)
	Faisceau de guidage	LED 540 nm	
	Alimentation	110V AC, 60Hz / 240V AC, 50Hz	110V AC, 60Hz / 240V AC, 50Hz
	Refroidissement	Système externe	ChillTip™ (pistolet)
	Dimensions	200x460x460 mm)	430x520x380 (mm)
	Poids	15 kg	21.5 kg
Prix	76,000\$ (US)	55,000\$	


Voici le principe de fonctionnement de l'épilation laser. Le poil a trois phases de vie : anagène (phase de croissance) , catagène (phase de transition) et télogène (phase de vie).

L'épilation laser est efficace durant la première phase Anagène. Le follicule du poil absorbe la lumière du laser sous forme de chaleur. Cette chaleur va détruire ce follicule empêchant par la même occasion les futures repousses. Les appareils d'épilation laser comme le Lightsheer possède un système de refroidissement qui permet à la peau de ne pas chauffer lors du traitement



## b. Pour la dermatologie

On retrouve la diode laser dans diverses applications dermatologiques et en particulier pour les traitements de l'acné et de la cellulite. L'utilisation de la diode laser pour le traitement de l'acné est une méthode récente qui vient concurrencer la méthode utilisant des LEDs. L'entreprise **CandelaLaser** fabrique et commercialise le produit **SmoothBeam** dont voici les caractéristiques :

	Type de Laser	Diode Laser
	Longueurs d'onde	1450 nm
	Fluence max	8-25 J/cm <sup>2</sup>
	Mode de fonctionnement	pulsé
	Taille du spot	4 mm (6mm en option)
	Durée du pulse	250 msec
	Intervalle des pulses	1 sec (1Hz)
	Alimentation	115/230 V AC, 50/60 Hz
	Refroidissement	Interne
	Dimensions	430 x 550 x 500 (mm)
	Poids	18 kg
	Option	Couleur (rose, bleu, violet, gris)
	Prix	39,900\$


Ce laser traite l'acné et réduit les cicatrices que cela peut provoquer.



L'acné est due à une accumulation de sébum et de bactéries appelées propionibacterium sous la surface de la peau, provoquant une inflammation de cette dernière. Les traitements à base de diode laser utilisent la lumière laser pour détruire cette bactérie. L'amas de sébum et de bactérie absorbe la chaleur du laser et est détruit par cette chaleur.

Pour la cellulite, nous avons trouvé une société italienne qui développe le **TriActive** : la société **DekaLaser**.

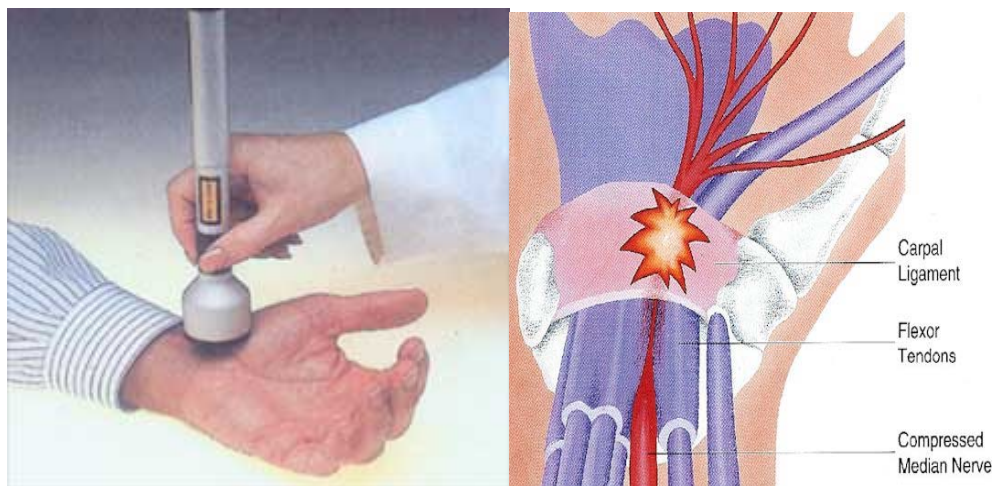
Cet appareil fonctionne en trois temps : stimulation, refroidissement, massage. Le laser stimule les cellules et permet une meilleure circulation du sang. Un système de refroidissement de la peau favorise la diminution de la cellulite en réduisant les oedèmes et en stimulant l'activité vasculaire en combinaison avec le laser. Le massage effectué lors du traitement avec la tête de l'appareil permet de donner à la peau une plus grande élasticité.

	Type de Laser	6 Diodes Laser
	Longueur d'onde	808 nm
	Mode de fonctionnement	Continu ou pulsé
	Durée des pulses	De 40ms à 4 secondes
	Intervalle entre deux pulses	De 0.2 à 5 secondes
	Puissance	1W par diode
	Dimensions	1200x480x600 (mm)
	Poids	40Kg
	Alimentation	230 Vac 2.5A max 50/60Hz

#### 4. Les produits relatifs au traitement des problèmes musculaires


Une dernière application de la diode laser dans le milieu médical est le traitement des problèmes musculaires dont un exemple fréquent est le Carpel Tunnel Syndrome.

Les lasers utilisés pour ce genre d'application sont de taille réduite et de faible puissance. On appelle cela le LLLT (Low Level Laser Therapy).



Le Carpel Tunnel syndrome consiste en une inflammation des tendons du poignet qui compressent les veines et les nerfs empêchant un fonctionnement normal de la main. La longueur d'onde infrarouge (830nm) pénètre la peau (épiderme, derme et couches inférieures) pour arriver jusqu'au muscle. Des photons viennent exciter les cellules ce qui permet de stimuler les nerfs. La circulation sanguine est améliorée et le tendon enflé dégonfle dans l'heure qui suit.

On peut trouver ce produit chez ArcherMedical sous le nom de LaserLite830 et chez MicroLightLaser sous le nom de MicroLight.

	Type de Laser	3 Diodes Laser GaAlAs
	Longueur d'onde	830nm
	Puissance	30mW par diode

Cette méthode de LLLT a connu un fort développement il y a une vingtaine d'année, sans que quiconque n'ait pourtant démontré son efficacité médicale. Il apparaît cependant aujourd'hui de nouvelles recherches qui montreraient les effets bénéfiques de cette méthode. Le LLLT pourrait donc subir un nouvel essor dans les années à venir.

## IV. Législation

La législation concernant la fabrication, la vente et l'utilisation de lasers médicaux est différente selon les pays. En Europe, les appareils fabriqués doivent répondre à la norme 93/42 CEE du conseil des communautés européennes relatif aux dispositifs médicaux (14 Juin 1993). Aux Etats Unis, les entreprises doivent s'adresser à la FDA (*Food and Drug Administration*) et obtenir son accréditation pour pouvoir commercialiser ses produits. Par exemple, la FDA a autorisé l'épilation à la diode laser en 1997. Aux Etats Unis et en Europe, les lasers médicaux sont répartis en différentes classes. En annexe se trouve le classement des Etats-Unis tiré de la norme CFR 1040.10.

En ce qui concerne l'utilisation de lasers médicaux, les législations sont également différentes selon les pays. Au Canada par exemple, il existe un vide juridique total concernant l'achat et l'utilisation de tels lasers. N'importe qui peut donc acheter un laser médical et s'en servir. En France, la législation est plus stricte : toute utilisation de laser médical doit se faire en présence d'un médecin. Il existe cependant une certaine confusion sur les termes de lasers médicaux en particulier utilisée dans le domaine de l'épilation. Certains salons d'esthétique proposent des épilations laser utilisant donc des lasers de faible puissance dit non-médicaux.

## Conclusion

La diode laser se retrouve dans un grand nombre de secteurs du médical (Ophtalmologie, Endoscopie, Dermatologie etc). On trouve en effet un grand nombre de produits sur le marché (cf tableau en annexe). Les diodes laser ont l'avantage d'être légèrement moins chères que les lasers à cavité mais cette technologie étant récente dans le médical, les prix restent élevés. Les spécialistes prévoient cependant une diminution progressive des prix dans les années à venir.

L'éventail d'applications utilisant les diodes lasers tend à s'élargir grâce aux avancées technologiques dans le domaine des semi-conducteurs. En effet on cherche à avoir une plus grande gamme spectrale, une augmentation de la puissance et une réduction de la durée des pulses. Ceci pourrait permettre d'accroître le champ d'application de la diode laser au service du diagnostic par exemple pour la détection des cancers.

Au vu des avancées technologiques faites ces dernières années et de celles à venir, on peut espérer un avenir prometteur à la diode laser dans le médical.

## Bibliographie

Pour nos recherches, nous avons principalement utilisé internet. Voici une liste non exhaustive des sites des constructeurs que nous avons visités :

[www.biolitec.com](http://www.biolitec.com)  
[www.candelalaser.com](http://www.candelalaser.com)  
[www.conbio.com](http://www.conbio.com)  
[www.diomedinc.com](http://www.diomedinc.com)  
[www.iredex.com](http://www.iredex.com)  
[www.lambdascientifica.com](http://www.lambdascientifica.com)  
[www.limmerlaser.de](http://www.limmerlaser.de)  
[www.lumenis.com](http://www.lumenis.com)  
[www.optosgroup.com](http://www.optosgroup.com)  
[www.opusmed.com](http://www.opusmed.com)  
[www.quantelmedical.com](http://www.quantelmedical.com)

Voici également quelques articles que nous avons consultés :

- Medical instrument for photodynamic treatment or photodynamic diagnosis using high power semiconductor laser diode, Jong-Yoon BAHK, 2002
- Etude biophotonique, étude réalisée par Optics Valley et le Génopole d'Evry en collaboration avec l'ADIT, juin 2003

Nous remercions les commerciaux qui ont eu la gentillesse de nous donner des renseignements sur le prix de leurs produits.

En ce qui concerne les différentes législations, nous avons consulté les sites suivants :

- <http://www.lasermet.com/resources/downloads/21cfr1040-10.pdf>
- [http://europa.eu.int/smartapi/cgi/sga\\_doc?smartapi!celexplus!prod!CELEXnumdoc&lg=fr&numdoc=31993L0042](http://europa.eu.int/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!CELEXnumdoc&lg=fr&numdoc=31993L0042)

## ANNEXES

### 1. Tableau des produits et fabricants rencontrés.

	ENDOSCOPIE				DENTAIRE	ESTHETIQUE			MUSCULAIRE
	PDT	Varices	Ophtalmologie	Autres		Epilation	Dermato		
							Acné	Cellulite	
Archermedical									LaserLite 830
AsclepionLaser Technology						MedioStar HC Pro			
ATC semi-conductor				Actus10 et 15					
Biolitec	Photoselect	EVLeS		EVOLVE	SmilePro980				
CandelaLaser							SmoothBeam		
DekaLaser					Smarty A800, A900			TriActive	
Dermalogix							HandLaser		
DioMed	630PDT	ELVT							
Dornier				Med Tech					
HOYA conbio					DioDent				
Iridex			Oculight SL			APEX 800			
Lambda Scientifica					DoctorSmile				
Limmer Laser				DIOLAS 980	DIOLAS 980 D				
Lumenis					Opus 5 10 et 20	LightSheer ET			
Microlight Laser									Microlight
Optosgroup			StarPDT Laser						
OpusMed						F1 Diode Laser			
OrionLaser						Sonata			
Quantel Medical			Activis et Iridis810						
Syneron							Galaxy et Polaris		

## 2. Classement des lasers selon la norme américaine

CLASS I ACCESSIBLE EMISSION LIMITS FOR LASER RADIATION

Wavelength (nanometers)	Emission duration (seconds)	Class I-Accessible emission limits		
		(value)	(unit)	(quantity)**
≥180 but ≤400	≤3.0 X 10 <sup>-4</sup>	2.4 X 10 <sup>-5</sup> k <sub>1</sub> k <sub>2</sub> *	Joules(J)*	radiant energy
	>3.0 X 10 <sup>-4</sup>	8.0 X 10 <sup>-10</sup> k <sub>1</sub> k <sub>2</sub> *	Watts(W)*	radiant power
>400 but ≤1400	>1.0 X 10 <sup>-9</sup> to 2.0 X 10 <sup>-5</sup>	2.0 X 10 <sup>-7</sup> k <sub>1</sub> k <sub>2</sub>	J	radiant energy
	>2.0 X 10 <sup>-5</sup> to 1.0 X 10 <sup>-1</sup>	7.0 X 10 <sup>-4</sup> k <sub>1</sub> k <sub>2</sub> t <sup>3/4</sup>	J	radiant energy
	>1.0 X 10 <sup>-1</sup> to 1.0 X 10 <sup>4</sup>	3.9 X 10 <sup>-3</sup> k <sub>1</sub> k <sub>2</sub>	J	radiant energy
	>1.0 X 10 <sup>4</sup>	3.9 X 10 <sup>-7</sup> k <sub>1</sub> k <sub>2</sub>	W	radiant power
and also (See paragraph (d)(4) of this section.)				
>1400 but ≤2500 but ≤2500 but ≤2500 but ≤2500 but ≤2500 but ≤2500	>1.0 X 10 <sup>-9</sup> to 1.0 X 10 <sup>-1</sup>	10k <sub>1</sub> k <sub>2</sub> t <sup>1/3</sup>	Jcm <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	integrated radiance
	>1.0 X 10 <sup>-1</sup> to 1.0 X 10 <sup>4</sup>	20k <sub>1</sub> k <sub>2</sub>	Jcm <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	integrated radiance
	>1.0 X 10 <sup>4</sup>	2.0 X 10 <sup>-3</sup> k <sub>1</sub> k <sub>2</sub>	Wcm <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	radiance
	>1.0 X 10 <sup>-9</sup> to 1.0 X 10 <sup>-7</sup>	7.9 X 10 <sup>-5</sup> k <sub>1</sub> k <sub>2</sub>	J	radiant energy
	>1.0 X 10 <sup>-7</sup> to 1.0 X 10 <sup>-1</sup>	4.4 X 10 <sup>-3</sup> k <sub>1</sub> k <sub>2</sub> t <sup>1/4</sup>	J	radiant energy
	>1.0 X 10 <sup>-1</sup>	7.9 X 10 <sup>-4</sup> k <sub>1</sub> k <sub>2</sub>	W	radiant power
	>1.0 X 10 <sup>-9</sup> to 1.0 X 10 <sup>-7</sup>	1.0 X 10 <sup>-2</sup> k <sub>1</sub> k <sub>2</sub>	Jcm <sup>-2</sup>	radiant exposure
	>1.0 X 10 <sup>-7</sup> to 1.0 X 10 <sup>-1</sup>	5.6 X 10 <sup>-1</sup> k <sub>1</sub> k <sub>2</sub> t <sup>1/4</sup>	Jcm <sup>-2</sup>	radiant exposure
	>1.0 X 10 <sup>-1</sup>	1.0 X 10 <sup>-1</sup> k <sub>1</sub> k <sub>2</sub> t	Jcm <sup>-2</sup>	radiant exposure

\*\*Class I accessible emission limits for wavelengths equal to or greater than 180 nm but less than or equal to 400 nm shall not exceed the Class I accessible emission limits for the wavelengths greater than 1400 nm but less than or equal to 1.0 X 10<sup>6</sup> nm with a k<sub>1</sub> and k<sub>2</sub> of 1.0 for comparable sampling intervals.

\*\*\*Measurement parameters and test conditions shall be in accordance with paragraphs (d)(1), (2), (3), and (4), and (e) of this section.

CLASS IIa ACCESSIBLE EMISSION LIMITS FOR LASER RADIATION

CLASS IIa ACCESSIBLE EMISSION LIMITS ARE IDENTICAL TO CLASS I ACCESSIBLE EMISSION LIMITS EXCEPT WITHIN THE FOLLOWING RANGE OF WAVELENGTHS AND EMISSION DURATIONS:			
Wavelength (nanometers)	Emission duration (seconds)	Class IIa-Accessible emission limits	
		(value)	(unit) (quantity)*
>400 but <710	>1.0 X 10 <sup>3</sup>	3.9 X 10 <sup>-6</sup>	W radiant power

\*Measurement parameters and test conditions shall be in accordance with paragraphs (d)(1), (2), (3), and (4), and (e) of this section.

TABLE II

CLASS II ACCESSIBLE EMISSION LIMITS FOR LASER RADIATION

CLASS II ACCESSIBLE EMISSION LIMITS ARE IDENTICAL TO CLASS I ACCESSIBLE EMISSION LIMITS EXCEPT WITHIN THE FOLLOWING RANGE OF WAVELENGTHS AND EMISSION DURATIONS:			
Wavelength (nanometers)	Emission duration (seconds)	Class II-Accessible emission limits	
		(value)	(unit) (quantity)*
>400 but <710	>2.5 X 10 <sup>-1</sup>	1.0 X 10 <sup>-3</sup>	W radiant power

\*Measurement parameters and test conditions shall be in accordance with paragraphs (d)(1), (2), (3), and (4), and (e) of this section.

CLASS IIIa ACCESSIBLE EMISSION LIMITS FOR LASER RADIATION

CLASS IIIa ACCESSIBLE EMISSION LIMITS ARE IDENTICAL TO CLASS I ACCESSIBLE EMISSION LIMITS EXCEPT WITHIN THE FOLLOWING RANGE OF WAVELENGTHS AND EMISSION DURATIONS:			
Wavelength (nanometers)	Emission duration (seconds)	Class IIIa-Accessible emission limits	
		(value)	(unit) (quantity)*
>400 but ≤710	>3.8 X 10 <sup>-4</sup>	5.0 X 10 <sup>-3</sup>	W radiant power

\*Measurement parameters and test conditions shall be in accordance with paragraphs (d)(1), (2), (3), and (4), and (e) of this section.

TABLE III-B  
CLASS IIIb ACCESSIBLE EMISSION LIMITS FOR LASER RADIATION

Wavelength (nanometers)	Emission duration (seconds)	Class IIIb-Accessible emission limits	
		(value)	(unit) (quantity)*
>180 but ≤400	≤2.5 X 10 <sup>-1</sup> >2.5 X 10 <sup>-1</sup>	3.8 X 10 <sup>-4</sup> k <sub>1</sub> k <sub>2</sub> 1.5 X 10 <sup>-3</sup> k <sub>1</sub> k <sub>2</sub>	J radiant energy V radiant power
>400 but ≤1400	>1.0 X 10 <sup>-9</sup> to 2.5 X 10 <sup>-1</sup>	10k <sub>1</sub> k <sub>2</sub> t <sup>1/3</sup> to a maximum value of 10	Jcm <sup>-2</sup> radiant exposure Jcm <sup>-2</sup> radiant exposure
>1400 but ≤1.0 X 10 <sup>6</sup>	>2.5 X 10 <sup>-1</sup> >1.0 X 10 <sup>-9</sup> to 1.0 X 10 <sup>1</sup> >1.0 X 10 <sup>3</sup>	5.0 X 10 <sup>-1</sup> 10 5.0 X 10 <sup>-1</sup>	V radiant power Jcm <sup>-2</sup> radiant exposure V radiant power

\*Measurement parameter and test conditions shall be in accordance with paragraphs (d)(1), (2), (3), and (4), and (e) of this section.

# **Le marché des diodes laser dans le médical**

## **Corrections & Suppléments**

### **Osyris : Fabricant français de produits endoveineux.**

Osyris, société française spécialisée dans le domaine du laser commercialise un laser médical à base de diode : le pharaon 980 utilisé dans le traitement endoveineux.

Osyrist souffre de la concurrence des sociétés allemande et américaines Biolitec et Diomed qui ont une expérience plus longue dans ce domaine d'une part et qui possèdent un parc de machines en fonction bien plus important. Ce dernier paramètre est très important pour les acheteurs et empêche par conséquent le département médical d'Osyris de se développer d'avantage.

### **Traitement de la dégénérescence maculaire par PDT**

La thérapie photodynamique consiste en l'injection d'une substance dite photosensibilisante de type porphyrine, la vertéporfine, qui se fixe préférentiellement dans les néovaisseaux, notamment les néovaisseaux choroïdiens. La rétine est ensuite irradiée par un faisceau laser de faible intensité, dont la longueur d'onde correspond au pic d'absorption de ce colorant. L'interaction de cette lumière avec le photosensibilisant génère la formation d'oxygène actif et de « radicaux libres » qui sont à l'origine de lésions cellulaires. Les altérations des cellules de l'endothélium vasculaire entraînent une activation de l'agrégation plaquettaire et des phénomènes thrombotiques, résultant en une occlusion des néovaisseaux. En l'absence de photosensibilisant, on estime que les effets biologiques de cette photo-illumination sur l'œil sont négligeables.

L'irradiation lumineuse permettant l'activation de la substance photosensibilisante est réalisée à l'aide d'un laser à diode, de manière à obtenir un rayonnement de longueur d'onde (689nm), d'intensité et de dimensions spatiales précises. L'appareil délivre un faisceau d'une intensité lumineuse recommandée de 600 mW/cm<sup>2</sup>, pendant une durée de 83 secondes. Un seul impact lumineux est utilisé, couvrant la totalité de la lésion. (Le médecin prévoit une zone supplémentaire et 500 microns de chaque côté de la lésion pour être plus précis et pour tenir compte des mouvements oculaires possibles du patient. Ce traitement ne peut être fait à moins de 200 microns du bord du nerf optique.)

L'œil du patient est dilaté avant le traitement. Un anesthésiant est parfois injecté au patient pour éviter les mouvements de l'œil pendant le traitement. Pour focaliser le faisceau correctement, une lentille est déposée à la surface de l'œil du patient..

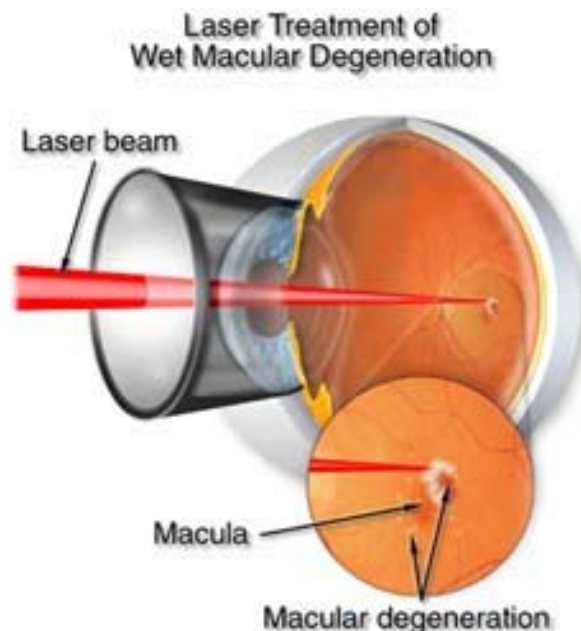
Pendant les 48 heures qui suivent un traitement à la vertéporfine, les patients restent photosensibles et doivent éviter de s'exposer au rayonnement solaire ou aux éclairages de forte intensité (appareils de bronzage, lampes halogènes, scialytiques des blocs opératoires ou des cabinets dentaires). Des recommandations doivent leur être données par le médecin traitant. Ils doivent porter des vêtements couvrants ainsi que des lunettes de soleil à haut indice de protection (les crèmes solaires anti-UV étant insuffisantes pour assurer une protection efficace).

Les résultats du traitement sont évalués après 3 mois, sur clichés angiographiques de la rétine. En cas de stabilisation insuffisante ou de progression, le malade est retraité sans que les effets secondaires en soient majorés.

Le traitement au laser se fait sur une surface prédéterminée avec le biomicroscope et une lentille TPD (similaire à la forme d'une lentille gonioscopique ou trois miroirs).

Le laboratoire Novartis a mis au point la molécule vertéporfine (nom commercial Visudyne™) en collaboration avec la société QLT spécialisée en lasers de photothérapie.

Il faut savoir que le prix actuel d'une ampoule de Visudyne™ est de 1427 euros environ. Il semble qu'il faille entre 3 et 4 séances au cours de la première année de traitement. Le recul n'est pas assez important pour avoir beaucoup de données sur cet aspect du problème. Des informations seront disponibles dans les mois à venir.

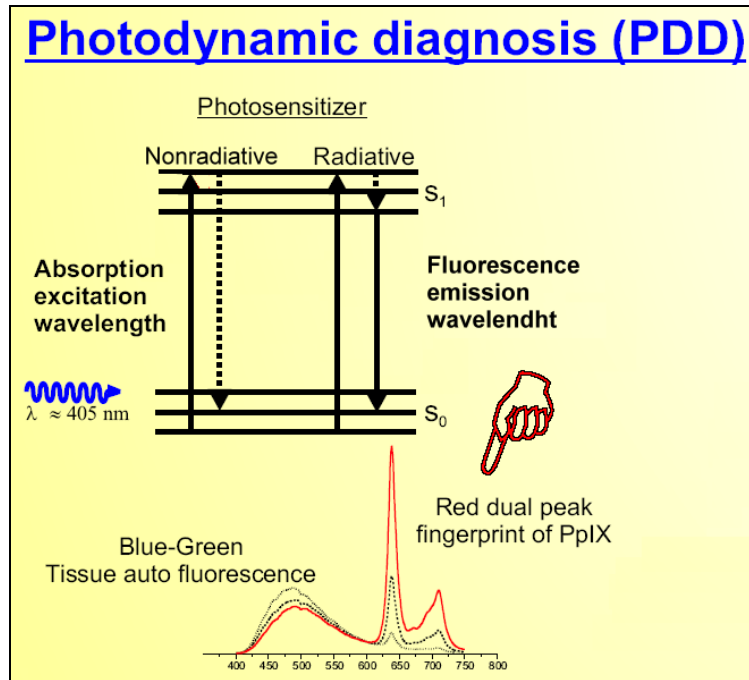


## Plages d'étude de la fluorescence des cellules et plage d'excitation.

Pour la PDD, un faisceau de longueur d'onde comprise entre 400 et 460 nm est injecté sur les cellules que l'on veut diagnostiquer. L'insertion de cette lumière est faite de façon endoscopique.

C'est ensuite le processus d'auto-fluorescence qui rentre en jeu.

Sous le stimulus de la lumière bleue, les secteurs tumoraux entrent en fluorescence dans le rouge (aux alentours des 600 – 650nm).



Dans le meilleur des cas, aucune substance extérieure n'est nécessaire. Les cellules pour lesquelles l'autofluorescence est importante sont très rares (nous n'avons pu recenser que le PDD du cancer des bronchial) c'est pourquoi on a le plus souvent recours à l'injection de photosensibilisant qui augmentent la fluorescence des cellules saines comme malades. On appelle cela l'auto-fluorescence induite.

L'utilisation de ces photosensibilisants pose un certain nombre de problèmes. En effet ces agents deviennent toxiques pour l'organisme des lors qu'ils sont exposés à un flux lumineux.

Le processus détruit donc des cellules saines pour pouvoir détecter les cellules tumorales.

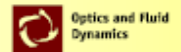
Comme pour le PDT, les progrès technologiques à venir se situent au niveau de l'amélioration des photosensibilisants et non au niveau des diodes laser.

# Diode laser systems for photodynamic diagnosis and therapy

Eva Samsøe<sup>a,b</sup>, Paul M. Petersen<sup>a</sup>, Peter E. Andersen<sup>a</sup>, Stefan Andersson-Engels<sup>b</sup> and Katarina Svanberg<sup>c</sup>



a) Rise National Laboratory, Optics and Fluid Dynamics Department  
 b) Lund Institute of Technology, Department of Physics  
 c) Lund University Hospital, Department of Oncology

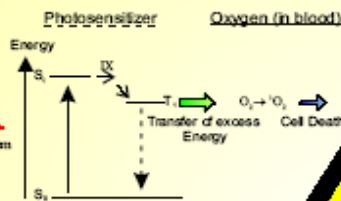


## Introduction

A novel diode laser system for (interstitial) photodynamic therapy is demonstrated. The system was tested in the clinic at Marselisborg Hospital in Århus (Dk) and at Lund University Hospital (Se). A setup for a novel generation blue-violet laser for photodynamic fluorescence diagnosis is proposed. This system which involves quasi-phase matched second harmonic generation is currently under development at Rise National Laboratory, Dk.

## Photodynamic therapy (PDT) using ALA

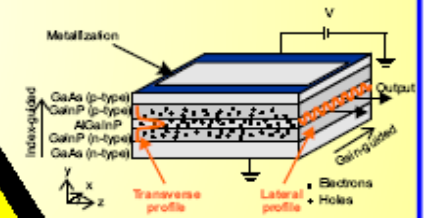
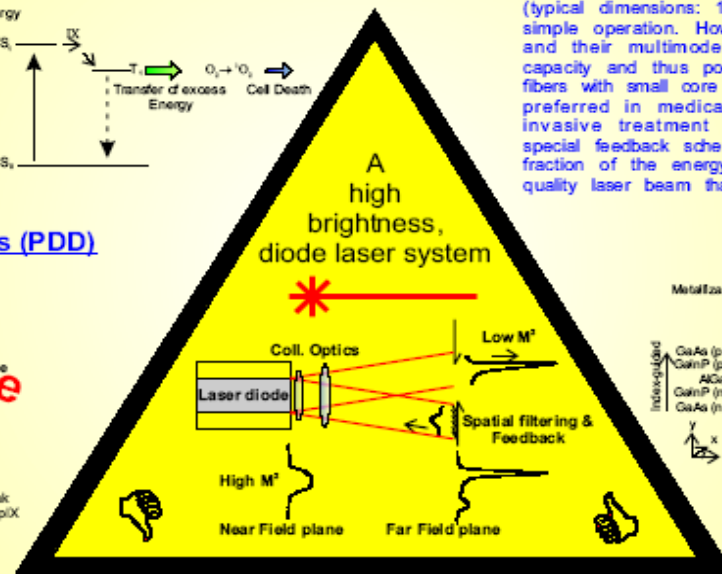
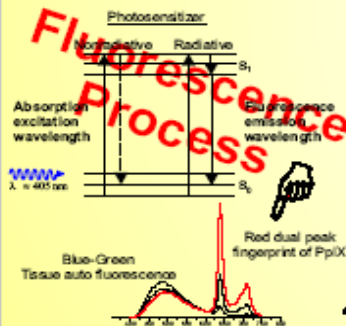
- 1) Add drug (ALA)
- 2) Wait: ALA transforms to PpIX and accumulates in diseased tissue
- 3) Illuminate with 635nm:  $\lambda = 635 \text{ nm}$
- 4) Oxygen is excited and singlet oxygen is formed. This aggressive molecule leads to destruction of the cancerous tissue<sup>1)</sup>.



## Light sources for ALA-PDT/PDD

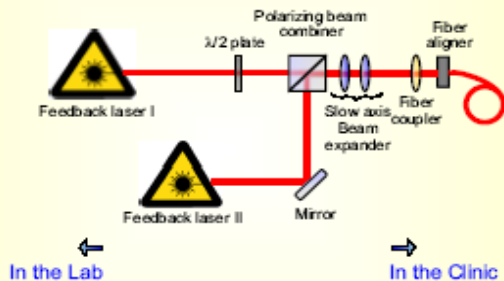
Diode lasers are favored due to their compactness (typical dimensions:  $1 \times 100 \times 1000 \mu\text{m}^2$ ), low cost and simple operation. However, their astigmatic structure and their multimode operation led to poor focus capacity and thus poor coupling efficiency to optical fibers with small core diameters. Such fibers are often preferred in medical applications where minimal invasive treatment is attractive. By applying a special feedback scheme<sup>2)</sup> to the diode laser a large fraction of the energy may be extracted as a high quality laser beam that couples well to optical fibers.

## Photodynamic diagnosis (PDD)



## The feedback laser in PDT

Polarization coupling of two 635nm feedback diode lasers to obtain power doubling while maintaining the low  $M^2$  value and thus the high beam quality<sup>3)</sup>.



Interstitial PDT in Lund (Sweden) (Practicing doctor: Dr. K. Svanberg)



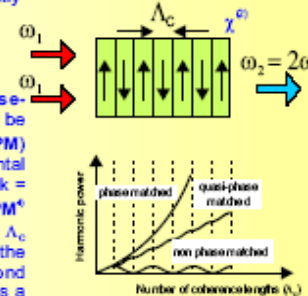
Superficial PDT in Århus (Denmark) (Practicing doctors: Dr. H. Selvén, Dr. P. Bjerring)

## Second Harmonic Generation (SHG)

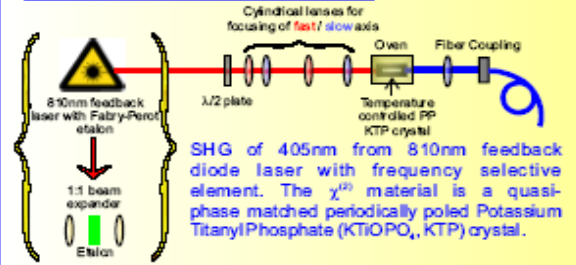
SHG is a three wave mixing nonlinear optical process. Under certain conditions, two incident beams with the same frequency  $\omega_1$  are converted more or less efficiently into light with the double frequency  $\omega_2 = 2\omega_1$ .

## Phase Matching

When  $\Delta k = k_{2\omega} - 2k_{\omega} = 0$ , the process is said to be phase-matched (PM). The condition is:  $n_{2\omega} = n_{\omega}$ , which can be obtained using birefringent materials. When  $\Delta k \neq 0$  (non PM) the energy will flow back and forth between the fundamental and the SH wave with a period of  $2\Lambda_c$ , where  $\Lambda_c = \pi/\Delta k = \lambda_{2\omega}/4(n_{2\omega} - n_{\omega})$  is called the coherence length. In Quasi-PM<sup>4)</sup> the sign of the non-linear coefficient is reversed every  $\Lambda_c$  such that a phase change occurs between the field and the driving polarization. In stead of cancelling during the second half-cycle, the field will be enhanced. Periodic poling is a technique to obtain QPM materials. The material is poled periodically by application of an electric field using patterned electrodes.



## The feedback laser in PDD



Intensity of second harmonic: 
$$I(2\omega) \propto I(\omega)^2 L^2 \left( \frac{\sin(\Delta k L / 2)}{\Delta k L / 2} \right)^2$$

## References

- 1) Q. Peng, T. Warloe, K. Berg, J. Moan, M. Kongshaug, K.-E. Gierdtsky, and J. M. Nesland, *Cancer* 79, pp. 2282-2308 (1997)
- 2) M. Label, P. M. Petersen, and P. M. Johansen, *Opt. Lett.* 23, pp. 825-827 (1998)
- 3) E. Samsøe, P. Malm, P. E. Andersen, P. M. Petersen, and S. Andersson-Engels, *Opt. Commun.* 219, pp. 369-375 (2003)
- 4) J. A. Armstrong, N. Bloembergen, J. Ducuing, and P. S. Pershan, *Phys. Rev.* 127, pp. 1918-1939 (1962).

## Acknowledgment

This work is supported by the Danish Technical Research Council, grant #9901433

### Correctifs sur l'épilation laser.

Un faisceau de lumière vient balayer la zone à épiler, la peau ne l'absorbe que très peu, subissant un échauffement modéré; à l'inverse la mélanine contenue dans la racine des poils capte la totalité de la lumière reçue, provoquant une élévation brutale de la température de la racine et sa destruction. La chaleur est à 95% distribuée par la diffusion de la peau et à 5% par la conduction thermique du poil. La peau doit donc avoir des caractéristiques particulières : ne pas être trop foncée donc trop diffusante, les poils ne doivent pas être trop clairs également.

Voici un schéma de principe de l'épilation laser.

