

Lasers dermatologiques : les bases

CEDEF





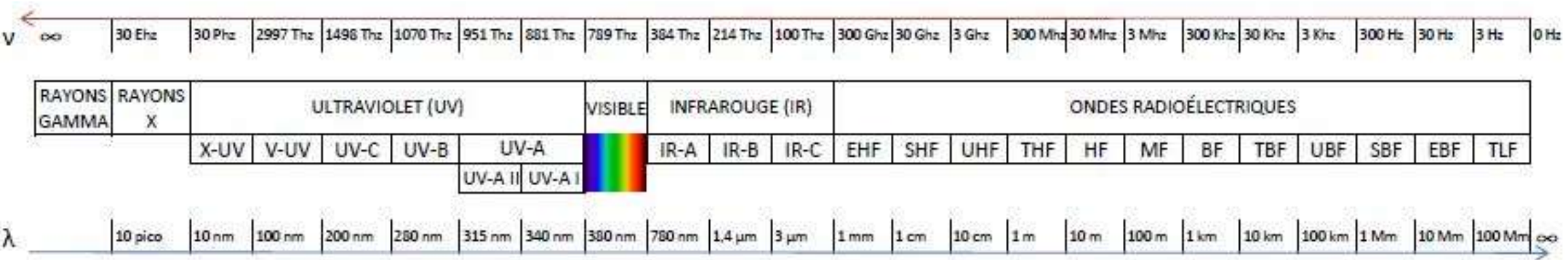
Bases fondamentales



Qu'est ce qu'un LASER

- LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- Les lasers sont des dispositifs qui produisent ou amplifient un rayonnement cohérent et directif pour des longueurs d'onde situées dans le domaine optique des ondes électromagnétiques couvrant l'infrarouge, le visible et l'ultraviolet (photons tous identiques allant dans la même direction)
- 1ers lasers dans les années 60 (rubis = 694nm) – Théodore Maiman
- Actuellement : énorme marché, utilisation en télécommunication, industrie, recherche, médecine





THÉORIE, DOMAINES DU SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Rayonnement	Longueur d'onde
Rayon gamma	<10pm
Rayon X	10pm – 10nm
Ultraviolet	10nm – 390nm
Visible	390nm - 750nm
Infrarouge	750nm – 0,1mm
TéraHertz/submillimétrique	0,1mm – 1mm
Micro-ondes	1mm - 1m
Ondes radio	1m – 100 00km

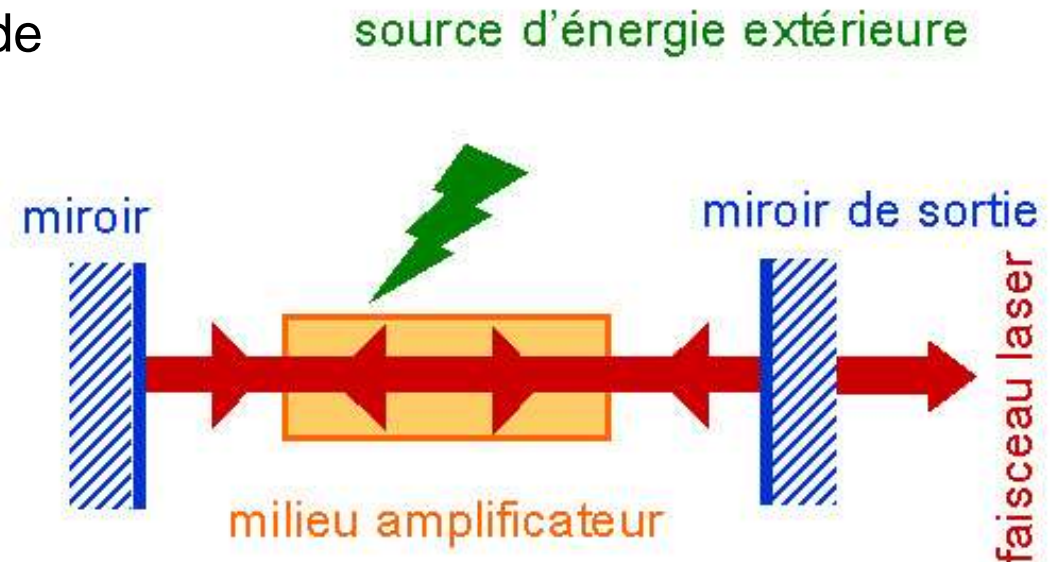
Schéma d'un oscillateur LASER

Défini par 2 éléments fondamentaux :

- Un milieu amplificateur (gaz, plasma, solide voire liquide)
- Un système d'excitation du milieu amplificateur (système de pompage: optique, électrique voire chimique) +/- résonateur optique ou cavité

Passage d'un état actif stable à un état excité instable . Désexcitation avec émission photon

Émission rayonnement cohérent monochromatique



Lien vers vidéo : <https://lejournal.cnrs.fr/articles/le-laser-histoire-dune-decouverte-lumineuse>



Interaction lumière et peau

- Peau = milieu hétérogène complexe, fait grossièrement de 3 couches
- Caractérisation optique grâce à des études expérimentales
- L'atteinte sélective d'une cible en profondeur est complexe et dépend de nombreux facteurs
 - Réflexion et la réfraction
 - Absorption
 - Diffusion

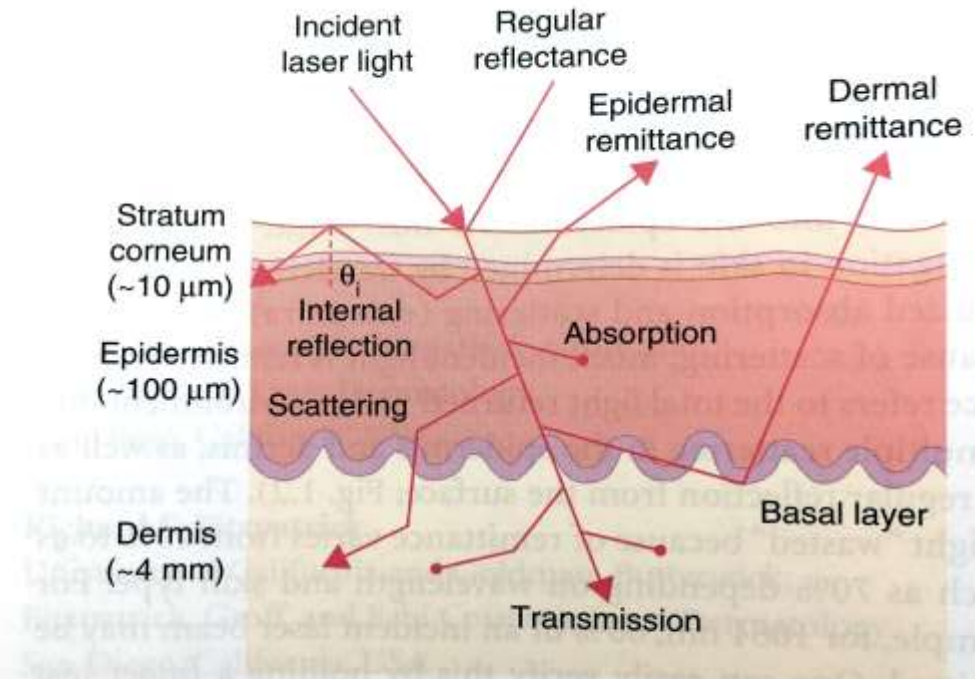


Figure 1.2 The behavior of light at skin surface.



Notion de Chromophore

EMC S. Mordon – Lasers
thérapeutiques: bases fondamentales

- Différents chromophores vont absorber la lumière:
 - EAU
 - SANG
 - MELANINE
- EAU : zone infrarouge
- HB: plusieurs pics
 - HbO₂: 280, 420, 540 et 580nm
- Mélanine : absorption diminue avec l'augmentation de la longueur

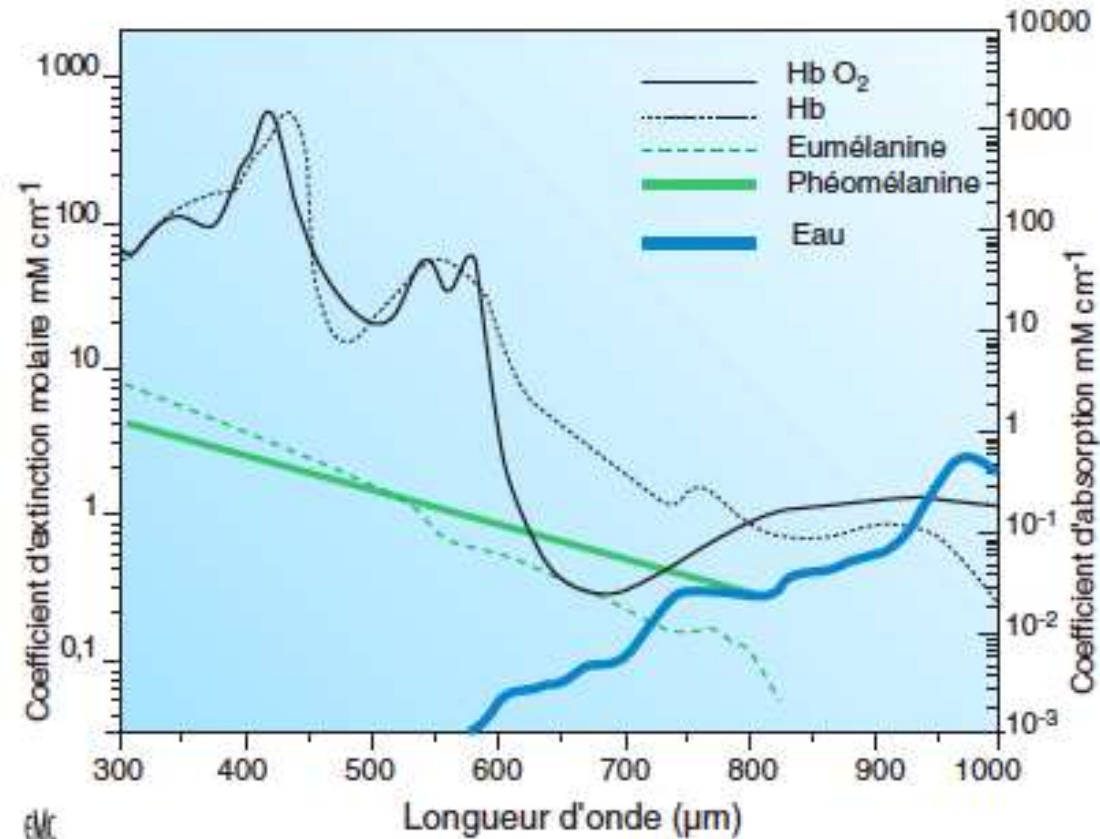


Figure 4. Absorption des principaux chromophores de la peau de 300 nm à 1000 nm. D'après Ross EV, Smirnov M, Pankratov M, Altshuler G. Intense pulsed light and laser treatment of facial telangiectasias and dyspigmentation: some theoretical and practical comparisons. *Dermatol Surg* 2005;**31**:1188-98.

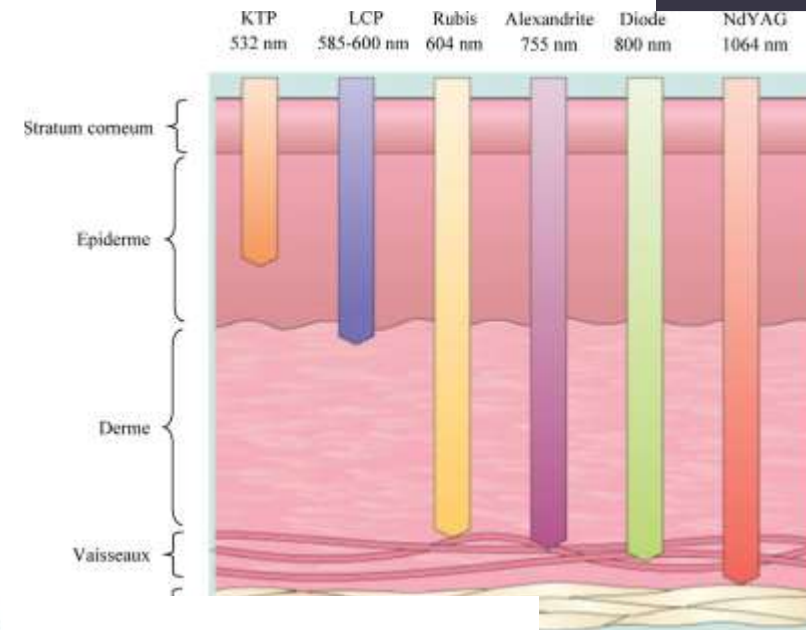
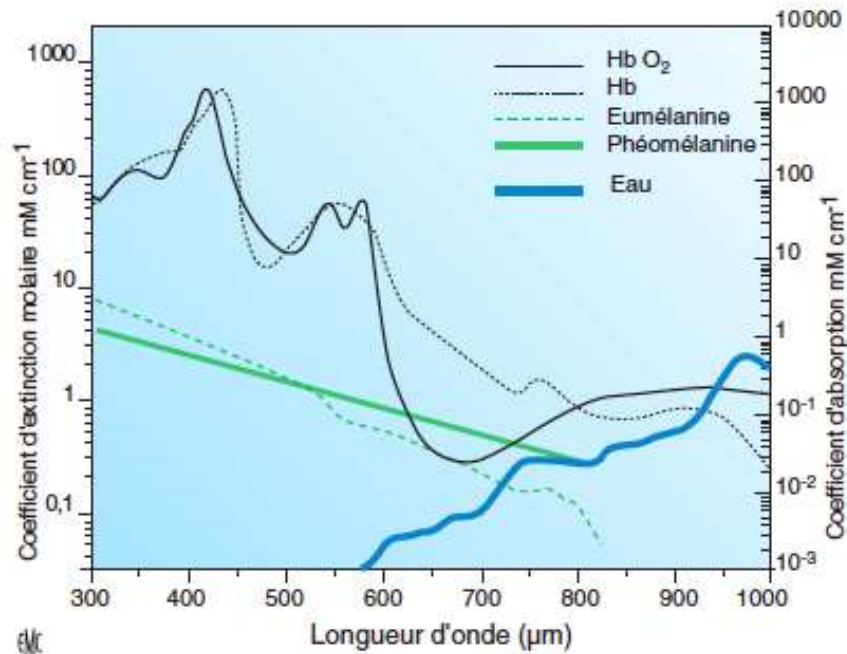


Paramètres importants et notions de base

- Longueur d'onde/choix du chromophore/pénétration
- Fluence/irradiance/puissance
- Taille de spot
- Durée d'impulsion/temps de relaxation thermique
- Mode de délivrance du pulse et effet biologique
- refroidissement



Chromophore et pénétration



- Chromophores avec spectres d'absorption selon les longueurs d'onde
- Affinité pour chromophore détermine sélectivité de la longueur d'onde
- Rôle de la profondeur de pénétration sur la sélectivité (relation inverse entre λ et diffusion)

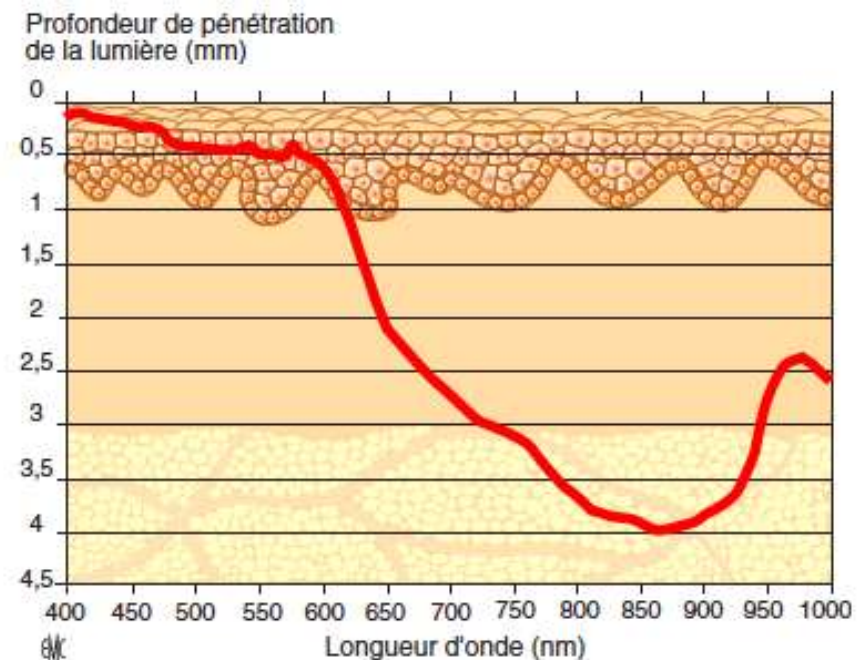


Figure 5. Profondeur de pénétration de la lumière dans la peau pour différentes longueurs d'onde exprimée en % d'énergie traversant l'épiderme et/ou le derme.



Paramètres importants et notions de base

- Longueur d'onde/choix du chromophore/pénétration
- **Fluence/irradiance/puissance**
- Taille de spot
- Durée d'impulsion/temps de relaxation thermique
- Mode de délivrance du pulse et effet biologique
- refroidissement



Quelques définitions:

- **Energie** : dose totale d'énergie déposée en joules (J)
- **Puissance** : énergie de l'impulsion laser divisée par le temps d'impulsion (Watts =W)
- **Fluence** (ou densité d'énergie) : c'est l'énergie reçue par unité de surface de la cible. Elle s'exprime en Joules par cm^2 ou m^2
- **Irradiance** (ou densité de puissance) : c'est l'énergie délivrée à la cible par seconde et par unité de surface. Elle s'exprime en Watts par cm^2 ou m^2



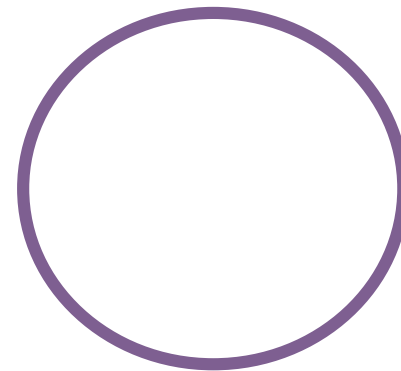
Paramètres importants et notions de base

- Longueur d'onde/choix du chromophore/pénétration
- Fluence/irradiance/puissance
- **Taille de spot**
- Durée d'impulsion/temps de relaxation thermique
- Mode de délivrance du pulse et effet biologique
- refroidissement

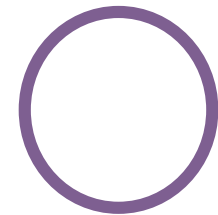


Diamètre du spot

- Diamètre du spot laser = D
- Surface du spot = $(\pi \times D^2)/4$
- Donc si on réduit le diamètre de spot d'un facteur 2 on réduit la surface d'un facteur 4
- Donc à puissance égale on multiplie la fluence par 4



5mm – 5J/cm²
T° = + 15° C



2,5mm – 20J/cm²
T° = + 60° C

Ds les 2 cas la puissance du laser est de 10W
et le temps de tir de 0,1s



Diamètre du spot

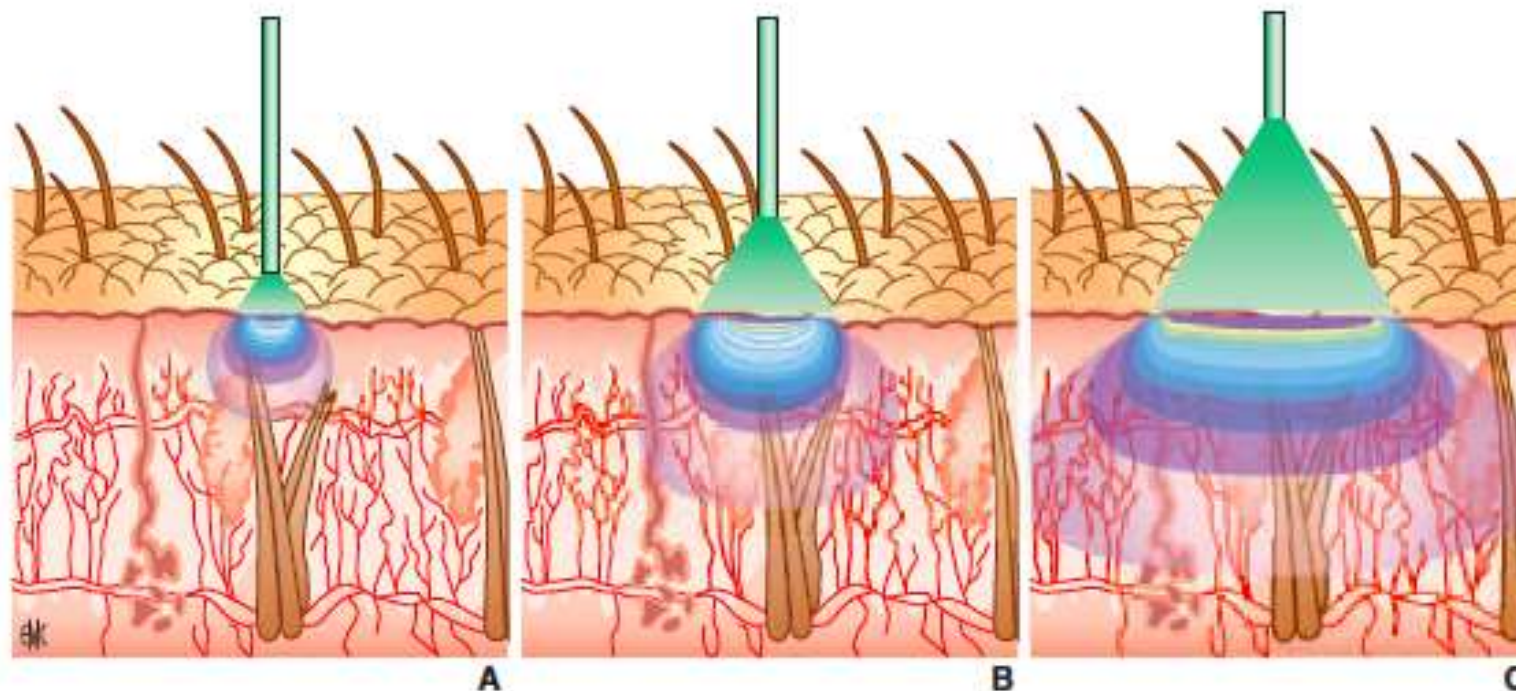


Figure 6. Pénétration du laser Nd:YAG en fonction du diamètre du spot.

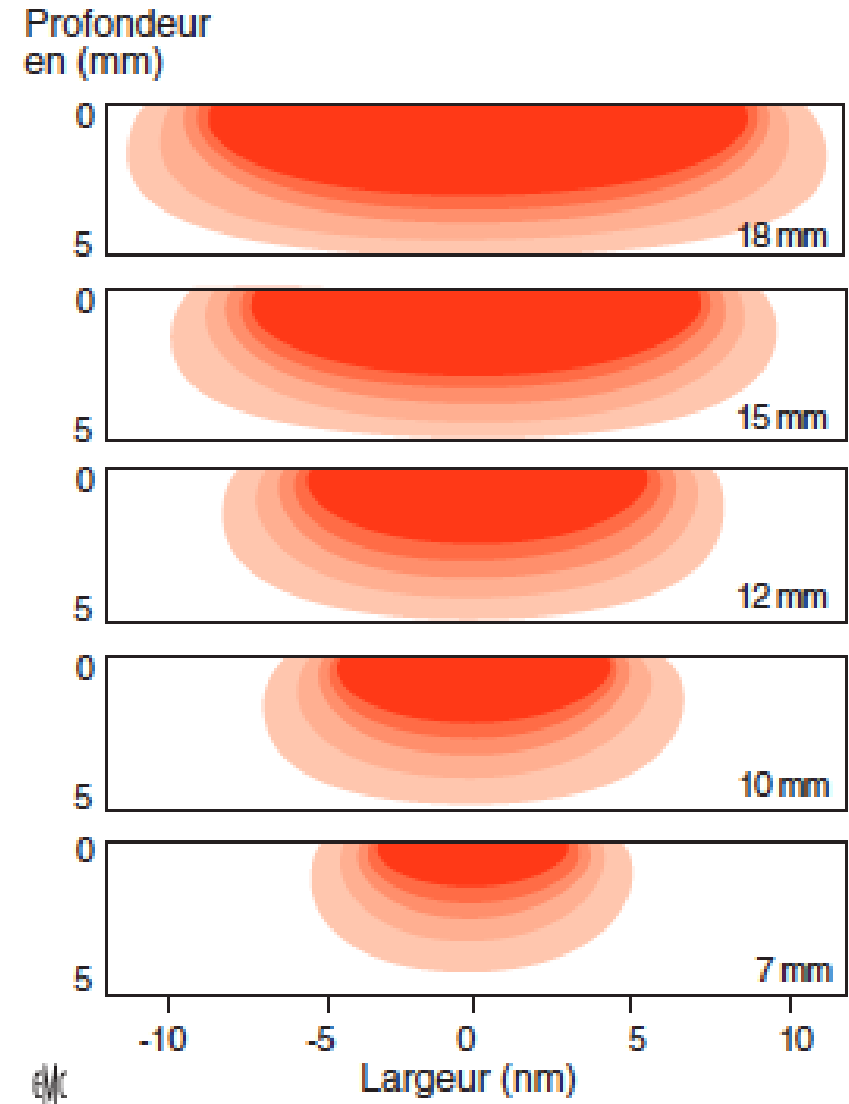
A. 0,5 mm.

B. 1 mm.

C. 2 mm. Divergence du faisceau en sortie de fibre : 53° . Chaque couleur représente une variation de 10 % de la fluence. On peut donc observer que, alors que le laser Nd:YAG pénètre profondément, la réduction du spot diminue considérablement la profondeur de pénétration. D'après Reinisch L. Scatter-limited phototherapy: a model for laser treatment of skin. *Lasers Surg Med* 2002;**30**:381-8.



- Si la diminution de la taille de spot peut diminuer la profondeur de pénétration...
- A l'inverse, l'utilisation d'une très grande taille de spot n'augmentera pas la profondeur de pénétration qui est **dépendante de la longueur d'onde.**



Paramètres importants et notions de base

- Longueur d'onde/choix du chromophore/pénétration
- Fluence/irradiance/puissance
- **Durée d'impulsion/Temps de relaxation thermique**
- Mode de délivrance du pulse et effet biologique
- Taille de spot
- refroidissement



Catégories d'action de la lumière

EMC S. Mordon – Lasers
thérapeutiques: bases fondamentales

- **Effet photochimique:** 10aine de sec à 10aines de min avec irradiances très faibles (ex: PDT)
- **Effet photothermique:** de qlques 100aines de microsec à quelques secondes avec irradiances de 10 à 10^6W/cm^2
- **Effet photoablatif :** impulsions de 10 ns à $1 \mu\text{s}$,
- **Action photomécanique :** 10ps à 100ns , avec des irradiances de l'ordre de 10^7 à 10^{12}W/cm^2

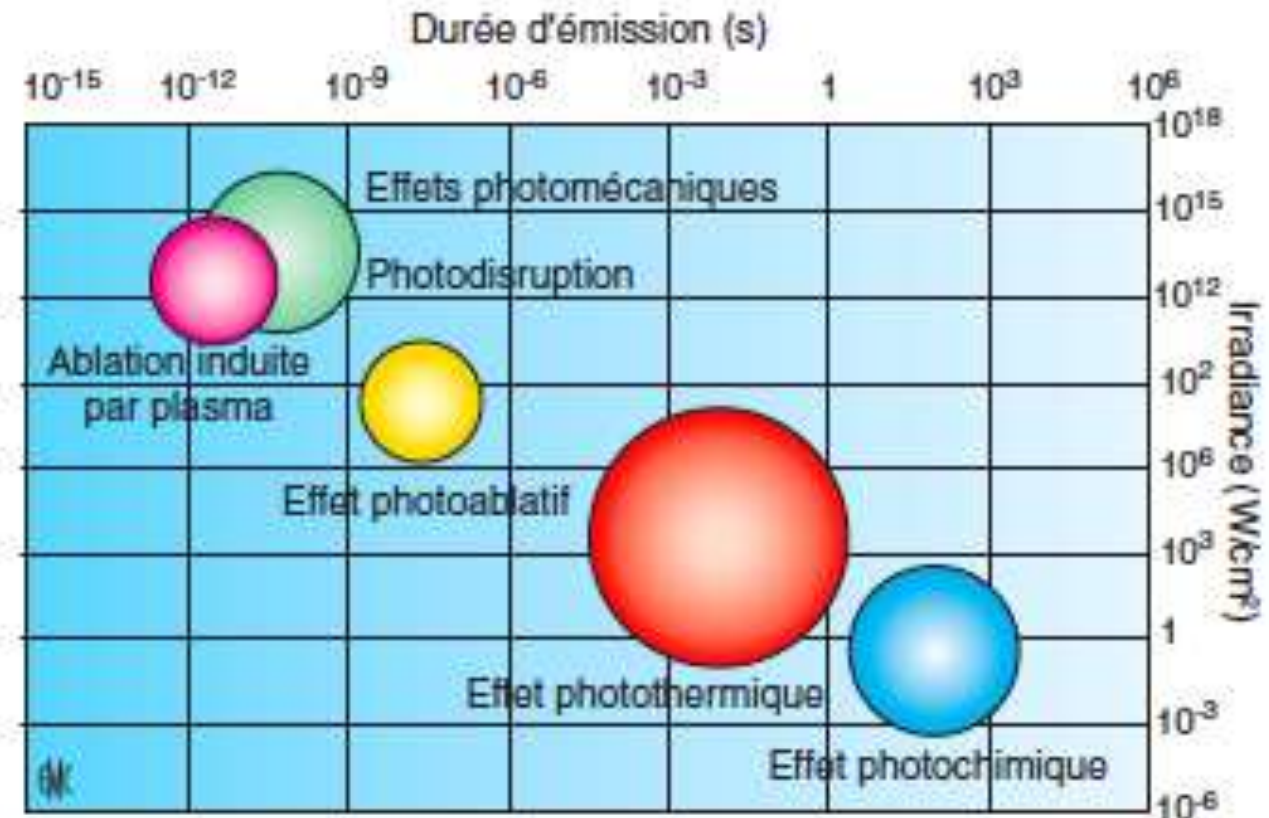


Figure 9. Répartition des effets produits par les lasers sur le tissu biologique en fonction de la durée d'émission et de l'irradiance.

Temps de Relaxation Thermique

- **durée de pulse**
- détermine le confinement spatial de l'énergie thermique délivrée à la cible :
 - Celui –ci doit être adapté au temps que met le pic de température obtenu dans le vaisseau pour redescendre de 50% après exposition au tir laser.
 - **TRT = temps requis pour que l'énergie thermique diffuse au delà de la cible (>50%). Donc au-delà: perte de sélectivité pour la cible**
 - TRT augmente avec la taille de la cible



Théorie de la Photothermolyse sélective

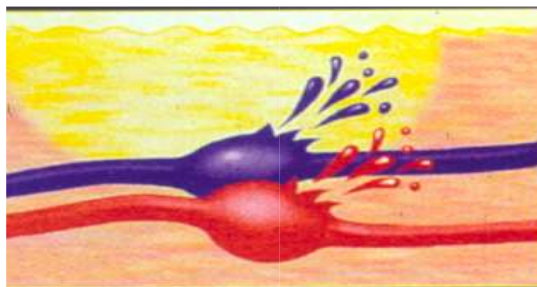
- Le TRT augmente avec l'augmentation de la taille de la cible: exple d'un vaisseau
- Pulses plus long (tps) pour des cibles plus importantes
- TRT de l'ordre de grandeur: ms
- **Photothermolyse sélective : tps < TRT**
- **Photocoagulation sélective : tps > TRT**
- **Photocoag. non sélective : tps >> TRT**
NON!!

Diamètre du Vx (µm)	TRT (msec)
10	0,048
20	0,19
50	1,2
100	4,8
200	19
300	42,6

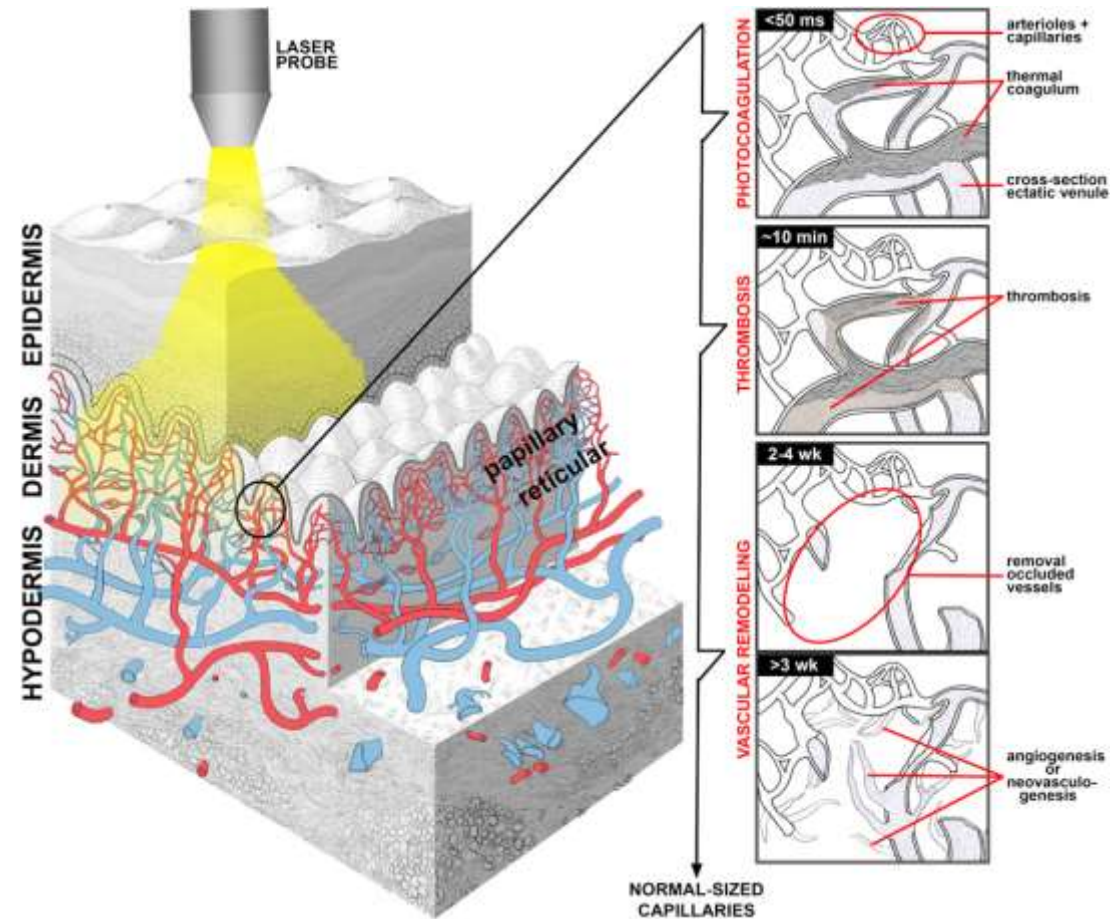
D'après « Lasers and energy based devices for the skin » Goldman 2012



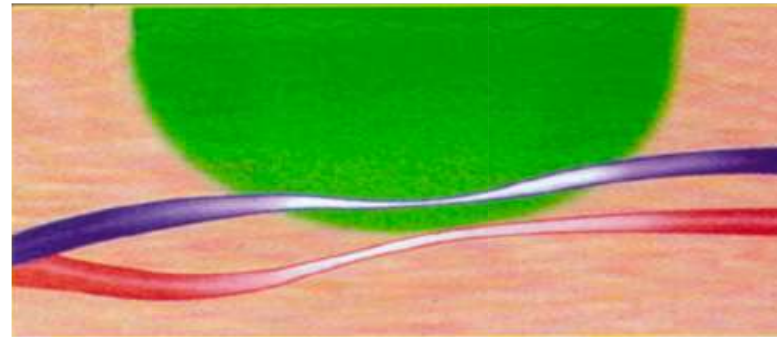
Conséquence pratique: Photothermolyse sélective ou photocoagulation



« Les lasers en Dermatologie » Ed Doin - 2011



Photocoagulation



- Temps de pulse $>$ TRT de la cible
- Photocoagulation et spasme du vaisseau



En clinique

- Temps de pulse court (Photothermolyse) : **0,45 à 6ms**
 - Utilisé avec le colorant pulsé
 - Purpura de 7 à 15 jours
 - Traitement vx plus fins (30 à 150microns)
 - Moins de risque cicatriciel
- Temps de pulse long (Photocoagulation): **à partir de 10 ms**
 - Pas de purpura, œdème et érythème quelques jours
 - Visualisation spasme du vaisseau
 - Traitement vx plus gros (>150microns)
 - Pas de purpura mais augmentation risque cicatriciel



Endpoints

- **Réaction immédiate ou précoce d'un tissu après exposition tir laser**
- Aide l'opérateur à délivrer un traitement sûr et efficace
- Atteindre le endpoint ne garantit pas l'absence d'effets indésirables
- Endpoint généralement spécifique d'une cible donnée mais dépend aussi de la longueur d'onde, du temps de pulse du laser et du phototype
- Beaucoup plus sûr que l'application de recettes avec paramètres prédéfinis



Endpoints en vasculaire

- Angiome plan ,
erythrose : purpura
- Télangiectasies:
disparition du
vaisseau ou
assombrissement
- Lac veineux en YAG
: grisé avec
induration à la
palpation



Warning points

- Font redouter une complication
- Généralement lié à excès de chaleur
- Importance refroidissement (vérifier s'il fonctionne bien)
- Bulle, signe de Nikolsky, souffrance épidermique
- Blanchiment gris métallique, rétraction
- Douleur inhabituelle
- ...on s'arrête et on cherche une explication





Fig 11. Metallic gray blanching of the skin after the use of a high-fluence 755-nm alexandrite laser for the treatment of port wine stain.

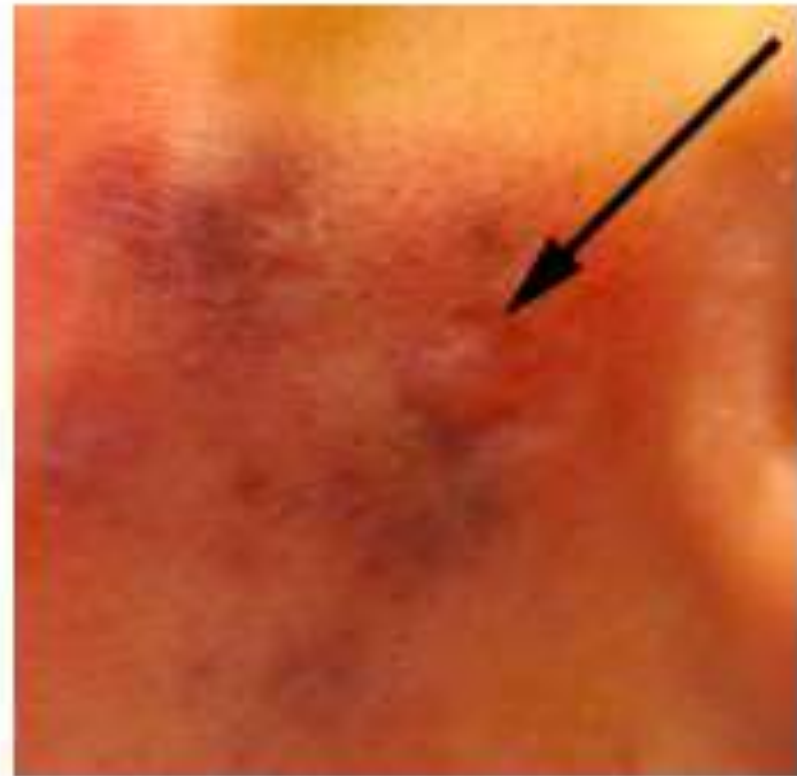


Fig 4. A second-degree burn with blistering after the use of a 755-nm alexandrite laser for the treatment of a deep, unresponsive port wine stain.

Immediate skin responses to laser and light treatments

Warning endpoints: How to avoid side effects

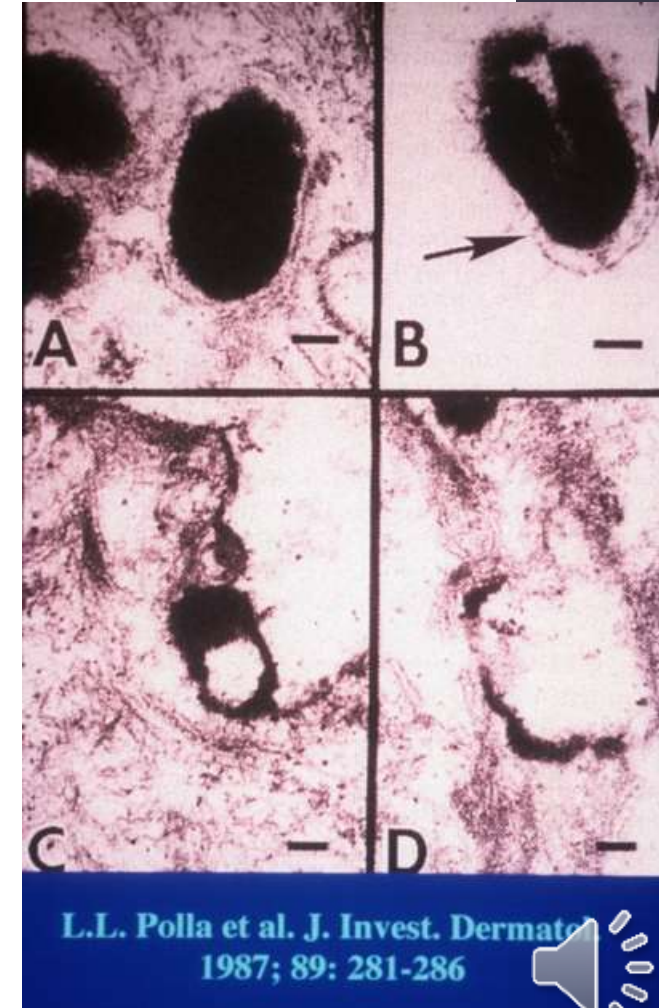
Molly Wanner, MD, MBA,² Fernanda H. Sakamoto, MD, PhD,^{2,3b}
Mathew M. Avram, MD, JD,^{2,3b} and R. Rox Anderson, MD^{2,3b}
Boston, Massachusetts

J AM ACAD DERMATOL
MAY 2016



Pigmentaire / détatouage

- Effet recherché = effet photomécanique
 - Fragmentation de mélanosomes
 - Résorption macrophagique
- Cible = chromophore
 - Mélanine, pigments exogènes (tatouage, médicament)
 - ⇒ Taille $1\mu\text{m}$ environ (mélanosome)
 - ⇒ Temps de relaxation thermique entre 1 et $10\mu\text{s}$
 - ⇒ **Durée d'impulsion des lasers pigmentaires $< 100\text{ ns}$ (environ $10\times$ au TRT)**
- ⇒ **Standard : lasers déclenchés** (de l'ordre de la ns) . Arrivée des lasers picosecondes (centaines de picosecondes) avec meilleure tolérance et bonne efficacité sur fins de tatouages et lésions pigmentaires

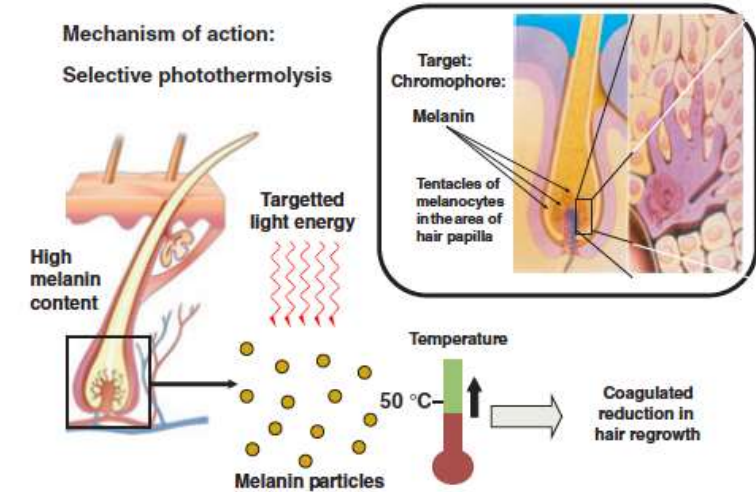


Choix de la Fluence : « end point »

- Doit permettre un « claquement »
- Blanchiment ou aspect grisâtre de la lésion immédiatement en post-laser
- Pas de nécrose épidermique, pas de saignement (sauf cas particulier)
- En tatouage: papule cendrée, souvent œdème modéré, voire purpura ou saignement



Photothermolyse en épilation



- Chromophore = mélanine et eau présents dans la tige pileuse et le bulbe du poil
- Laser rubis (694nm) agréé FDA en 1997 dans cette indication.
- Adaptation des paramètres en fonction de la taille, de la couleur du poil et de la couleur de la peau
- Plus la cible est bonne (poil épais foncé) et plus l'énergie nécessaire pour être efficace est faible
- Efficacité théoriquement maximale sur les poils en phase anagène
- Espacement des séances selon rythme de repousse des poils (4-6 semaines au début puis jusqu'à plusieurs mois)



Photothermolyse en épilation

Ross et al

- Début de traitement: gros spots faibles fluences, fin de traitement petits spots, fortes fluences
- 694 et 755nm sur peaux claires ou IV non bronzées
- 800nm pour peaux mates et poils clairs
- 1064 sur peaux IV à VI ou dos homme, barbe..
- **Nécessité de fluences élevées mais sans EI pour avoir une épilation « définitive »**
- **Temps de pulse de l'ordre de la 10aine de ms car cible de l'ordre de 0,1 à 1mm.**
- **Nécessité de longueurs d'onde pénétrant au-delà du millimètre (poils implantés de 1 à 4mm en profondeur)**
- **Longueurs d'onde utilisées : 755nm, 1064nm, Diode (800-810nm), lampes pulsées (590-1200nm)**

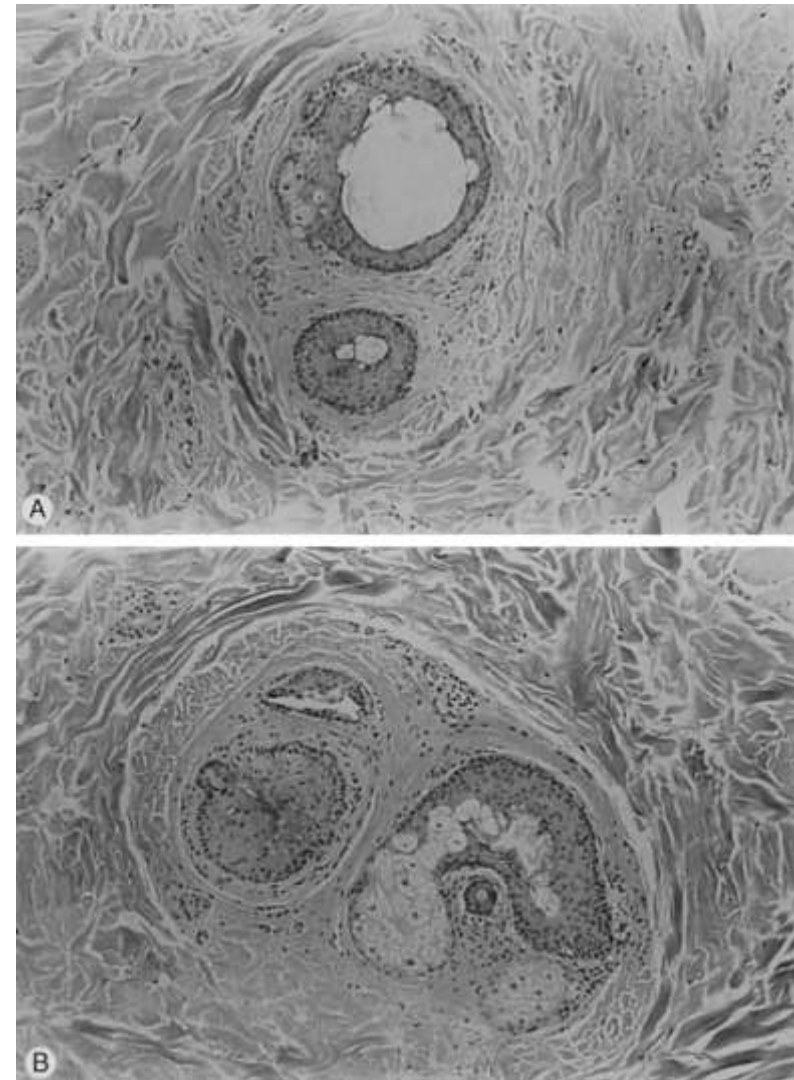


Figure 8. Transverse sections of hair follicle for (A) 0.3 and (B) 3-msec exposures. Note the greater thermal effect with the longer pulse duration. (Hematoxylin and eosin stain, original magnification $\times 100$).

Endpoint/complications



Endpoint : papules folliculaire oedémateuses

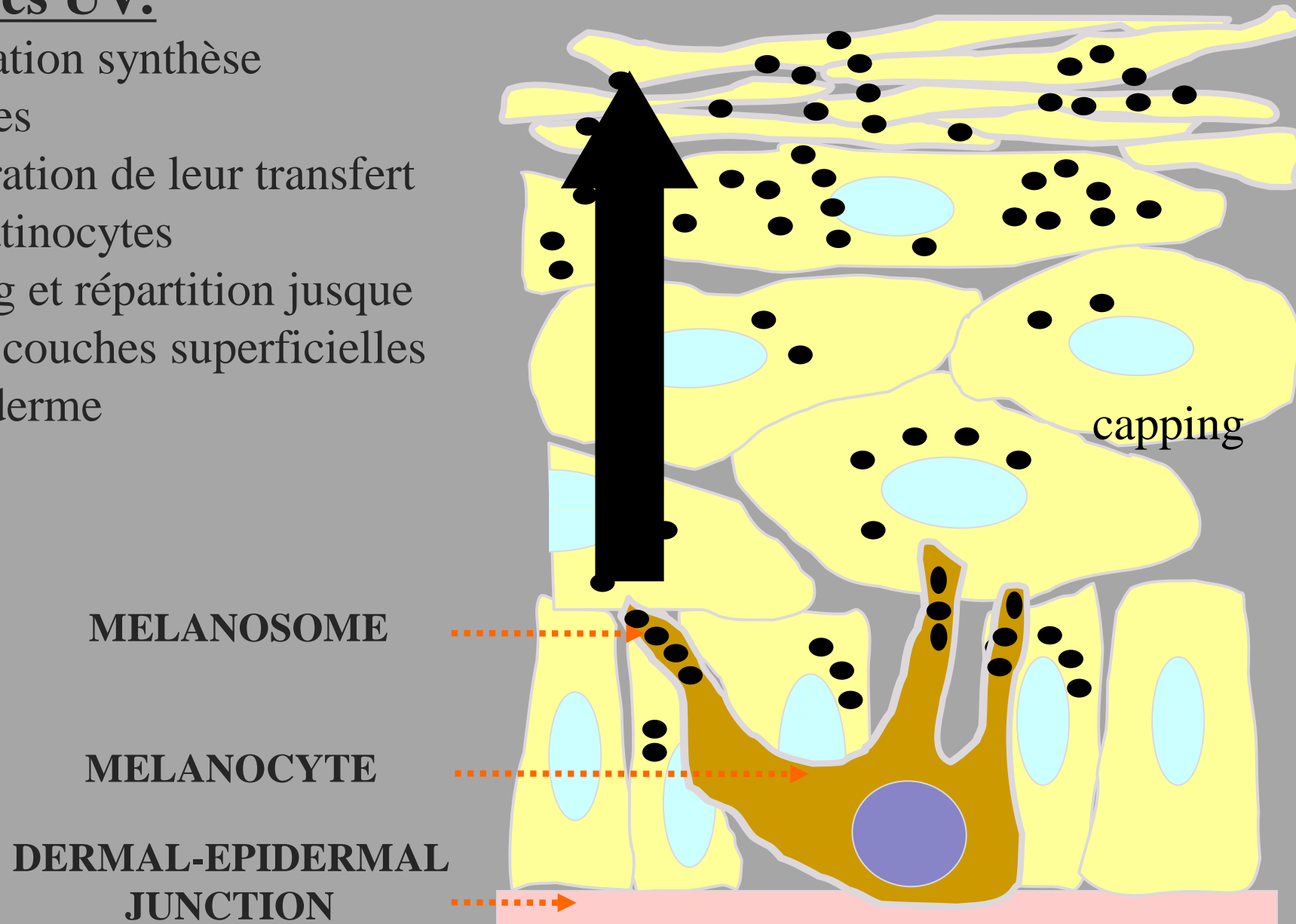


Source: EMC épilation laser - Delhalle



Effet des UV:

- accélération synthèse mélanines
- Accélération de leur transfert aux kératinocytes
- Capping et répartition jusque dans les couches superficielles de l'épiderme



Paramètres importants et notions de base

- Longueur d'onde/choix du chromophore/pénétration
- Fluence/irradiance/puissance
- Durée d'impulsion
- Mode de délivrance du pulse
- Taille de spot
- refroidissement



Mode d'émission des lasers

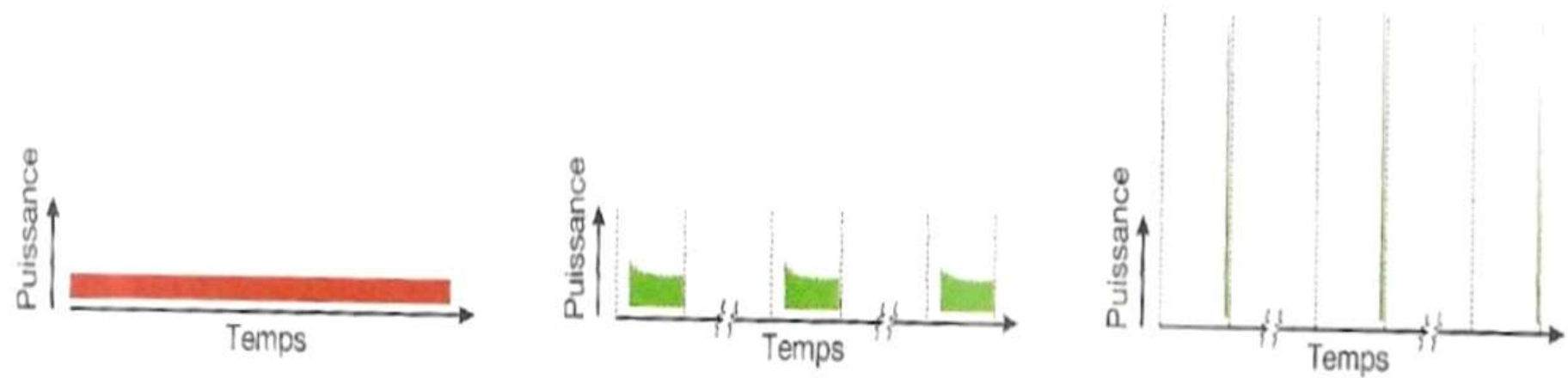


Figure 1.2 Mode d'émission des lasers

Mode continu : c'est un obturateur en dehors de la cavité qui détermine le temps de tir. Puissance : 1-10 W

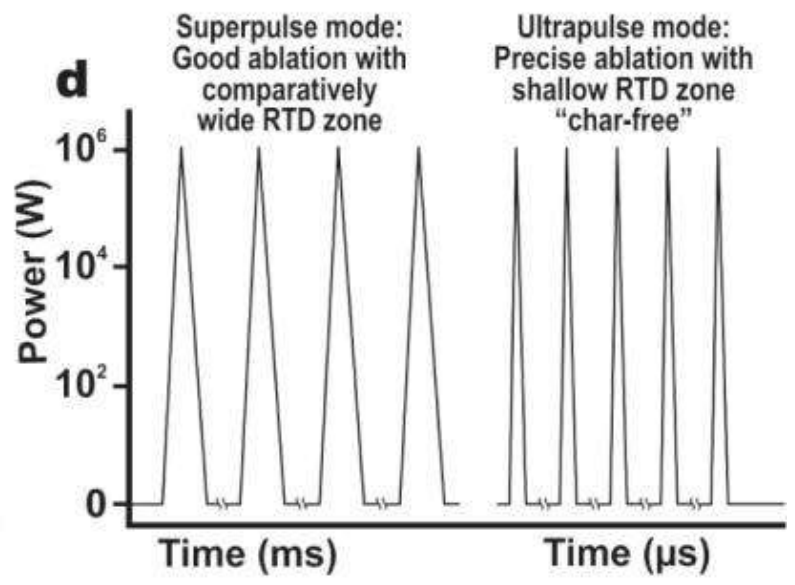
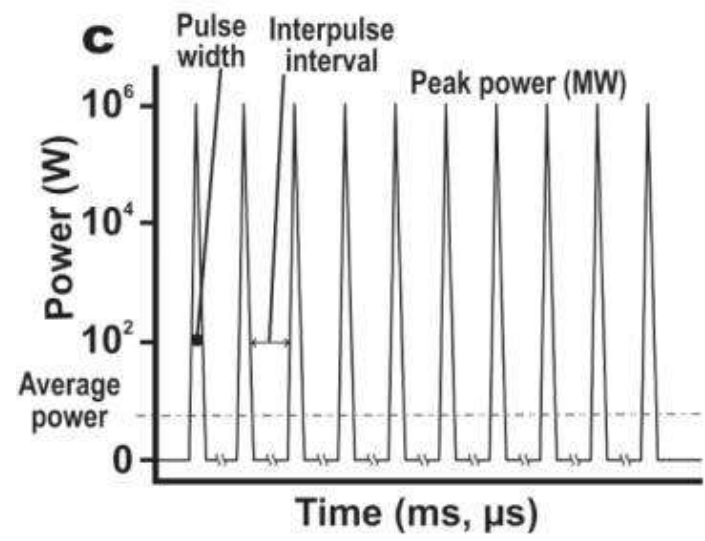
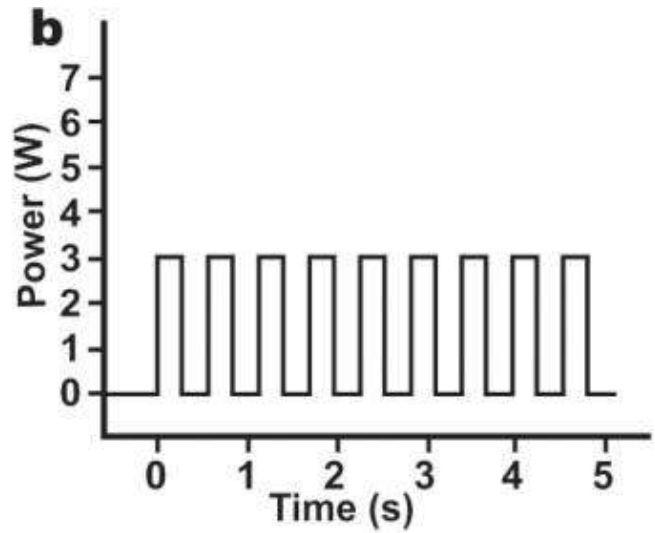
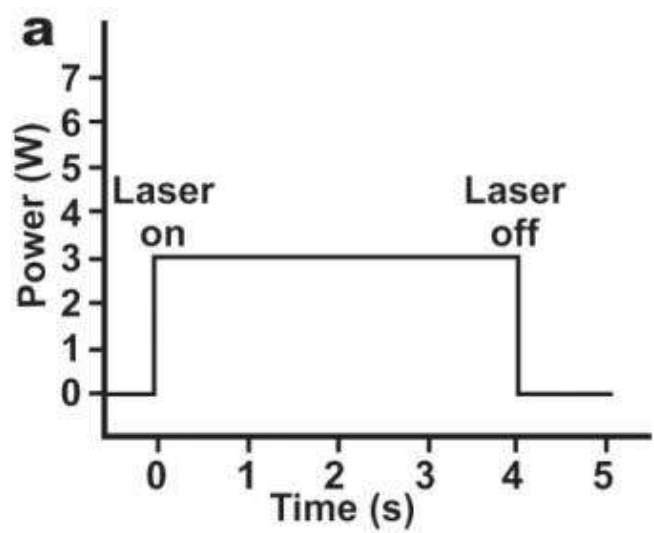
Mode impulsionnel : c'est le système de pompage du laser qui détermine le temps de l'impulsion.

Puissance : 100 W-1 kW

Mode déclenché : c'est un Q-switch placé dans la cavité du laser qui contrôle l'émission du laser. Puissance : 1-10 MW

- Mode continu
- Mode impulsionnel
- Mode déclenché ou Q-switched





Laser Ther. 2014 - CO2 Laser in Dermatology Tokuya



Focalisation et défocalisation

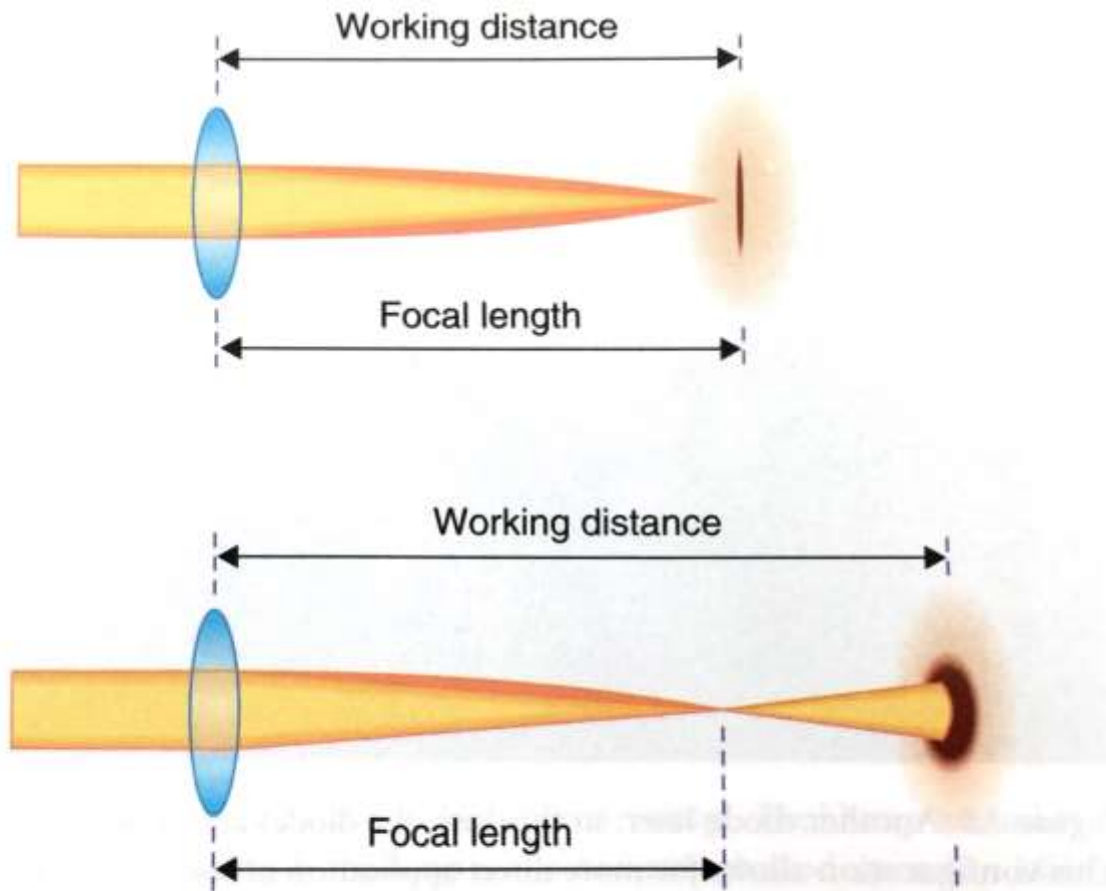
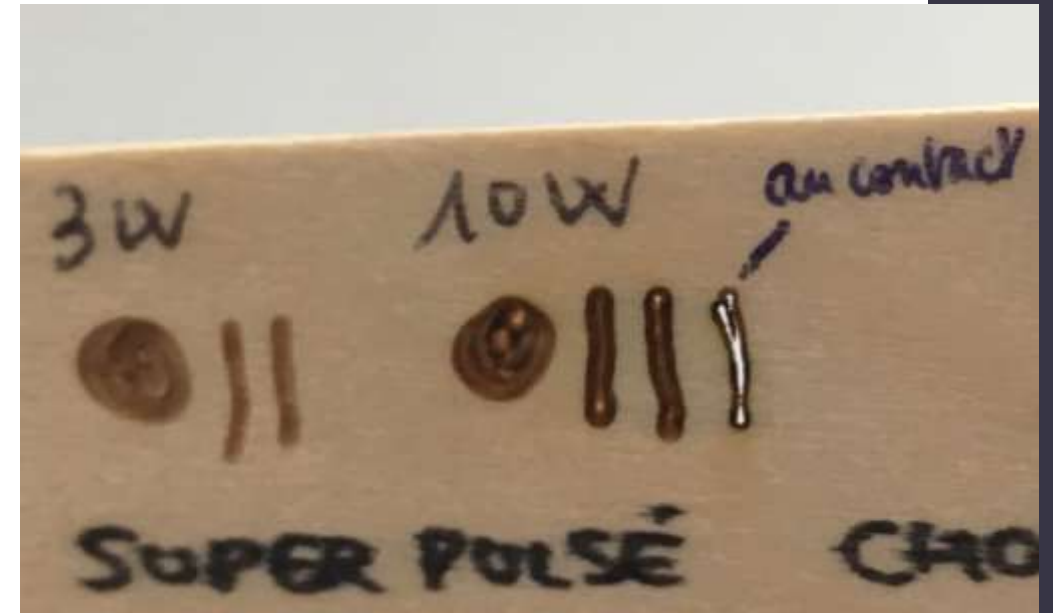
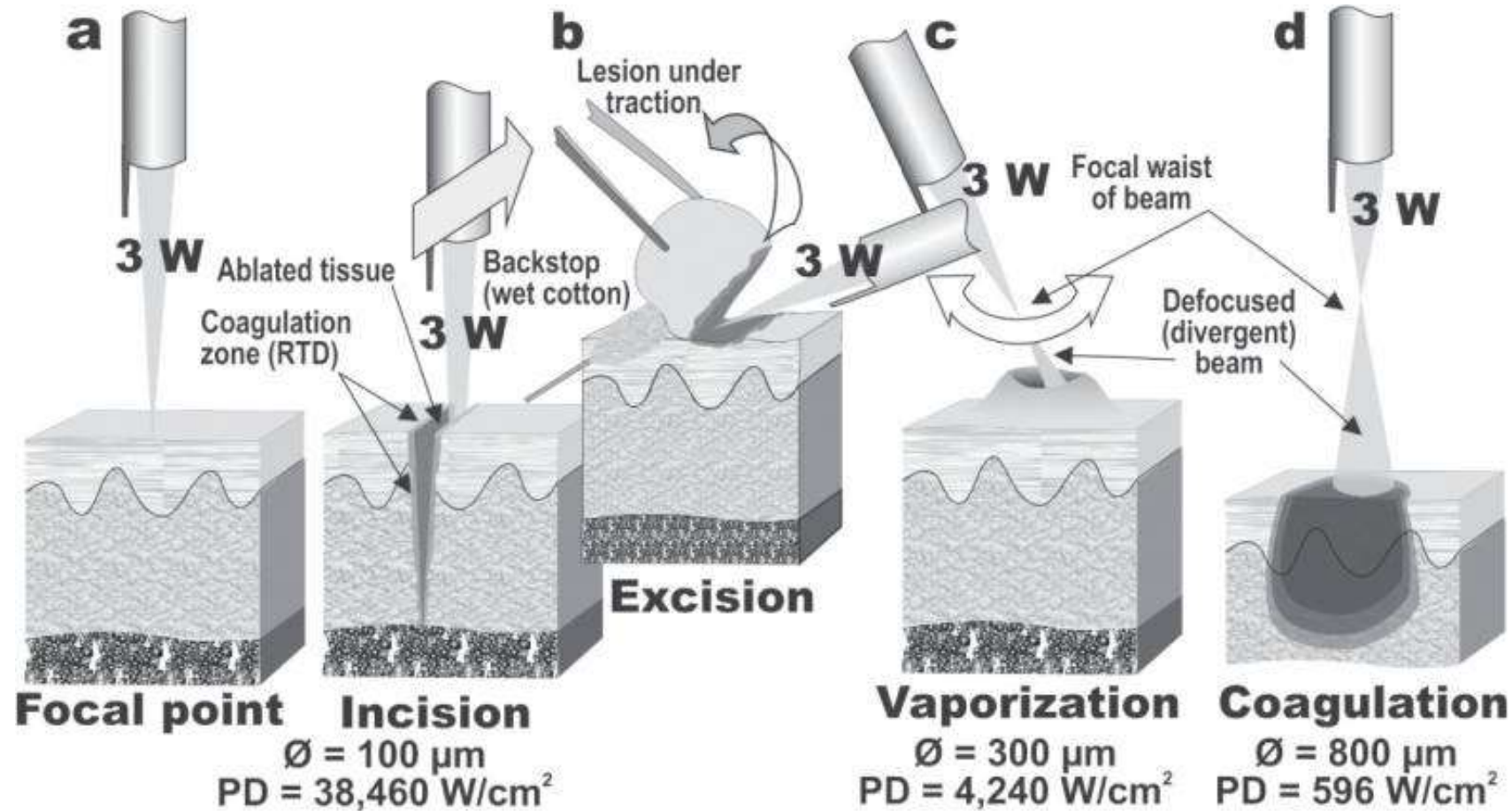


Figure 1.9 A focusing handpiece like that typically used with continuous wave carbon dioxide laser. Operator can vary spot size and therefore power density “on the fly” simply by moving the handpiece away and toward the skin surface.



Différentes utilisations d'un laser CO2



Dermapabrasion continue ou super pulsé





Angiofibromes et télangiectasies ds le cadre d'une NEM1



Hamartome épidermique CO2 sous AG





Notion de laser fractionné

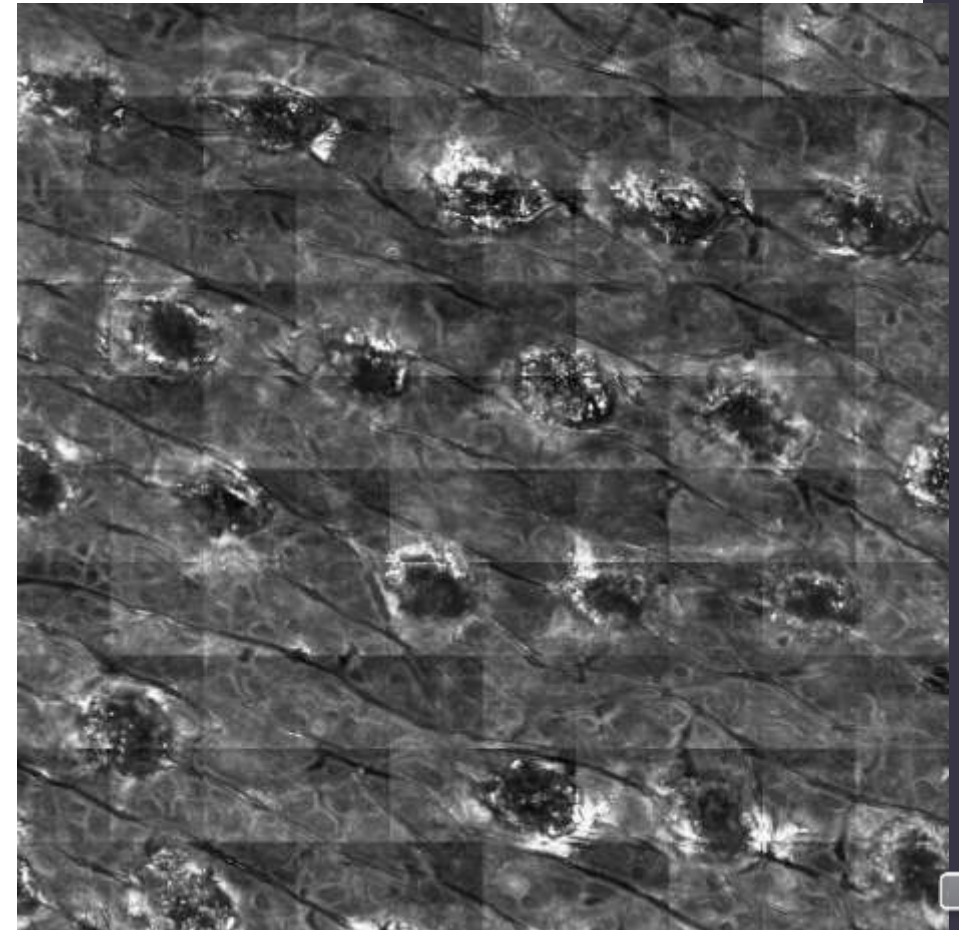
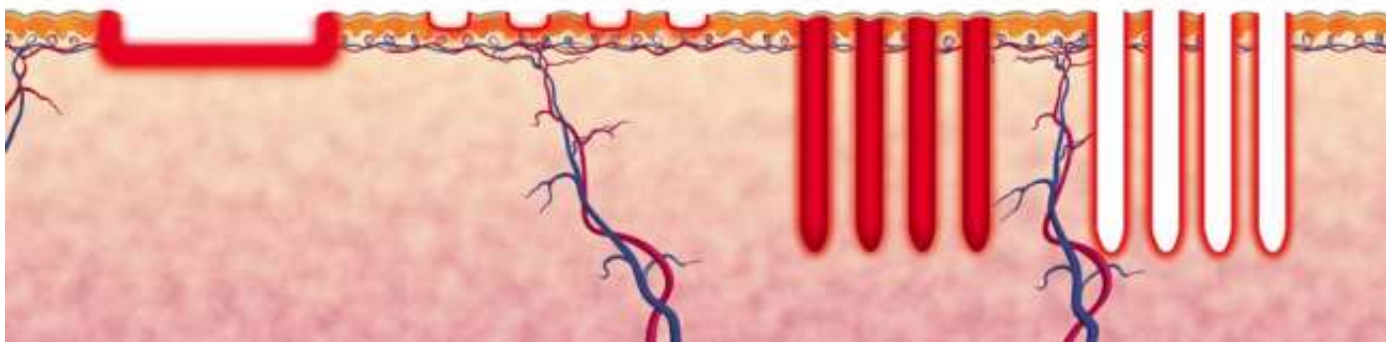
- Rationnel:
 - diminuer les risques cicatriciels et dyschromiques/ablatifs classiques
 - Atteindre des profondeurs contrôlées permettant un remodelage
 - Diminuer les suites/évacuation sociale

Ablative Resurfacing
(CO₂ & 2.94 Erb:YAG)
10-200 microns

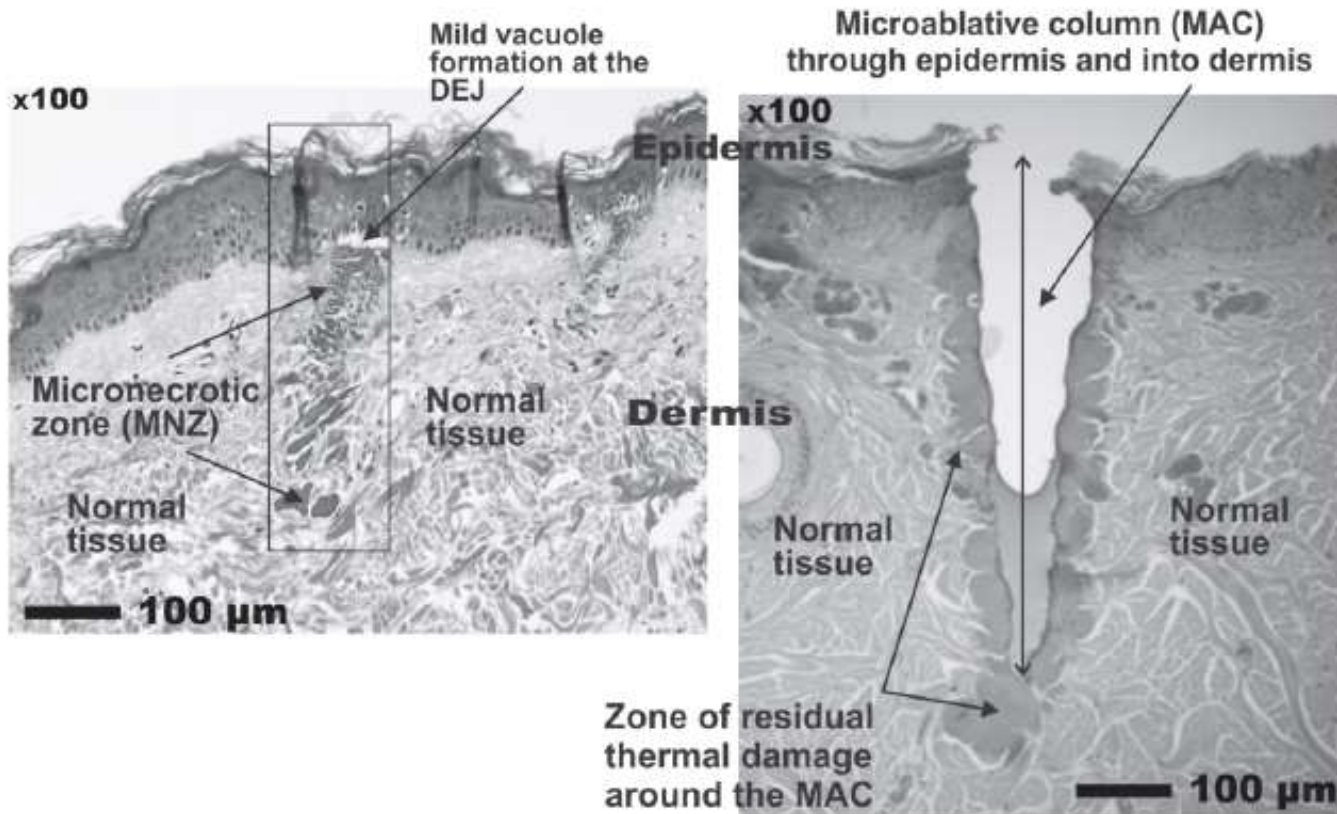
Superficial Fractional Ablative Resurfacing
(CO₂ & 2.94 Erb:YAG)
10-70 microns

Non-Ablative Fractional Resurfacing
600-1000 microns

Ablative Fractional Resurfacing
600-1000 microns



Fractionnés ablatifs et non ablatifs

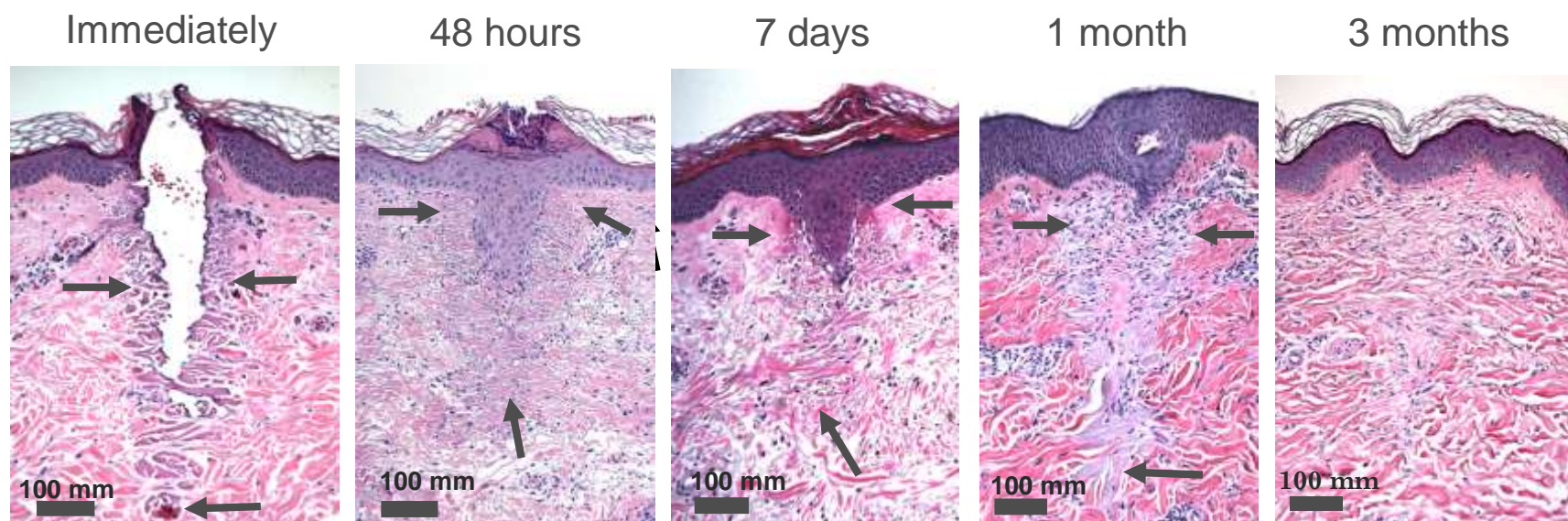


- Ablatifs : cible = eau des tissus
 - **CO2 (10600nm)** : effet ablatif et thermique... donc coagulation et remodelagemais + de risque dyschromique et cicatriciel
 - **Er:YAG (2940nm)** : 10 fois + absorbé par l'eau: ablation peu profonde et peu thermique..... Donc risque cicatriciel moindre.... Mais hémorragique.
- Non ablatifs : colonnes de chauffage/nécrose de coagulation
 - Thullium (1927nm)
 - Er:Glass (1540-1550nm)
 - Et autres longueurs d'onde entre 1320 et 1540)



Evolution de la cicatrisation en CO2 fractionné

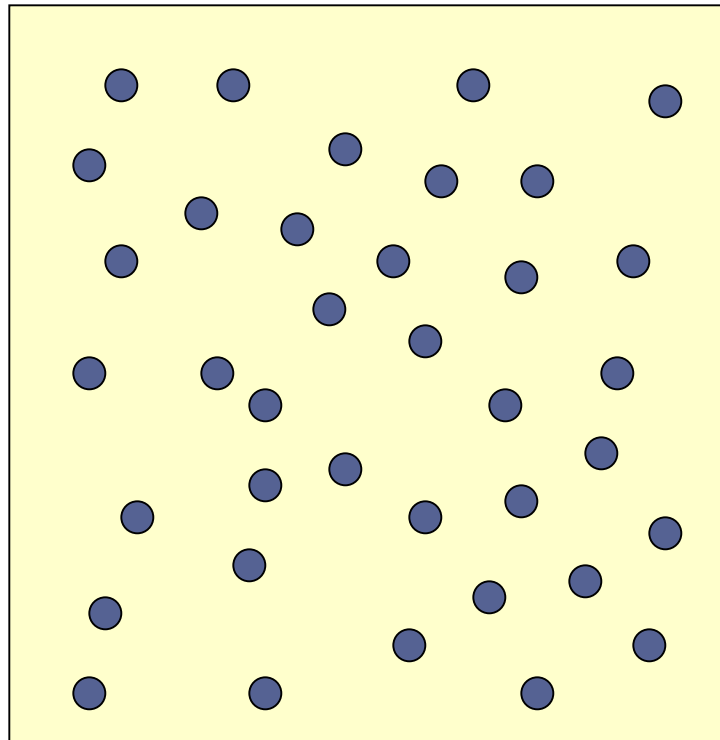
FDDA™ (135 micron) Handpiece



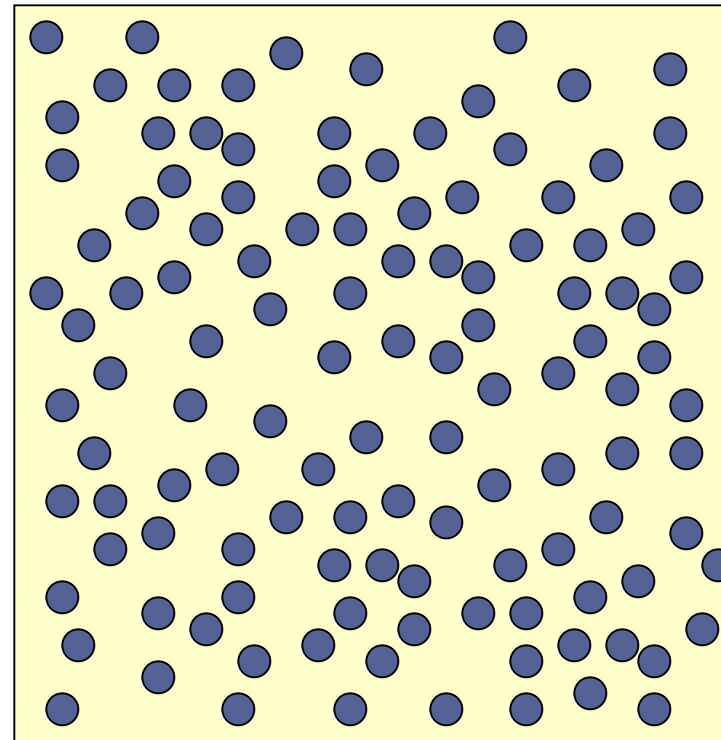
Densité de traitement

Different treatment level = different surface area covered with MTZs

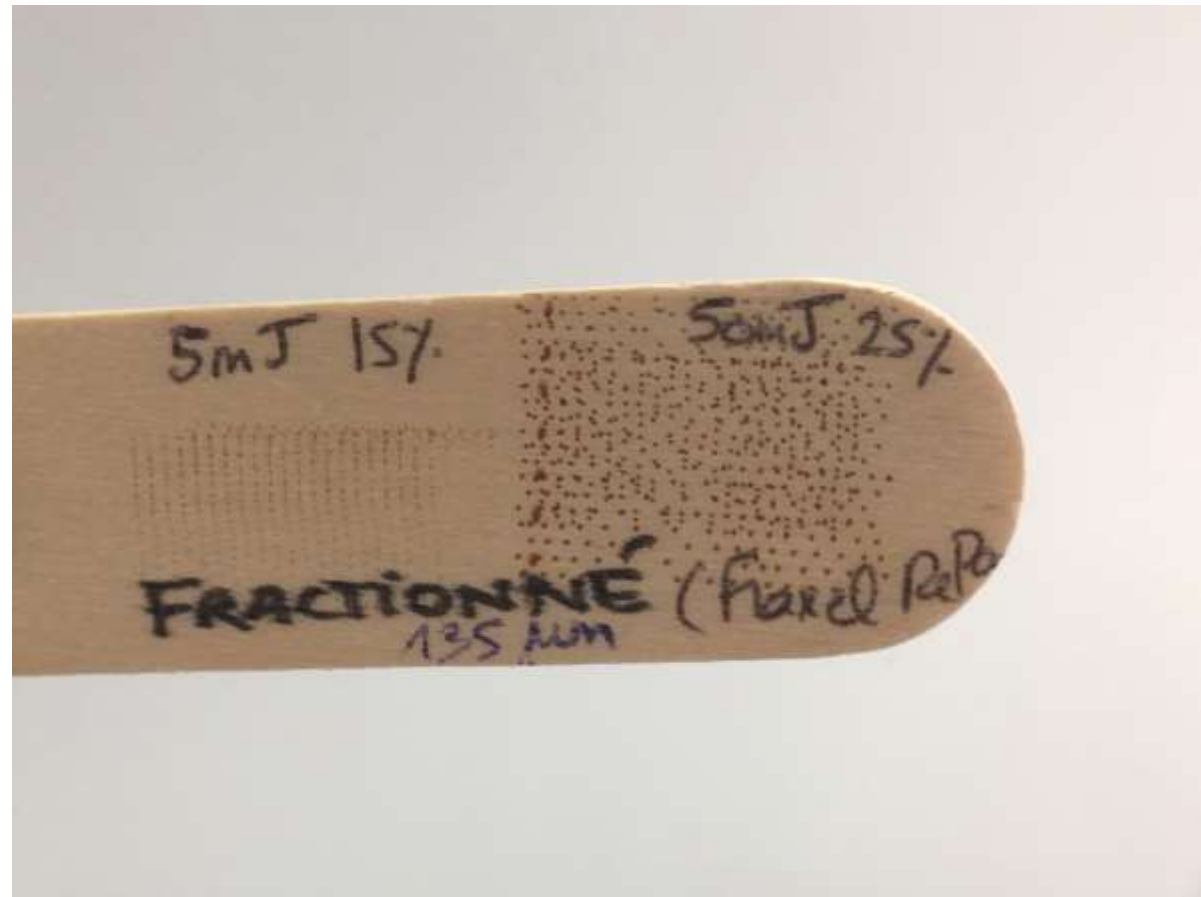
FDDA™
(135 micron)
Example
20 mJ
TL 5 (15%)



FDDA™
(135 micron)
Example
20 mJ
TL 10 (40%)



Modes fractionnés



Aspect post-acte immédiat CO2 fractionné



Cicatrice de brûlure



Cicatrice hémangiome : avant et après erbium continu (x2) + (CO2 fractionné)(x3)



Paramètres importants et notions de base

- Longueur d'onde/choix du chromophore/pénétration
- Fluence/irradiance/puissance
- Durée d'impulsion
- Mode de délivrance du pulse et effet biologique
- Taille de spot
- Refroidissement



Systemes de refroidissement

- **Renforcent la sélectivité** de l'action thermique du laser en refroidissant l'épiderme et le derme superficiel
- Refroidissement AVANT, pendant voire après le tir
- Permet de majorer les fluences pour augmenter l'efficacité (en épil ou en vasculaire)
- **Diminue la douleur**



Types de refroidissement

- Contact :
 - Fenêtre optique dans laquelle circule un liquide de refroidissement (saphir, verre...)
 - Module thermoélectrique (effet Peltier)
 - Gel préalablement refroidi
- Jet de gaz cryogénique (-40 à -26 °C)
 - dont on règle la durée et le délai entre l'émission du spray et le début du tir laser
- Air froid pulsé (cryojet, zimmer)

Pré, per (vitre, cryo-jet), post, dynamique (DCD- Candela)...





Sécurité des lasers



Sécurité

- Lasers thérapeutiques = dispositifs dangereux
- Risques liés à
 - La conception et la fabrication des appareils
 - Faisceaux émis
 - Mauvaise utilisation de ses faisceaux
- **Marquage CE médical!!**
- Risques optiques
- Risques oculaires
- Risques cutanés
- Risques électriques
- Fumées tissulaires
- Risques chimiques

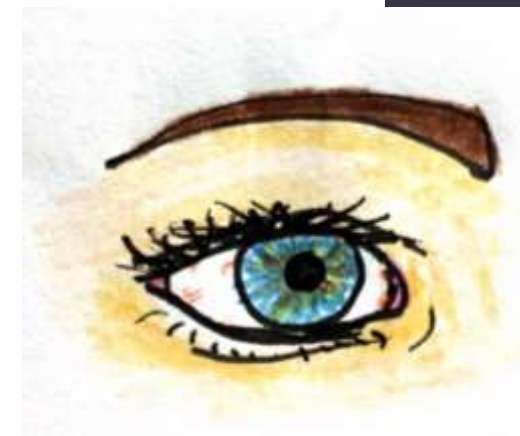


Risques optiques

- **Faisceau direct ou collimaté** : dangereux (faisceau très peu divergent et éclairement énergétique quasiment constant)
- **Faisceau divergent**: après transmission par fibre optique ou focalisation par une lentille, le faisceau voit son éclairement énergétique diminuer proportionnellement à l'angle de divergence et au carré de la distance
- **Faisceau réfléchi** : dépend de la régularité de la surface et s'il est plate ou courbe (peut rendre un faisceau divergent convergent)



Risques oculaires



- **cornée, cristallin, rétine**
- Effets selon longueur d'onde, énergie, mode d'émission, ouverture pupillaire au moment de l'accident
- Réflexe de fermeture des paupières pour le visible pour lumière du visible qui protège après 0,25s (aucune protection si au-delà laser classe 2)
- Méfiance pour les lasers non visibles (Nd:YAG, Er:YAG; CO2 : importance des signalisations (sonores, lumineuses)
- Cataracte (UV et IR), photokératite (UV), brûlure de la rétine (visible et proche infrarouge) ou de la cornée (au-delà de 2000nm)



Risques cutanés

- Brûlures (surtout si patient sous AG!)
- Liées à un tir direct ou réfléchi
- Atteinte indirecte par ignition des champs opératoires
- Atteinte indirecte par combustion de désinfectants volatils

Risques électriques

Liés à l'appareil : ne jamais ouvrir un laser allumé!



Fumées tissulaires

- Provoquées par la volatilisation des tissus (poils en épil, lésions cutanées en CO2)
- Odeurs désagréables, irritantes et potentiellement toxiques
- Subst. Cancérigènes
- Volatilisation de lésions dues à HPV : présence d'ADN viral dans les fumées
- Laser pigmentaire : projection de bactéries et cellules épidermiques



En pratique



- **Se protéger :**
 - Lors de laser épilatoire, ablatifs utiliser aspiration de fumée et masque FFP2
 - Porter des gants, blouse usage unique si HPV
 - Utiliser une aspiration de fumée pour les lasers ablatifs voire en épilation si beaucoup de poils
 - Ventilation de la pièce (renouvellement de l'air complet 3 fois par heure)
 - Éviter les réflexions (pas de miroir, ni bijoux), signalisation
 - Port de lunettes adaptées pour l'opérateur et assistants



En pratique

- **Protéger le patient :**
 - Coques externes ou intra-orbitaires
 - Ne pas traiter dans le périmètre orbitaire avec lasers long pulse (épil) pénétrants, toujours rester en regard de l'os!
 - Mouiller les champs si lasers CO2, compresses humides dans orifices, pas d'antiseptiques alcoolisés, pas de kalinox avec lasers ablatifs

