

Introduction aux bases physiques des sources laser

Plan du cours

1. De la lumière au laser.
2. Le rayonnement électromagnétique.
3. La lumière laser.
4. Le laser.
5. Interactions rayonnement laser-tissu.
6. Mécanisme d'action des lasers.
7. Protection de l'épiderme.
8. Sécurité et lasers.
9. Applications cliniques des lasers.

Plan du cours

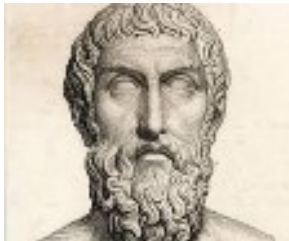
1. De la lumière au laser.
2. Le rayonnement électromagnétique.
3. La lumière laser.
4. Le laser.
5. Interactions rayonnement laser-tissu.
6. Mécanisme d'action des lasers.
7. Protection de l'épiderme.
8. Sécurité et lasers.
9. Applications cliniques des lasers.

De la lumière au laser

Les premières théories sur la lumière ne concernaient pas directement la nature de la lumière elle-même, mais la vision.



Platon - la lumière jaillit des yeux.



Epicure - la lumière consiste en un jet successif de particules, de trainées imperceptibles de tétraèdres.



Euclide - la lumière qui se propage en ligne droite est liée à la vision de l'observateur et se définit comme des rayons émis par l'œil.

De la lumière au laser



Au XI^e siècle - Ibn al-Haytham (Alhazen)

Les objets reflètent la lumière, qui se propage à une vitesse finie. Le rayon visuel est donc reçu, et non pas émis, par l'œil.



1604 - Johannes Kepler - la lumière s'écoule dans toutes les directions à partir de sa source jusqu'à l'infini, selon des rayons.

Le rayon n'est pas la lumière, mais sa direction de propagation.



1632 - Galileo Galilei : lunette télescopique.
Il pose le problème de la vitesse de la lumière.

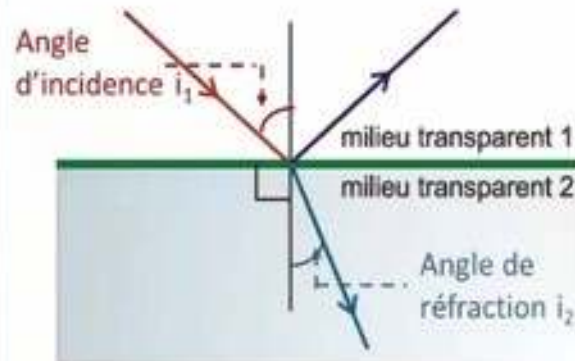
.

De la lumière au laser



1637 - René Descartes établit la loi de la réfraction:

Lois de Snell-Descartes



$$n_1 \times \sin i_1 = n_2 \times \sin i_2$$

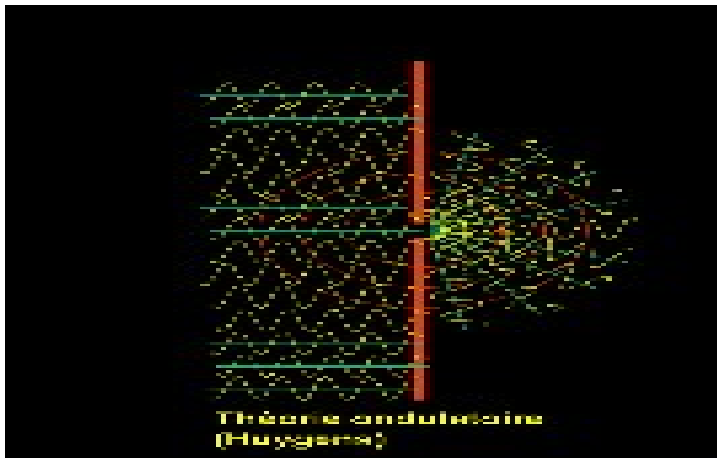
L'indice de réfraction n
caractérise un milieu
transparent.

De la lumière au laser

Christian Huygens (1678)

Le modèle ondulatoire permet d'expliquer:

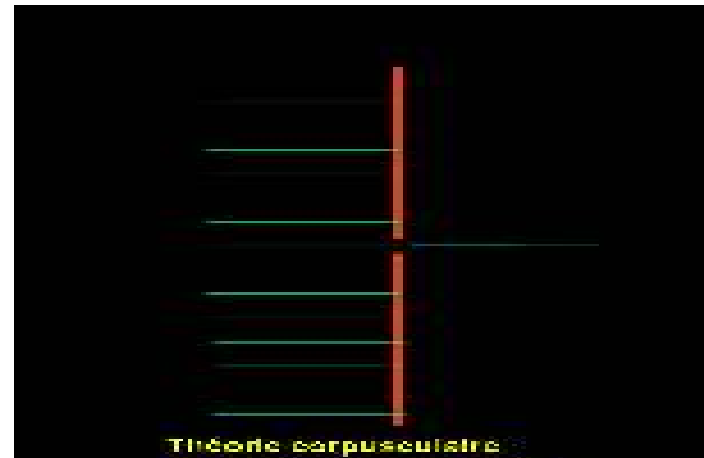
- la propagation des ondes
- les phénomènes de réfraction, réflexion, diffraction et interférences de la lumière



Isaac Newton (1704)

Le modèle corpusculaire permet d'expliquer :

- les interactions de faible énergie avec la matière au niveau atomique





De la lumière au laser

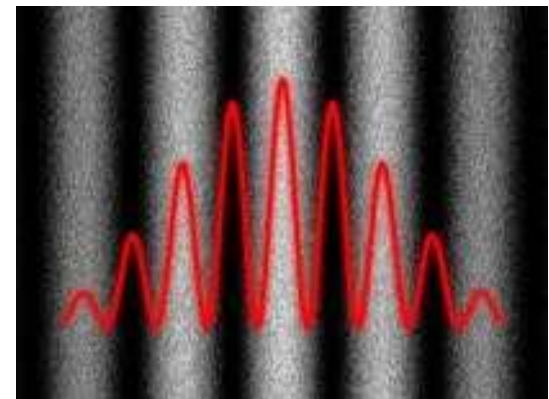


1801 - Thomas Young pose les fondements d'une théorie ondulatoire de la lumière en élaborant l'expérience des fentes.

Deux fentes minces, une source lumineuse et un écran : l'image obtenue sur l'écran est constituée d'une succession de franges brillantes et sombres.

La lumière se comporte donc comme une onde.

Théorie prouvée par les travaux de Fresnel et Arago



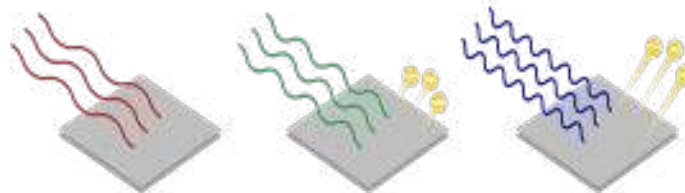
De la lumière au laser



1865 - James Clerk Maxwell unifie en une seule théorie l'électricité et le magnétisme
La lumière est l'addition de deux ondes :
une onde électrique et une onde magnétique



1885 - Heinrich Hertz : l'effet photoélectrique.
Lorsqu'un matériau métallique est éclairé par une onde électromagnétique de longueur d'onde suffisamment courte des électrons sont arrachés à sa surface instantanément.



(De la lumière au laser)



1899 - Charles Fabry et Alfred Pérot créent l'interferomètre optique.

Cet instrument d'optique utilise les propriétés de superposition de la lumière :

- deux lames semi-transparentes partiellement réfléchissantes et parallèles délimitent une **cavité①**.
- un rayon lumineux pénètre dans l'appareil par une lame et subit de multiples réflexions avant de sortir par l'autre lame en créant des interférences.



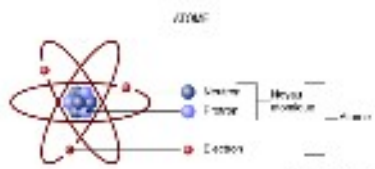
De la lumière au laser

Début du 20ème siècle : avènement de la théorie de la **physique quantique et de la relativité** qui expliquent les phénomènes qui se produisent à l'échelle microscopique.

De la lumière au laser



1897 - Joseph John Thomson, la matière contient des charges ponctuelles : les électrons.



1900 - Max Planck : la quantification de l'énergie de l'onde :

La matière émet ou absorbe de l'énergie dans de petits paquets d'énergie quantiques ou quanta. Tout échange d'énergie avec la matière est un multiple entier de ce minimum d'énergie

$$E = h \times \nu$$

E=énergie du photon h=constante de Planck $6,63 \times 10^{-34}$

J/s

ν fréquence en hertz de l'onde associée

De la lumière au laser

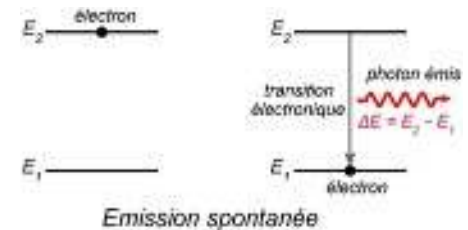
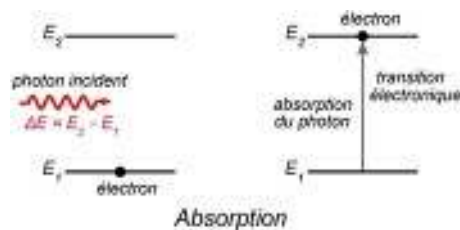


1905 - Albert Einstein : la lumière est à la fois de la matière et une onde, dont l'énergie dépend de la fréquence de l'onde qui lui est associée.

De la lumière au laser



1913 - Niels Bohr émet l'hypothèse que les niveaux d'énergie des atomes sont quantifiés et que le changement d'orbite se produit par absorption ou émission d'un photon.

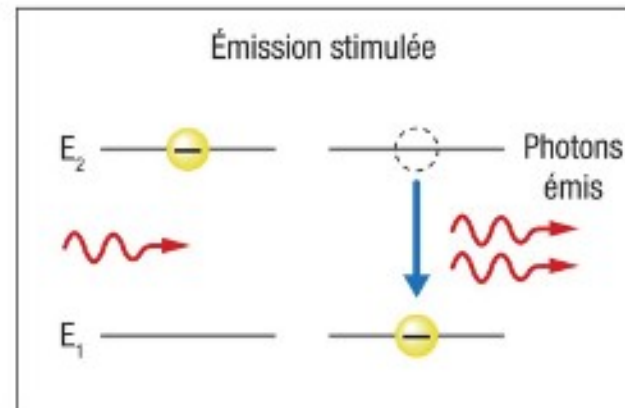
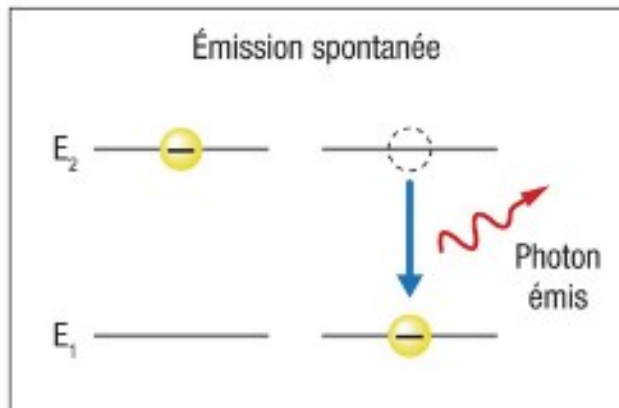


De la lumière au laser



1917 - Albert Einstein approfondit cette approche nouvelle de Bohr.

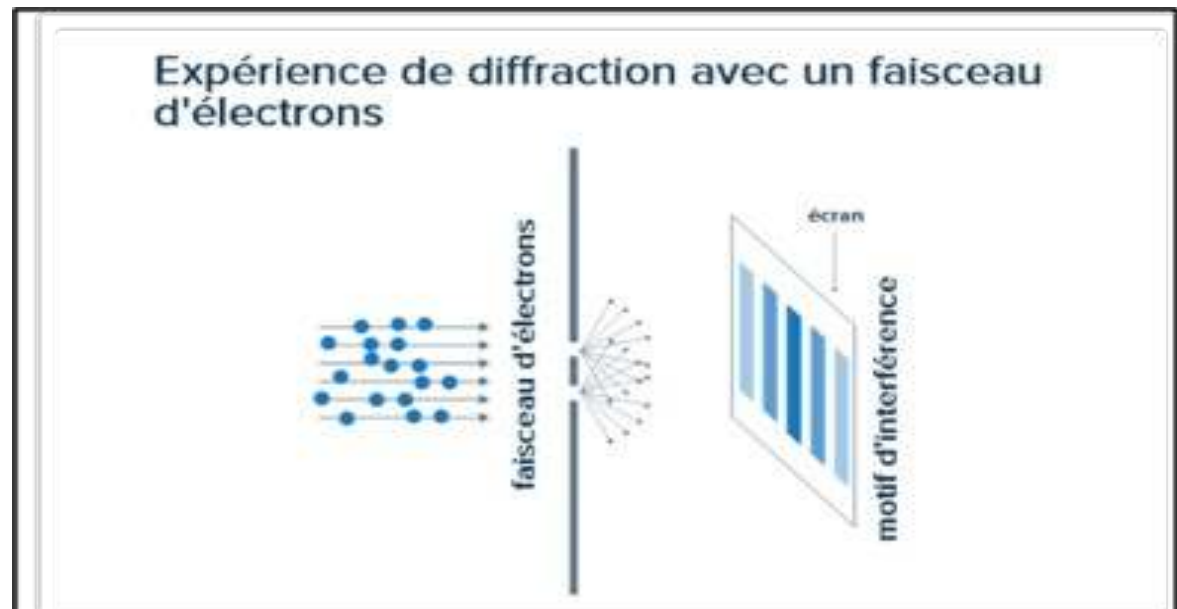
Il met au point **le processus d'émission stimulée** ② : processus par lequel à partir d'un photon et d'un atome dans un état d'excitation, on peut générer deux photons strictement identiques.



De la lumière au laser



1924 - Louis De Broglie : Dualité onde corpuscule
Les électrons se comportent comme des ondes.
Ils ont donc une longueur d'onde inversement proportionnelle à leur quantité de mouvement



De la lumière au laser



1950 - Alfred Kastler explique comment le **pompage optique** ③ réalise l'amplification par émission stimulée.



1954 - Elaboration du premier faisceau **Maser** par quatre physiciens :
Charles Townes et Arthur Schallow



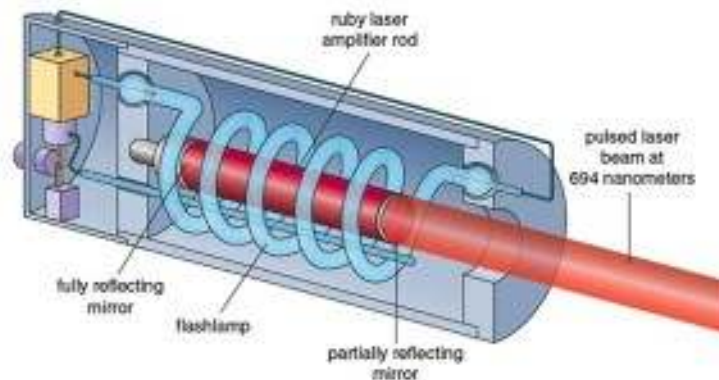
Nikolaï Basov Alexander Prokhorov

De la lumière au laser



1960 - Théodore Maiman assemble les trois éléments nécessaires à la création d'un faisceau laser : **le laser Rubis 697 nm**

- Cavité resonnante ①
- Emission stimulée ②
- Pompage ③



De la lumière au laser

La lumière se comporte, en fonction de son interaction avec la matière :

- comme une onde électromagnétique, caractérisée par une fréquence « ν » (« nu ») et par une longueur d'onde « λ » (« lambda »),
- comme un flux de particules, les photons, caractérisées par une masse nulle et une charge électrique nulle, qui se déplacent dans le vide à la vitesse maximale théorique « c », avec $c = 300.000 \text{ km/s}$.

Les électrons ont à la fois :

- des qualités de particules,
- et des qualités d'ondes.

Plan du cours

1. De la lumière au laser.
2. Le rayonnement électromagnétique.
3. La lumière laser.
4. Le laser.
5. Interactions rayonnement laser-tissu.
6. Mécanisme d'action des lasers.
7. Protection de l'épiderme.
8. Sécurité et lasers.
9. Applications cliniques des lasers.

Plan du cours

2. Le rayonnement électromagnétique.

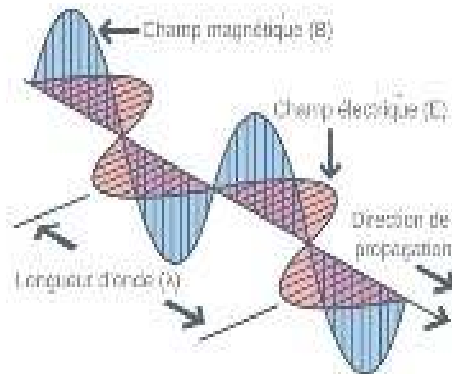
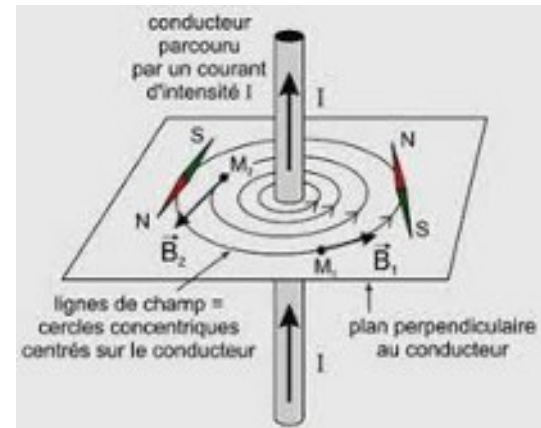
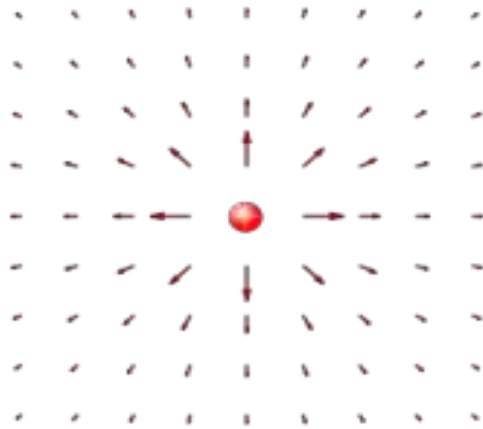
1. Définition
2. Caractéristiques
3. Spectre électromagnétique
4. Energie

Le rayonnement électromagnétique

La lumière est une onde électro magnétique :

- La présence de particules chargées comme les électrons et les protons dans la matière induit un champ électrique
- Le déplacement des particules génère un courant électrique
- Le courant électrique généré crée un champ magnétique
- Cette alternance entre les 2 permet à l'énergie électromagnétique de se propager dans l'espace à la vitesse des photons virtuels.
- C'est cette propagation que l'on nomme onde
- L'onde lumineuse est une perturbation du champ électromagnétique qui se déplace.
- A la fois onde et corpuscule, la lumière est constituée de photons

Le rayonnement électromagnétique

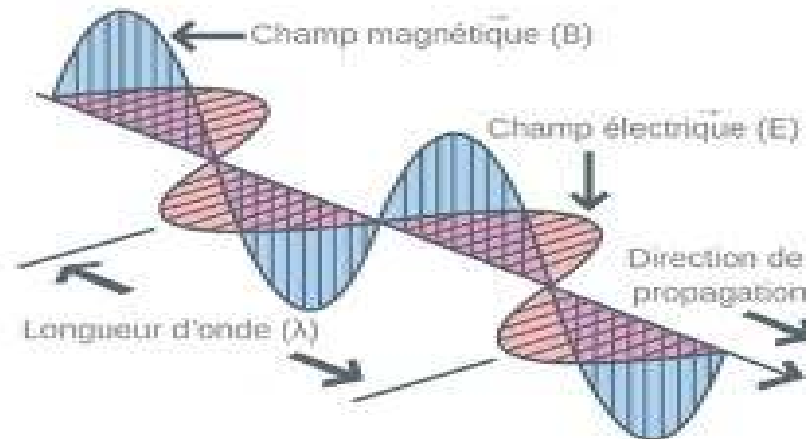


Le rayonnement électromagnétique

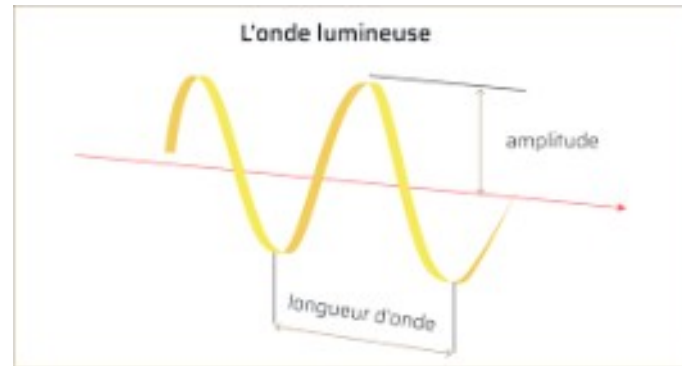
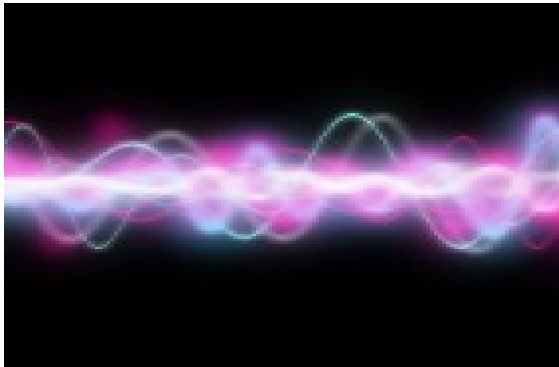
Résultat de l'association de deux composantes :

- une vibration sinusoïdale, affectant un champ électrique
- une vibration sinusoïdale, affectant un champ magnétique
- en phase, perpendiculaires l'une à l'autre et à la direction de propagation.

\vec{E}	champ électrique
\vec{B}	champ magnétique
c	célérité (m/s)
λ	longueur d'onde (m)
T	période = λ / c (s)
f	fréquence = $1 / T$ (Hz)



Le rayonnement électromagnétique



Champs électrique et magnétique combinés se propagent en oscillant à **la vitesse de la lumière $c = 300.000 \text{ km/s}$ (1 milliard de km/h!)**

La longueur d'onde λ (distance entre deux crêtes successives du champ) détermine la « couleur » de la lumière...

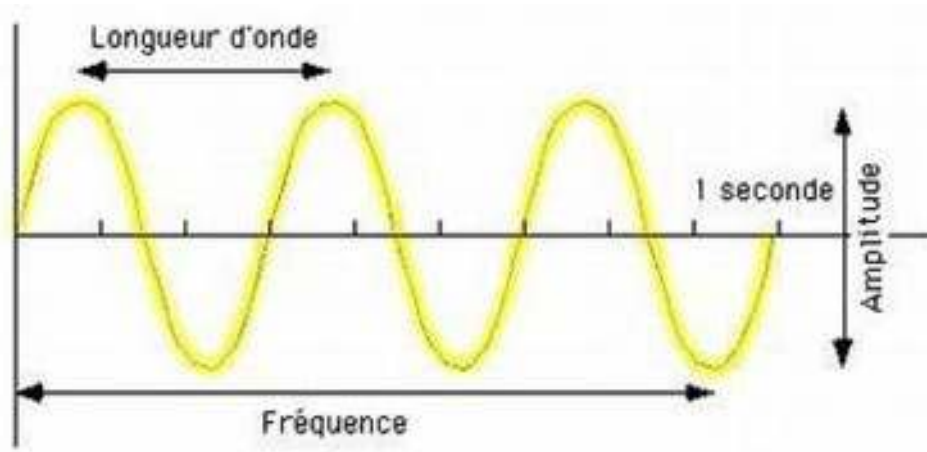
Caractéristiques de l'onde électromagnétique

Une onde électromagnétique est caractérisée par plusieurs grandeurs physiques :

longueur d'onde (λ)

période (T)

fréquence (ν)



Caractéristiques de l'onde électromagnétique

La longueur d'onde (λ) : exprime le caractère oscillatoire périodique de l'onde dans l'espace.

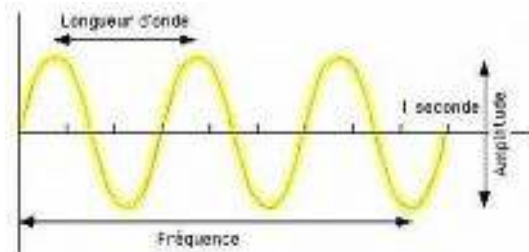
- longueur d'un cycle d'une onde: distance séparant deux crêtes successives.
- mesurée en mètres ou en nanomètres $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$

La période (T) : temps nécessaire pour que l'onde effectue un cycle. L'unité est la seconde.

La fréquence (ν) : inverse de la période,

- traduit le nombre de cycles par unité de temps.
- s'exprime en Hertz (Hz) ; 1 Hz équivaut à une oscillation par seconde

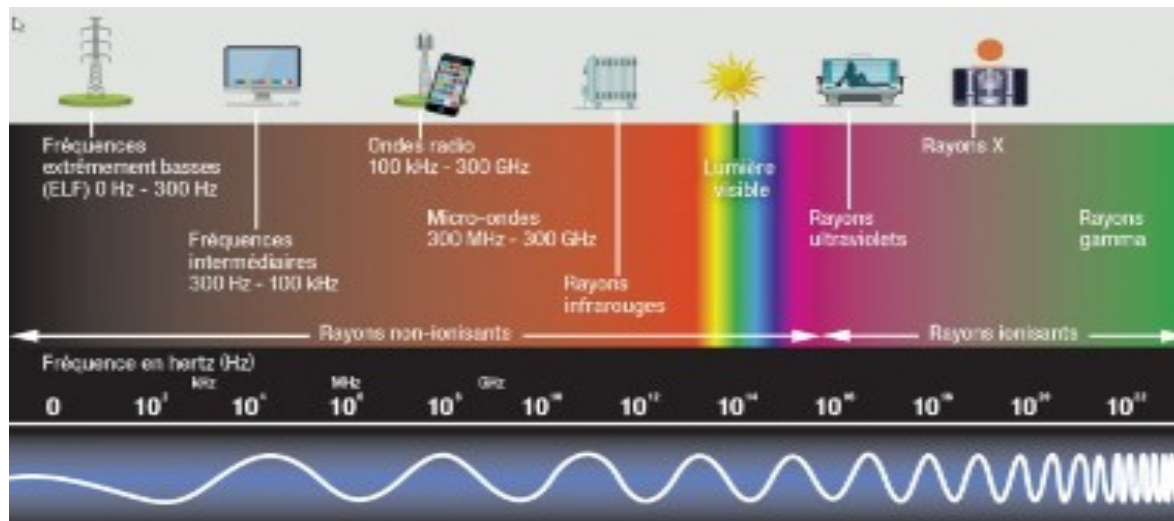
Longueur d'onde et fréquence sont inversement proportionnelles unies par la relation : $\lambda = c / \nu$



Le spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique représente la répartition des ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde, de leur fréquence.

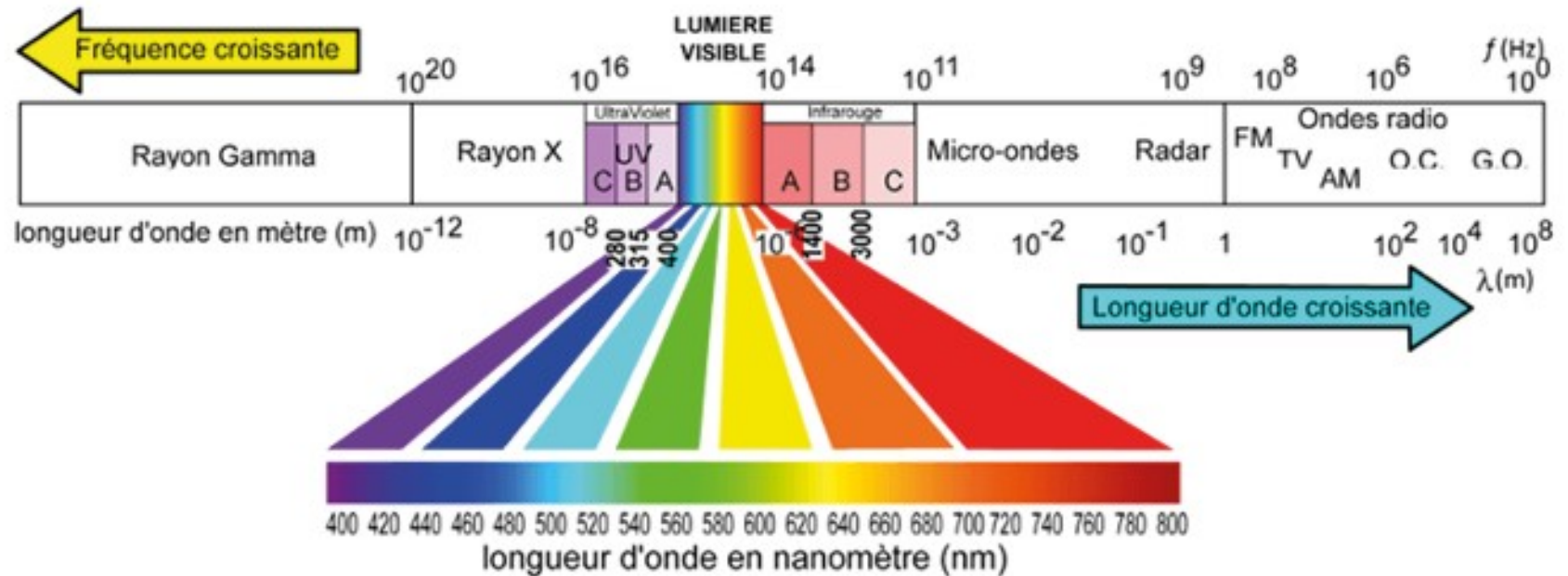
La longueur d'onde définit la position dans le spectre.



Toutes les ondes électromagnétiques sont de même nature et ne diffèrent que par leur fréquence.

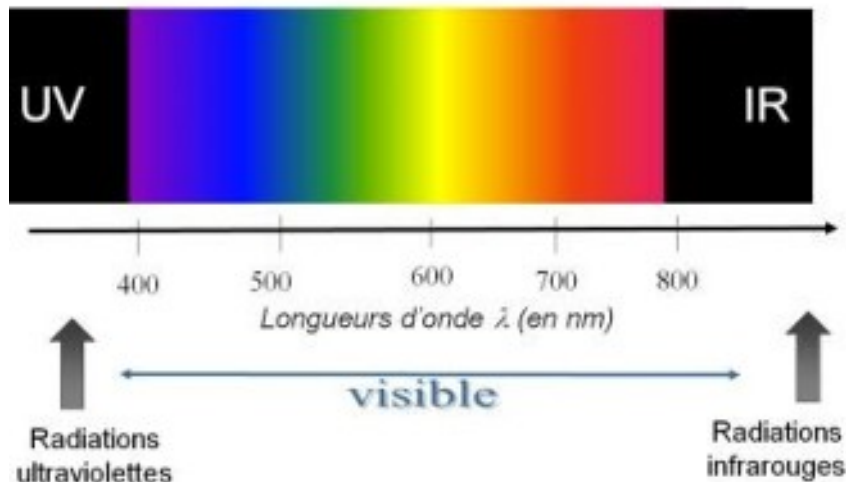
Plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence est élevée.

Le spectre électromagnétique



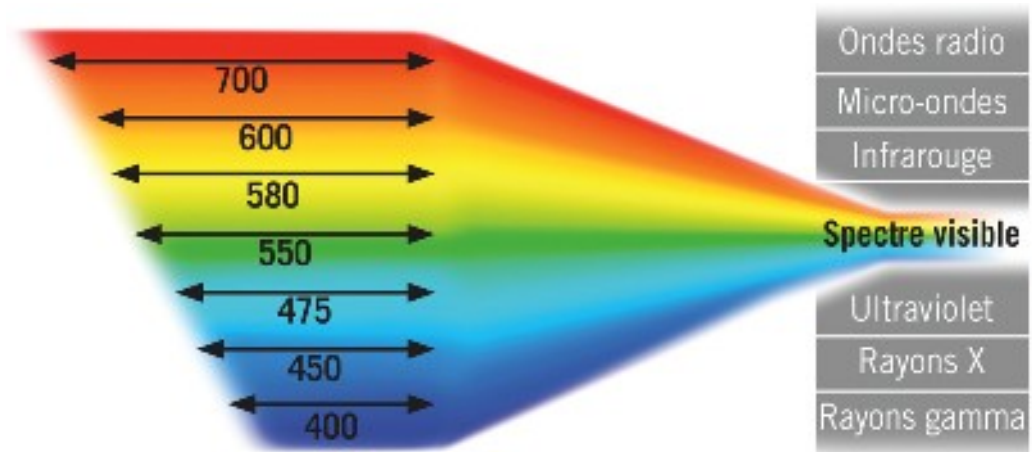
Le spectre électromagnétique de la lumière visible

Correspondance entre couleur et longueur d'onde dans le vide :



LO : 400 à 750 nm

Fréquences : 4×10^{14} à $7,5 \times 10^{14}$ Hz



Onde électromagnétique et Energie

La lumière est composée de particules appelées photons, se propageant dans le vide à la vitesse c .

Un photon de fréquence ν et de longueur d'onde λ transporte l'énergie
 $E = h\nu = hc/\lambda$

h = constante de Planck = $6,62 \cdot 10^{-34}$ Joules/s

c = vitesse de la lumière dans le vide

Exemples:

→ à 500 nm dans le vert :

un photon transporte une énergie de $3,6 \cdot 10^{-19}$ Joules

→ un faisceau de lumière de 1 mW (pointeur laser) représente un flux de $2,7 \cdot 10^{15}$ photons par seconde

Onde électromagnétique et Energie

L'unité internationale d'énergie est le Joule (J)

Pour les rayonnements, on utilise aussi l'électron-Volt (eV) :

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

La puissance P est l'énergie par unité de temps.

L'unité est le Watt (W) $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$

Plan du cours

1. De la lumière au laser.
2. Le rayonnement électromagnétique.
3. La lumière laser.
4. Le laser.
5. Interactions rayonnement laser-tissu.
6. Mécanisme d'action des lasers.
7. Protection de l'épiderme.
8. Sécurité et lasers.
9. Applications cliniques des lasers.

La lumière laser

Rappel :

c'est un acronyme anglais défini en 1960
par le physicien américain Théodore Maiman

qui signifie

« Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation »,

soit en français

« Amplification de la Lumière par Emission Stimulée de Rayonnement ».

Caractéristiques de la lumière laser

Les différentes ondes dont se composent la lumière laser ont:

- la même fréquence et la même longueur d'onde :
 - lumière monochromatique.
- la même direction de propagation :
 - faisceau directif quasi-parallélisme
- la même amplitude,
- la même phase.

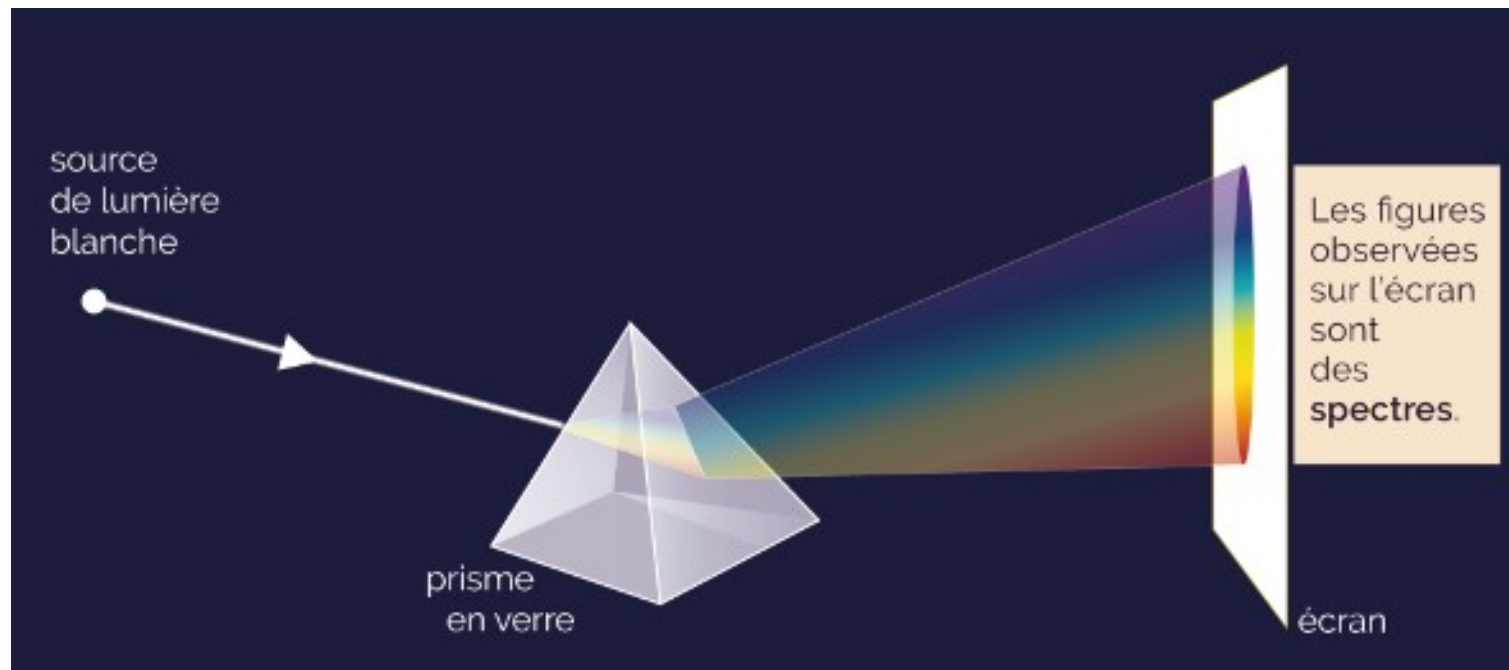
La lumière laser est une source de lumière cohérente :

- Cohérence spatiale :
 - Monodirectionnel, directif (divergence 6.10^{-3} degrés) et de phase identique
- Cohérence temporelle :
 - Monochromatique avec une largeur spectrale faible

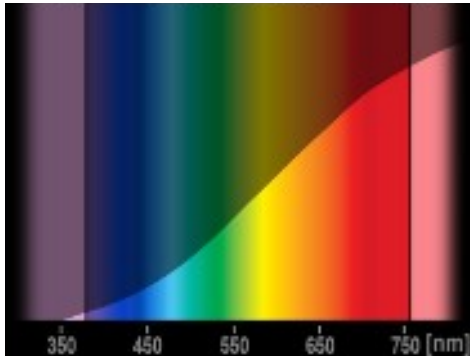


Densité de puissance élevée sur des surfaces très faibles

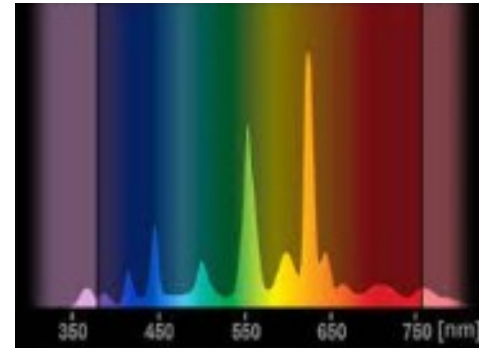
Spectres lumineux



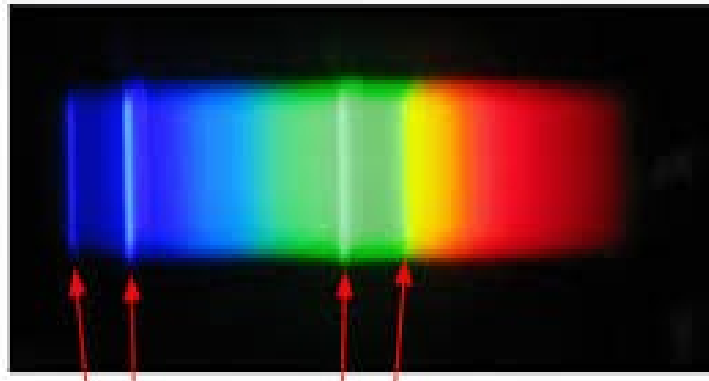
Spectres lumineux



Lampe halogène



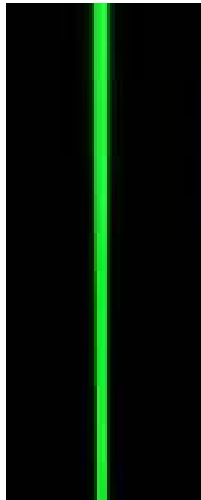
Lampe fluorescente



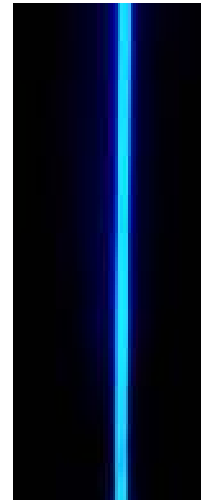
Lasers

Spectre de la lumière laser

- **Spectre dit « de raie »**, caractéristique des faisceaux monochromatiques par opposition aux autres sources lumineuses dont le spectre est continu.



Laser - 525 nm



Laser - 450 nm

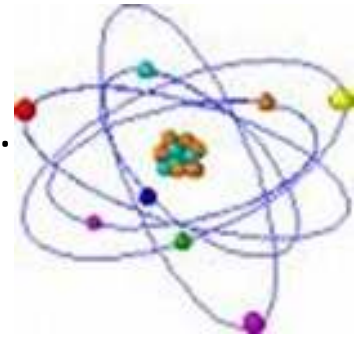
D'où vient le spectre de raie ?

La solution est dans l'atome.

Quelques prérequis concernant l'organisation de la matière.

L'atome est constitué de particules chargées ou neutres :

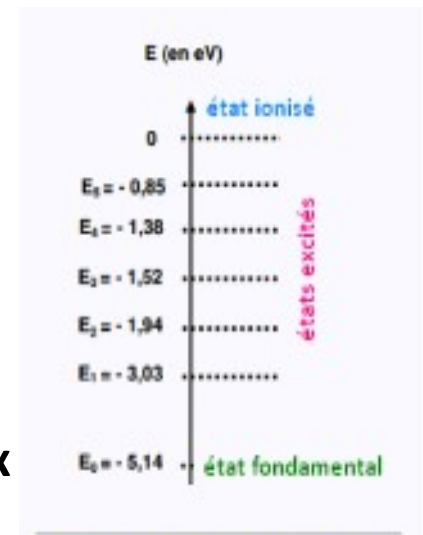
- le noyau : protons positifs et neutron.
- le cortège d'électrons négatifs.



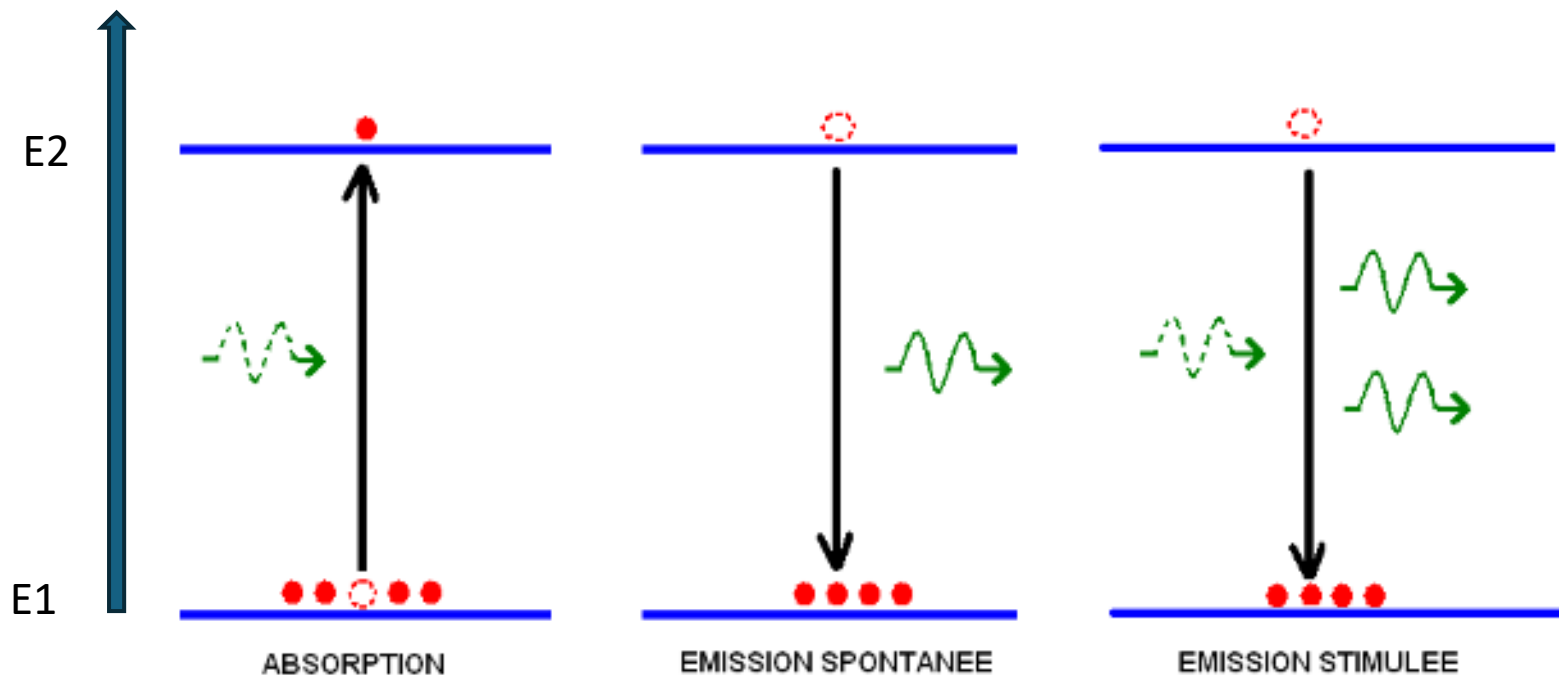
Le rayon de chaque orbite est quantifié :

- les positions intermédiaires sont IMPOSSIBLES
- état énergétique minimal : état le plus STABLE
- la valeur énergétique de l'orbite est d'autant plus importante que celle-ci est éloignée du noyau

Les électrons peuvent transiter entre différents niveaux d'énergie grâce aux réactions photoniques.



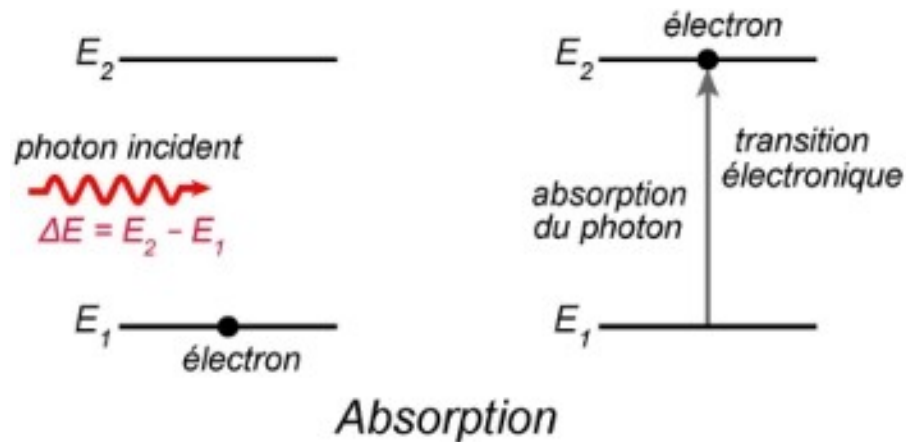
Réactions photoniques



L'absorption

L'excitation d'un électron consiste à lui apporter de l'énergie qui va lui permettre de passer d'une orbite proche du noyau à une orbite plus éloignée du noyau.

La quantité d'énergie minimale nécessaire est le quantum d'énergie ΔE .



Les retours à l'état de base

Un électron ne reste à l'état excité qu'environ pendant 10^{-8} s.

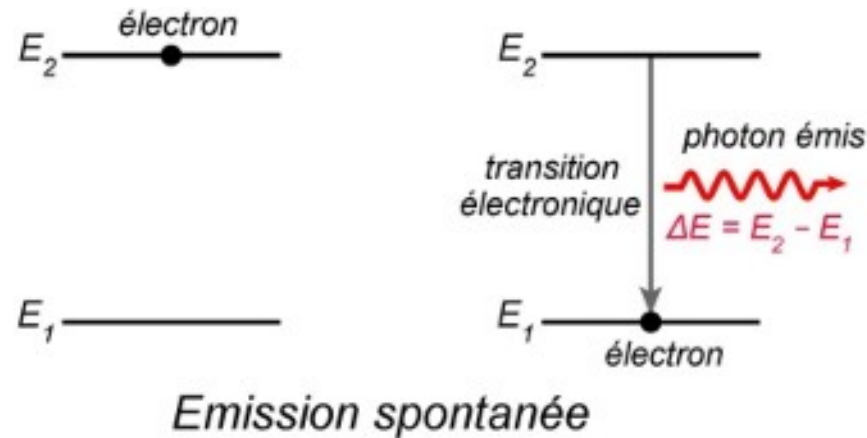
Il revient à son état de base soit par :

- **émission spontanée** d'un photon
- **émission stimulée** : deux photons dans des circonstances particulières (*non spontanée*)

Les retours à l'état de base

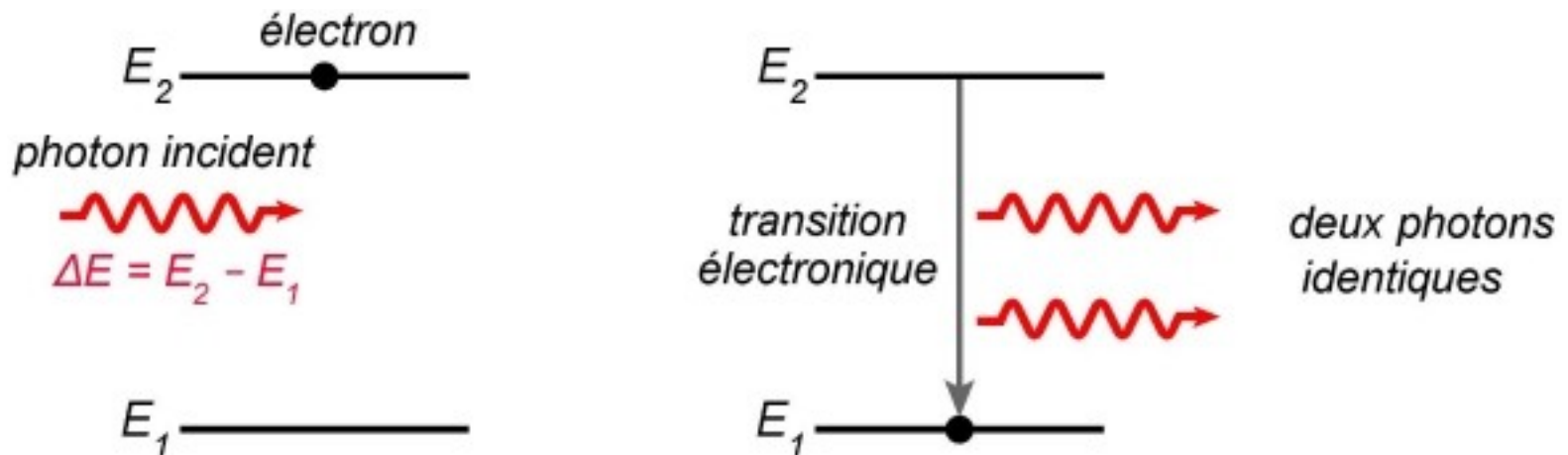
Emission spontanée :

- fluorescence : un photon, délai court (qqs nanosecondes)
- phosphorescence : un photon, délai retardé (qq secondes à plusieurs heures)



Les retours à l'état de base

Emission stimulée : lorsque l'énergie incidente ΔE percute un électron déjà excité, on observe lors de la désexcitation l'émission de 2 photons de désexcitation, chacun d'énergie identique à l'incidente ($\Delta E = E_2 - E_1$).
Même énergie \rightarrow même fréquence, même longueur d'onde et même phase.



Plan du cours

1. De la lumière au laser.
2. Le rayonnement électromagnétique.
3. La lumière laser.
4. Le laser.
5. Interactions rayonnement laser-tissu.
6. Mécanisme d'action des lasers.
7. Protection de l'épiderme.
8. Sécurité et lasers.
9. Applications cliniques des lasers.

Plan du cours

4. Le laser.

1. Éléments constitutifs
2. Principes de fonctionnement
3. Dénomination des appareils
4. Modes d'émission du faisceau
5. Système de délivrance du faisceau
6. Paramètres du faisceau
7. Longueur d'onde
8. Durée d'émission
9. Diamètre et surface du spot
10. Energie totale / Puissance / Fluence

Le laser : trois éléments de base

Milieu actif :

Gaz

Solide

Colorant

Semi-conducteur

Fibre optique

⇔ **impose la longueur d'onde**

Source d'énergie extérieure :

décharge électrique : laser à diode

décharge électronique : laser à gaz

pompage optique : laser solide et colorant

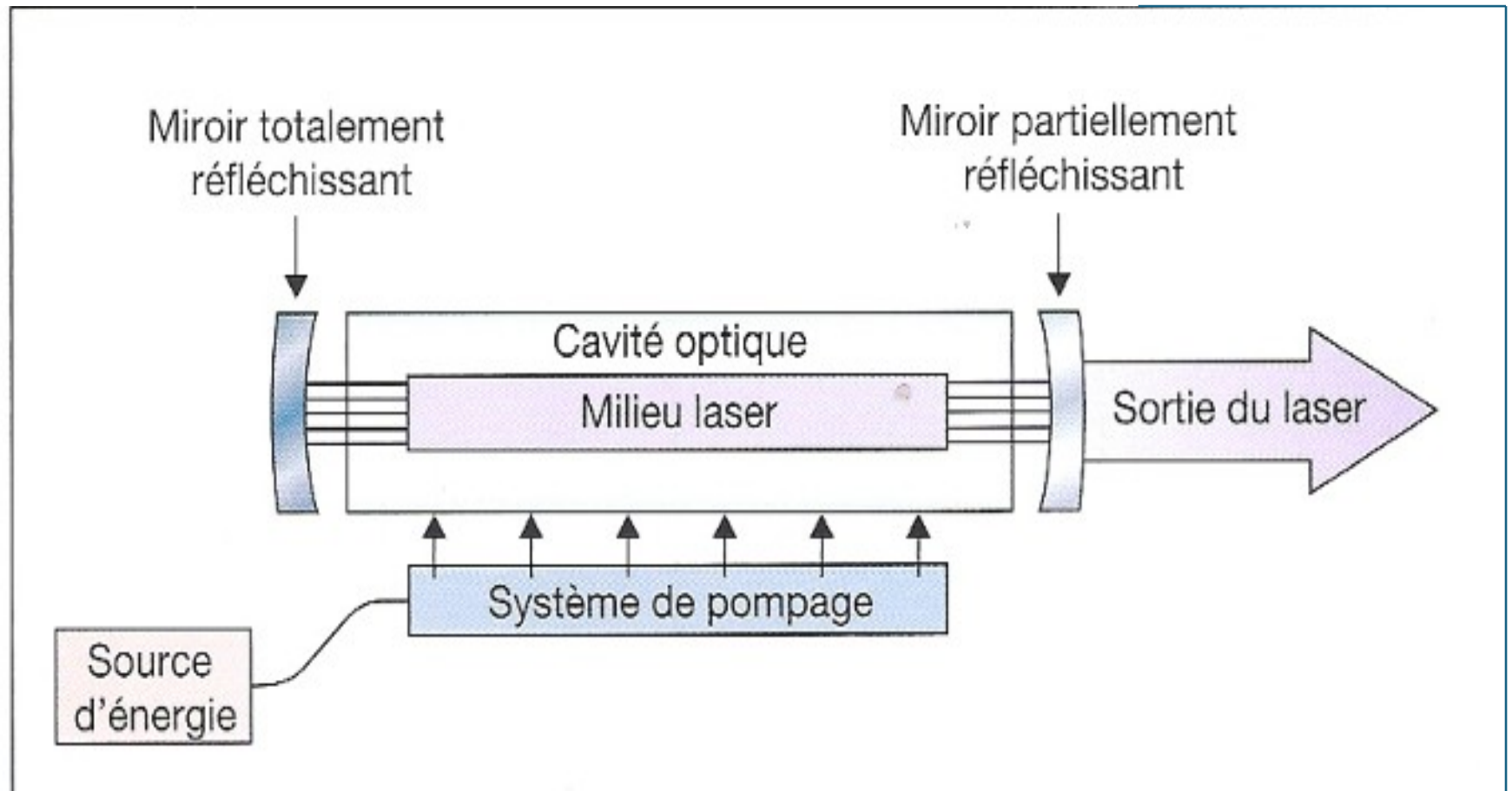
⇔ **maintien du milieu dans état excité**

Résonateur optique ⇔ **cavité limitée par :**

1 miroir arrière totalement réfléchissant

1 miroir avant partiellement réfléchissant

Schéma d'un laser



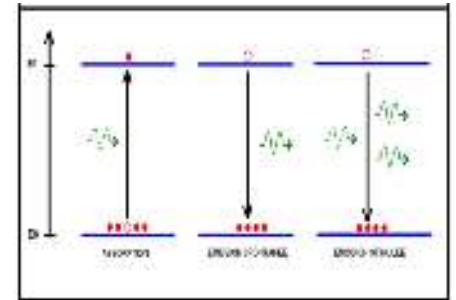
Principes de fonctionnement

Pour qu'un faisceau laser de qualité soit généré, il faut que l'émission stimulée l'emporte largement sur l'absorption et l'émission spontanée, créant un nombre élevé de molécules dans un même état excité :

- c'est le principe de **l'émission stimulée**.

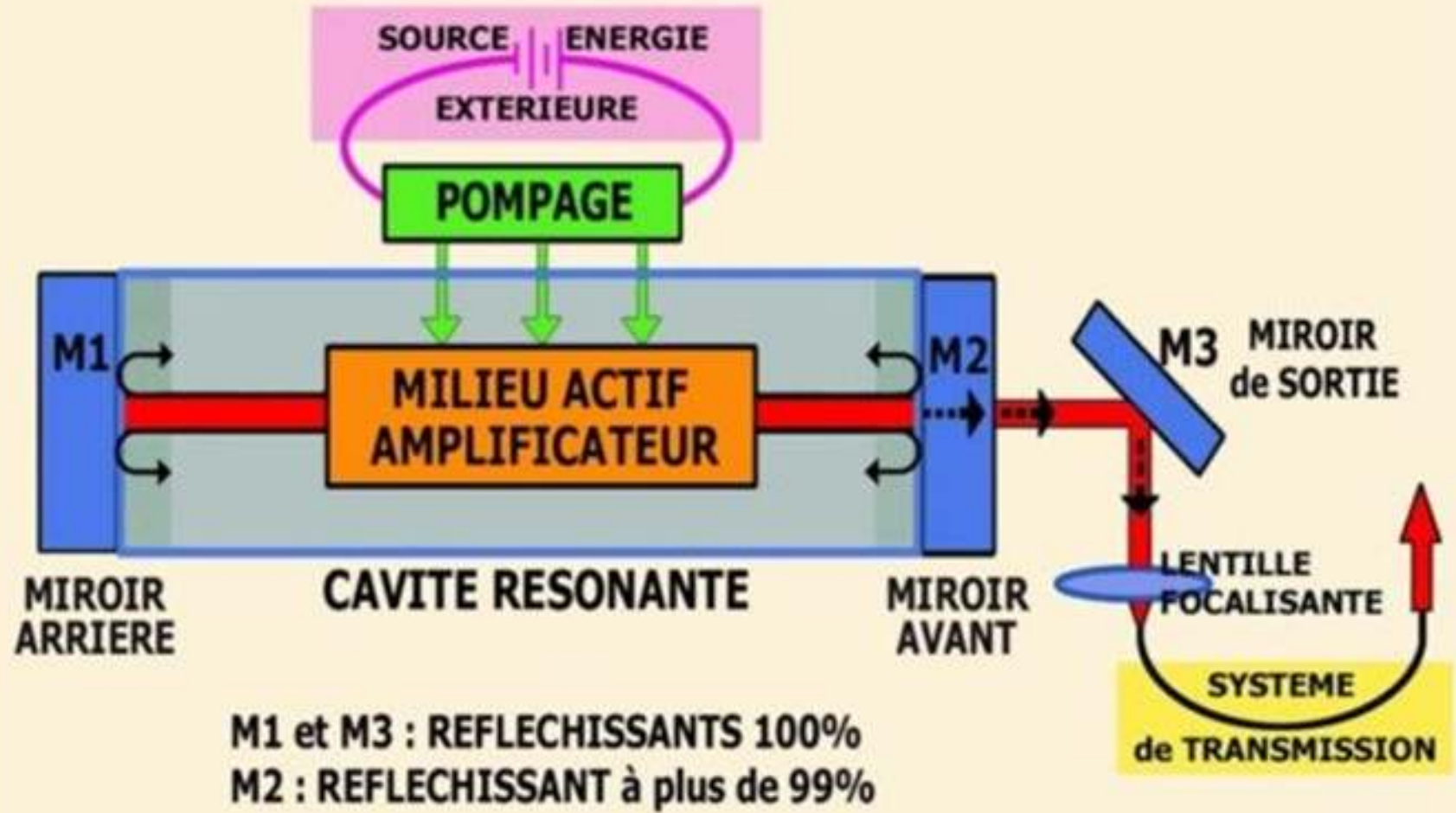
Cette condition aboutit à une **inversion de population** :

- la traversée du milieu **amplifie le faisceau**.



Le processus qui permet d'obtenir une inversion de population est appelé **pompage** et consiste à fournir de l'énergie à un milieu astucieusement choisi pour en exciter les molécules.

COMPOSITION D'UNE SOURCE DE RAYONNEMENT LASER

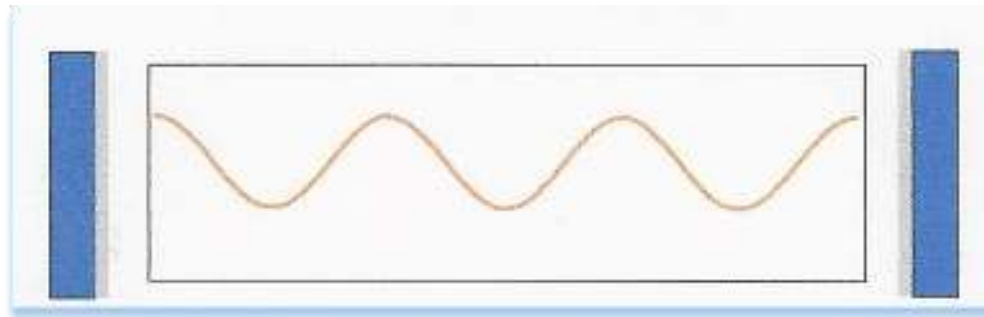


La cavité résonnante optique

Le milieu actif est inséré dans la cavité optique

Quelques photons spontanément émis amorcent le processus d'excitation-déexcitation permanent.

La distance parcourue entre les deux miroirs (aller-retour) par les photons doit être proportionnelle à leur longueur d'onde

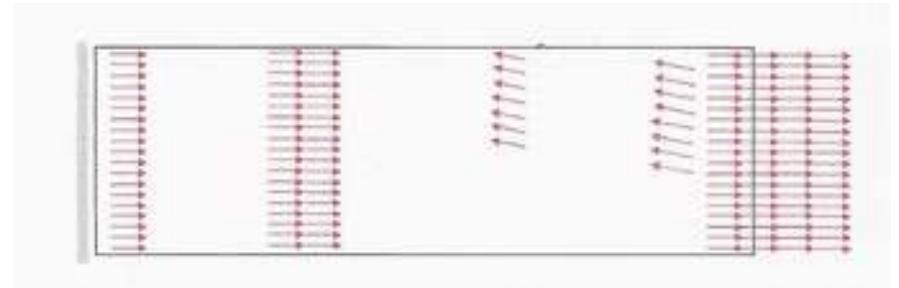
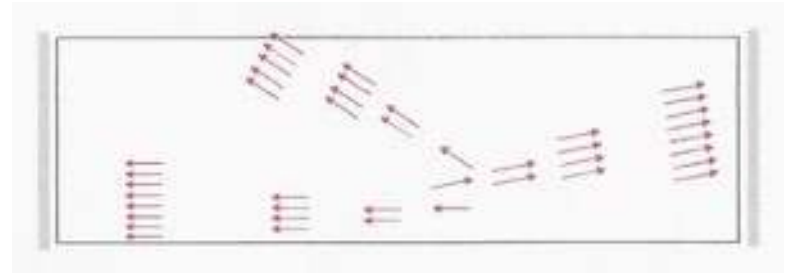


L'amplification lumineuse

Chaque photon stimule l'émission de nouveaux photons tous en phase.

Une sélection de direction se produit en plusieurs allers retours entre deux miroirs.

Seuls les photons alignés selon l'axe restent dans la cavité.



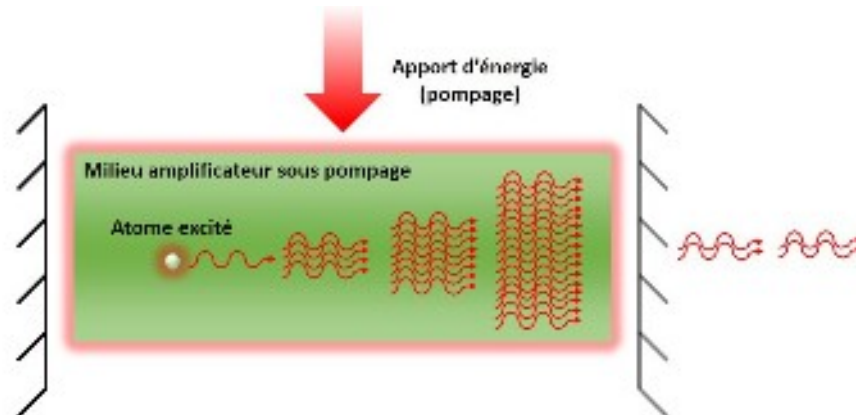
L'amplification lumineuse

L'atome diffuseur (milieu actif) est dans l'état excité, la lumière rayonnée vers l'avant devient en phase avec la lumière incidente: il y a amplification de l'onde incidente.

La lumière qui va et vient entre deux miroirs est amplifiée par les atomes excités.

L'amplification du bruit de rayonnement conduit à l'oscillation laser.

Le miroir de sortie laisse passer le faisceau lorsqu'il est suffisamment intense.



Pompage sur un minimum de 3 niveaux d'énergie

Chaque niveau énergétique est caractérisé par un temps de résidence (ou durée de vie) des atomes sur ces niveaux.

C'est donc la méthode de pompage qui va déterminer les niveaux des systèmes laser.

L'inversion de population ne peut être obtenue de façon efficace qu'à partir de transition radiative d'un minimum de 3 niveaux d'énergie.

Système laser à 3 niveaux

On veut $E_2 - E_1$ le plus grand possible.
Il faut peupler E_2 ce qui nécessite de vider E_1 .
Mais E_1 se repeuple dès que le laser marche.
Fonctionnement par impulsion et non en continu.

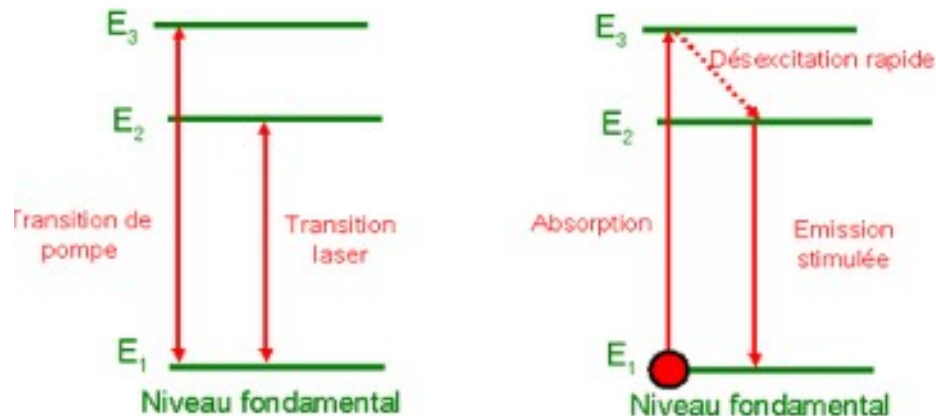


Figure 4 : Exemple d'un système à trois niveaux avec un pompage optique. 🔍

Système laser à 4 niveaux

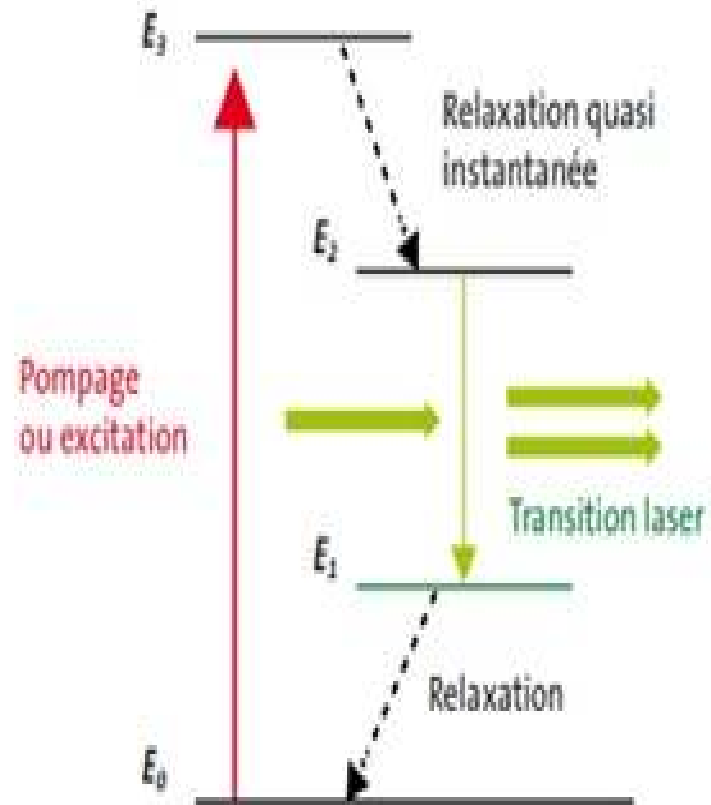
Le niveau E_3 se vide rapidement par relaxation vers le niveau E_2 de durée de vie longue.

Le niveau E_1 se caractérise par une durée de vie courte, et se vide rapidement vers le niveau fondamental.

La transition laser a lieu entre les niveaux E_2 et E_1

Il y a plus d'atomes occupant le niveau E_2 que le niveau E_1 .

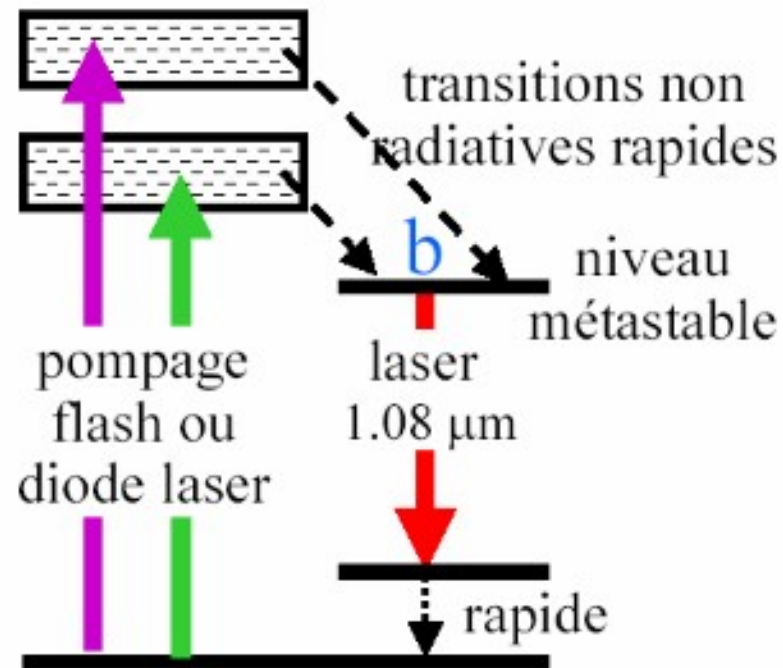
L'inversion de population est atteinte.



Système laser à quatre niveaux

La plupart des lasers fonctionnent sur des systèmes à quatre niveaux

Exemple de laser solide à Néodyme:



Appareils lasers : dénominations

Les noms des appareils lasers viennent du composant du milieu laser :

Gaz : lasers CO² 10.600 nm ; Argon 488-514 nm ; Excimer Argon-Fluor 193 nm.

Liquide : colorant rhodamine 6G 560 à 630 nm.

Solide : lasers Alexandrite 755 nm ; Erbium Glass 1.540 nm ; Erbium YAG 2.940 nm ; Néodyme YAG 1.064 nm ; Néodyme YAG doublé avec cristal KTP 532 nm.

Semi-conducteur : Diode Laser 650-990 nm

Nouveaux lasers à fibre émettant dans le visible et l'infra-rouge.

Le milieu laser, contenu dans la cavité optique, détermine la longueur d'onde de la lumière produite par l'émission stimulée de rayonnement.

3 modes d'émission du faisceau laser

Mode continu

Temps de tir déterminé par un obturateur en dehors de la cavité

Puissance faible : 1 à 10 Watts

Impulsion : dizaines de millisecondes à plusieurs **secondes**

Action thermique



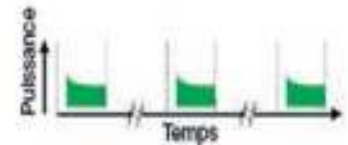
Mode impulsionnel

Temps d'impulsion déterminé par le système de pompage du laser

Puissance en kW

Impulsion : **milliseconde ou microseconde**

Action thermo-mécanique



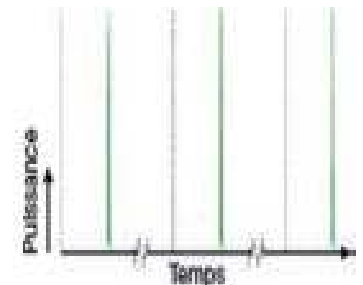
Mode déclenché

Emission contrôlée par un Q-switch placé dans la cavité du laser

Puissance en MW

Impulsion : **nanoseconde**

Action disruptive



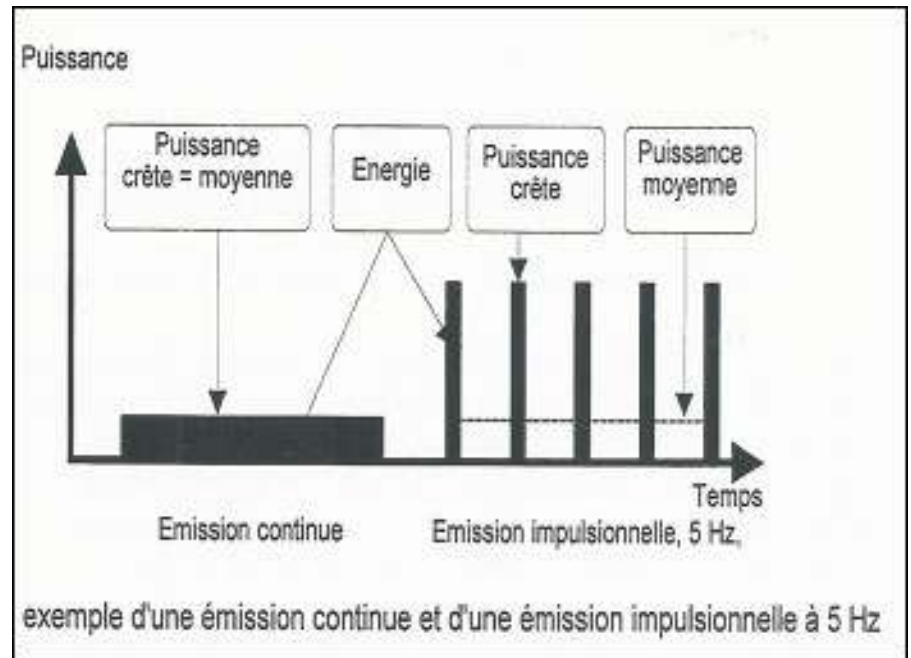
Modes d'émission du faisceau laser

On définit:

La fréquence d'émissions:
nombre d'impulsions par seconde.

La puissance crête:
niveau maximum de la puissance pendant l'impulsion.

La puissance moyenne:
niveau de puissance équivalent à celui d'un laser continu qui délivrerait la même énergie durant la même durée d'émission.



Systèmes de délivrance du faisceau

La lumière amplifiée émise au travers du 2^{ème} miroir passe dans un **dispositif de délivrance** qui assure sa transmission à la pièce à main :

- **un câble en fibre optique** : léger, facile à manipuler et à entretenir
- **un bras articulé** avec de nombreux miroirs, plus résistant pour les lumières émises par les lasers en mode déclenché (Q-switched),
ou émettant dans l'ultraviolet ($\lambda < 400 \text{ nm}$)
ou émettant dans l'infrarouge ($\lambda > 800 \text{ nm}$)

Au niveau de la pièce à main la lumière peut être :

- focalisée par une **lentille**
transmise sous la forme d'un **faisceau collimaté** à rayons parallèles.
- diffusé sur une surface prédéterminée de la peau
par un **automate de balayage** qui en limite le temps d'irradiation.

Systèmes de délivrance du faisceau



Exemple de câble en fibre optique

Exemple de bras articulé

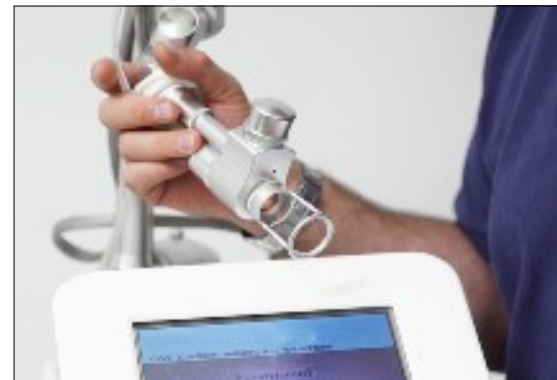


Systèmes de délivrance du faisceau

Exemple de pièce à main focalisée
par une lentille



Exemple de pièce à main avec
système automate de balayage



Principaux paramètres du faisceau laser

Longueur d'onde en nm

Durée d'émission, ou temps d'exposition en secondes

Diamètre du spot laser D en mm

Surface du spot $(\pi \times D^2)/4$ en cm^2

Energie totale déposée en Joules (J)

Puissance P exprimée en Watts (J / s)

Densité d'énergie ou fluence (F) mesurée en J/cm^2 : énergie délivrée par cm^2

Principaux paramètres du faisceau laser

Longueur d'onde en nm

Durée d'émission, ou temps d'exposition en secondes

Diamètre du spot laser D en mm

Surface du spot ($\pi \times D^2$)/4 en cm²

Energie totale déposée en Joules (J)

Puissance P exprimée en Watts (J / s)

Densité d'énergie ou fluence (F) mesurée en J/cm² : énergie délivrée par cm²

Longueur d'onde

Elle définit:

- la profondeur de pénétration dans la peau.

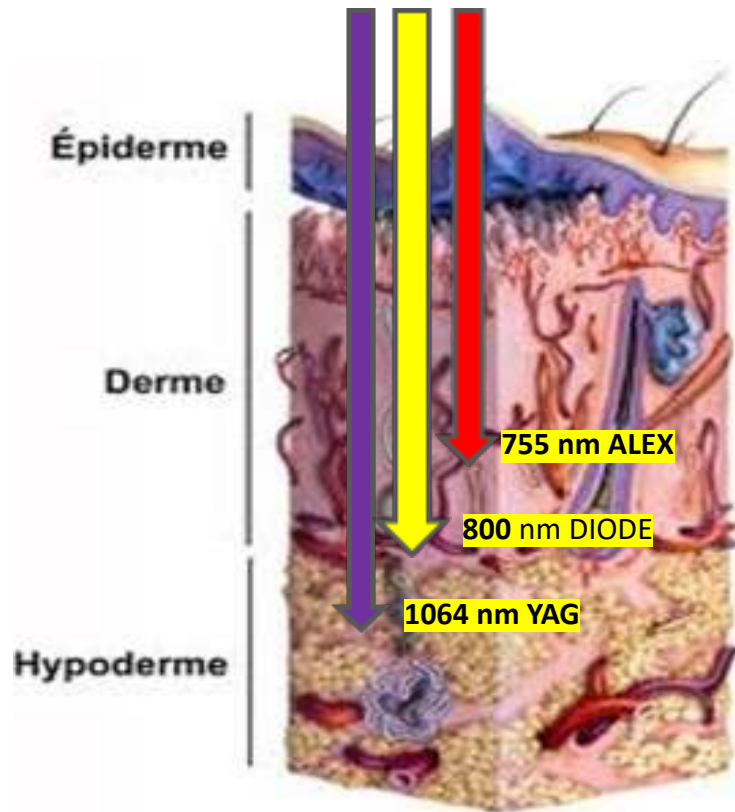
- l'absorption par les chromophores.

Les longueurs d'ondes les plus grandes pénètrent plus profondément.

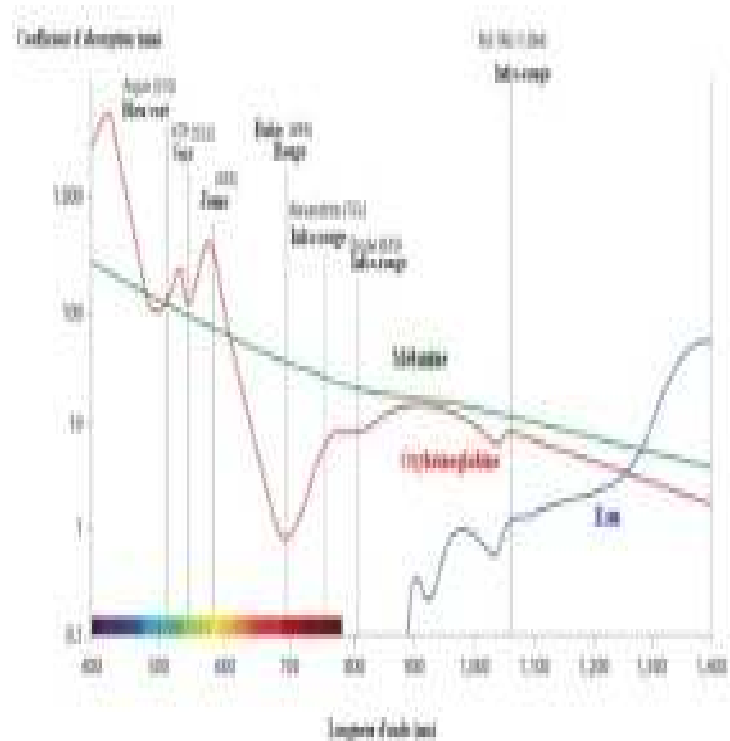
Un chromophore est une substance capable d'absorber l'énergie et d'être excitée.

Longueur d'onde

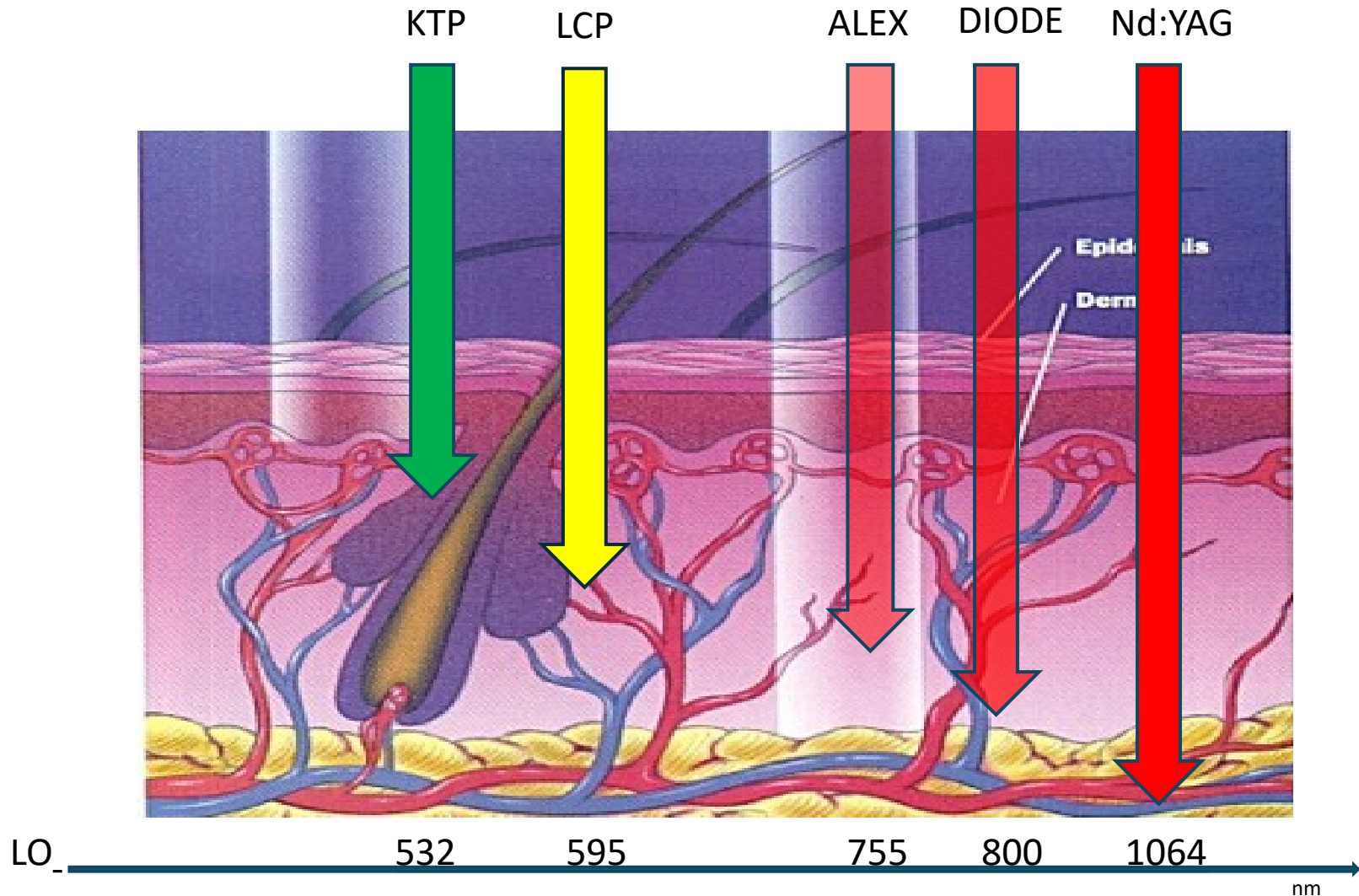
Profondeur de pénétration



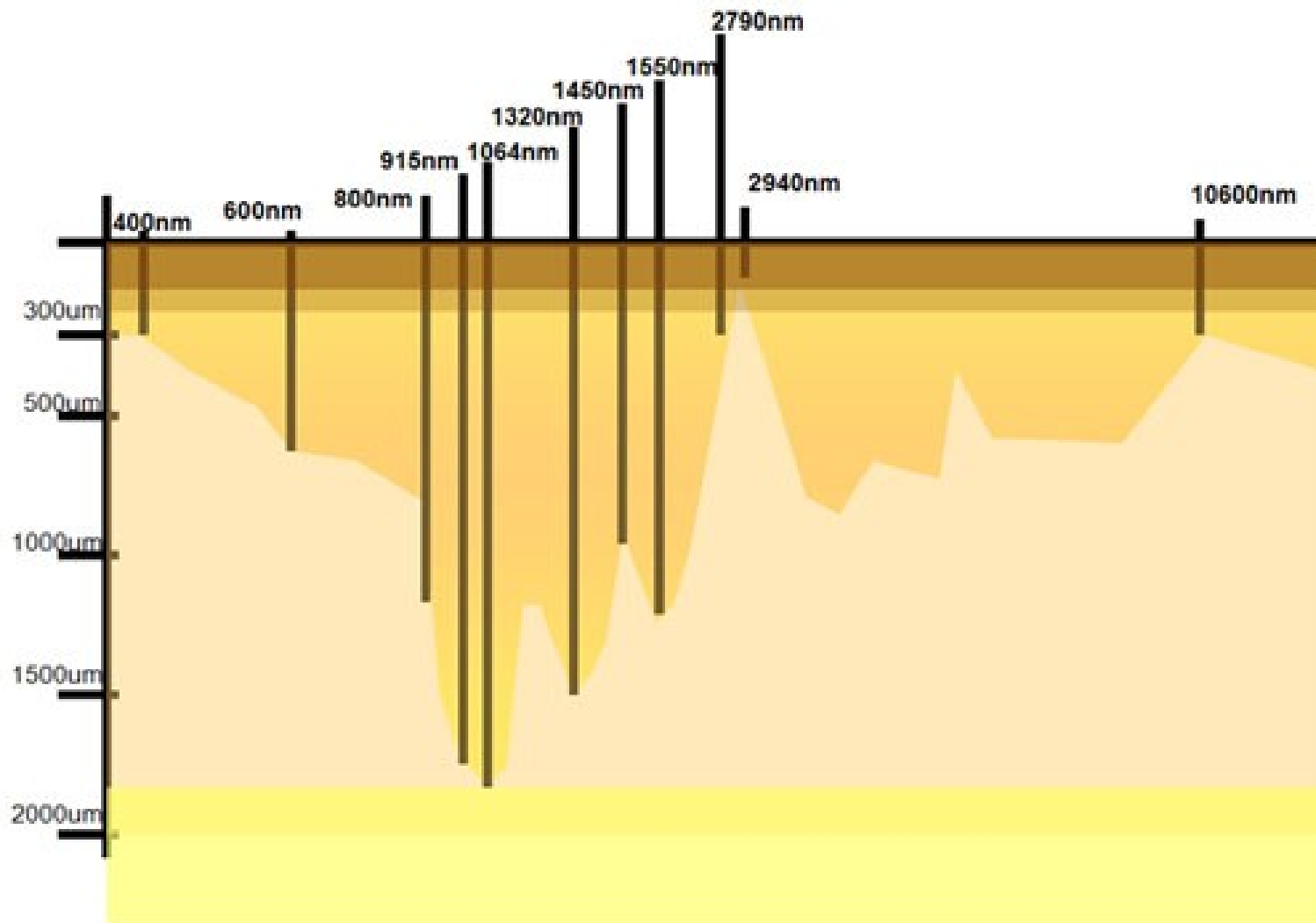
Absorption par les chromophores



Longueur d'onde → profondeur de pénétration



Longueur d'onde → profondeur de pénétration



Longueur d'onde → profondeur de pénétration

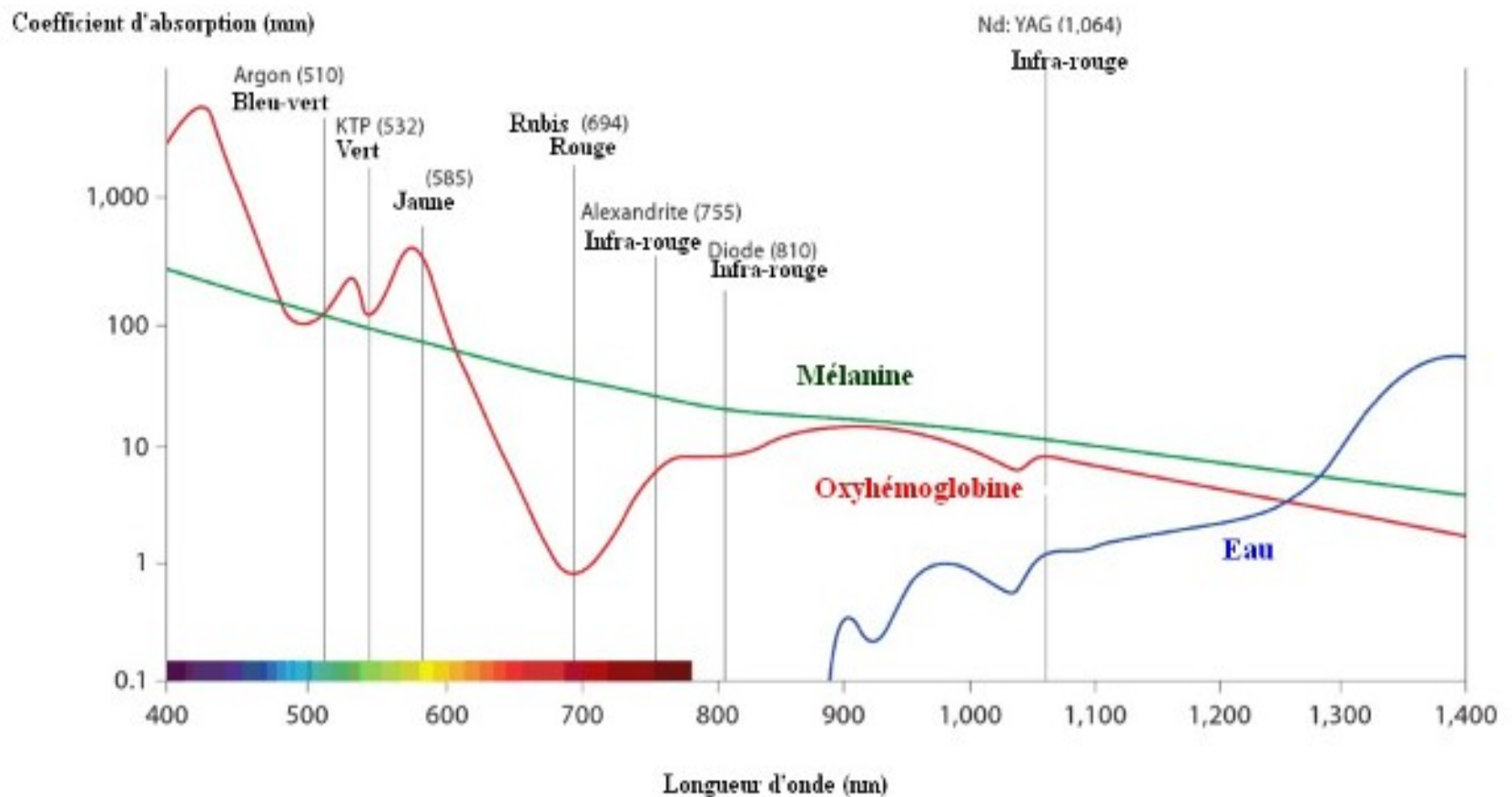
Un chromophore est un composant biologique spécifique qui va capter préférentiellement une couleur de lumière et donc une longueur d'onde d'un laser.

En captant de manière sélective le rayon laser, le chromophore subit des réactions localisées alors que les tissus biologiques environnants sans chromophore restent relativement intacts.

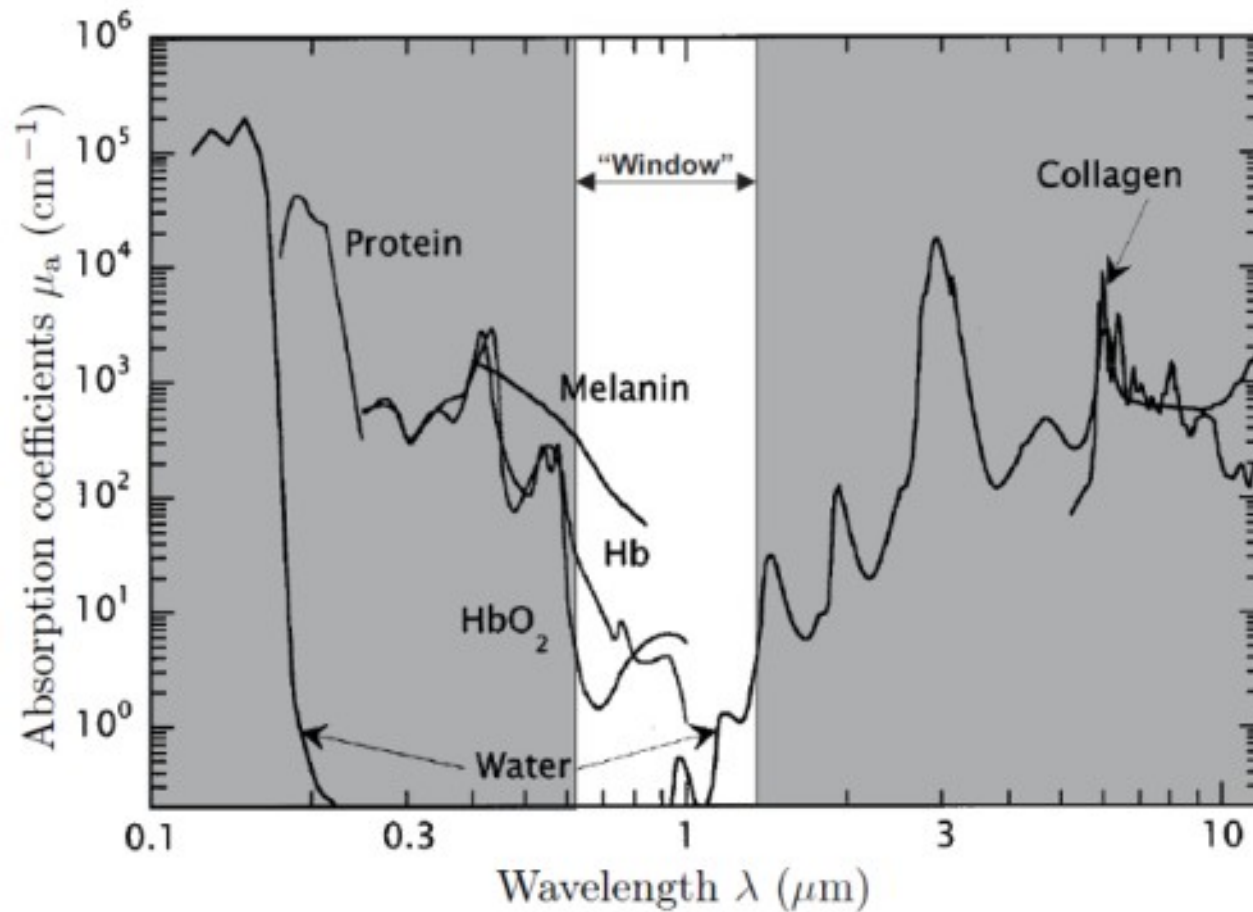
Parmi les chromophores endogènes: la mélanine, l'oxyhémoglobine, l'eau, les protéines, le collagène....

Parmi les chromophores exogènes: les encres des tatouages.

Longueur d'onde → absorption par les chromophores



Longueur d'onde → absorption par les chromophores



Durée d'émission

Correspond à la durée globale d'irradiation , soit le temps pendant lequel l'énergie du laser est appliquée sur la peau.

Également nommé Temps d'impulsion ou Temps de pulse

Laser en mode pulsé : la durée d'exposition est égale au temps d'utilisation multiplié par le nombre d'impulsions et par le temps d'impulsion.

Laser en mode continu: durée d'exposition et temps d'utilisation sont identiques.

La durée optimale est calculée en fonction des dimensions de la cible.

Le but est de produire un échauffement suffisant de la cible.

Principaux paramètres du faisceau laser

Longueur d'onde en nm

Durée d'émission, ou temps d'exposition en secondes

Diamètre du spot laser D en mm

Surface du spot $(\pi \times D^2)/4$ en mm²

Energie totale déposée en Joules (J)

Puissance P exprimée en Watts (J / s)

Densité d'énergie ou fluence (F) mesurée en J/cm² : énergie délivrée par cm²

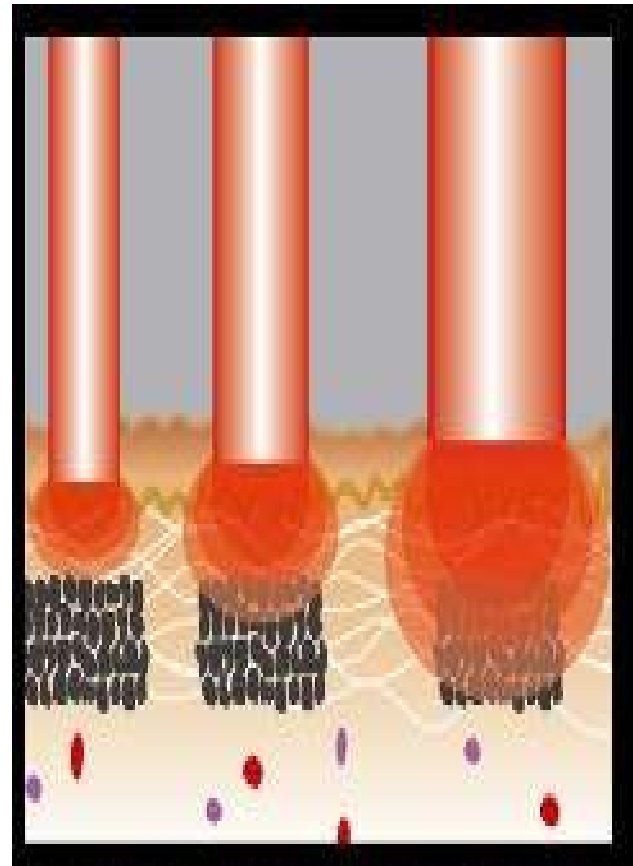
La surface d'exposition

Surface irradiée par le laser :

Surface du spot $(\pi \times D^2)/4$, en mm²
(D : diamètre du spot, en mm)

Dépend de :

- la distance laser-cible,
- la présence d'éléments optiques sur le trajet du faisceau,
- la divergence du faisceau.



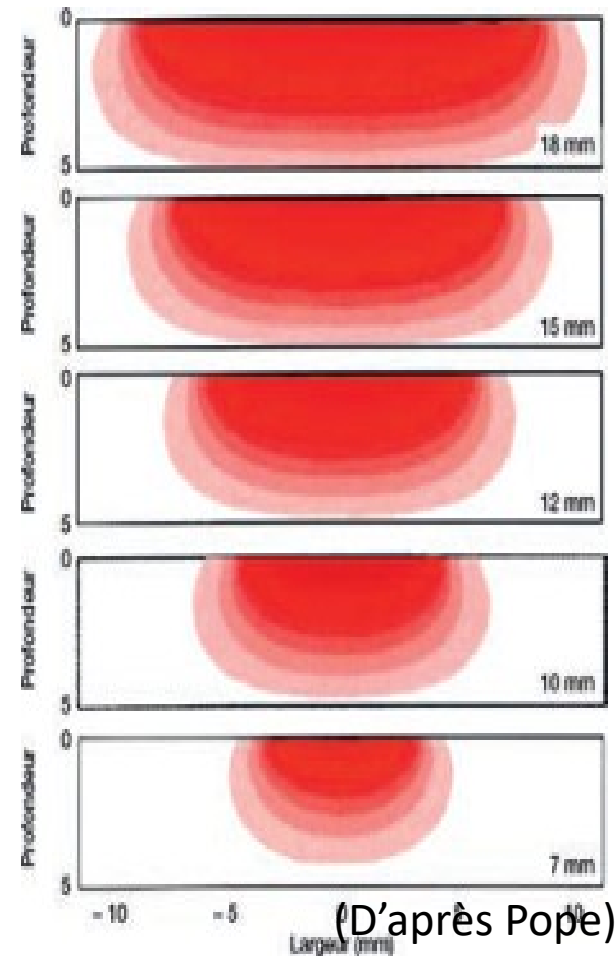
La surface d'exposition

Plus la taille du spot augmente, plus la profondeur de pénétration augmente et s'approche de la profondeur maximale théorique

Un spot large est moins affecté par la diffusion de la lumière qu'un petit spot

Un spot large permet:

- d'utiliser moins d'énergie
- d'atteindre les cibles profondes



Récapitulatif : profondeur de pénétration

Varie en fonction de trois paramètres:

La **longueur d'onde**: les longueurs d'onde les plus grandes pénètrent plus profondément.

Propriété non valable pour les lasers ablatifs en raison de leur affinité pour l'eau, présente dès les premières couches de la peau: Erbium, CO² peu pénétrants.

Le **diamètre du spot**: plus le spot est large, plus il pénètre en profondeur.

La **durée d'impulsion**, en s'allongeant, provoque une diffusion de la température plus importante donc une pénétration en profondeur et en latéral augmentées.

Principaux paramètres du faisceau laser

Longueur d'onde: en nm

Durée d'émission, ou temps d'exposition: en secondes

Surface du spot $(\pi \times D^2)/4$ en mm².

Energie totale déposée, exprimée en Joules (J).

Puissance P exprimée en Watts ($W = J/s$).

Densité d'énergie ou fluence (F), exprimée en J/cm².

Energie - Puissance - Fluence

Il faut connaître la quantité d'énergie qui est déposée par un faisceau lumineux.

L'irradiance désigne l'énergie libérée par seconde par surface exprimée en watt/cm² : c'est une énergie/seconde/surface

$$I = P / S$$

$$P = E / t$$

$$I = E / t / S$$

$$[E = I \times t \times S]$$

La fluence est l'énergie délivrée par unité de surface exprimée en joule/cm². C'est l'énergie totale reçue par le tissu.

$$F = E / S$$

$$E = I \times t \times S$$

$$F = I \times t$$

S=Surface; E=Energie; t=durée d'impulsion; P=Puissance; I=Irradiance.

Energie - Puissance - Fluence

- L'énergie transportée par le faisceau est la somme des énergies de chaque photon du faisceau, exprimée en Joules (J).
- La puissance est l'énergie du faisceau par unité de temps, exprimée en Watt (W), avec $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$.
- L'irradiance est la densité de puissance, c'est-à-dire la puissance délivrée à la cible par unité de surface, exprimée en W/cm^2 .
- La fluence est la densité d'énergie délivrée par unité de surface, exprimée en J/cm^2 .

$$\begin{aligned} &\text{ENERGIE DELIVREE} \\ &\quad \Leftrightarrow \\ &\text{P LASER} \times \text{T D'IMPULSION} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{ENERGIE DELIVREE} \\ &\quad \Leftrightarrow \\ &\text{IRRADIANCE} \times \text{SURFACE} \times \text{T D'IMPULSION} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{FLUENCE} \\ &\quad \Leftrightarrow \\ &\text{IRRADIANCE} \times \text{TEMPS D'IMPULSION} \end{aligned}$$

Puissance crête

$$E = P \times t$$

P: puissance (W)

t: durée d'impulsion (secondes)

E: énergie (joules)

Laser continu :

$P_{\text{moy}} = 100 \text{ W}$

$t = 1 \text{ sec}$

$E = 100 \text{ J}$

Puissance Crête = $P_{\text{moy}} = 100 \text{ W}$

Laser impulsionnel :

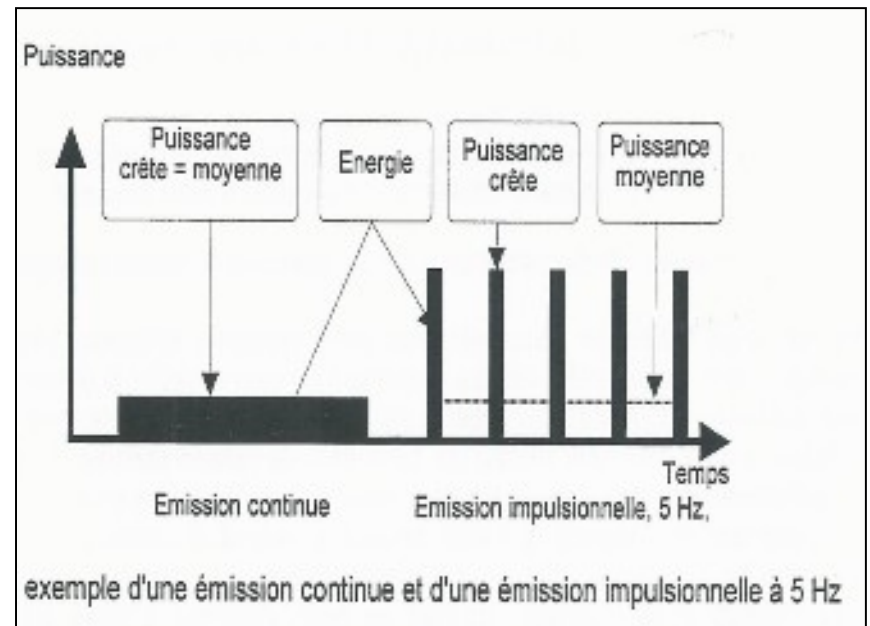
impulsions de 20 J

pendant 40 ms

fréquence de répétition de 5 Hz

Puissance crête = Énergie de l'impulsion / durée de l'impulsion
(soit $20 / 0,04$)

Puissance Crête = 500 W



Plan du cours

1. De la lumière au laser.
2. Le rayonnement électromagnétique.
3. La lumière laser.
4. Le laser.
5. Interactions rayonnement laser-tissu.
6. Mécanisme d'action des lasers.
7. Protection de l'épiderme.
8. Sécurité et lasers.
9. Applications cliniques des lasers.

Plan du cours

5. Interactions rayonnement laser-tissu.

1. Réflexion
2. Absorption
3. Diffusion
4. La pénétration de la lumière

Interactions rayonnement laser-tissu

Lois de l'optique générales :

L'onde électromagnétique, lorsqu'elle se trouve dans un milieu homogène et isotrope,

- se propage en ligne droite
- subit une diffraction lorsqu'elle rencontre un obstacle
- subit la réflexion et la réfraction lorsqu'elle change de milieu

Prérequis : la peau

Epiderme:

5 couches cellulaires

4 types cellulaires

Jonction dermo-épidermique:

Crêtes épidermiques

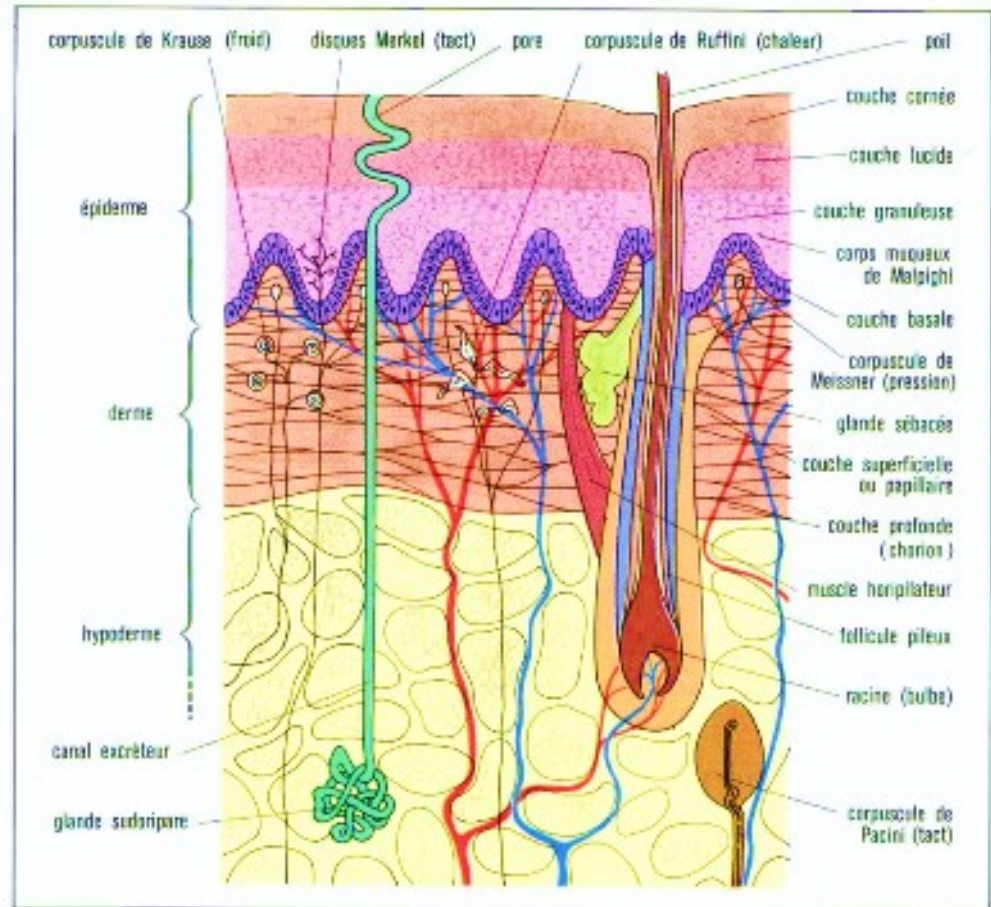
Papilles dermiques séparées par une membrane basale

Derme : tissu conjonctif dense

Couche papillaire superficielle

Couche réticulaire profonde.

Hypoderme



Prérequis : la peau

Epiderme : épithélium de revêtement non vascularisé

Rôle de protection assuré par la cohésion des cellules épithéliales et la production de la kératine

Les cellules sont attachées entre elles par les desmosomes et sont attachées au derme par la jonction dermo-épidermique

Derme : tissu conjonctif très vascularisé constitué d'une substance fondamentale (matrice extracellulaire) qui contient :

Fibroblastes

Fibres de collagène

Fibres élastiques

Un grand nombre de vaisseaux

Hypoderme : couche de tissu adipeux

Annexes cutanées

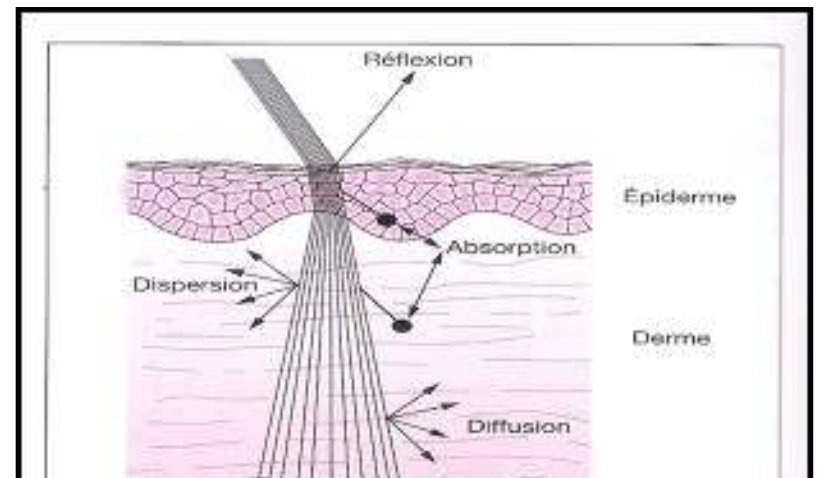
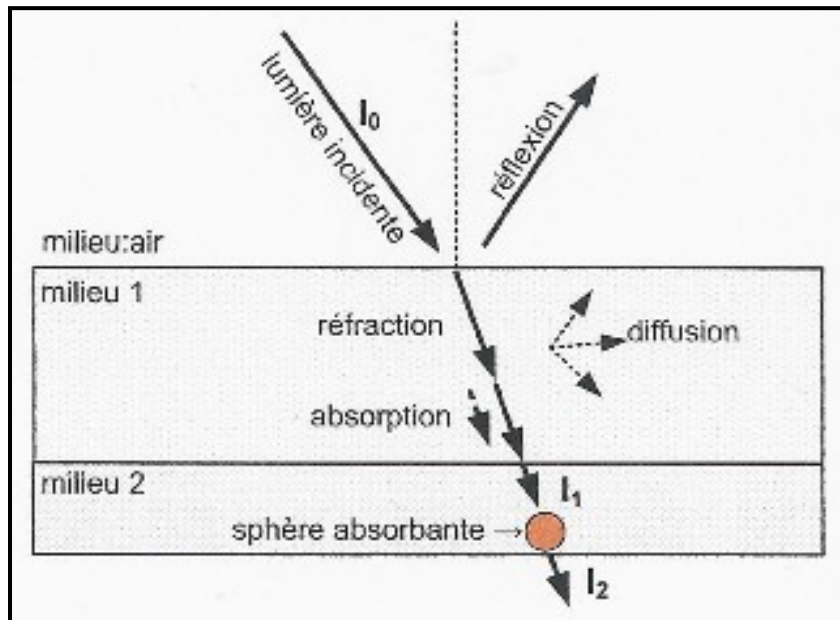
Interactions rayonnement laser – tissu

Trois phénomènes principaux intéressant la lumière incidente se produisent lors de l'interaction tissu-laser:

Réflexion – Réfraction

Absorption

Diffusion



Réflexion - Réfraction

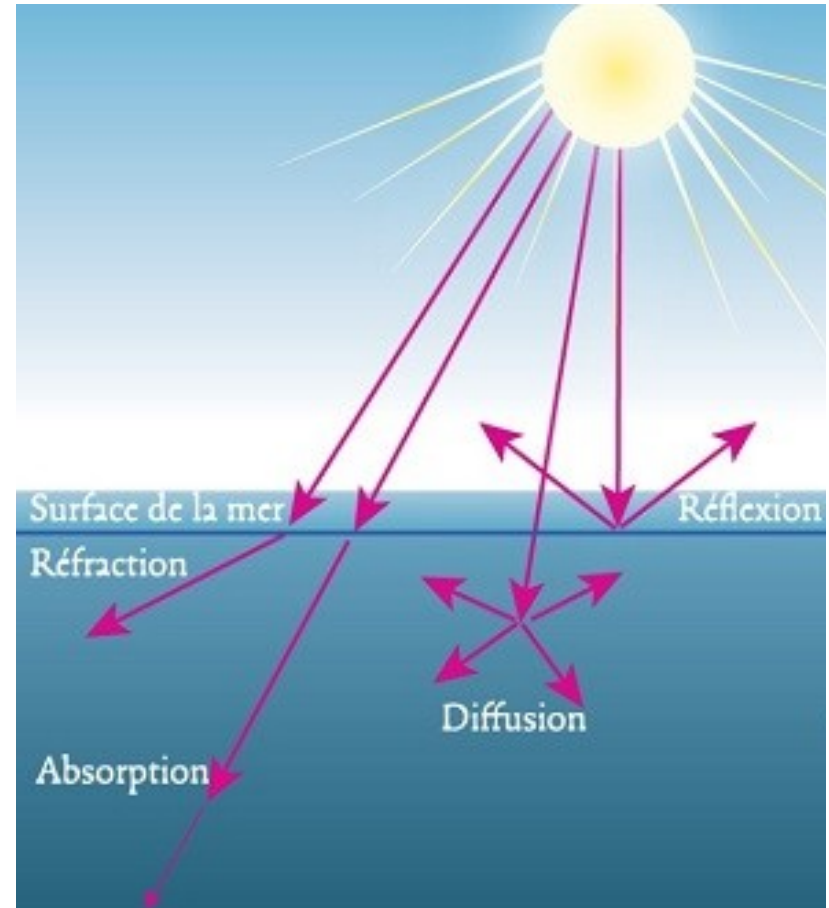
Le faisceau passe d'un milieu à un autre et donc d'une densité à une autre.

Une partie est réfléchi au niveau de la frontière entre ces 2 milieux.

L'autre partie traverse cette frontière et en pénétrant l'autre milieu, subit un phénomène de réfraction.

Les deux principales frontières:

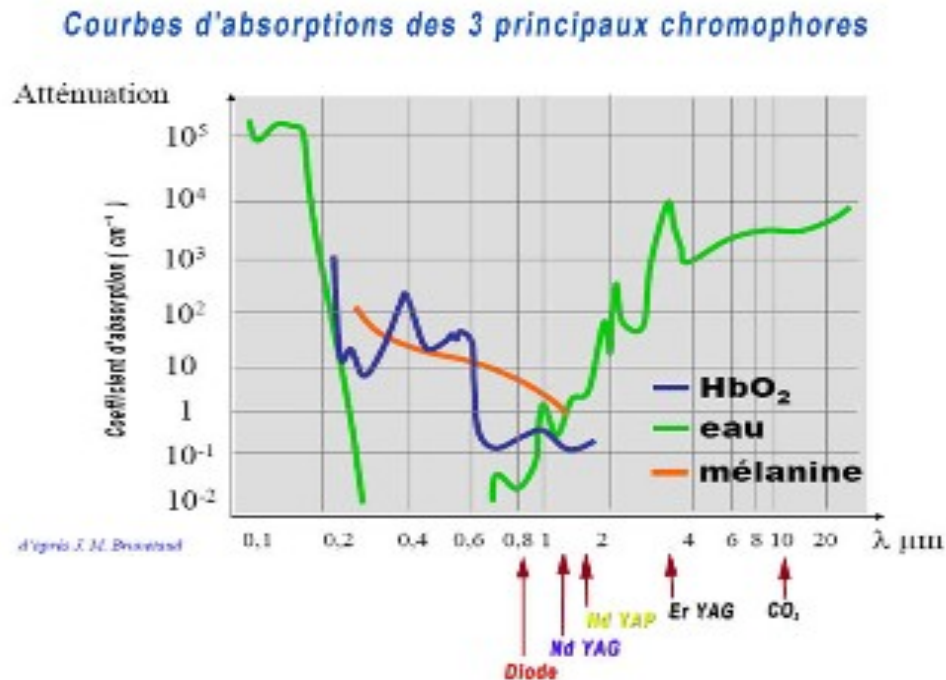
- l'interface air-épiderme se situe au niveau du stratum corneum.
- l'interface épiderme-derme se situe à la jonction dermo-épidermique.



L'absorption ①

Fonction du couple longueur d'onde / chromophore.

Le photon est absorbé par la cible.



L'absorption ②

Principaux chromophores:

L'oxyhémoglobine:

spectre 300 à 1100nm, pic à 577

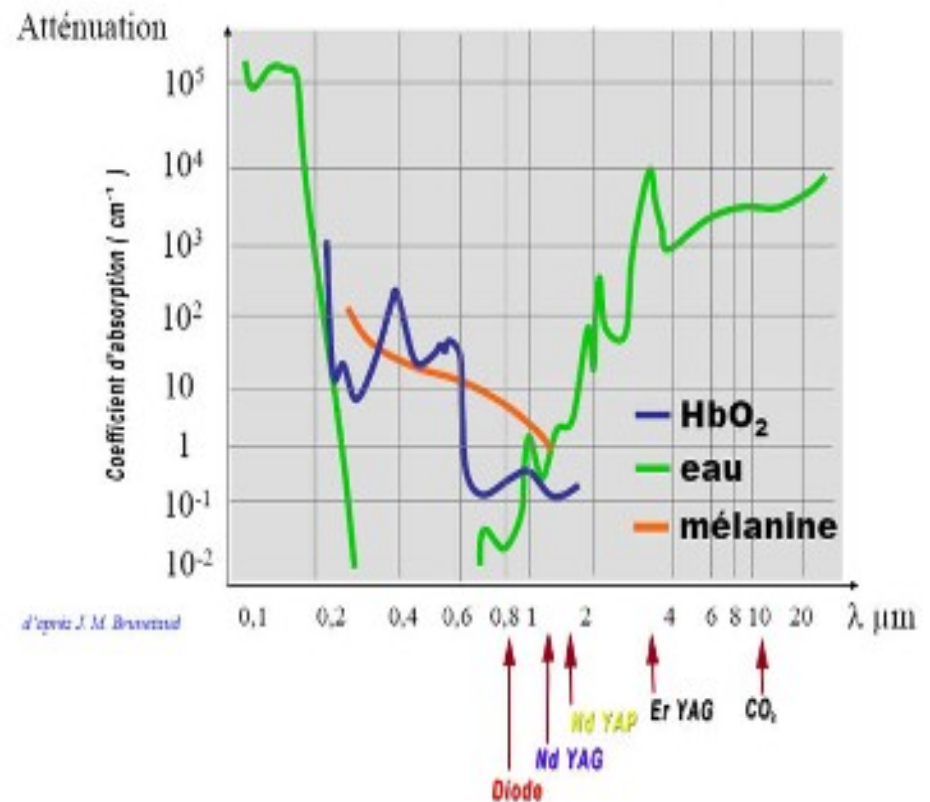
La mélanine:

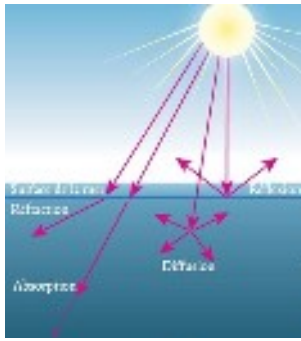
spectre 300 à 1100 nm.

L'eau:

spectre UV, parties moyennes et extrêmes de l'IR

Courbes d'absorptions des 3 principaux chromophores





La diffusion ①

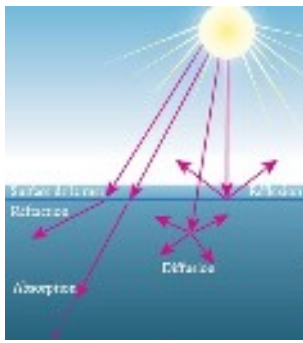
Interaction de la lumière avec la matière.

La direction du rayonnement incident est modifiée par les hétérogénéités du milieu.

Pour la peau, la diffusion est due essentiellement au collagène du derme.

Dans le milieu hétérogène qu'est le tissu traversé, le faisceau lumineux se propage dans plusieurs directions à la fois, en profondeur et latéralement.

Ce phénomène contribue à l'extinction du faisceau, par conversion de tous les photons dans une autre énergie.



La diffusion ②

La diffusion dépend :

de la longueur d'onde du rayon incident

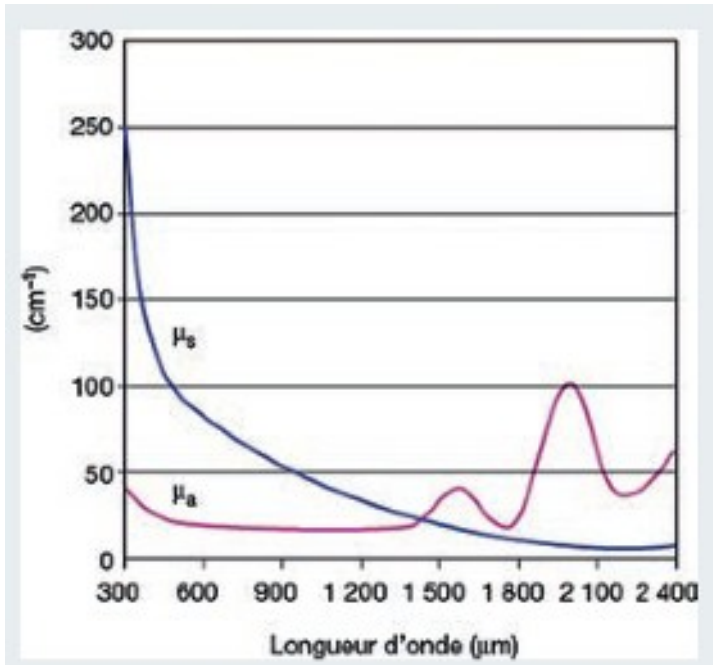
de la taille des particules

de leur forme

} du coefficient de diffusion optique du tissu μ_s

Lors de la diffusion, on risque des effets non souhaités.

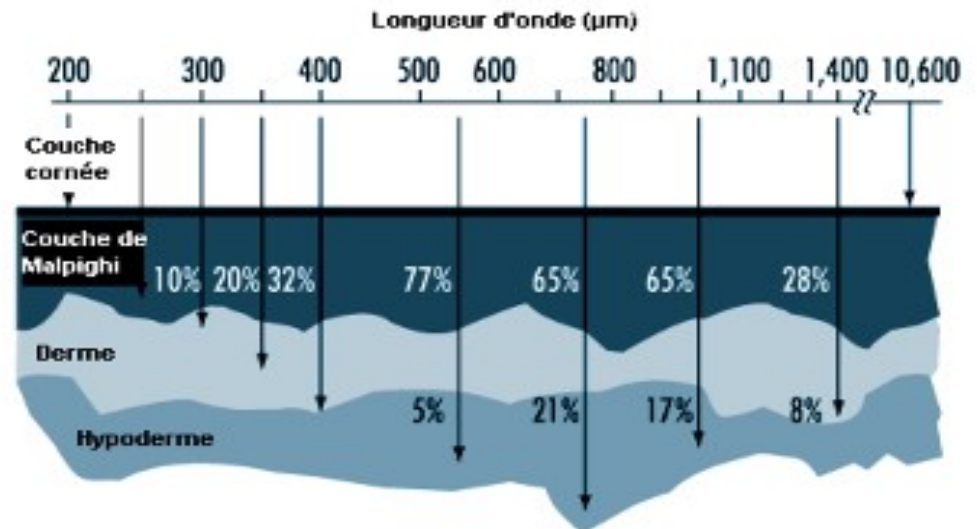
La pénétration de la lumière dans la peau



- Dans l'IR lointain : absorption > diffusion
- Autres parties du spectre : diffusion influence la distribution du faisceau dans le tissu

La pénétration de la lumière dans la peau

La profondeur de pénétration de la lumière est la distance à laquelle il ne reste que 13% des photons émis : c'est la **profondeur maximale théorique**.



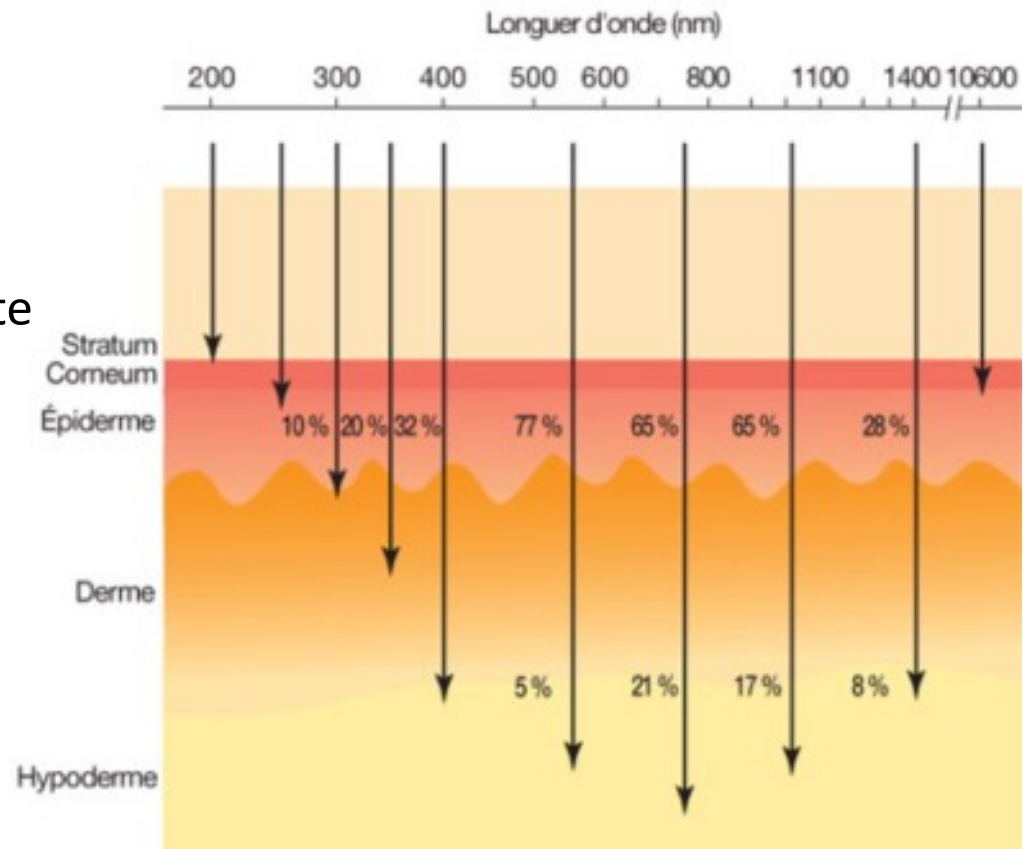
Les chiffres représentent le pourcentage du rayonnement incident qui parvient à une couche donnée de la peau.

Source: OMS, 1982.

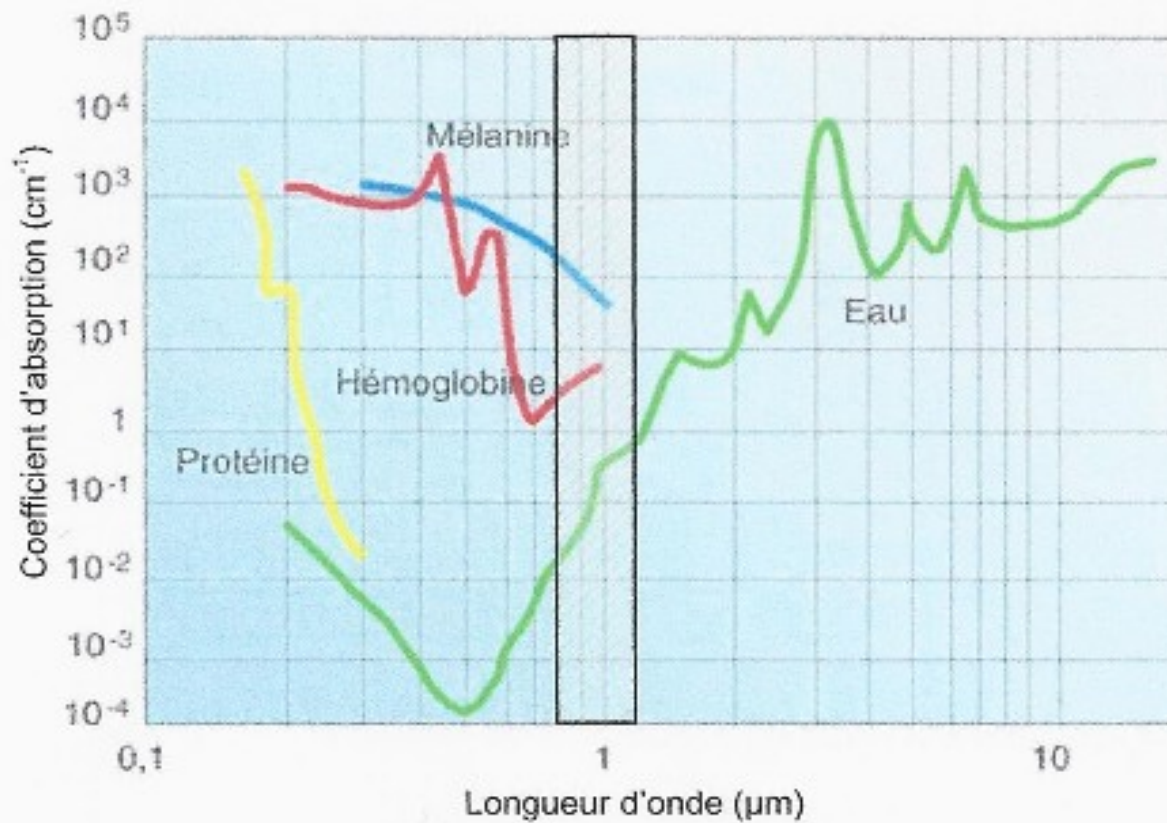
La pénétration de la lumière dans la peau

Notion de « fenêtre thérapeutique » :

- entre 600 et 1.200 nm,
- absorption minimale,
- pénétration plus importante du faisceau lumineux.



La « fenêtre thérapeutique »



Plan du cours

1. De la lumière au laser.
2. Le rayonnement électromagnétique.
3. La lumière laser.
4. Le laser.
5. Interactions rayonnement laser-tissu.
6. Mécanisme d'action des lasers.
7. Protection de l'épiderme.
8. Sécurité et lasers.
9. Applications cliniques des lasers.

Mécanismes d'action des lasers

Cinq actions principales dépendantes du temps d'exposition et de l'irradiance.

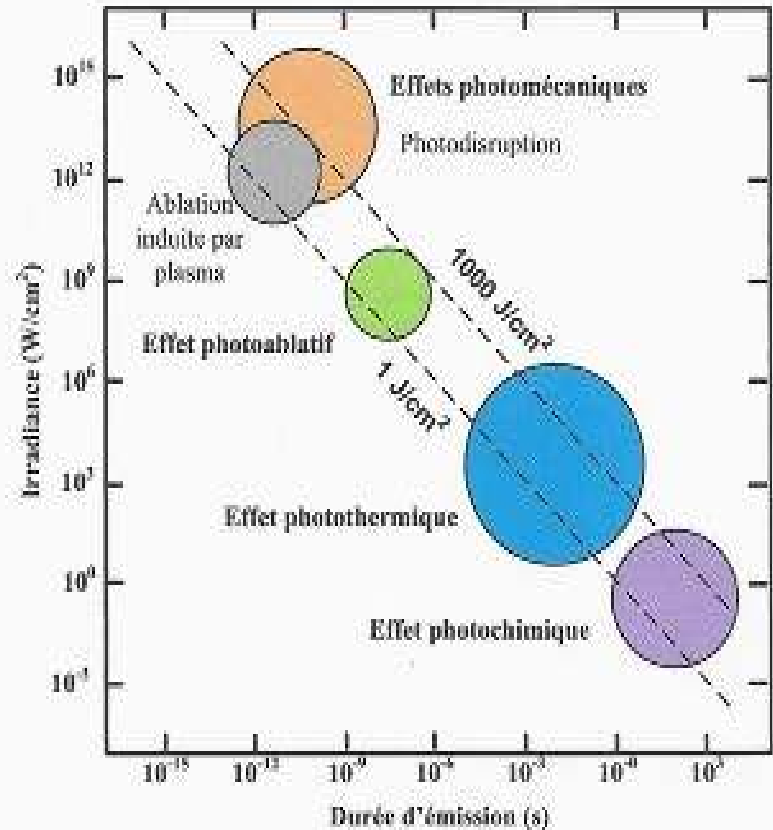
Action électromécanique : création d'un plasma.

Action photoablative : rupture des liaisons moléculaires

Action photochimique : activation d'un agent chimique

Action thermique : chaleur

Action de biostimulation



Mécanismes d'action des lasers

Action électromécanique : création d'un plasma

Impulsion 10ps à 10 ns

Irradiance 10^7 à 10^{12} W.cm²

Lasers Q.S : Yag, Alexandrite, Pico.

Action de biostimulation

Activation de la synthèse du collagène

Augmentation de l'ATP mitochondrial

Augmentation du nombre de fibroblastes et de macrophages

Effet anti-inflammatoire

Réduction du temps de cicatrisation

Action photochimique : activation d'un agent chimique

Base du traitement photodynamique

Irradiation ultérieure au moyen d'une source lumineuse

correspondant à un pic d'absorption du photo-sensibilisant

Déclenche une réaction photo-oxydative et un effet cytotoxique immédiat.

Action photo ablatif : rupture des liaisons moléculaires

lasers émettant dans l'U.V.

chirurgie réfractive en ophtalmo

Action thermique

Trois étapes :

Conversion de lumière en chaleur

Transfert de chaleur de la cible vers les tissus environnants

Mécanisme de dénaturation tissulaire:

trois types, selon durée et θ° :

→ **hyperthermie** : 41 à 44° pendant quelques minutes

Mort cellulaire retardée par atteinte des processus enzymatiques

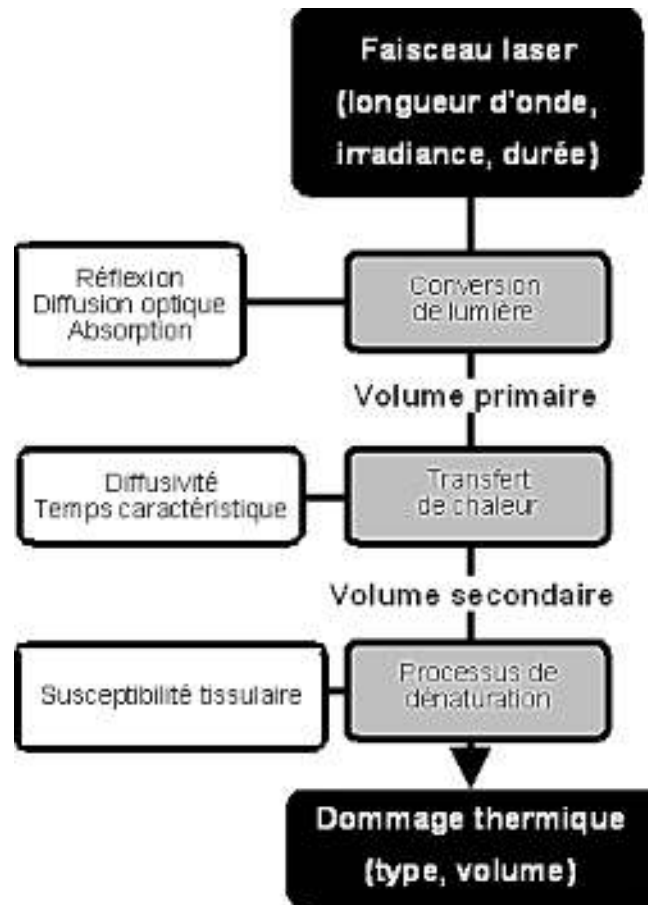
→ **coagulation** : 50 à 100° pendant quelques secondes

Dénaturation des protéines et du collagène, détersion puis processus de cicatrisation

→ **volatilisation** : > 100° pendant quelques dixièmes de secondes

Perte de substance

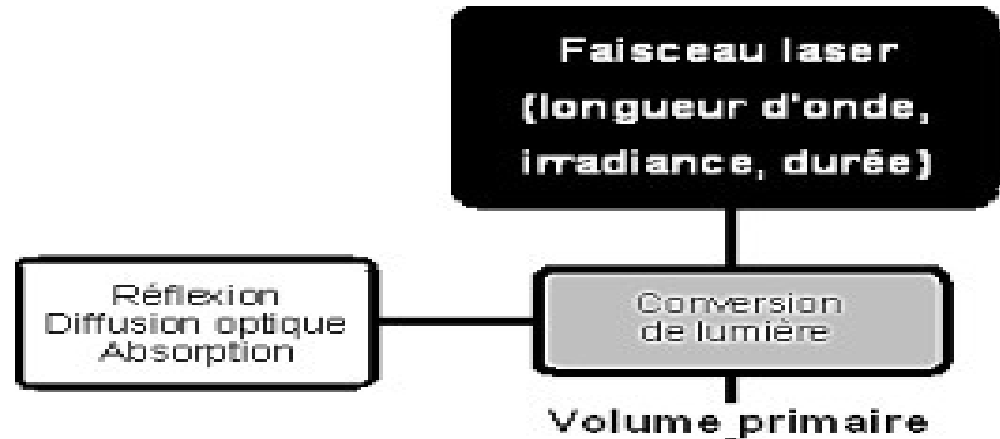
Action thermique



Conversion de la lumière en chaleur

La proportion du faisceau de lumière laser qui pénètre dans le tissu dépend tout d'abord de :

- la réflexion
- la diffusion
- l'absorption



Ce volume pénétrant résultant est appelé le **volume primaire**.

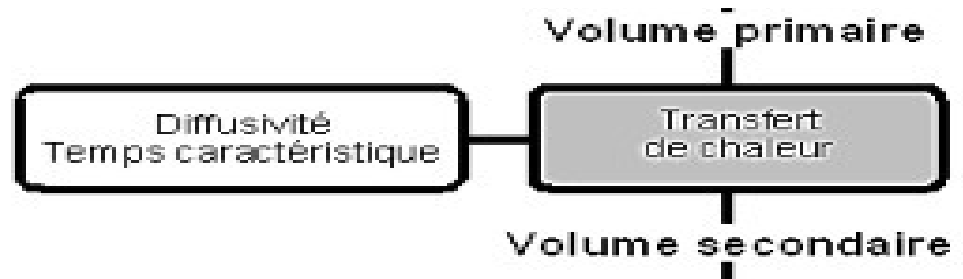
La conversion de la lumière en chaleur est due à l'**absorption de l'énergie photonique** qui est **convertie en agitation thermique des molécules cibles ou chromophores**

Transfert de chaleur

La chaleur est transférée aux tissus avoisinants:

- Par conduction des particules les plus énergétiques vers les moins énergétiques
- Dépend des coefficients thermiques du tissu : **conductivité** / diffusivité/convectivité.

Il en résulte la création d'un volume chauffé secondaire (supérieur au volume primaire)



Le volume secondaire dépend de la **durée d'émission** du laser et du **temps de relaxation thermique**

Mécanisme de dénaturation tissulaire

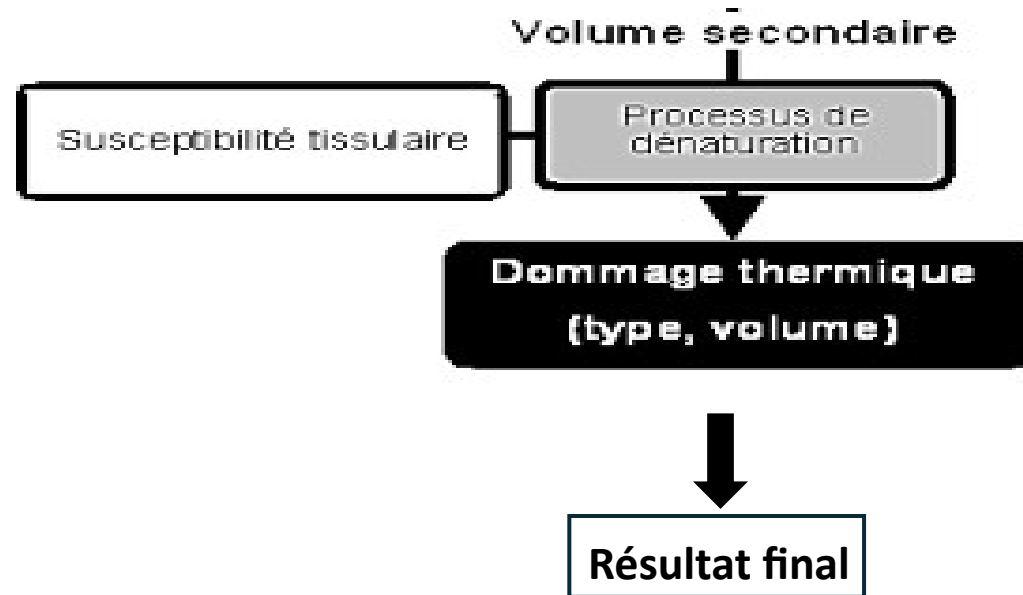
**Etape finale de l'action thermique :
hyperthermie : 41 à 44°** pendant qqs
min

mort cellulaire retardée par
atteinte des processus
enzymatiques

coagulation : 50 à 100° pendant qqs
sec

dénaturation des protéines et du
collagène
détersion puis processus de
cicatrisation

volatilisation : > 100° pendant qqs
dizièmes de sec
perte de substance



La réaction tissulaire dépend de l'**élévation de température** induite de la **durée d'échauffement** et de la **susceptibilité du tissu** à une agression thermique.

Mécanisme de dénaturation tissulaire

45° vasodilatation, dommage endothélial → mort cellulaire

50° disparition de l'activité enzymatique

60° désorganisation des membranes cellulaires dénaturation des protéines

70° dénaturation du collagène perméabilisation des membranes

80° contraction des fibres collagènes nécrose de coagulation

100° vaporisation de l'eau

100° volatilisation des constituants organiques

Dès que l'eau a disparu : carbonisation et combustion des constituants organiques

Temps de relaxation thermique

C'est la durée nécessaire à un transfert d'énergie en dehors de la cible jusqu'à diminution de la θ° au centre de la source de 50% de sa valeur maximale

- refroidissement de la cible
- élévation de θ° des tissus adjacents

TRT : reflet de la capacité d'un tissu à transporter de l'énergie par conduction.

Il est lié à la taille du chromophore cible: il est **proportionnel au carré du diamètre de la cible**.

Exemples de TRT :

poil:100ms ; vaisseau 200 μ m:10 ms ; particule de tatouage:< 1 ms

Temps de relaxation thermique

$TI < TRT / 10$: élévation rapide de la θ° de la cible

Si confinement (volume constant) \rightarrow augmentation de pression \rightarrow explosion sans diffusion de la chaleur à l'extérieur:

action thermomécanique : photo-thermolyse sélective

$TI = TRT$: la chaleur diffuse dans un volume plus grand que la cible

\rightarrow dénaturation des tissus:

effet photo thermique (coagulation, vaporisation) : **photo coagulation sélective**

$TI > TRT \times 10$: chauffage diffus, perte de toute sélectivité optique.

TI = temps d'impulsion

Temps de relaxation thermique

La photo thermolyse repose sur l'absorption, **en un temps très court**, par les vaisseaux d'une **énergie importante**

- transfert intravasculaire de l'énergie
- coagulation des globules rouges
- dilatation du vaisseau → dilatation **brutale** de la paroi vasculaire
- rupture de la paroi vasculaire. → traduction clinique: purpura

Au total : la lésion induite est une rupture de la paroi vasculaire :
phénomène mécanique avec effet thermique minimisé.

Temps de relaxation thermique

La photo coagulation repose sur l'absorption de l'énergie, en un **temps suffisamment long**

- transfert intravasculaire de l'énergie **progressive**
- coagulation des globules rouges
- dilatation du vaisseau plus longue
- **sclérose** de la paroi vasculaire sans RUPTURE

Au total : la lésion induite est une sclérose de la paroi vasculaire par **effet thermique**

Temps de relaxation thermique

Le résultat du transfert thermique conditionne le résultat thérapeutique final.

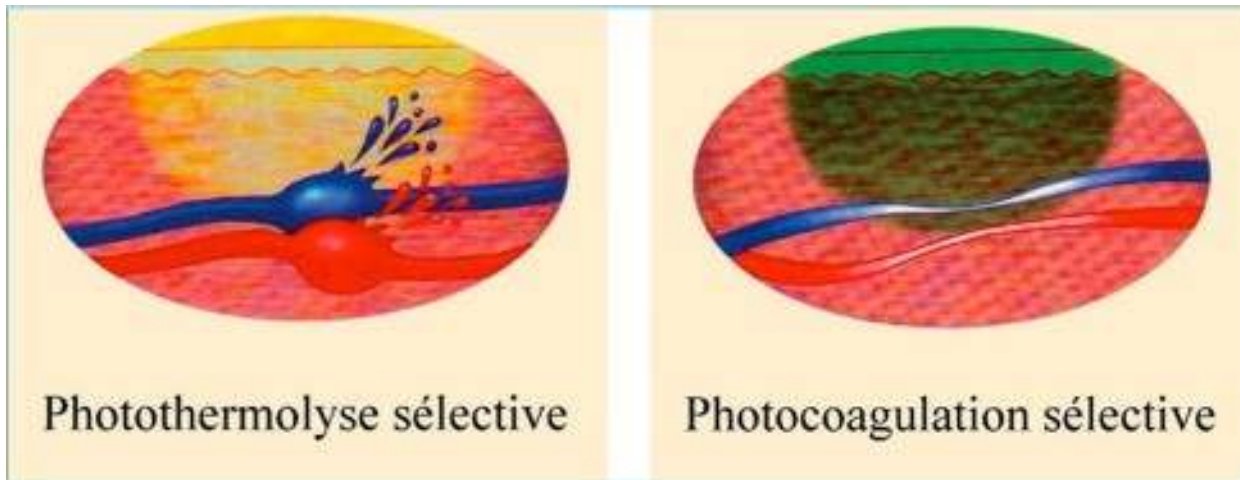
1) choisir la **longueur d'onde** adaptée à la cible.

2) choisir la **durée d'impulsion** qui :

→ détermine la diffusion de la chaleur à distance

→ limite les risques de surcharge thermique → réaction cicatricielle

Temps de relaxation thermique



Plan du cours

1. De la lumière au laser.
2. Le rayonnement électromagnétique.
3. La lumière laser.
4. Le laser.
5. Interactions rayonnement laser-tissu.
6. Mécanisme d'action des lasers.
7. Protection de l'épiderme.
8. Sécurité et lasers.
9. Applications cliniques des lasers.

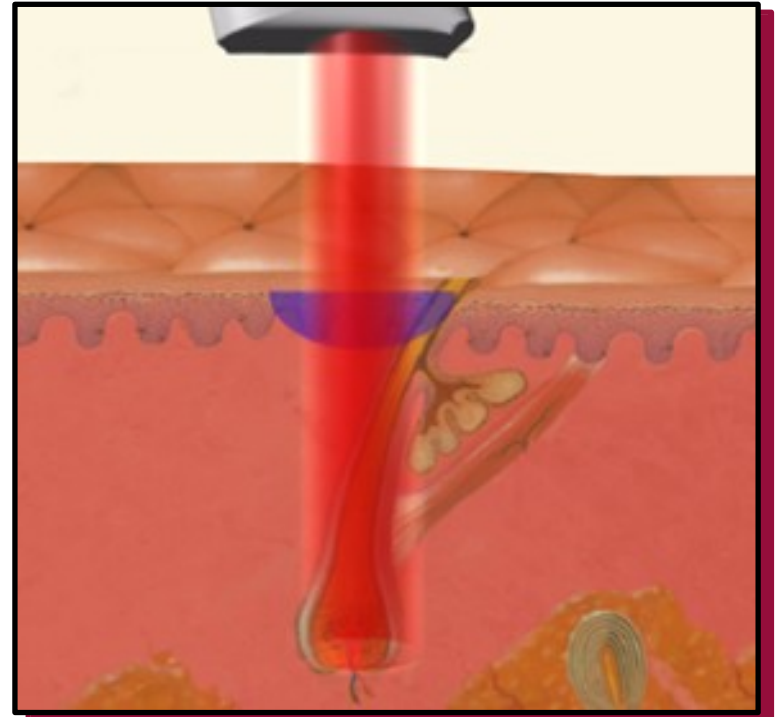
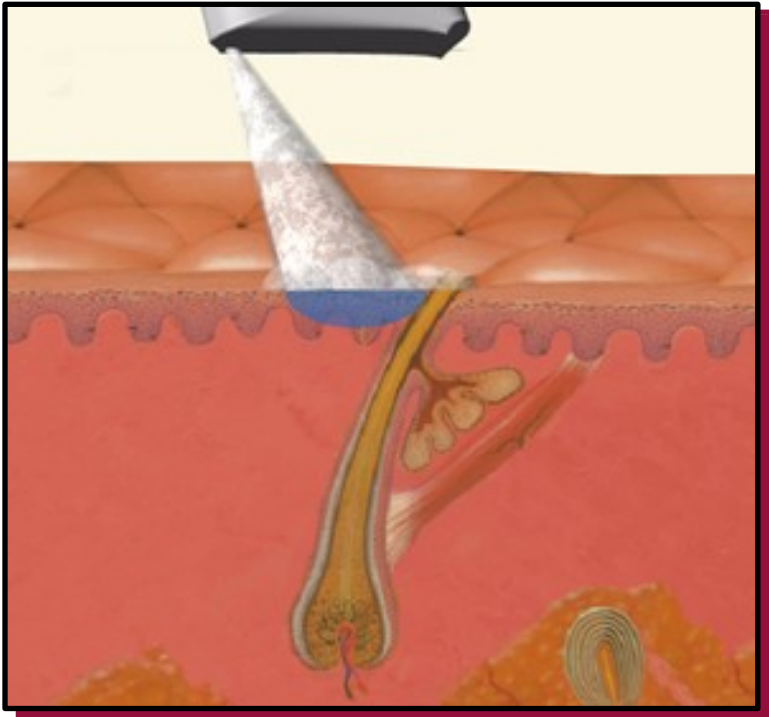
Protection de l'épiderme

Il ne faut pas atteindre la mélanine présente dans la peau.

On la protège par un refroidissement avant le tir par un appareil fournissant de l'air froid pulsé à -30° . Cela permet également de diminuer la douleur.

On peut également utiliser une fenêtre transparente refroidie (saphir) par un liquide, un spray cryogénique de tétrafluoroéthane à 2° ou une semelle thermoélectrique.

Dynamic cooling



Spray de cryogène quelques millisecondes avant le tir laser
Refroidissement rapide de l'épiderme seul
Ne refroidit pas les cibles situées sous la surface
Ne réduit pas la visibilité ni la vitesse de traitement

Plan du cours

1. De la lumière au laser.
2. Le rayonnement électromagnétique.
3. La lumière laser.
4. Le laser.
5. Interactions rayonnement laser-tissu.
6. Mécanisme d'action des lasers.
7. Protection de l'épiderme.
8. Sécurité et lasers.
9. Applications cliniques des lasers.

Sécurité et lasers

La sécurité concerne les **risques** d'incidents et non pas les effets secondaires ou complications dus à une utilisation inadéquate du laser.

Sécurité et lasers

Risques d'incidents:

Optiques en rapport avec la lumière produite par le laser:

Durée de l'irradiance et nature du faisceau.

Lésions oculaires cornée, cristallin, rétine.

Non optiques

Cutanés

Electriques

Fumées tissulaires

Chimiques.

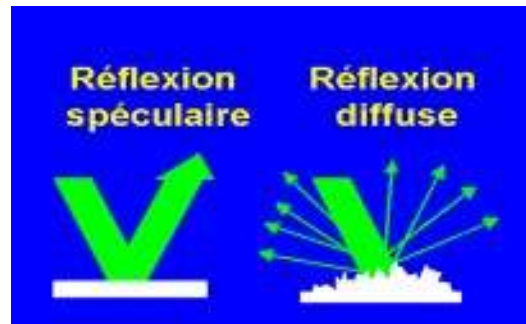
Risques optiques

Dépendent de:

la durée de l'irradiation

la nature du faisceau:

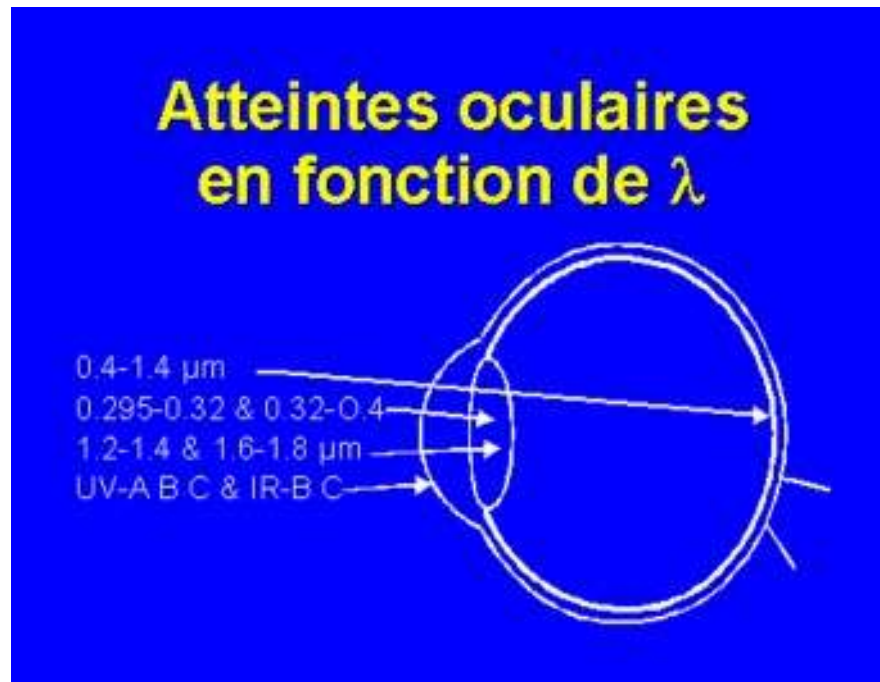
- Faisceau direct constant dans les limites de la salle et au-delà (fenêtre)
- Faisceau réfléchi: le risque est fonction de la qualité de la surface réfléchissante



- Faisceau divergent : (lentille, fibre optique) \searrow irradiance

Risques oculaires

La localisation des lésions : cornée / cristallin / rétine, dépend de la longueur d'onde utilisée



Risques optiques



Référentiel réglementaire

Exposition maximale permise : EMP

Niveau maximal auquel l'œil ou la peau peut être exposé sans dommage immédiat ou à long terme (normes 825 CE I).

Dépend de la longueur d'onde, de l'irradiance, du temps et de la zone d'exposition.

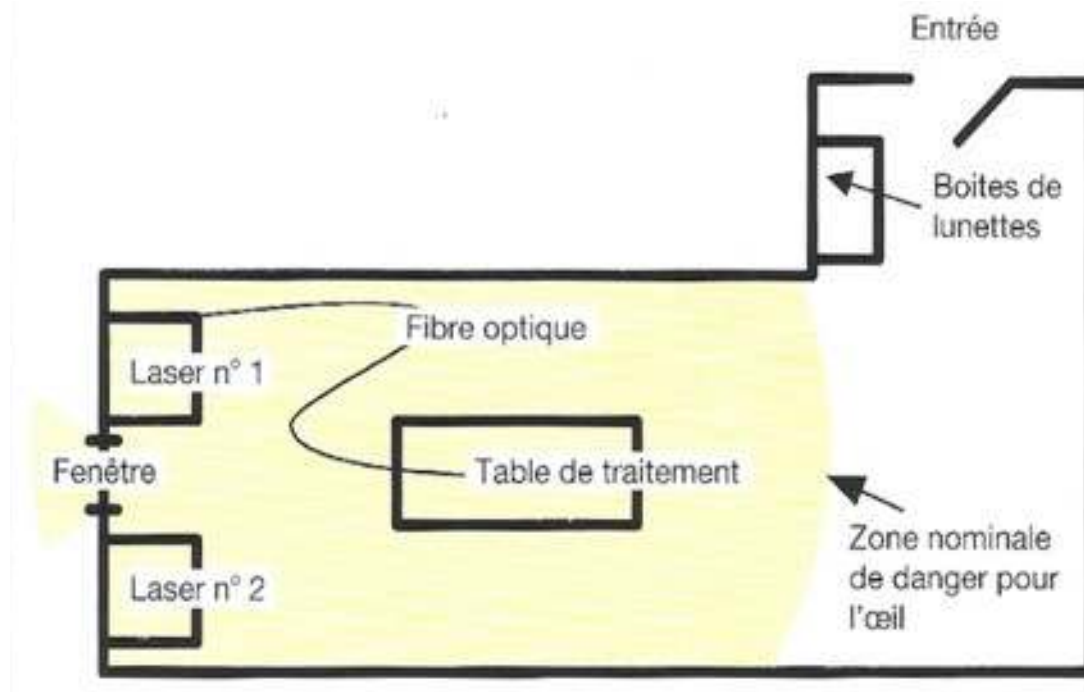
Distance Nominale de Risque Oculaire : DNRO

Distance à partir de la source de lumière pour laquelle l'éclairement est égal à l'exposition maximale permise (EMP) appropriée au niveau de l'œil.

Définit la zone de danger dans une pièce.

Référentiel réglementaire

La zone nominale de danger pour l'œil est ombrée.



Référentiel réglementaire

Classification des lasers

- Classe 1 : lasers de puissance inférieure à 0,5 mW, intrinsèquement sans danger.
- Classe 2 : lasers à rayonnement visible (400 à 700 nm de longueur d'onde) et de puissance inférieure à 1 mW. La protection de l'œil est assurée par le réflexe palpébral.
- Classe 3a : lasers de puissance moyenne inférieure à 5 mW. La vision directe est dangereuse si elle est supérieure à 0,25 s ou effectuée à travers un instrument d'optique.
- Classe 3b : lasers de puissance comprise entre 5 mW et 500 mW. La vision directe est toujours dangereuse, ainsi que la réflexion du faisceau.
- Classe 4 : lasers de puissance supérieure à 500 mW. La vision directe et par réflexion ou diffusion du faisceau est toujours dangereuse, à l'origine de lésions cutanées et oculaires.

Risques optiques

Mesures de prévention :

- port de lunettes adaptées à la λ du laser
- sur les lunettes doivent être indiqués : λ et type de laser pour lesquelles elles sont prévues
- marquage CE, norme européenne 207
- port de coques métalliques par le patient pour soins près des yeux
- les fenêtres doivent être obscurcies



Risques non optiques

Cutanés:

érythème, phlyctène.
graves si patient anesthésié.

Electriques :

l'énergie stockée dans un laser est très grande.
mettre le laser hors circuit avant toute manipulation.

Fumées tissulaires : volatilisation des tissus traités

odeur désagréable/irritante/toxique
nitrosamines : cancérigène ? (débatu)
contamination infectieuse (HPV)

→ utilisation d'un aspirateur de fumée.

Chimiques: lasers à gaz ou lasers à colorants

dommage sur l'optique du laser CO²
décomposition du colorant en produit toxique.

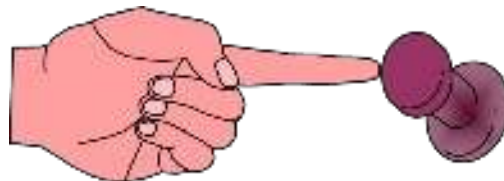
Risques non optiques

Mesures de prévention et règles de sécurité

- **Incendie** : présence de produits inflammables : anesthésiques, solvants plastiques, résines, poils....
- **Sécurité électrique** : maintenances préventives, puissance du réseau, réparation des prises endommagées, tenir les liquides à l'écart.



- **Le laser doit toujours être en standby** jusqu'à ce que l'opérateur soit prêt à l'utiliser.



Sécurité et lasers



Signalétique réglementaire

- Les portes d'une pièce de traitement laser doivent être fermées.
- Un signal "danger laser" doit être apposé sur la porte.
- Une lampe extérieure doit signaler l'utilisation du laser.



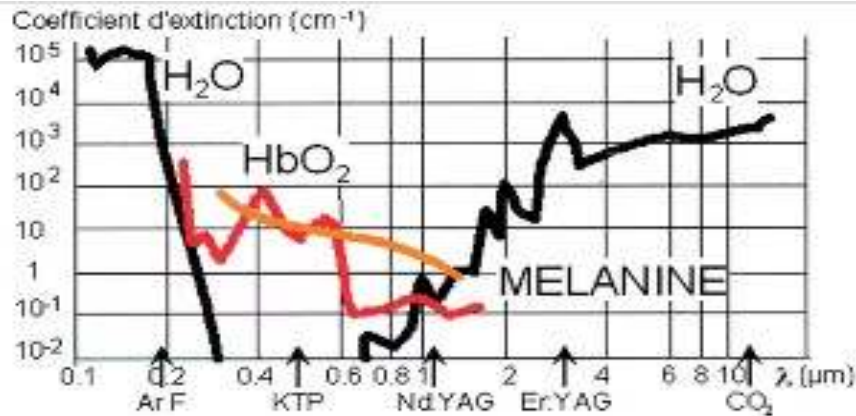
En conclusion

Connaître et appliquer ces mesures simples permettent d'éviter les incidents auxquels les patients mais aussi le personnel soignant peuvent être exposés.

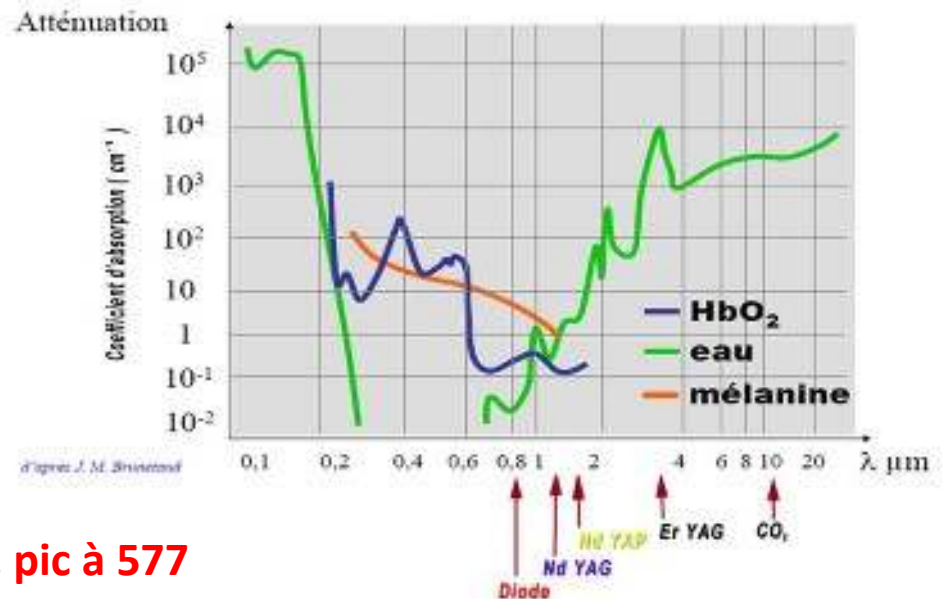
Plan du cours

1. De la lumière au laser.
2. Le rayonnement électromagnétique.
3. La lumière laser.
4. Le laser.
5. Interactions rayonnement laser-tissu.
6. Mécanisme d'action des lasers.
7. Protection de l'épiderme.
8. Sécurité et lasers.
9. Applications cliniques des lasers.

Rappel : les chromophores



Courbes d'absorptions des 3 principaux chromophores



Les principaux chromophores:

L'oxyhémoglobine: spectre: 300 à 1100nm, pic à 577

La mélanine: spectre: 300 à 1100 nm.

L'eau: spectre: UV, parties moyennes et extrêmes de l'IR.

L'action thermique dépend:

- Du chromophore cible

- De la longueur d'onde du faisceau laser

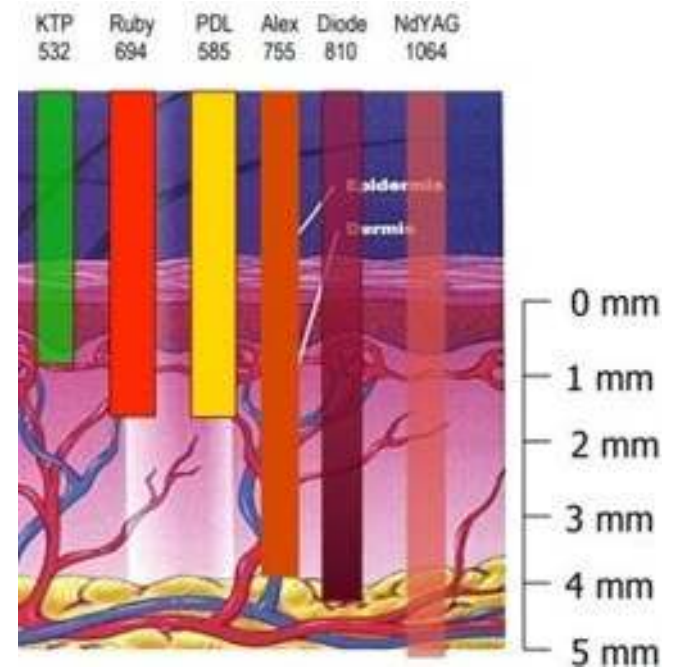
Chromophore : oxyhémoglobine

Lasers vasculaires :

Laser à colorant pulsé 595 nm

Laser KTP 532 nm

Laser Nd:YAG 1064 nm



Chromophore : oxyhémoglobine

Principes de base du traitement : choix des paramètres

→ Fonction de la cible :

diamètre,
profondeur,
localisation,
phototype...

→ Fonction de la durée d'émission :

Photo thermolyse sélective
Photo coagulation sélective

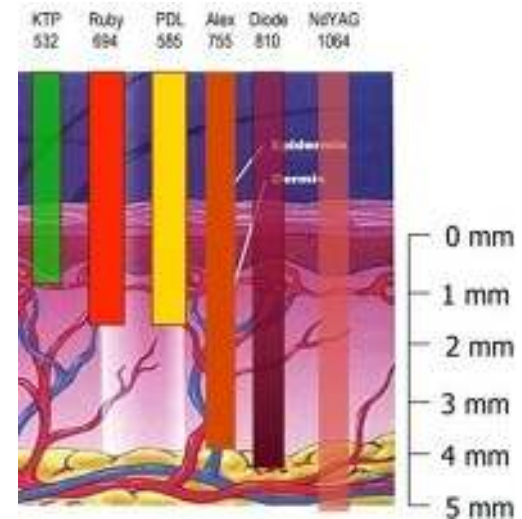
Chromophore : oxyhémoglobine

Laser à colorant pulsé 595 nm

- durée d'impulsion très courtes:
0,45 à 3 puis 6 ms → photo thermolyse
- durée d'impulsion longues :
10, 20, 30 ms → photo coagulation

Indications: lésions superficielles et profondes

Erythrose
Couperose
Angiomes plans,
Hémangiomes...



Chromophore : oxyhémoglobine

Laser KTP 532 nm

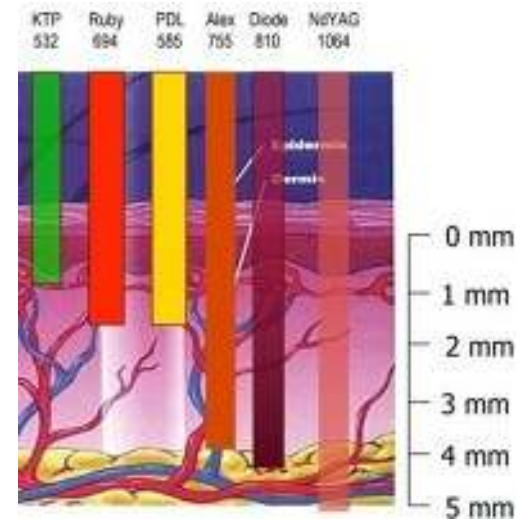
- durée d'impulsion très courtes:
3 à 6 ms → photothermolyse
- durée d'impulsion longues :
20, 30 ms → photo coagulation

Indications : lésions superficielles

Erythrose

Couperose

Angiomes stellaires







Télangiectasies en mottes » de sclérodémie systémique



Sarcoïdose cutanée
Avant et après 4 traitements par laser à colorant pulsé.

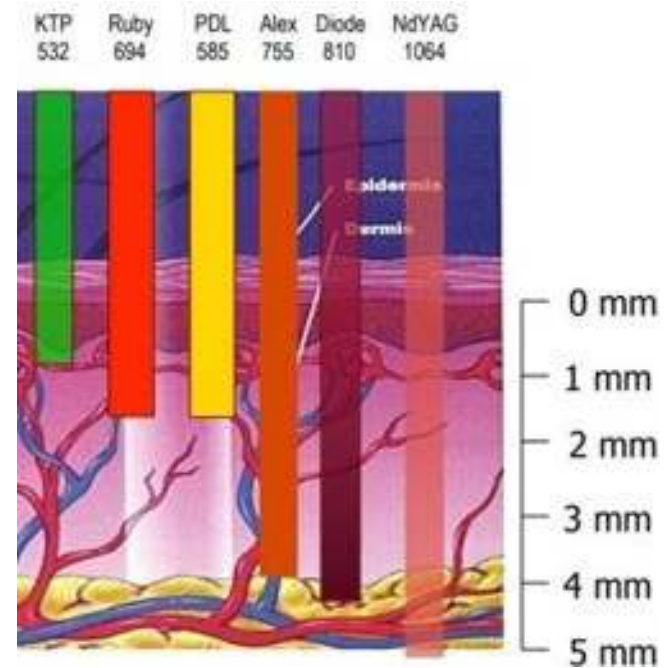


1.5 msec. 9 J / cm^2 10 mm LCP 595 nm

Chromophore : oxyhémoglobine

Laser Nd: YAG 1064 nm

Laser de référence
des **varicosités des membres inférieurs**









Chromophore : eumélanine du poil

Principes de base du traitement : choix des paramètres

Fonction

du phototype ++++

de la couleur de la zone à traiter
des caractéristiques du poil :

type

couleur

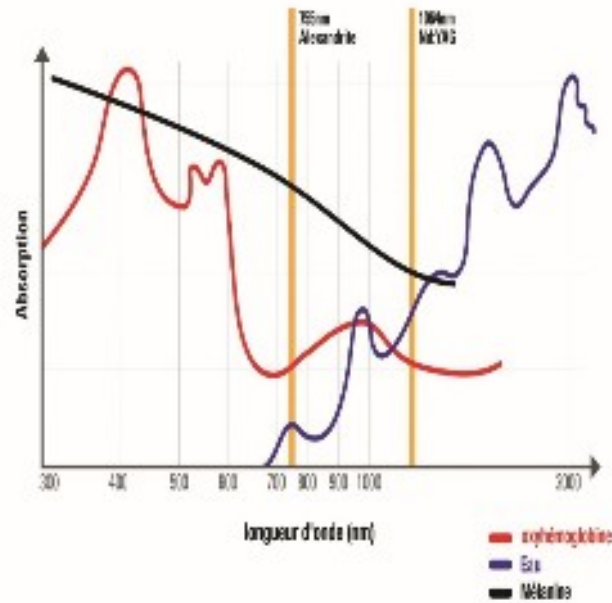
densité

Chromophore : eumélanine du poil

Phototypes I à III
Alexandrite 755 nm



Phototypes IV à VI
Nd:YAG 1064 nm



Chromophores : eumélanine/ pigments des encres

Les lasers pigmentaires sont les lasers déclenchés Q.Switched.

Ils traitent:

- les lésions pigmentaires bénignes
- les tatouages

Durée impulsion: $< \text{TRT cible} < 100 \text{ ns}$ (10ps à 10 ns)

Irradiance: 10^7 à 10^{12} W.cm^2

Effet électromécanique : rupture brutale des liaisons électriques unissant les électrons et les noyaux dans les atomes et les molécules à l'origine de la création d'un plasma.

Chromophores : eumélanine/ pigments des encres

Les lasers pigmentaires :

- Laser Nd:YAG Q.Switched 532 nm
pénétration faible → épiderme
compétition avec mélanine et HbO²
- Laser Alexandrite Q.Switched 755 nm
pénétration plus profonde
chromophore : eumélanine
- Laser Nd:YAG Q.Switched 1064 nm
pénétration très profonde
peu absorbée par l'eumélanine

Lasers pigmentaires



Laser Picoway 532/1064/785/730 nm

Chromophore : eumélanine



Lentigines

Chromophores : pigments des tatouages



Chromophore :eau

Lasers ablatifs de relissage, de resurfaçage, lasers resurfacing, lasers d'abrasion.

Mécanisme d'action:

Transfert de l'énergie très rapide du faisceau laser à l'eau intra et extracellulaires.

Augmentation brusque de sa θ 200 à 300°C → vaporisation limitée par le confinement lié à la structure de la peau.

La pression générée induit une explosion du tissu cible et donc son élimination.

Chromophore : eau

Lasers ablatifs conventionnels volatilisent **toute** la surface cutanée.:

Laser CO² : 10 600 nm

Laser Erbium YAG : 2940 nm

Contrindiqués sur phototypes > III

Lasers fractionnels

Photothermolyse fractionnée : zones microscopiques de traitement laissant des intervalles de peau saine.

Indiqués sur tous les phototypes

Action ablatif : photovaporisation

Action non-ablatif : photocoagulation

Chromophore : eau

Lasers de remodelage : Er-Glass, Nd-YAG (1320nm) Diode (1450nm)

Lasers vasculaires : LCP 595 nm , KTP 532 nm, NdYAG 1064 nm

Lasers pigmentaires : Laser Q-S 532 nm, 1064 nm ,755 nm

Chromophore : eau

Remise en tension cutanée : skintightening

Lasers ablatifs : CO², Erbium YAG

Lasers fractionnels: CO₂ fractionné, Er-Glass (1540nm), Fraxel

Lasers de remodelage: Er-Glass, Nd-YAG (1320nm) Diode (1450nm),
KTP (532nm), LCP (585,595nm) Nd-YAG (1064nm)

Lampes flash, IPL

LED

Radiofréquence mono et bi-polaire, Nd-YAG LP, lumière infra-rouge
polychromatique pulsée.

Skin tightening



Avant



Après

Cicatrices d'acné



Avant



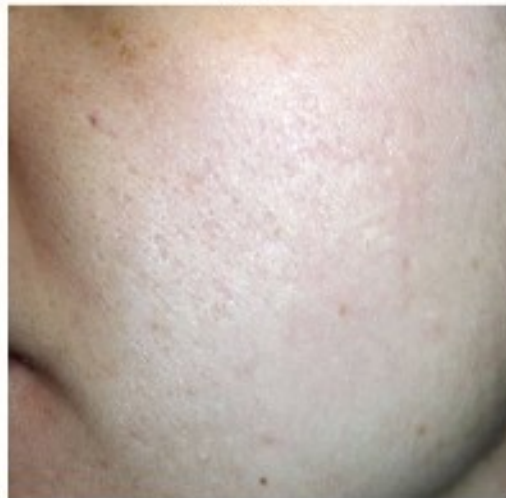
Après

Relissage fractionnel



AVANT

APRÈS



APRÈS 6 TRAITEMENTS DE LASER CO2 POUR L'AMÉLIORATION DES CICATRICES D'ACNÉ

Laser CO² fractionné
10 600 nm



Remise en tension cutanée

Nd:YAG 1064 nm
GentleYAG



Remodelage, rides périorbitaires, acné

Laser à diode 1450 nm
Smoothbeam



On récapitule....

Angiome plan : photothermolyse **Varicosités : photocoagulation**
Follicule pileux : photothermolyse **Taches /Tatouages : effet électromécanique**

HbO² - Vasculaire : KTP 532 nm : superficiel, LCP 595 nm : superficiel et profond
NdYag 1064 nm pour les membres inférieurs.

Eumélanine - Epilation : Alex 755 nm PHT 1 à 3 // NdYag 1064 nm PHT 4 à 6

Eumélanine et particules d'encre - Lésions pigmentaires et Tatouages
Q.s. Nd.Yag 532 ou 1064 nm Alex Q.s.755

Eau - Remodelage cutané, Remise en tension cutanée, Relissage :
NdYag 1064 nm, Diode 1450 nm, CO² 10 600 nm, ErYag 2940 nm, Er-Glass
1540 nm...

Conclusion

Le traitement laser est un **acte complexe**.

Pour le pratiquer, **l'apprentissage est nécessaire mais insuffisant**.

Bien connaître les bases fondamentales et la sécurité d'utilisation,
permet de prendre les **décisions** adaptées,
pour pratiquer les **gestes** appropriés à chaque **indication** thérapeutique.

Merci de votre attention