

Jean-Marc Stéphan

## Laser de faible puissance et utilisation en acupuncture : principes physiques et mécanismes d'action

**Résumé :** Une technique associée à l'acupuncture est le laser de faible puissance. Utilisée sur le point d'acupuncture, l'émission laser peut remplacer l'aiguille. La connaissance de ses caractéristiques physiques (longueur d'onde, énergie, puissance, irradiance, fluence) est primordiale pour un effet optimal de la thérapie par acupuncture laser (TAL). Les études expérimentales montrent que les effets photobiologiques résultent d'effets directs avec stimulation de la microcirculation (effets sur l'angiogenèse, stimulation trophique au niveau cellulaire) qui engendrent à leur tour des effets indirects : anti-inflammatoires, antalgiques, trophiques, antiallergiques, effets de détoxification par activation des radicaux libres. La TAL a donc un intérêt notable pour tous ceux ayant peur des aiguilles et doit faire partie du panel de soins de la médecine moderne. Néanmoins des essais contrôlés randomisés sont nécessaires pour mieux définir les paramètres d'un traitement optimal. **Mots-clés :** laser - acupuncture - faible puissance - irradiance - fluence - absorption tissulaire - TPKR - ROS - TNF- $\alpha$  - interleukine IL-1 $\beta$  - récepteurs 5-HT1 et 5-HT2A -  $\beta$  endorphine.

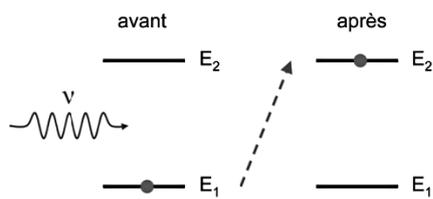
**Summary:** An acupuncture related technique is the low-power laser. Used on the acupuncture point, the laser output can replace the needle. Knowledge of its physical characteristics (wavelength, energy, power, irradiance, fluence) is essential for optimal effect of laser acupuncture therapy (LAT). Experimental studies show that the photobiological effects result from direct effects with stimulation of the microcirculation (effects on angiogenesis, trophic stimulating in cellular level), which in turn generate indirect effects: anti-inflammatory, analgesic, trophic, antiallergic, detoxification effects by activation of free radicals. LAT thus have a significant for all those with a fear of needles and should be part of the panel care modern medicine interest. Nevertheless, randomized controlled trials are needed to better define the parameters of optimal treatment. **Keywords:** laser - acupuncture - Low power - irradiance - influence - tissue absorption - TPKR - ROS - TNF- $\alpha$  - IL-1 $\beta$  interleukin - 5-HT1 and 5-HT2A -  $\beta$  endorphin.

La thérapie par laser de faible puissance (TLFP) est une forme de photothérapie qui va engendrer différents processus biologiques dépendant de paramètres physiques spécifiques comme la longueur d'onde, la puissance, l'énergie, la fluence et l'irradiance. En raison de ses propriétés antalgiques et anti-inflammatoires, elle peut être utilisée par exemple dans les cervicalgies [1], même si son efficacité est controversée dans une autre méta-analyse plus récente [2]. Une intéressante modalité de la TLFP est la thérapie par acupuncture laser (TAL) définie comme l'utilisation du laser par stimulation d'une combinaison de points d'acupuncture soit de façon simultanée [3], soit de façon séquentielle [4] selon les paradigmes de la médecine chinoise. Les avantages du TAL, outre la rapidité du temps de traitement, sont son intérêt chez les personnes ayant la crainte des aiguilles, et surtout le fait de n'entraîner aucun risque d'infection, ni effets secondaires, à condition que patient et praticien protègent leurs yeux par des lunettes adaptées à la longueur d'onde.

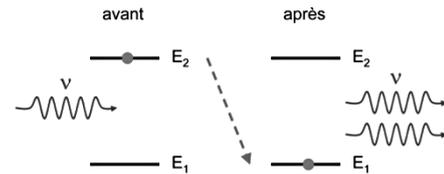
### Aspects physiques du laser

#### *Quelques notions de base*

Un laser (acronyme de l'anglais « Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation ») est un appareil qui produit une lumière spatialement et temporellement cohérente basée sur l'effet laser. Celui-ci a pour principe fondamental l'émission stimulée (ou émission induite) décrite en 1917 par Albert Einstein. En 1960, le physicien américain Maiman obtient pour la première fois une émission laser au moyen d'un cristal de rubis. Un an plus tard, Javan mettait au point un laser au gaz (hélium et néon) puis en 1966, Sorokin construisait le premier laser à liquide. Einstein montre que l'émission d'un photon lorsqu'un atome se désexcite peut être induite, stimulée, par un photon de même énergie. Dans ce processus appelé « émission stimulée », le photon émis possède les mêmes caractéristiques que le photon « stimulant » : même énergie, même direction d'émission, même phase, mais avec une énergie double du fait de l'amplification de lumière par émission stimulée de radiation (figure 1).



**Le phénomène d'absorption.** Lorsqu'il est éclairé par un rayonnement électromagnétique (photon  $h\nu =$  la lumière), un atome peut passer d'un état  $n$  à un état  $n' > n$ , en prélevant l'énergie correspondante sur le rayonnement. L'atome passe de son état fondamental  $E_1$  vers l'état excité  $E_2$ .



**Le phénomène d'émission stimulée.** Un atome dans l'état  $n'$  peut se « désexciter » vers le niveau  $n$  sous l'effet d'une onde électromagnétique, qui sera alors amplifiée. On peut l'interpréter comme l'émission d'un photon d'énergie qui vient s'ajouter au rayonnement. La désexcitation de l'atome est stimulée par l'arrivée du photon incident. Le photon émis vient s'ajouter au champ incident : il y a amplification.

**Figure 1.** Les phénomènes d'absorption et d'émission stimulée expliquant l'effet laser (l'émission spontanée, troisième mécanisme d'interaction qui engendre l'émission d'un photon à direction et phase aléatoire n'est pas abordée dans ce schéma).

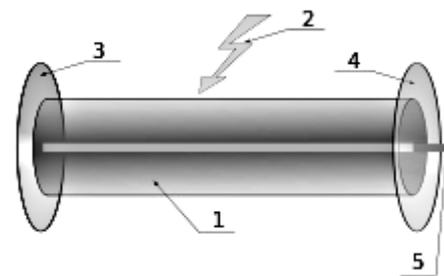
Pour avoir un effet laser, il est nécessaire qu'il y ait davantage d'atomes dans l'état excité que dans l'état fondamental : il faut donc provoquer une « inversion de population » et donc sortir de l'état d'équilibre thermodynamique. Un tel déséquilibre est réalisé à partir de méthodes dites de « pompage » qui apportent sans cesse de l'énergie et intensifient la population d'atomes dans l'état excité. On augmente ainsi le taux d'émissions stimulées par « amplification résonante » en utilisant une cavité constituée de deux miroirs parallèles. Dans cette cavité résonante qui constitue un oscillateur optique, on obtient une amplification favorisant l'émission stimulée dans la direction de propagation de la lumière grâce à l'un des miroirs semi-réfléchissants qui permet au faisceau de sortir du dispositif.

Un laser se définit donc par trois éléments fondamentaux :

- un milieu amplificateur optique de différents types (matériau gazeux, solide ou liquide). Dans ce milieu, on trouve des atomes, molécules, ions ou électrons dont les niveaux d'énergie sont utilisés pour accroître la puissance d'une onde lumineuse au cours de sa propagation. Le principe physique mis en jeu est l'émission stimulée.

- un système d'excitation du milieu amplificateur (aussi appelé système de pompage) : il permet de créer les conditions d'une amplification lumineuse en apportant l'énergie nécessaire au milieu. Le système de pompage peut être de différente nature : pompage optique (le soleil, lampes flash, lampes à arc continues ou lampes à filament de tungstène, diodes laser ou autres lasers...), électrique (décharges dans des tubes de gaz, courant électrique dans des semi-conducteurs...) ou même chimique.

- La cavité qui permet de recycler les photons et d'obtenir par effet en cascade une amplification de la lumière déjà existante. La cavité la plus simple est constituée de deux miroirs, dont l'un est partiellement réfléchissant. Ce résonateur optique qui est un oscillateur laser permet donc de confiner l'onde à l'intérieur de la cavité, puis d'augmenter son parcours dans le milieu amplificateur, de façon à obtenir une amplification considérable. L'oscillateur laser peut être schématisé par la figure 2 avec ses éléments fondamentaux : le milieu amplificateur excitable, le système de pompage, et les miroirs formant



**Figure 2.** Principe de fonctionnement du laser : 1 - milieu excitable ; 2 - énergie de pompage ; 3 - miroir totalement réfléchissant ; 4 - miroir semi-réfléchissant ; 5 - faisceau laser. Le composé 1, par exemple le gaz He-Ne ou un cristal (rubis, etc.) est placé entre les deux miroirs dont un laisse passer une petite partie de la lumière. Ce composé est ensuite excité de manière à libérer des photons lorsqu'il perd cette énergie (quand les électrons du composé passent à une couche inférieure). La taille du système qui correspond à la cavité résonnante est prévue pour que lorsqu'un photon heurte un miroir, deux photons repartent dans l'autre sens pour générer le faisceau laser (schéma d'après <http://fr.wikipedia.org/wiki/Laser>).

la cavité, dont le miroir de sortie. Différentes techniques permettent d'obtenir une émission autour d'une seule longueur d'onde. Les longueurs d'ondes concernées

étaient d'abord les micro-ondes (maser inventé en 1954 par Townes), puis elles se sont étendues aux domaines de l'infrarouge, du visible, de l'ultraviolet et commencent même à s'appliquer aux rayons X [5,6].

Les différents types de laser peuvent être classés suivant les caractéristiques qu'ils présentent, en deux grandes catégories :

- Dans une première catégorie, sont classés les lasers selon le mode temporel d'émission. On trouve ainsi des sources émettant en mode dit continu (durée de l'impulsion constante, exemple  $\tau > 0,25s$  pour l'He-Ne) ; des sources dites impulsives ou pulsées dont la fréquence et la puissance sont modulables. Ce sont des lasers utilisant une diode capable de fonctionner une très courte durée (quelques femtosecondes) mais avec énormément de puissance (près d'1 MW = 1 000 kW = 1 000 000 W pour les plus puissants).

Dans une seconde catégorie peuvent être classés les lasers pour lesquels la nature du milieu actif diffère [7].

- Lasers à gaz tels que les lasers atomiques neutres (laser He-Ne, He-Cd, ...), les lasers atomiques ionisés (Argon Ar<sup>+</sup>, Krypton Kr<sup>+</sup>) et les lasers moléculaires (CO<sub>2</sub>, excimères, etc.). Les lasers à gaz couvrent tout le spectre optique, depuis l'ultraviolet jusqu'à l'infrarouge lointain.

- Lasers solides tels que le laser à rubis, Nd-YAG (grenat d'yttrium-aluminium dopé au néodyme Nd-YAG) etc. ;

- Lasers à colorants : utilisation de colorants pour avoir la longueur d'onde exacte désirée (au centième de nanomètre près) ;

- Lasers à semi-conducteurs à diode laser (les photons sont produits par deux semi-conducteurs traversés par un courant électrique) ; à électrons libres ;

- à fibres (le milieu amplificateur est une fibre optique dopée avec des ions rares).

#### *Définition des caractéristiques des émissions lasers*

Un laser est caractérisé par sa longueur d'onde en nanomètre (1 nm : 10<sup>-9</sup> mètre), son énergie en Joule (J), sa puissance en Watt (W), son irradiance, parfois appelée densité de puissance en Watt/cm<sup>2</sup> (W/cm<sup>2</sup> ou mW/cm<sup>2</sup>), sa fluence ou dose délivrée en Joule/cm<sup>2</sup>.

#### **La longueur d'onde**

Lorsque la longueur d'onde  $\lambda$  (lambda) se situe entre 400 nm et 750 nm, le rayon laser est visible à l'œil humain (exemple : He-Ne 632 nm : rouge ; argon 514 nm : vert). Les longueurs d'onde inférieures à 400 nm sont situées dans l'ultraviolet et celles supérieures à 750 nm figurent dans l'infrarouge. Le tableau I montre le spectre électromagnétique. Les longueurs d'onde entre 633 à 670 nm sont la meilleure option pour la thérapie au laser de faible puissance avec une profondeur de pénétration n'excédant pas le centimètre [8].

**Tableau I.** Spectre électromagnétique et exemples de longueur d'onde avec correspondance avec la fréquence en Hertz (Hz).

Longueur d'onde (dans le vide)	Domaine	Fréquence	
supérieure à 10 m	radio	inférieure à 30 MHz	
de 30 cm à 1 mm	micro-onde (Wifi, téléphones portables, radar, etc.)	de 1 GHz à 300 GHz	incluse dans les ondes radio
de 500 $\mu$ m à 780 nm	infrarouge	de 0,5 THz à 350 THz	infra-rouge C (3000nm- 1mm)(3 $\mu$ m-1000 $\mu$ m) infra-rouge B (1,4 $\mu$ m-3 $\mu$ m) infra-rouge A (780nm -1400 nm (1,4 $\mu$ m))
de 380 nm à 780 nm	lumière visible	de 350 THz à 750 THz	rouge (620-780 nm) orange (592-620 nm) jaune (578-592 nm) vert (500-578 nm) bleu (446-500 nm) violet (380-446 nm)
de 100 nm à 380 nm	ultraviolet	de 750 THz à 30 PHz	
de 10 pm à 10 nm	rayon X	de 30 PHz à 30 EHz	
inférieure à 10 pm	rayon $\gamma$	supérieure à 30 EHz	

## L'énergie

L'énergie est la capacité d'un système à produire un travail, entraînant un mouvement ou produisant par exemple de la lumière, de la chaleur ou de l'électricité. C'est une grandeur physique qui caractérise l'état d'un système et qui est d'une manière globale conservée au cours des transformations. L'énergie s'exprime en joules ( $E = \text{Puissance en mW} \times \text{Temps en seconde}$ ). Exemple :  $1\text{J} = 1\text{ W}\cdot\text{s}$  (watt seconde).

## La puissance

La puissance est la quantité d'énergie par unité de temps. L'unité de puissance est le watt qui correspond donc à un joule fourni par seconde. Ne pas confondre la puissance exprimée en watts (W) avec l'énergie exprimée en watt-heures (W-h) ou avec l'unité de variation de puissance exprimée en watts par heure (W/h). En vue de calculer la dose à administrer au point d'acupuncture, il est important de connaître la puissance de sortie du laser. En effet, deux types de laser sont utilisés en médecine : le laser de haute puissance (500mW-50W : hard laser) et le laser de faible puissance (5mW-500mW), encore appelé soft laser ou basse énergie. Celui-ci est utilisé en acupuncture pour ses propriétés non thermiques alors que le hard laser est réservé pour les techniques chirurgicales (scalpel, photo coagulation etc.).

## L'irradiance

Il s'agit de la densité de puissance qui quantifie la puissance d'un rayonnement électromagnétique par unité de surface. Elle s'exprime en watts par centimètre carré ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ).  $I = P/S$  avec  $I$  : irradiance ;  $P$  : puissance et  $S$  la surface.

## La fluence

C'est l'énergie délivrée par unité de surface, encore appelée dose délivrée, dont l'unité est le  $\text{J}/\text{cm}^2$ .  $F = E/S$  avec  $F$  : la fluence ;  $E$  : énergie et  $S$  : surface. Elle est fonction de l'irradiance et du temps d'application : irradiance  $\times$  Temps = Fluence. Exemple : Pour traiter une surface de  $8\text{ cm}^2$  avec une dose délivrée (fluence) de  $3\text{ J}/\text{cm}^2$  et un laser de  $50\text{mW}$ , il faut un temps de  $20\text{ sec} \times 3\text{ J}/\text{cm}^2 \times 8\text{ cm}^2 = 480\text{ sec}$  soit 8 minutes alors qu'il faut seulement 90 sec avec  $250\text{ mW}$ , 45 sec avec  $500\text{mW}$  et 24 sec avec  $1\text{Watt}$ .

### Est ce que $1\text{ J}/\text{cm}^2$ est équivalent à $1\text{ W}/\text{cm}^2$ ? Différence entre fluence et irradiance.

En pratique, est ce qu'une dose délivrée sur la peau en 9 minutes de  $32\text{ J}/\text{cm}^2$  à partir d'une source laser est équivalente à une irradiance de  $32\text{ W}/\text{cm}^2$  en 9 minutes. Non car il existe un facteur de temps. Ainsi 1 watt n'est pas égal à 1 joule.

La puissance en watts est égale à l'énergie en joules, divisée par le temps en secondes.

9 minutes = 540 secondes

Ainsi, une fluence de  $32\text{ J}/\text{cm}^2$  administrée en 9 minutes est équivalente à une irradiance de  $32\text{ J}/\text{cm}^2 / 540\text{s} = 0,059\text{ J}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} = 0,059\text{ W}/\text{cm}^2$

## Caractéristiques techniques des lasers de faible puissance

La puissance se situe entre 10 et 500 mW. L'irradiance retrouvée habituellement est comprise entre  $5\text{mW}/\text{cm}^2$  et  $5\text{W}/\text{cm}^2$ , la longueur d'onde est comprise entre 600 et 1000 nm et la fluence entre 0,05 et  $20\text{ J}/\text{cm}^2$ .

La World Association for Laser Therapy (WALT) a proposé les doses recommandées pour un traitement optimal. Ainsi dans le canal carpien, avec un laser de longueur d'onde compris entre 780 et 860 nm, en émission d'une puissance entre 5 mW et 500 mW, les temps

### Calcul de la fluence

Les paramètres : laser de 50 mW de puissance en émission constante ; diamètre du faisceau laser : 1 mm ; point traité pendant 5 secondes. Pour calculer la fluence, nous avons besoin de deux paramètres : la puissance et l'aire de distribution du faisceau. Ainsi, 50 mW émis durant 5 s signifie qu'une énergie de 250 mJ = 0,25 J a été émise du laser (0,75 J pour 15 secondes). L'aire est égale à  $0,785\text{mm}^2$ , soit  $0,00785\text{cm}^2$  (1 mm de diamètre). En supposant que l'irradiance soit la même sur chaque point, la fluence sera donc de  $0,25\text{ J} / 0,00785\text{ cm}^2 = 31,84\text{ J}/\text{cm}^2$ , fluence qui sera délivrée aux cellules en contact direct avec le faisceau laser, soit sur une aire de  $0,785\text{mm}^2$ . Si on veut calculer la dose moyenne de la fluence délivrée sur une aire de  $1\text{cm}^2$  (diamètre 1,13cm) autour du point de poncture, nous retrouvons une fluence de  $0,25\text{ J}/\text{cm}^2$ , ce qui veut dire que l'effet thérapeutique suivra une loi de distribution gaussienne avec effet maximum près de l'ouverture du faisceau et effets moindres plus on s'en éloigne.

de traitement doivent être compris entre 20 et 300 secondes avec une application d'un minimum de 4 J par point pour un total de 8 J par poignet (traitement réalisé chaque jour pendant 15 jours ou tous les deux jours pendant 4 semaines). Il est nécessaire de différencier la fluence ( $\text{J}/\text{cm}^2$ ), de l'énergie (J), car par exemple une haute fluence peut facilement être obtenue en jouant

sur la surface de traitement ou la surface du faisceau laser. Ainsi 1 joule appliquée sur une surface de 1 cm<sup>2</sup> (fluence=1 J/cm<sup>2</sup>) correspondra à une dose délivrée de 10 J/cm<sup>2</sup> sur une surface de 0,1cm<sup>2</sup> [9-11]. Il est donc important de connaître le diamètre du faisceau laser pour connaître la dose délivrée réelle.

### Mécanismes d'action du laser de faible puissance

Les effets physiologiques de l'émission laser s'observent déjà pour une irradiance supérieure à 1,3W/cm<sup>2</sup> [3,12]. Une fluence de 4 J/cm<sup>2</sup> est considérée comme la dose optimale pour la stimulation biologique d'un point sur la base de résultats empiriques [13] bien que de nouvelles recherches concernant le laser ultra faible puissance (3 mW ; 0,45mJ/cm<sup>2</sup>) objectiveraient également une photo-biostimulation [14]. Ainsi la TAL (670 nm ; 3mW ; 0,21 mJ/mm<sup>2</sup> par point) appliquée sur ES36 et TR5 aurait un effet anti-oedémateux et antalgique sur un modèle de douleur inflammatoire et neuropathique chez le rat. Pas d'action par contre sur la douleur viscérale [15].

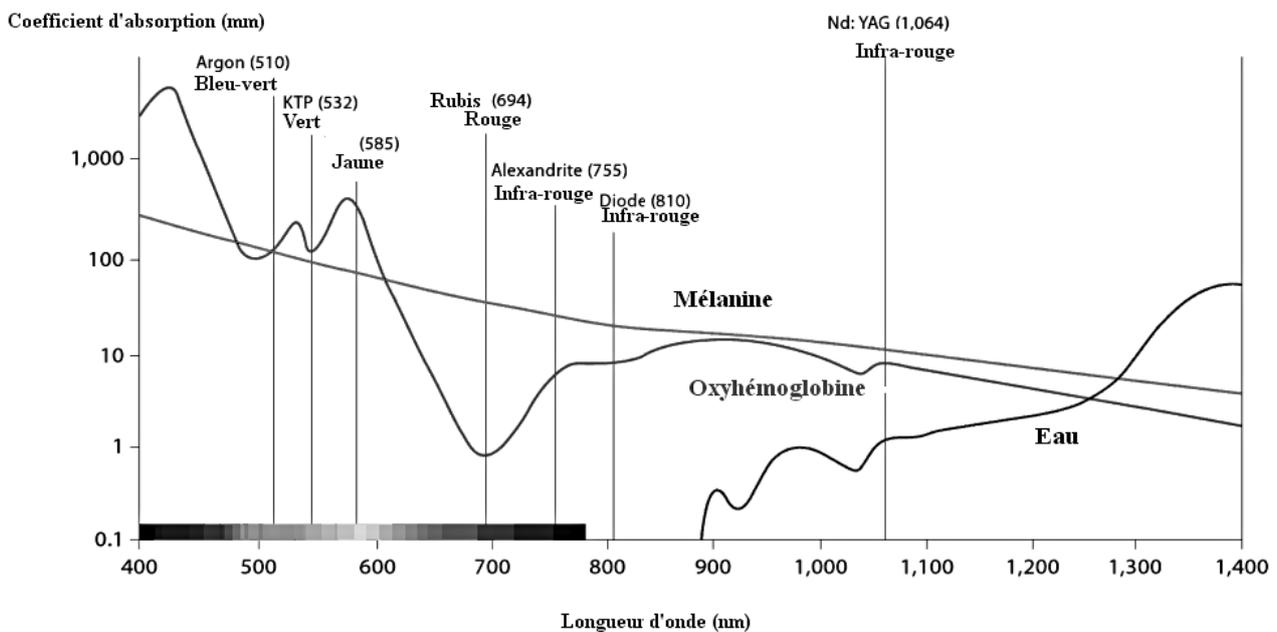
Mester en 1968 a été le premier à réaliser des travaux de recherche concernant les effets non thermiques des

lasers sur la croissance des cheveux de la souris [16]. Dans une étude ultérieure [17], le même groupe a rapporté une accélération de la cicatrisation des plaies et l'amélioration de la capacité de régénération des fibres musculaires après lésion grâce à un laser basse énergie à rubis (694 nm) d'une fluence d'un 1 J/cm<sup>2</sup>.

A la différence des lasers forte puissance qui induisent des effets thermiques, l'un des traits les plus marquants des lasers faible puissance est que les effets sont plutôt médiés par un processus appelé photobiostimulation. On utilisera en règle générale des sources de rayonnement dans la région spectrale rouge et proche infrarouge (620 à 1200 nm de longueur d'onde), pour la raison que l'hémoglobine n'absorbe pas ce rayonnement. De ce fait, l'émission laser peut pénétrer plus profondément dans les tissus vivants et interagir [18].

### Effets d'absorption tissulaire du rayonnement laser

Outre les spécificités physiques précédemment décrites, il convient effectivement de connaître la profondeur d'absorption du rayonnement laser dans le tissu cutané, ceci afin d'en comprendre le mécanisme d'action. En effet, la structure du tissu se compose essentiellement de chromophores comme l'eau, l'hémoglo-



**Figure 3.** Coefficients d'absorption en mm des trois principaux chromophores biologiques (oxyhémoglobine, mélanine et eau) en fonction de la longueur d'onde (d'après [20]).

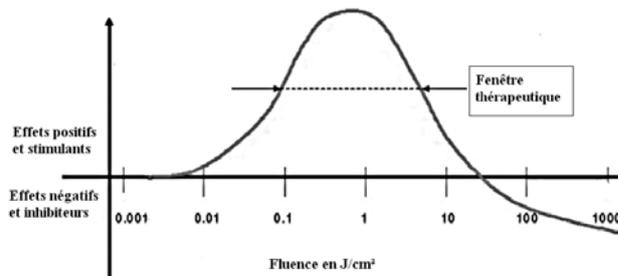
bine et les pigments tels la mélanine, la bilirubine ou le carotène. Il existe une « fenêtre optique » comprise entre 600 et 1300 nm pour laquelle la pénétration est maximale. Au-delà de 1300 nm, l'eau va absorber toute l'énergie, tout comme en dessous de 600 nm, le rayonnement sera absorbé par l'hémoglobine et les pigments [19,20].

Ainsi sur un échantillon de peau abdominale humaine de 0,784mm d'épaisseur, l'intensité du rayonnement laser (longueur d'onde 850 nm ; 100mW ; 0,28mm du diamètre de la sonde) est réduite de 66%. Cela suggère que le rayonnement laser est absorbé dans le premier mm du tissu cutané [21]. Notons que le derme qui a une épaisseur moyenne de 1 à 2 mm, est une des trois couches constitutives de la peau comprise entre l'épiderme et l'hypoderme. Il est formé de tissu conjonctif principalement composé d'une matrice extracellulaire produite par des fibroblastes qui interviennent justement dans la mécanotransduction induite par l'acupuncture [22]. Ankril et coll. suggèrent que la longueur d'onde optimale pour un effet thérapeutique dans la cicatrisation des lésions est de 730 nm car la pénétration va jusqu'à 1,6mm de profondeur et 0,5mm pour une longueur d'onde à 480 nm [23]. Cependant la pénétration du laser diffère aussi selon les localisations cutanées. Ainsi le faisceau laser He-Ne (632,8 nm ; 50 mW) pénètre à 80,5% dans un tissu abdominal de 0,03mm d'épaisseur ; à 6,5% dans un tissu de 2,60mm ; à 0,3% pour 19mm. Au niveau de la face antérieure du bras la pénétration n'est que de 58% pour un tissu cutané de 0,024 mm d'épaisseur et descend à 10% pour un tissu cutané de 1,5mm. Les résultats montrent que la pénétration du rayonnement laser diffère selon les différentes localisations à la surface de la peau [24], tout comme on piquera plus ou moins profondément selon les concepts de la médecine traditionnelle chinoise.

#### *Effets photobiologiques de l'émission laser*

On peut considérer que les effets photobiologiques vont résulter d'effets primaires ou directs avec stimulation de la microcirculation (effets sur l'angiogenèse, stimulation trophique au niveau cellulaire) engendrant à

leur tour des effets indirects : effets anti-inflammatoires et anti-œdémateux, antalgiques, immunosuppresseurs, trophiques et cicatrisants, effets antiallergiques, effets de détoxification par activation des radicaux libres. A ce jour, plusieurs mécanismes d'action biologique ont été proposés, mais aucun n'est clairement établi et satisfaisant. Par ailleurs, ces effets ont été démontrés en utilisant des dispositifs de laser de faible puissance variables et souvent non comparables. Pour ajouter à la confusion, il existe un effet dose-dépendant actif sur une gamme étroite de longueur d'ondes qui peuvent disparaître avec l'augmentation de la dose délivrée. En effet, les effets de la biostimulation par le laser sont régis par la loi d'Arndt-Schultz à savoir que des stimuli faibles activent l'activité physiologique cellulaire alors que les stimuli intenses les diminuent jusqu'à engendrer une réponse négative [25,26]. Selon cette loi, la biostimulation apparaît à une fluence comprise entre 0,05 et 10 J/cm<sup>2</sup> [27], avec une valeur optimale comprise entre 0,5 et 4 J/cm<sup>2</sup> [28] (figure 4).



**Figure 4.** La loi d'Arndt-Schultz pour thérapie par laser de faible puissance (d'après [28]).

#### *Effets directs*

##### **Sur la cellule**

La stimulation laser à faible puissance favorise la prolifération de plusieurs cellules, principalement à travers l'activation de la chaîne respiratoire mitochondriale et l'initiation de la signalisation cellulaire. Gao et coll. ont réalisé une revue de littérature concernant ces effets et ont montré l'implication des récepteurs à tyrosine kinase (TPKR) qui sont phosphorylés. Les TPKR activés pourraient engendrer à leur tour des éléments de signalisation par transduction (Ras/Raf/MEK/ERK, PI3K/Akt/PI3K/Akt/eNOS etc.). Il y a aussi implication de deux autres voies de transduction : ATP/cAMP/JNK/

AP-1 et ROS/Src (dérivés réactifs de l'oxygène). Cela aboutit en aval à la synthèse ou la libération de nombreuses molécules, comme les facteurs de croissance, les interleukines, les cytokines inflammatoires etc. [29]. Ces mécanismes cellulaires sont similaires à ceux observés par l'action de l'aiguille d'acupuncture qui déclenche une transduction dans le tissu conjonctif [30].

### Sur l'angiogenèse et le flux sanguin

Il a été objectivé chez le lapin que le laser (830 nm ; 60 mW ; 40 mW/mm<sup>2</sup> ; 1,4mm de diamètre, 39 mW/cm<sup>2</sup> déclenchait une accélération de la vitesse du flux sanguin, une augmentation du diamètre des artérolas dans les groupes traités par acupuncture ou par laser en rapport avec l'accroissement de la concentration en oxyde nitrique (NO) [31]. De la même façon, chez l'être humain, on pourra observer un accroissement de la microcirculation par activation de la NO, synthèse via la synthase NO (NOS) pour une longueur d'onde de 385-750 nm (40 mW/cm<sup>2</sup>, 12 J/cm<sup>2</sup>) [32]. Wang et coll. observent même chez des volontaires sains que la TAL (405 nm, 110 mW) appliquée sur 14VG (*dazhui*) accélère les effets vasculaires périphériques de la microcirculation érythrocytaire [33].

### Effets anti-inflammatoires

Chez la souris, on observe qu'une fluence de 5 J/cm<sup>2</sup> pour des longueurs d'onde variant de 635 nm à 905 nm peuvent déclencher une modulation de la réponse inflammatoire en entraînant une régulation positive (uprégulation) de l'expression des gènes de la synthase inductible de l'oxyde nitrique (iNOS) [34]. Cela est à nouveau confirmé sur un modèle de blessure musculaire chez le rat Wistar bénéficiant d'une émission par diode laser (GaAlAs) avec les paramètres suivants : mode continu, 808 nm, 30 mW de puissance, 47 secondes d'émission, surface stimulée : 0,00785 cm<sup>2</sup>, fluence : 180 J/cm<sup>2</sup>, irradiance 3,8 W/cm<sup>2</sup>, avec une énergie totale de 1,4 J par point. On retrouve une réduction du stress oxydatif dans le groupe des rats traités (n=20) versus groupe contrôle non traité (n=20) par diminution de la production d'oxyde nitrique (NO), probablement en rapport avec la réduction de la forme inductible (iNOS) de l'oxyde nitrique. En outre, la thérapie par laser de faible puissance (TLFP) augmente

l'expression du gène de la superoxyde dismutase (SOD, antioxydant permettant de lutter contre les radicaux libres de type ROS) et une réduction de la réponse inflammatoire mesurée par la diminution de l'expression du gène du NF- $\kappa$ B, de la cyclooxygénase-2 (COX2), inhibant la libération de cytokines pro-inflammatoires comme le TNF- $\alpha$ , et l'interleukine IL-1 $\beta$  [35].

Un travail très récent sur un modèle de lésion musculaire inflammatoire chez le rat confirme que la TLFP (904 nm ; pulsé à 700 Hz ; 60 mW ; irradiance =1,67 W/cm<sup>2</sup> ; 1 J) diminue de manière significative (p <0,05) les cytokines inflammatoires telles que l'IL-1 $\beta$ , IL-6 et les concentrations de TNF- $\alpha$  par rapport au groupe non traité ainsi que les groupes diclofénac et cryothérapie [36].

Piva et coll. ont analysé vingt-deux travaux de recherche réalisés aussi bien in vitro (chez l'animal) qu'in vivo (chez l'homme). Ils ont conclu que la TLFP exerce un important effet anti-inflammatoire précoce dans les processus de cicatrisation en réduisant les cytokines pro-inflammatoires comme l'IL-1 $\beta$ , l'IL-2, les IL-6 et 10, le facteur de nécrose tumorale alpha (TNF- $\alpha$ ), l'histamine, la prostaglandine E2 (PGE2). Par ailleurs, la TLFP réduit aussi la migration des cellules inflammatoires comme les leucocytes, les neutrophiles et augmente les facteurs de croissance tels que le fibroblast growth factor-2 (FGF-2), le platelet-derived growth factor (PDGF), l'insulin-like growth factor 1 (IGF-1) et l'insulin-like growth factor-binding protein 3 (IGFBP3) etc. Les auteurs montrent néanmoins un manque de standardisation sur le choix des paramètres physiques et observent par exemple que la plupart des lasers utilisés concernaient la longueur d'onde comprise entre 632,8 et 685 nm [37].

### Effets analgésiques

Sur un modèle de rat, la stimulation du point *zusanli* (36ES) bilatéralement par laser pendant 6 secondes (830 nm ; 30 mW ; 1,6 mm de diamètre de faisceau ; 3 J/cm<sup>2</sup>, 6 mm<sup>2</sup> d'aire, 180 mJ) inhibe les contractions abdominales induites par injection d'acide acétique intra-péritonéale et à la fois les douleurs nociceptives et inflammatoires induites par le formaldéhyde. Les auteurs démontrent que ces effets sont médiés par l'activation des systèmes opioïdes ( $\beta$  endorphine) et sérotoninergiques

(récepteurs 5-HT1 et 5-HT2A, mais pas les récepteurs 5-HT3) [38]. Ce travail corrobore l'étude réalisée par Hagiwara et coll. qui objectivait l'effet analgésique du laser en rapport avec la libération de  $\beta$  endorphines [39].

### Effets anti-allergiques

La stimulation de la muqueuse intra-nasale incluant le point hors méridien *neiyangxiang* (EX-HN9) par un dispositif laser de faible puissance (658 nm, 30 mW, 0,2 cm<sup>2</sup>, 320s : 1000 mJ/cm<sup>2</sup> et 640s : 2000 mJ/cm<sup>2</sup>) sur un modèle de rhinite allergique chez la souris entraîne une inhibition statistiquement significative de la concentration totale en IgE, en interleukine IL-4, en interféron de type II (IFN- $\gamma$ ) et en TARC (CCL17), chimiokine en rapport avec une réponse humorale des lymphocytes Th2. Il sera noté que la faible fluence 1000 mJ/cm<sup>2</sup> est plus efficace que la haute fluence (2000 mJ/cm<sup>2</sup>). Les auteurs notent l'importance de la dose thérapeutique optimale, sans doute en rapport avec la loi d'Arndt-Schultz [40].

### Conclusion

Le laser provoque peu ou pas de sensations, avantage notable pour tous ceux ayant peur des aiguilles d'acupuncture, ou en pédiatrie. Néanmoins, il est important d'en connaître ses caractéristiques physiques. Plusieurs mécanismes d'action biologique ont été proposés. Aucun n'est clairement établi et satisfaisant car trop de variables influent sur les résultats. Aussi, des essais contrôlés randomisés sont nécessaires pour mieux définir les paramètres d'un traitement optimal, incluant la longueur d'onde, l'irradiance, la fluence et l'énergie du laser, afin de maximiser les avantages physiologiques et la rentabilité de cette technique thérapeutique associée à l'acupuncture.



D<sup>r</sup> Jean-Marc Stéphan  
 Directeur de la revue « Acupuncture & Moxibustion »  
 Coordinateur du DIU acupuncture obstétricale Lille 2  
 Chargé d'enseignement à la faculté de médecine de Rouen  
 Médecin acupuncteur attaché au CHG de Denain 59220  
 Secrétaire Général de l'ASMAF-EFA  
 ✉ jm.stephan@acupuncture-medicale.org

Conflit d'intérêts : aucun.

### Références

1. Chow RT, Johnson MI, Lopes-Martins RA, Bjordal JM. Efficacy of low-level laser therapy in the management of neck pain: a systematic review and meta-analysis of randomised placebo or active-treatment controlled trials. *Lancet*. 2009;374(9705):1897-908.
2. Kadhim-Saleh A, Maganti H, Ghert M, Singh S, Farrokhyar F. Is low-level laser therapy in relieving neck pain effective? Systematic review and meta-analysis. *Rheumatol Int*. 2013;33(10):2493-501.
3. Litscher G, Schikora D. *Laserneedle-Acupuncture Science and Practice*. Lengerich, Germany: Pabst Science Publishers; 2005.
4. Glazov G, Yelland M, Emery J. Low-dose laser acupuncture for non-specific chronic low back pain: a double-blind randomized controlled trial. *Acupunct Med* 2014;32:116-123.
5. Fadel K. Le laser : histoire d'un rayon. *Science.gouv.fr*. Juillet 2010. [cited 2014 jan 20]. Available from: URL: <http://www.science.gouv.fr/fr/dossiers/bdd/page/3/res/2970/t/18/le-laser-histoire-d-un-rayon/>.
6. Balembois F, Forget S. Le laser : fondamentaux ; lasers et optique non linéaire. *Optique pour l'ingénieur*. Mai 2007. [cited 2014 jan 20]. Available from: URL: [http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI\\_fr\\_M01\\_C01/co/Grain\\_OPI\\_fr\\_M01\\_C01.html](http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M01_C01/co/Grain_OPI_fr_M01_C01.html).
7. Lelek M. Sécurité laser. *Optique pour l'ingénieur*. Mai 2007. [cited 2014 jan 20]. Available from: [http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI\\_fr\\_M01\\_C02/co/Contenu.html](http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M01_C02/co/Contenu.html)
8. Litscher G, Opitz G. Technical Parameters for Laser Acupuncture to Elicit Peripheral and Central Effects: State-of-the-Art and Short Guidelines Based on Results from the Medical University of Graz, the German Academy of Acupuncture, and the Scientific Literature. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2012;2012:697096. doi: 10.1155/2012/697096.
9. World Association for Laser Therapy. Recommended treatment doses for Low Level Laser Therapy. 2012. [cited 2014 march 07]. Available from: <http://www.walt.nu/dosage-recommendations.html>.
10. David Baxter G. Laser acupuncture: effectiveness depends upon dosage. *Acupunct Med*. 2009 Sep;27(3):92.
11. Tunér J, Hode L. Low-level laser therapy for hand arthritis-fact or fiction? *Clin Rheumatol*. 2010 Sep;29(9):1075-6.
12. Litscher G, Bauernfeind G, Mueller-Putz G, Neuper C. Laser-induced evoked potentials in the brain after nonperceptible optical stimulation at the neiguan acupoint: a preliminary report. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2012;2012:292475 doi: 10.1155/2012/292475..
13. Australian Medical Acupuncture College. Position statement on laser acupuncture, 2012. Available from : URL : [http://www.chiro.org/acupuncture/FULL/Position\\_Statement\\_on\\_Laser\\_Acupuncture.shtml](http://www.chiro.org/acupuncture/FULL/Position_Statement_on_Laser_Acupuncture.shtml).
14. Baratto L, Calzà L, Capra R, Gallamini M, Giardino L, Giuliani A, Lorenzini L, Traverso S. Ultra-low-level laser therapy. *Lasers Med Sci*. 2011 Jan;26(1):103-12.
15. Lorenzini L, Giuliani A, Giardino L, Calzà L. Laser acupuncture for acute inflammatory, visceral and neuropathic pain relief:

- An experimental study in the laboratory rat. *Res Vet Sci.* 2010 Feb;88(1):159-65.
16. Mester E, Szende B, Gärtner P. [The effect of laser beams on the growth of hair in mice]. *Radiobiol Radiother (Berl).* 1968;9(5):621-6.
  17. Mester E, Korényi-Both A, Spiry T, Tisza S. The effect of laser irradiation on the regeneration of muscle fibers (preliminary report). *Z Exp Chir.* 1975;8(4):258-62.
  18. Vladimirov YA, Osipov AN, Klebanov GI. Photobiological principles of therapeutic applications of laser radiation. *Biochemistry (Mosc).* 2004 Jan;69(1):81-90.
  19. Anderson RR, Parrish JA. The optics of human skin. *J Invest Dermatol.* 1981 Jul;77(1):13-9.
  20. Allemann IB, Goldberg DJ. *Basics in Dermatological Laser Applications.* 1e ed. Basel (Suisse): Karger Medical and Scientific Publishers; 2011.
  21. Esnouf A, Wright PA, Moore JC, Ahmed S. Depth of penetration of an 850nm wavelength low level laser in human skin. *Acupunct Electrother Res.* 2007;32(1-2):81-6.
  22. Stéphan JM. Acupuncture, tissu conjonctif et mécanotransduction. *Acupuncture & Moxibustion.* 2006;5(4):362-367.
  23. Ankri R, Lubart R, Taitelbaum H. Estimation of the optimal wavelengths for laser-induced wound healing. *Lasers Surg Med.* 2010 Oct;42(8):760-4.
  24. Kolárová H, Ditrichová D, Wagner J. Penetration of the laser light into the skin in vitro. *Lasers Surg Med.* 1999;24(3):231-5.
  25. Lubart R, Lavi R, Friedmann H, Rochkind S. Photochemistry and photobiology of light absorption by living cells. *Photomed Laser Surg.* 2006 Apr;24(2):179-85.
  26. Lin F, Josephs SF, Alexandrescu DT, Ramos F, Bogin V, Gammill V, Dasanu CA, De Necochea-Campion R, Patel AN, Carrier E, Koos DR. Lasers, stem cells, and COPD. *J Transl Med.* 2010 Feb 16;8:16.
  27. Yu W, Naim JO, Lanzafame RJ. Effects of photostimulation on wound healing in diabetic mice. *Lasers Surg Med.* 1997;20(1):56-63.
  28. Tunér J, Hode L. *The New Laser Therapy Handbook.* Gräningsberg, Sweden: Prima Books; 2010.
  29. Gao X, Xing D. Molecular mechanisms of cell proliferation induced by low power laser irradiation. *J Biomed Sci.* 2009;16:4.
  30. Stéphan JM. Acupuncture, récepteurs transmembranaires à tyrosine-kinases, à cytokines et transduction. *Acupuncture & Moxibustion.* 2007;6(1):79-86.
  31. Komori M, Takada K, Tomizawa Y, Nishiyama K, Kondo I, Kawamata M, Ozaki M. Microcirculatory responses to acupuncture stimulation and phototherapy. *Anesth Analg.* 2009 Feb;108(2):635-40.
  32. SamoiloVA KA, Zhevago NA, Petrishchev NN, Zimin AA. Role of nitric oxide in the visible light-induced rapid increase of human skin microcirculation at the local and systemic levels: II. healthy volunteers. *Photomed Laser Surg.* 2008;26(5):443-9.
  33. Wang L, Huang T, Zhang W, Litscher G. Violet laser acupuncture--part 2: Effects on peripheral microcirculation. *J Acupunct Meridian Stud.* 2011;4(1):24-8.
  34. Moriyama Y, Nguyen J, Akens M, Moriyama EH, Lilge L. In vivo effects of low level laser therapy on inducible nitric oxide synthase. *Lasers Surg Med.* 2009;41(3):227-31.
  35. Assis L, Moretti AI, Abrahão TB, Cury V, Souza HP, Hamblin MR, Parizotto NA. Low-level laser therapy (808 nm) reduces inflammatory response and oxidative stress in rat tibialis anterior muscle after cryolesion. *Lasers Surg Med.* 2012;44(9):726-35.
  36. de Almeida P, Tomazoni SS, Frigo L, de Carvalho Pde T, Vanin AA, Santos LA, Albuquerque-Pontes GM, De Marchi T, Tairava O, Marcos RL, Lopes-Martins RA, Leal-Junior EC. What is the best treatment to decrease pro-inflammatory cytokine release in acute skeletal muscle injury induced by trauma in rats: low-level laser therapy, diclofenac, or cryotherapy? *Lasers Med Sci.* 2014 Mar;29(2):653-8.
  37. Piva JA, Abreu EM, Silva Vdos S, Nicolau RA. Effect of low-level laser therapy on the initial stages of tissue repair: basic principles. *An Bras Dermatol.* 2011 Sep-Oct;86(5):947-54.
  38. Erthal V, da Silva MD, Cidral-Filho FJ, Santos AR, Nohama P. ST36 laser acupuncture reduces pain-related behavior in rats: involvement of the opioidergic and serotonergic systems. *Lasers Med Sci.* 2013;28(5):1345-51.
  39. Hagiwara S, Iwasaka H, Okuda K, Noguchi T. GaAlAs (830 nm) low-level laser enhances peripheral endogenous opioid analgesia in rats. *Lasers Surg Med.* 2007;39(10):797-802.
  40. Choi B, Chang MS, Kim HY, Park JW, Ryu B, Kim J. Effects of low level laser therapy on ovalbumin-induced mouse model of allergic rhinitis. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2013;2013:753829.