Les applications biologiques médicales et chirurgicales des lasers

L. Miro

► To cite this version:

L. Miro. Les applications biologiques médicales et chirurgicales des lasers. Revue de Physique Appliquée, 1979, 14 (2), pp.379-384. 10.1051/rphysap:01979001402037900 . jpa-00244606

HAL Id: jpa-00244606

<https://hal.science/jpa-00244606>

Submitted on 1 Jan 1979

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Classification
Physics Abstracts
87.00

Les applications biologiques médicales et chirurgicales des lasers

L. Miro

Directeur du Laboratoire de Biophysique, Faculté de Médecine, Section de Nîmes,
Avenue Kennedy, 30000 Nîmes, France

(Reçu le 30 juin 1978, accepté le 3 juillet 1978)

Résumé. — Après avoir analysé les différents modes d'action des lasers sur la matière vivante, l'auteur passe en revue les différentes spécialités médicales et chirurgicales utilisant, ou susceptibles d'utiliser, le laser.

En ophtalmologie son utilisation bien qu'habituelle n'est pas encore optimisée. En otorhinolaryngologie les premiers résultats sont extrêmement encourageants. En dermatologie on note un état de stagnation dû à l'absence d'appareillage adapté. En chirurgie et en endoscopie le choix de la meilleure longueur d'onde n'est pas encore fait, surtout si on se réfère à l'action hémostatique et à l'effet de coupe. En odontologie les lasers pulsés semblent exclus de la thérapeutique, mais les techniques holographiques semblent prometteuses pour la réalisation des prothèses.

L'auteur conclut à la nécessité de développer une recherche sur les problèmes fondamentaux posés par les applications biomédicales des lasers.

Abstract. — After an analysis of the complex interweaving reactions of laser on biological materials, the laser applications in medicine and surgery are reviewed by the author.

In ophtalmology its use is regular but not yet optimal. In otological applications the first results are good. In dermatology the absence of special device had stopped its development. In surgery and endoscopy the best wave length must be chosen in reference to their hemostatic action and cutting effect. In odontology the pulsed lasers are dangerous for therapy but the holographic technique is a fertile research area.

The author conclude to the necessary development of researches on the fundamental problems set by the biomedical applications of lasers.

Devant la multiplication sans cesse croissante des utilisations industrielles des lasers, on avait l'impression, jusqu'à il y a à peu près trois ans, que les applications biomédicales, après avoir suscité un engouement rapide mais passager, étaient tombées en désaffection, faute de recherches préalables à ces applications.

Entre temps, la technologie a considérablement progressé, un certain nombre d'études sur l'action biologique du rayonnement laser ont été effectuées de telle sorte que depuis deux ans l'intérêt pour le laser a très fortement augmenté dans le milieu médical.

Aussi semble-t-il intéressant, afin d'éviter une nouvelle période d'euphorie trompeuse, souvent source de désillusions, de faire le point sur les utilisations actuelles du laser en médecine et sur celles qu'il est raisonnable d'espérer dans un proche avenir.

Mais avant d'envisager ces diverses applications médicales, il est peut-être utile de rappeler la façon dont le rayonnement laser agit en biologie et en médecine.

La façon dont le rayonnement laser agit en biologie

est complexe. En effet, le laser réagit sur la matière vivante à l'aide de plusieurs mécanismes.

Tout d'abord l'effet thermique résulte de l'absorption par celle-ci de l'importante quantité d'énergie contenue dans le faisceau laser et de sa dégradation locale en chaleur. Du fait des propriétés intrinsèques du faisceau laser, l'énergie qu'il transporte peut être concentrée par des moyens optiques classiques sur de très petites surfaces. L'importance de l'échauffement que l'on provoque alors suffit non seulement à brûler très localement les tissus, mais très souvent à les volatiliser littéralement. C'est ce qui se passe lorsqu'on veut traiter une carie dentaire par laser. Dans ce cas, grâce à la focalisation du faisceau, on obtient une véritable vaporisation de la carie dentaire avec stérilisation thermique de la cavité et restructuration surfacique des parois qui laisse la dent prête à être obturée.

Cet effet thermogène est habituellement observé de façon globale, c'est-à-dire qu'il brûle tous les types de cellules que le faisceau laser irradie. Cependant cette action peut être beaucoup plus nuancée, la

destruction n'atteignant alors qu'un type déterminé de cellules ou même qu'une substance constituante de la cellule.

En effet, certains tissus ou certaines substances, du fait de leur composition chimique, présentent une absorption sélective de la lumière pour une longueur d'onde donnée. Ainsi la plupart des acides aminés ont un pic d'absorption à 280 nm, la vitamine B12 présente trois pics d'absorption à 278, 361 et 550 nm, la diphosphopyridine nucléotide (DP.N.H.) absorbe sélectivement 260 et 340 nm. Par conséquent si l'on irradie à l'aide d'un faisceau laser, de longueur d'onde correspondant à un des pics d'absorption d'une de ces substances, la plus grande partie de l'énergie sera alors électivement absorbée par celle-ci. Ainsi est obtenue une dénaturation ou une destruction « *in vivo* » de tel ou tel constituant cellulaire sans pour cela entraîner la mort de la cellule. Expérimentalement, une telle action sélective a été prouvée pour le Cytochrome B qui est un des maillons de la chaîne d'oxydo-réduction régissant la respiration cellulaire. C'est le seul maillon de cette chaîne qui fixe l'hydrogène moléculaire en présence d'oxygène.

Lorsqu'on irradie une culture de cellules avec un laser de 1 mW, émettant à 530 nm, on constate une chute du taux de la respiration cellulaire de plus de 60 %. Si on irradie la même culture avec un laser rubis (694,3 nm) ou un laser He-Ne émettant à 632,7 nm, en utilisant la même puissance, aucun effet sur la respiration n'est observé. Dans le premier cas, des études histochimiques montrent que seul le Cytochrome B est inhibé.

Un autre processus de l'action biologique réside dans le champ électrique qui accompagne le faisceau laser. Du fait de la cohérence spatiale, celui-ci peut atteindre des valeurs considérables de l'ordre de grandeur des champs interatomiques. On conçoit donc aisément qu'il puisse réagir sur les constantes physiques des milieux qu'il traverse, telles la conductivité ou la constante diélectrique et qu'il puisse bouleverser l'équilibre de certaines réactions chimiques, voire même remodeler certains systèmes moléculaires. Au minimum, il modifie les polarisations membranaires entraînant des désordres d'échanges ioniques au niveau des cellules, sources de troubles fonctionnels des tissus.

Le laser agit aussi sur la matière vivante d'une façon purement mécanique par la production à partir du lieu d'impact d'ondes de choc provoquées par la pression de radiations qui est ici considérable. Celles-ci repoussent les cellules en formant un véritable cratère ou en orientant les molécules dans la direction de propagation du faisceau. Par ailleurs, ces ondes de chocs donnent naissance à des phénomènes ultra-sonores très aigus, qui, se transmettant dans le milieu environnant, peuvent entraîner à distance des lésions au niveau des tissus vivants. Or ces phénomènes mécaniques sont particulièrement importants pour les lasers pulsés et lorsque le tir laser est effectué dans une cavité

presque close, ce qui est le cas de l'orbite ou d'une carie dentaire.

Aussi, l'utilisation en odontologie, de lasers de type impulsif est pratiquement contre-indiquée du fait des destructions importantes post-thérapeutiques entraînées au niveau du paquet vasculo-nerveux de la pulpe dentaire.

Enfin, avec le laser on voit apparaître des effets qui n'avaient jamais été obtenus pratiquement avec la lumière incohérente : ce sont les effets non linéaires. Ainsi, avec le faisceau laser, dans certaines conditions et avec certains milieux, la longueur d'onde même du faisceau peut changer : un faisceau rouge peut engendrer un faisceau vert, qui lui-même peut engendrer un faisceau ultra-violet (dédoublage ou triplement de fréquence). Or, si le rouge est peu actif du point de vue biologique, l'ultraviolet, surtout émis dans ces conditions, est extrêmement nocif pour les cellules vivantes. D'autre part, ces mêmes effets non linéaires peuvent provoquer l'apparition d'ondes acoustiques (effet Brillouin) dont il faut tenir compte sur le plan biologique ; ce phénomène est cependant encore très mal connu.

Enfin, on ne peut passer sous silence l'effet multiphotonique, c'est-à-dire la possibilité pour plusieurs photons de sommer leur énergie. Si en lumière incohérente la probabilité de survenue d'un tel effet est pratiquement nulle, par contre celle-ci devient non négligeable en lumière cohérente puisqu'elle est fonction de la 4^e puissance du champ électrique de l'onde, qui, nous l'avons vu, est très important. Ainsi des photons lasers rouges peuvent avoir une action semblable à des photons bleus, U.V. voire γ .

Nous voyons donc que le mode d'action des lasers sur la matière vivante est complexe. Suivant le type d'appareil utilisé et surtout suivant le mode opératoire, l'un ou l'autre de ces effets est prédominant, sans toutefois parvenir à en isoler un seul. Cette constatation alliée au fait que nombre des effets décrits sont encore imparfaitement connus, justifie la prudence dont doit s'entourer tout médecin qui veut utiliser le laser à des fins thérapeutiques.

A partir de ces données, quelle va être l'utilisation des lasers en médecine ?

Les ophtalmologistes utilisant depuis plusieurs années la lumière sur le plan thérapeutique grâce au photocoagulateur au xénon, ce fut tout naturellement cette spécialité médicale qui la première utilisa le laser et essaya de déterminer de façon pratique son action sur l'homme.

Ainsi plusieurs chercheurs ont tenté d'analyser l'action du laser sur l'œil et essayé de déterminer les différents facteurs de danger que représente pour lui l'irradiation laser. Si certains paramètres sont contrôlables, telles la durée et l'énergie de l'impulsion, les propriétés de focalisation de l'œil, d'autres le sont beaucoup moins, telles les différences structurales de la rétine inhérentes à chaque individu et en particulier l'importance de la charge mélanique du tissu rétinien.

Cette constatation entraîne dans la pratique courante une certaine incertitude de la part de l'ophtalmologiste utilisant un photocoagulateur laser et la nécessité absolue pour ce dernier de connaître et de suivre parfaitement les règles d'emploi du laser. Celles-ci ont pu être édictées à la suite de nombreux travaux portant sur l'étude des lésions rétinienne provoquées par le laser depuis leur aspect macroscopique jusqu'aux altérations visibles uniquement au microscope électronique et sur l'évolution dans le temps de ces lésions.

Actuellement il existe à peu près 150 photocoagulateurs lasers en France, tous équipés de lasers à Argon, reliés généralement à une lampe à fente par l'intermédiaire soit d'une fibre optique, soit d'un bras optique.

Grâce à eux on traite de façon habituelle de très nombreux malades porteurs de déchirure ou de décollement rétiens, de lésions post-traumatiques et surtout de rétinopathie diabétique qui semble représenter une des principales indications. Par rapport à l'ancienne technique au xénon, le photocoagulateur laser permet une élévation thermique intraoculaire beaucoup plus faible et surtout très localisée au niveau de l'impact du faisceau, une cicatrisation beaucoup plus rapide, le traitement de zones inaccessibles jusqu'à présent, telles que la fovéa ou la périphérie. Enfin, du fait de la rapidité de l'opération et de son caractère strictement indolore, les interventions peuvent être pratiquées sur des malades non anesthésiés et par conséquent en ambulatoire. Cependant, malgré son utilisation presque routinière, il faut bien être conscient que nous ignorons un certain nombre d'effets et que par conséquent nous sommes encore loin d'utiliser au mieux cette nouvelle technique.

Une autre discipline qui commence à bénéficier d'appareillages lasers est l'O.R.L. Initiée aux U.S.A. par Jako et Vaughan en 1972, une expérimentation animale a été menée en France à l'Hôpital Foch de Suresnes dès 1976 par le Professeur Freche. Les résultats acquis lui ont permis d'obtenir l'autorisation d'essai clinique chez l'homme en juillet 1976.

Le laser utilisé est un laser à CO_2 émettant à $10,6 \mu$, de façon continue, relié à un laryngoscope isostatique couplé à un biomicroscope par un bras optique. Cet appareillage expérimental a permis la réalisation d'une pré-série commerciale de 10 appareils, qui elle-même sera suivie d'une fabrication en série par une firme française dans les mois qui viennent.

Grâce à ceux-ci pourront être traités :

— La papillomatose laryngée, maladie du jeune enfant entraînant jusqu'à présent une trachéotomie dans 50 % des cas, l'aphonie, le plus souvent compliquée d'atrophie du larynx, le tout à l'origine de multiples et longues hospitalisations pour un résultat peu satisfaisant. Grâce au laser il semble que la maladie puisse être guérie sans perte de la voix, sans complication, sans trachéotomie et au cours d'une hospitalisation de 48 h.

— De même pour les nodules et polypes des cordes vocales, les laryngites chroniques suspectes, les résultats sont extrêmement prometteurs. Dans un proche avenir il semble que l'on puisse étendre l'intérêt de l'utilisation du laser à d'autres indications : amygdalotomies et traitement de certains cancers de la sphère bucco-pharyngée.

Par ailleurs, avec un autre appareillage utilisant un laser YAG Nd émettant dans l'infrarouge proche ($1,06 \mu$) relié à un biomicroscope par l'intermédiaire d'une fibre optique, les Américains ont réalisé sur le plan expérimental des opérations de l'oreille moyenne et interne. Cependant ces interventions extrêmement minutieuses doivent être conduites par des praticiens connaissant parfaitement l'effet laser, sous peine de destruction du système d'équilibration contenu dans l'oreille interne.

Une autre spécialité tentée par l'utilisation des lasers sur le plan thérapeutique est la dermatologie, mais il est à noter que l'absence de développement d'un appareillage adéquat a quelque peu freiné son expansion dans ce domaine. Si on se réfère aux travaux effectués par Goldman à Cincinnati, le laser serait un remarquable agent thérapeutique contre un certain nombre de lésions circonscrites telles que les verrues, les kératoses et les épithéliomas de la peau. Cependant, les questions de dosimétrie sont encore loin d'être résolues. Elle dépend en effet de nombreux facteurs et en particulier du type de laser employé, du système optique de transmission, de l'épaisseur de la couche cornée qui recouvre la lésion, du système circulatoire sous-jacent...

Malgré tout, là encore le laser présente de nombreux avantages : cicatrisation très rapide, donnant en général des cicatrices fines et indolores, facilité d'emploi grâce à la possibilité de plusieurs impacts successifs pour traiter une seule lésion.

Ainsi à titre d'exemple, une des indications dermatologiques de l'emploi du laser est l'élimination des tatouages volontaires ou non (par exemple par accident de la route). On utilise un faisceau très focalisé, centré sur les grains pigmentaires inclus dans la peau et qui sont à l'origine des tatouages. Ceux-ci sont alors littéralement volatilisés à l'intérieur du tissu et l'on observe alors la disparition des tatouages. Or jusqu'à présent, ils ne pouvaient être enlevés qu'au prix d'une chirurgie réparatrice et le plus souvent esthétique délicate et longue.

Par ailleurs, jusqu'à maintenant n'a été utilisé que l'effet thermique, or il semble que l'on puisse détruire électivement certaines cellules grâce à des absorptions spécifiques de certaines longueurs d'ondes, ce qui permet d'ouvrir de vastes horizons aux lasers, si les recherches en cours confirment cette hypothèse.

En chirurgie, pour diverses raisons : simplicité technologique, bon rendement énergétique, facilité de mise en œuvre, faible coût de revient, un premier bistouri utilisant un laser moléculaire au CO_2 émettant dans l'infrarouge ($10,6 \mu$) a été construit et commer-

cialisé en Israël. Simultanément un appareil similaire était mis au point en U.R.S.S. Grâce à ces appareils, plusieurs équipes chirurgicales ont réalisé des interventions chez l'homme.

Si l'on se réfère aux indications données par le constructeur israélien, 7 équipes américaines, 4 européennes (Italie, Danemark, Hollande, R.F.A.) et 2 israéliennes ont pratiqué de très nombreuses interventions portant sur :

- des affections de la peau,
- des affections osseuses,
- des affections viscérales,
- des affections thoraciques, etc.

Autrement dit, l'impression prévaut que toute la chirurgie peut être effectuée par laser avec d'excellents résultats. Or, si on fait l'étude bibliographique des résultats chirurgicaux parus dans la littérature mondiale en 1974-1975-1976 (Bibliographie informatisée MEDLINE-INSERM), on s'aperçoit que des résultats certains ont été obtenus lors d'hépatectomies réglées (2 réf.), d'une néphrectomie partielle (1 réf.) et lors du traitement des tégangiectasies (1 réf.). Par ailleurs, 4 revues générales sur l'utilisation du laser en chirurgie ont été faites sans grande précision.

Si l'on compare ces résultats à ceux obtenus avec l'appareil russe on constate qu'ils sont à peu près identiques : 4 revues générales, 5 références portant sur l'ablation de tumeurs précancéreuses de la peau, 1 référence intéressant les néphrectomies partielles, une intéressant l'ablation d'une métastase d'un mélanome. Donc les résultats publiés ne sont pas en rapport avec le nombre d'interventions rapportées dans les notices commerciales des appareils. D'où vient cette différence ? Il semble qu'en fait dans la plupart des équipes il y ait eu disjonction entre les chirurgiens utilisateurs et la recherche fondamentale. Tout se passe comme si la source utilisée n'était qu'un simple faisceau thermique focalisé. Malgré cette constatation, l'examen des publications permet de relever un certain nombre d'avantages découlant de l'utilisation d'un bistouri laser. L'ensemble des chirurgiens ayant utilisé le laser constatent que la zone de nécrose est moins importante que celle qu'ils obtenaient habituellement avec le bistouri électrique, que la cicatrisation s'effectue plus rapidement et est généralement de meilleure qualité entraînant une cicatrice souple. Par ailleurs, ils signalent l'absence habituelle de surinfection. Ces derniers points sont naturellement très intéressants en ce qui concerne la chirurgie dermatologique.

Cependant ces simples constatations ne justifient pas à elles seules l'utilisation du laser en chirurgie et une recherche d'ordre plus fondamentale s'avérerait nécessaire. En fait depuis un an, une approche plus scientifique du problème a été tentée et plusieurs équipes de chercheurs ont essayé de déterminer si la longueur d'onde choisie primitivement était la meilleure vis-à-vis de deux facteurs capitaux au niveau de l'acte

chirurgical : l'effet hémostatique et l'effet de coupe ou de section. Les résultats de ces expérimentations ont été confrontés lors de la dernière Gordon Conference qui s'est tenue en juillet 1977 à Meriden (U.S.A.). De cette confrontation il ressort que :

— Le $10,6 \mu$ (CO_2) est excellent pour l'effet de coupe puisqu'il n'entraîne qu'une zone de nécrose sur les lèvres de l'incision de 0,6 mm, valeur très nettement inférieure à celle du bistouri électrique, par contre son effet hémostatique est médiocre nécessitant une hémostase de type classique.

— Le $1,06 \mu$ (YAG Nd) présente un effet de coupe médiocre, la zone de nécrose s'étendant sur 4,5 mm et par conséquent légèrement supérieure à celle du bistouri électrique. Par contre il présente un effet hémostatique étonnant puisqu'il est capable d'assurer l'hémostase d'une rupture de varice œsophagienne.

— Quant aux longueurs d'ondes bleues-vertes (argon), il semblerait que leur effet de coupe soit inférieur à celui du CO_2 et leur effet hémostatique inférieur à celui du YAG Nd.

Devant ces résultats, les chirurgiens tant américains qu'allemands ont donc convenu que l'actuel bistouri laser au CO_2 ne présente pas les critères optimaux en ce qui concerne la chirurgie. Partant de l'hypothèse que ces phénomènes suivent une loi linéaire, ces équipes s'orientent dans l'utilisation d'un laser émettant une longueur d'onde située entre le $10,6 \mu$ du CO_2 et le $1,06 \mu$ du YAG Nd : leur choix s'est actuellement arrêté sur le YAG Holmium émettant une lumière de $2,1 \mu$. Les premiers essais ont montré que si l'effet hémostatique restait bon, l'effet de coupe était peu satisfaisant, la zone de nécrose s'étendant sur 3 mm. Tel est l'état actuel de l'utilisation du laser en chirurgie.

Nous voyons donc que nous n'en sommes qu'aux balbutiements, d'autant que dans tous les cas on ne s'est servi que d'une partie des propriétés du faisceau laser, à savoir la possibilité de concentrer en un point donné une énergie très grande dont on utilise sa dégradation en chaleur. En d'autres termes, l'appareil utilisé est un bistouri thermique sophistiqué. Or une telle utilisation néglige le fait que la lumière employée est cohérente et donc génératrice d'un champ électromagnétique important, dont les effets biologiques encore souvent méconnus sont cependant loin d'être négligeables comme le prouve, par exemple, les perturbations des transports ioniques transmembranaires Na-K qui ont été obtenues sur des cultures de tissus par irradiation laser.

Ce que nous venons de voir pour la chirurgie est évidemment transposable en endoscopie où le traitement des petites lésions bronchiques, vésicales, œsophagiennes ou stomacales semble possible dans un avenir très proche grâce à l'adaptation des endoscopes à la technique laser.

Dans ce dernier domaine, plusieurs réalisations pratiques ont d'ores et déjà été effectuées aux U.S.A., en R.F.A. et au C.H.U. de Reims en ce qui concerne la gastro-œsophagoscopie. Suivant les équipes, le laser

utilisé est soit un YAG Nd, soit un argon : une fibre optique gainée introduite par le canal du fibroscope prévu pour effectuer les biopsies, permet d'assurer, sous contrôle visuel, l'hémostase ou l'ablation de petites tumeurs. Ainsi le Docteur Brunetaud à Reims a pu traiter en urgence une vingtaine de malades présentant des hémorragies gastriques ou du bas-œsophage.

En ce qui concerne la chirurgie cancérologique, l'emploi du laser a fait couler beaucoup d'encre.

Les recherches dans ce domaine sont jusqu'à présent l'apanage de trois équipes des Etats-Unis qui travaillent sur ce sujet depuis 1962. Elles ont étudié simultanément l'action du laser sur les cancers animaux et sur certains cancers humains. Si l'on veut résumer leurs travaux, on peut dire que sur les 20 types différents de cancers animaux traités par le laser, des résultats excellents ont été obtenus dans 9 séries, bons dans une série, discutables dans 2 séries et le traitement a été décevant dans 8 séries.

Il est à noter que les résultats positifs ont surtout été obtenus dans les cancers greffés et les résultats négatifs dans les cancers spontanés, les seuls qui puissent être considérés véritablement comme des cancers. Cette constatation, si intéressante soit-elle sur le plan scientifique, est tout de même un constat d'échec sur le plan pratique.

A côté de ces expériences animales, des essais de traitement de cancers humains ont été menés par ces mêmes équipes américaines. Malgré que le nombre de malades traités soit encore limité, les résultats acquis permettent de se donner une idée des directions dans lesquelles doivent être orientées les recherches.

Bien qu'à son début, le traitement des cancers par le laser ne soit pas entièrement décevant, des résultats souvent surprenants et inespérés ont été obtenus dans le cas de certains types de cancers. Ainsi trois guérisons ont pu être acquises. Par contre, pour la plupart il faut avouer que des recherches sont encore nécessaires avant de pouvoir utiliser cette nouvelle arme thérapeutique en toute quiétude.

Reste enfin l'utilisation du laser en odontologie.

A prime abord, étant donné la coloration de la carie dentaire tranchant sur la couleur blanche de la dent saine, il pouvait sembler intéressant de traiter ces caries par laser et un certain nombre d'expériences ont été faites utilisant essentiellement des lasers pulsés. Grâce à la focalisation du faisceau, en un ou deux tirs lasers, l'augmentation thermique obtenue au niveau de la carie était telle qu'elle entraînait une véritable volatilisation du tissu malade, une stérilisation de la cavité, une restructuration superficielle de ses parois, laissant la dent prête à être obturée. Une telle technique, extrêmement élégante, présente cependant un très gros danger qui en limite considérablement l'utilisation. En effet, le tir laser s'opérant dans une cavité semi-close, il en résulte la production d'ondes de chocs et d'ondes ultra-sonores qui se propagent dans la dent et détruisent le paquet vasculo-nerveux de

la pulpe dentaire. Les résultats des études anatomopathologiques, actuellement en cours aux U.S.A., sont sur ce point extrêmement démonstratifs montrant en particulier des dilacérations complètes de ce paquet vasculo-nerveux.

Est-ce à dire que cela condamne la technique ? Peut-être pas, si l'on peut utiliser, comme en chirurgie, les lasers continus dont la production d'ondes de chocs et d'ondes ultra-sonores est pratiquement négligeable ; mais cela nécessite de reprendre le problème à son point de départ.

Par contre, d'après des documents récents, le laser semble pouvoir présenter une application très intéressante en odontologie restauratrice. Une première technique consiste à prendre un hologramme de la cavité buccale du patient pour lequel doit être réalisée une prothèse. Cette photographie tridimensionnelle permet en l'absence du malade de fabriquer et d'adapter parfaitement cette prothèse à la cavité puisqu'à tout moment de sa conception on peut l'intégrer dans l'image virtuelle en relief de l'ensemble bucco-dentaire que donne l'hologramme.

La seconde technique, très proche de la première, permet de vérifier la qualité d'une prothèse en la testant sur l'empreinte dentaire du malade pour lequel elle a été effectuée. L'ensemble prothèse-empreinte est étudié de façon dynamique par holographie. Si la prothèse subit des déformations à la pression ou si elle présente des zones d'effort anormales, ces défauts apparaissent dans l'hologramme. L'étude précise de ce dernier permet de quantifier et de préciser les défauts de fabrication et par conséquent d'y remédier sans la présence du malade.

De telles techniques de conception simple devraient dans un très proche avenir aboutir à la réalisation d'appareils commercialisables.

Enfin, une équipe américaine a décrit la possibilité d'utiliser un laser pulsé au Néodyme pour réaliser des soudures de l'alliage nickel-chrome *in vivo* lors de la réalisation de couronnes dentaires multiples.

Dans le domaine de la biologie, c'est-à-dire du laboratoire, les lasers utilisés sont de faible puissance, de l'ordre de quelques mW et permettent des études fines en spectroscopie, dans la mesure des vitesses des particules et dans l'analyse de ces dernières.

En particulier deux néphélomètres lasers viennent d'être commercialisés. Ils permettraient aux dires des constructeurs, d'atteindre la précision des dosages radio-immunologiques. Cependant le recul est encore insuffisant pour savoir s'il faut apporter un crédit certain à ces affirmations.

Par ailleurs, des appareils expérimentaux existent pour étudier la vitalité du sperme (à l'Hôpital Bicêtre de Paris) ou la vitesse de déplacement des bactéries. L'amélioration de ce dernier appareillage devrait permettre, relativement rapidement, d'obtenir les anti-biogrammes dans des délais très brefs.

Les autres applications du laser en biologie sont

essentiellement orientées vers la recherche plus fondamentale.

Au terme de ce rapide tour d'horizon des applications médicales du rayonnement laser, comment pouvons-nous conclure ?

Si le laser a fait l'objet de nombreuses recherches en biologie, il n'en reste pas moins que les résultats obtenus jusqu'à présent ne constituent qu'un début. De très nombreux points de l'action biologique du rayonnement laser restent encore obscurs, voire inconnus.

Cette constatation explique que les applications médicales soient encore limitées : seule l'ophtalmologie peut bénéficier actuellement d'un appareillage parfaitement au point, efficace, fiable, commercialisé et d'un recul suffisant au point de vue expérimental et thérapeutique pour pouvoir utiliser le laser couramment. Encore faut-il que l'ophtalmologiste qui opère avec lui ait été formé spécialement pour l'utilisation de cette technique.

Pour les autres domaines de la médecine, les résultats obtenus sont très prometteurs. Dans certains cas, on peut même espérer aboutir à de véritables révolutions thérapeutiques. Mais, pour y parvenir, le chemin à parcourir est encore long. Il nécessite une expérimentation tenace et rigoureuse, scientifiquement contrôlée. Or celle-ci ne peut valablement être réalisée que grâce à la constitution d'équipes réunissant ingénieurs, biologistes, biophysiciens et médecins ayant à leur disposition un matériel suffisant, non périmé et un support logistique fermement établi. Dans ce cadre il est absolument indispensable de développer un programme cohérent de recherches et d'expérimentations portant à la fois sur les problèmes fondamentaux et sur les applications biologiques et médicales.

Ce n'est qu'à ces conditions que le laser sortira du domaine du film de science-fiction et de la presse à sensation pour devenir un outil journalier du médecin au service de la santé.