

35 Intérêts du laser femtoseconde

Ce dossier comprend :

- la présentation d'une application médicale de ce type de laser ;
- deux documents présentant des applications industrielles ;
- une vidéo présentant le laser femtoseconde.

▣ L'objectif de cet exercice est de rédiger une synthèse de documents afin de présenter les principaux intérêts du laser femtoseconde dans des applications très variées.

Le texte rédigé (de 25 à 30 lignes) devra être clair et structuré et reposera sur les différentes informations issues des documents proposés.

DOCUMENT 1. Présentation d'une application médicale du laser femtoseconde (ou présentation du laser femtoseconde)

Le laser femtoseconde a été inventé au début des années 80 et put être commercialisé dès 1990. La caractéristique principale de cet appareil est de travailler avec des impulsions extrêmement brèves, de l'ordre de la femtoseconde, soit 10^{-15} secondes (0,000 000 000 000 001 seconde). Cette faible durée d'impulsion permet d'éviter les effets thermiques. En effet le rayon laser est tellement bref qu'il ne peut pas faire bouger les atomes, il a en revanche comme effet d'arracher les électrons des atomes (ionisation) et donc de former des ions qui vont créer un plasma froid (mélange gazeux d'ions et d'électrons). L'énergie transférée aux électrons ne leur permet pas d'aller très loin, et on assiste à une recombinaison des ions dans un espace proche de l'ionisation. Il y a vaporisation de la matière, en la sublimant (passage de l'état solide à l'état gazeux). Cela va aboutir à la création de plus de 600 000 petites bulles de gaz contiguës.

Ce femto laser est un laser solide qui fonctionne dans l'infrarouge (1 053 nm), et qui permet une découpe améliorée du capot cornéen pratiquée dans la technique du lasik. Il offre même la possibilité d'une chirurgie sans instrument.

Ce laser agit dans un milieu d'amplification solide et créant en unité femtoseconde des mini spots espacés de 5 à 12 μm se rejoignant avec cavitation au sein du stroma cornéen (création de microcavitations contiguës). Les différents points de photodissection sont contrôlés par le repositionnement répété du foyer du laser. L'impulsion est courte: moins de 500 femtosecondes pour une puissance de 10^9 W.

La progression du tir s'effectue à partir de la charnière et va vers la profondeur avec une précision telle que la déviation standard théorique n'est que de ± 4 μm pour une déviation clinique de 12 μm ce qui est actuellement le système le plus précis. Une fois focalisé au plan choisi il se produit une rupture optique à basse énergie sans effet thermique ni de souffle dans le plan lamellaire prédéterminé. Il n'y a pas d'ablation de tissu mais micro dissection intra lamellaire par création de bulles mixant de l'eau et du carbone dioxyde. L'obtention de cet effet nécessite une grande vitesse photonique et des impulsions très denses pour permettre un claquage optique par activation du champ électro-magnétique en conservant des volumes plasmatiques et ioniques voisins. À partir du point focalisé de l'impulsion il se produit une onde provoquant la libération d'un gaz qui écarte les tissus, diffuse et se dilue en laissant à la fin de sa disparition une zone de mini ablation tissulaire. Le retentissement sur les couches tissulaires supérieures et inférieures est nul.

35 Intérêts du laser femtoseconde

Il y a une forte puissance de crête au niveau de l'impact, grâce à la faible durée de l'impulsion. On observe une absorption multiphotonique importante dans le matériau: le milieu transparent devient localement absorbant.

Ces techniques évoluent beaucoup actuellement dans différents domaines, ainsi la femtochimie a été récompensée par le Prix Nobel de chimie en 1999.

On a déjà travaillé sur des lasers qui délivrent des impulsions de durée encore plus brève, de l'ordre de l'attoseconde, soit 10^{-18} secondes (0,000 000 000 000 001 seconde). En dehors des difficultés importantes pour mettre au point ce type d'attolaser, les électrons recevant une très grande énergie vont être très accélérés et traverser des distances importantes. Ils seraient responsables de lésions organiques majeures (altérations de l'ADN, création d'ions oxydants), donc on peut penser qu'on ne s'en servira pas encore en médecine.

D'après le site Internet <http://www.snof.org/chirurgie/femtoseconde.html>

35 Intérêts du laser femtoseconde

DOCUMENT 2. Quelques applications du laser femtoseconde

- **Pouvoir observer des phénomènes très rapides** (comme la dissociation d'une liaison chimique entre deux atomes)

Quand on photographie quelqu'un qui bouge rapidement, la photo est floue. Toutes les positions successives apparaissent sur la photo sans que l'on sache dans quel ordre elles ont été adoptées. Si, en revanche, on dispose d'un obturateur très rapide, on peut faire une série de photographies et ainsi décomposer le mouvement. C'est ainsi que, grâce à la chronophotographie utilisant des appareils photographiques avec obturateur rapide, des mouvements comme le galop du cheval peuvent être décomposés.

Les impulsions femtosecondes jouent le rôle de l'obturateur rapide à une échelle de temps 10^9 à 10^{10} fois plus brève. On envoie ces flashes ultrabrefs de lumière pour sonder les propriétés optiques de la matière (transmission, réflexion, ...) à l'instant précis de l'arrivée de l'impulsion femtoseconde. Quand on veut observer, par exemple, un grand nombre de molécules, il faut qu'elles se trouvent toutes dans le même état sinon on aura un effet de moyenne (de flou). Pour synchroniser toutes les molécules, on utilise une impulsion plus intense, appelée « pompe », qui déclenche le processus physique qu'on veut étudier. Ensuite on fait arriver l'impulsion sonde à différents instants après le déclenchement du processus. Ces différents retards de la sonde par rapport à la pompe sont obtenus en faisant varier la longueur du chemin optique de la sonde. Comme la vitesse de la lumière vaut 300 000 km/s, en faisant parcourir à la sonde 30 μm de plus, elle arrivera 100 fs plus tard. En lui faisant parcourir 3 m de plus, elle arrivera 10 ns plus tard. Ce type d'expérience est appelé expérience pompe-sonde.

- **Concentrer beaucoup d'énergie en très peu de temps**

Grâce aux lasers femtosecondes, on peut exposer les matériaux à des énergies très élevées pendant des temps très courts et étudier leur propriétés dans ces conditions extrêmes. On peut ainsi rester en dessous du seuil de dommage des matériaux, ce qui ne serait pas le cas si on exposait les matériaux à ces niveaux d'énergie pendant plus longtemps.

- **Micro-usinage**

On peut également utiliser ces fortes concentrations d'énergie dans le temps pour le micro-usinage des matériaux. Dans le cas des impulsions femtosecondes, on évite l'échauffement des zones avoisinantes qui est inévitable lorsqu'on utilise des impulsions plus longues (1 ns = 10^{-9} s).

D'après le site Internet

<http://reseau-femto.cnrs.fr/squelettes/popups/popupVulgarisation.htm>

35 Intérêts du laser femtoseconde

DOCUMENT 3. Application industrielle du laser femtoseconde

Les lasers présents en milieu industriel sont surtout des lasers continus, de forte puissance moyenne, et produisant un rayonnement dont la longueur d'onde est dans l'infrarouge (par exemple laser à CO₂ de 3,5 W dans la société DESARMAUX-FAURIE). Il existe aussi des lasers à impulsions (comme les lasers à excimères, qui produisent un rayonnement dans l'ultraviolet).

Dans une impulsion laser on concentre l'énergie disponible dans un temps très court. La puissance atteinte est d'autant plus grande que l'impulsion est courte. On a donc intérêt à utiliser des impulsions très courtes. Il est possible d'atteindre aujourd'hui la dizaine de femtosecondes. L'énergie dont on peut disposer est capable d'usiner par ablation n'importe quel type de matériaux, même ceux qui restaient inaccessibles aux techniques laser. Une caractéristique importante est la période entre les impulsions, c'est à dire le temps qui s'écoule entre deux impulsions. Typiquement on peut atteindre une cadence de 1 00 impulsions par seconde.

L'interaction laser-matière en mode femtoseconde a des propriétés étonnantes, directement intéressantes pour les applications industrielles : l'interaction est athermique (c'est dire qu'il n'y a pas d'effets thermiques associés à l'interaction et donc pas d'altération des zones voisines de la zone traitée, pas de bavures d'usinage). La conséquence de cette propriété est qu'un tel rayonnement n'est pas adapté au soudage, domaine d'excellence des lasers de puissance.

**Extraits de l'article « Le laser femtoseconde en milieu industriel »,
Audouard, Laboratoire Traitement du Signal et Instrumentation,
Université Jean Monnet, Saint Étienne.**

<http://www.univ-st-etienne.fr/tsi/slaser/PFfemto/complements/OetP99.htm>

DOCUMENT 4. Le laser femtoseconde

La vidéo est disponible sur le site Internet :

<http://reseau-femto.cnrs.fr/squelettes/popups/popupVulgarisation.htm>

Elle est également disponible dans le manuel numérique enrichi Sirius T^{em}S.

Cette vidéo porte sur le principe du laser femtoseconde et ses applications, notamment dans le milieu de l'industrie. Cette vidéo est extraite du document vidéo réalisé par le laboratoire TSI, avec le soutien de MECAPOLE.