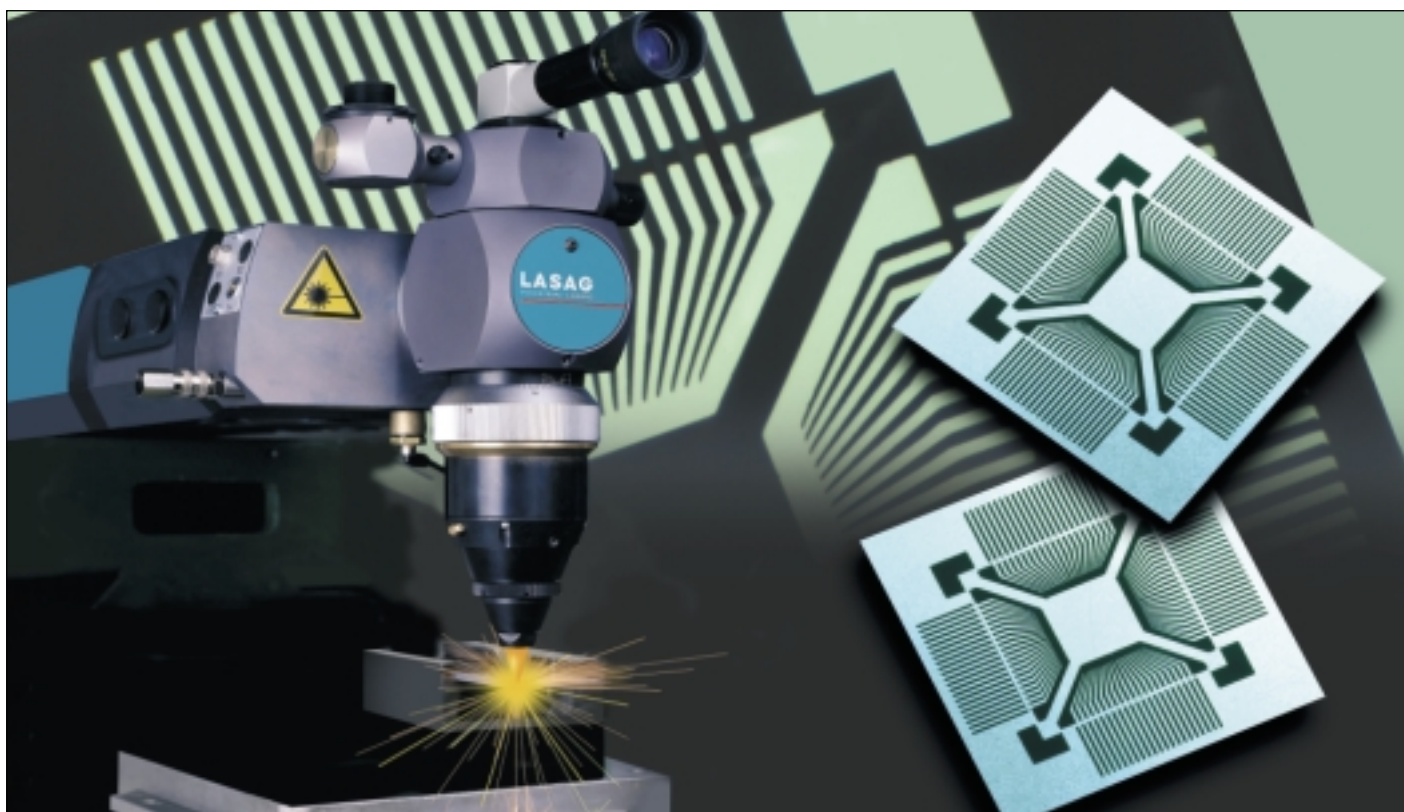


# Les atouts de l'outil laser lorsque la mécanique

Les nouveaux procédés inspirent des modes qui laissent penser qu'ils sauront tout résoudre... Le Par contre, les techniques laser sont aujourd'hui bien calées et ancrées dans des process d'atelier on sait ce qu'on peut leur demander. Or, le laser sait résoudre des problèmes d'usinage aux limites Quels sont les types de lasers ? Que peut-on justement leur demander ? Sur quels types de pièces ?



LASAG est un des principaux constructeurs de lasers industriels Nd:YAG servant au découpage, au soudage, au perçage, au marquage et à l'ablation de métaux ou d'autres matériaux. Source : LASAG

Le 20 septembre 2005, lors d'une matinée d'information de l'IREPA LASER qui a eu lieu à Illkirch sur le thème "Laser & Micro ingénierie", le responsable de production d'une PME de décolletage a sorti une pièce minuscule de sa poche et posé une question : "Y a t'il une possibilité technique d'effectuer une série de trous par laser, avec quel type de source, chez qui et pour quel prix ?" Cette question, nous l'avons entendue plusieurs fois lors du dernier salon Micronora. Le laser n'était pas explicitement cité, certains

évoquaient l'électroérosion, d'autres des solutions de micro-fraisage (voir encadré Steec), mais une chose est sûre, la tendance générale est d'aller vers la micro fabrication. Tous les procédés "macro" sont repensés et transposés pour le "micro" et le phénomène concerne à la fois les procédés d'assemblage, d'usinage et de traitement de surface. Les maîtres mots deviennent alors microsystèmes, microconnectique, micro-mécanique, microtechniques. Nous tenterons dans cet article de donner un début

de réponse à tous les mécaniciens, usineurs sous-traitants, décolleteurs, spécialistes du copeau, pour cerner les possibilités de solutions innovantes incluant des séquences laser, qu'ils pourraient proposer à leurs donneurs d'ordre.

Nous ferons référence pour cela au Livre Blanc du Ministère de la Recherche (2003) dressant un bilan national de l'Optique et de la Photonique en France, au sein duquel le Club Laser et Procédés (CLP) avait en charge les offres Optique dans les procédés

# traditionnelle démissionne

mot "laser" fait encore rêver !

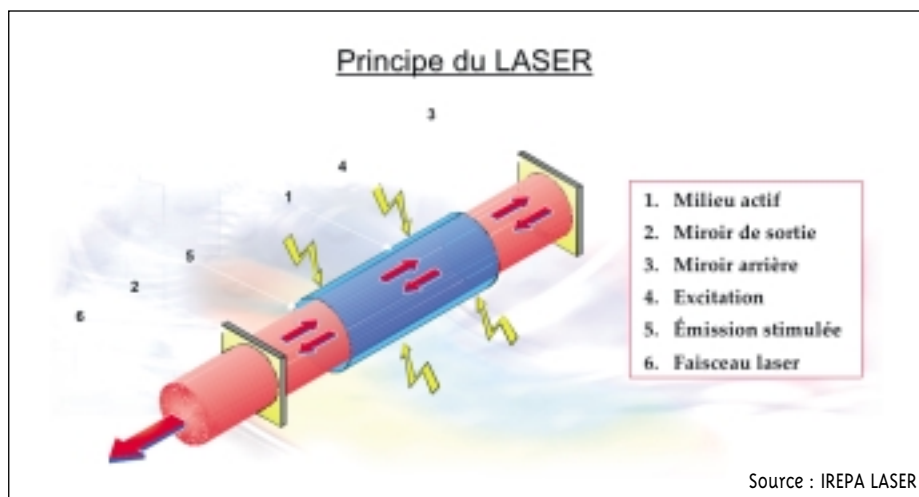
bien réels. Même si la recherche progresse, notamment du côté des lasers femtoseconde, de l'usinage traditionnel par enlèvement de copeaux.

Quels sont les couples matières/laser qui marchent ? Premières réponses...

de fabrication. Parallèlement, nous avons interrogé trois centres reconnus pour leurs compétences en termes d'usinage laser : l'IREPA LASER, le Centre d'Etude des Lasers Intenses et Applications (CELIA-PALA) de Bordeaux et le Laboratoire de Traitement du Signal et Instrumentation (TSI) de Saint-Etienne.

## Qu'est-ce qu'un laser ?

Le terme Laser est l'acronyme anglais de "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation". Le premier générateur de rayonnement mettant en œuvre la célèbre émission stimulée sera mis au point en 1954. Le perçage du rubis sera la première application industrielle du laser (1966) et en France, Moulinex sera la première société à utiliser le laser en production pour le soudage de panier à légumes (1974). Comment fonctionne un laser ? Schématiquement, il comprend un résonateur optique, un milieu amplificateur et une source d'énergie. La longueur d'onde du rayonnement laser (sa couleur) dépend de la nature du milieu amplificateur. L'apport d'énergie est assuré par un système de pompage externe à la cavité (décharge électrique, radiofréquence, lampe flash, diode laser ou laser de pompe). Il existe divers types de laser : CO<sub>2</sub>, Nd:YAG, argon, à colorant, à vapeur de cuivre, diode, femtoseconde. Parmi les technologies possibles, on distingue principalement, d'une part, les lasers à rayonnement continu (soudage, métrologie, instrumentation, visualisation...), d'autre part, les lasers



à rayonnement impulsionnel (usinage en général, télémétrie, télécoms, métrologie...) La durée d'impulsion varie de 10-3 à 10-14 seconde.

## Les avantages du laser pour la quête de miniaturisation

Le laser a longtemps été perçu comme un procédé de remplacement par rapport aux techniques d'usinage et d'assemblage plus conventionnelles. Les pièces, dont la fabrication fait appel au laser, sont de plus en plus optimisées vis-à-vis de ce nouvel outil de production et permettent d'en tirer au maximum profit. Le laser permet ainsi une réduction des temps de cycles et une réduction de la masse de la pièce. La qualité et la flexibilité de l'usinage laser permettent de s'affranchir de bons nombres d'étapes de pré ou post-traitement, de contrôle qualité dans un procédé de fabrication. En ce

sens, le laser apporte un réel gain sur des applications niches qui se justifient pour des considérations de faisabilité, de flexibilité, de rapidité, de gain en performance ou en coût.

Cette évolution concerne plusieurs secteurs industriels et selon John Lopez, chercheur au PALA-CELIA de Bordeaux, "les progrès récents sur les sources lasers laissent entrevoir des potentialités très attractives pour le marché du micro-usinage, en termes de faisabilité, qualité d'usinage, flexibilité et rapidité d'exécution. Le marché du micro-usinage croît progressivement depuis 7 à 8 ans. Malgré le faible nombre de sous-traitants, des applications niches s'affirment dans de nombreux secteurs de l'industrie. La précision et le fait d'usiner sans contact ouvrent la voie vers de nouvelles applications jusqu'alors inaccessibles en termes de dimensions, rapport de forme ou non-dégradation de la cible. Le laser permet de micro-usiner les matériaux ultra durs comme les matériaux ultra fragiles.

suite page 5

Les lasers à impulsions ultra brèves apportent les possibilités d'usiner n'importe quel matériau d'une part et de minimiser les effets collatéraux d'autre part. Le micro usinage laser est une des technologies-clé pour le futur. Il est en concurrence directe avec la micro électroérosion et l'usinage mécanique de précision".

### Découpe, perçage et micro-usinage laser

Le procédé de découpe laser est bien connu dans le monde de l'automobile avec les découpes de spoiler avant (SCGI), d'ouverture sur carrosserie automobile (PSA), de tubes pour assemblages mécano-soudés (GIAT). Mais on trouve également d'autres applications de découpe de film plastique pour emballage, de tissu kevlar, de plancher naval, d'échangeur thermique, des pré-découpes de céramique pour l'électronique (scribing), et des découpes ultra-fines de micro-pièces sur bandes d'acier... Le procédé consiste à réaliser une découpe partielle ou totale d'un matériau selon un motif prédéfini. On distingue la découpe 2D, dite "découpe à plat" et la découpe 3D pour des surfaces non planes. Les tôles fortes ( $e > 5$  mm) sont découpées à l'aide de lasers à

rayonnement continu ( $\text{CO}_2$  ou Nd :YAG) et les tôles fines ( $< 2$  mm) avec des lasers impulsions (Nd :YAG). Mais selon Emmanuelle Miquet, Chef de projet Micro-usinage IREPA LASER, "les lasers YAG sont préférés aux  $\text{CO}_2$  lorsqu'il s'agit de réaliser des découpes de précision, quelque soit l'épaisseur du matériau à découper".

Le perçage laser consiste à percer un matériau sous l'action d'un rayonnement laser, généralement pulsé, "à la volée", par détournage, par alésage ou par percussion. La gamme de diamètre s'étend de  $5 \mu\text{m}$  à  $5$  mm. Les lasers utilisés sont essentiellement de type  $\text{CO}_2$  ou Nd :YAG. Les technologies actuelles ne permettent pas de répondre à tous les besoins en termes de perçage profond ( $> 20$  mm), soit parce que le rapport de forme maximum est insuffisant, soit parce que la qualité du trou ne correspond pas à celle attendue. Pour John Lopez, "une des problématiques contemporaines non résolues est le perçage d'injecteur pour moteur automobile à injection directe".

Le micro-usinage laser permet de réaliser un motif dont les dimensions ou les tolérances sont à l'échelle du micron. On distingue 3 types de sources. Les lasers à rayonnement infrarouge, dits IR ( $\text{CO}_2$ , Nd:YAG), pour lesquels l'interaction avec la matière est ther-

### Steec spécialiste en multi micro-usinage

La société lyonnaise de micromécanique de précision, Steec, située à Brindas (69) a été nommée en mars dernier au salon de la sous-traitance Alliance 2005. Elle est caractéristique du multi-usinage. En effet, le micro-perçage rapide par des moyens conventionnels se fait à partir de  $0,3$  mm de diamètre jusqu'à  $60 \mu\text{m}$ . Pour des perçages en dessous de  $20 \mu\text{m}$  de diamètre, Steec utilise des lasers Yag aussi bien sur des matériaux métalliques que sur des céramiques ou sur du kapton. L'électroérosion autorise une découpe de très haute précision avec des fils ultrafins dont les diamètres sont compris entre  $30$  et  $70 \mu\text{m}$ . Enfin, la découpe à fil (WDC) de haute précision fait appel à des diamètres de fils compris entre  $0,1$  mm et  $0,25$  mm.

mique donnent un usinage rapide. L'épaisseur mise en jeu à chaque impulsion varie de quelques microns à quelques millimètres (densités de puissance  $10^6$  à  $10^9$   $\text{W}/\text{cm}^2$ ). Les lasers à rayonnement ultraviolet, dits UV (Excimère, Nd:YAG triplé ou quadruplé), pour lesquels l'interaction avec les matériaux organiques est principalement photochimique (on parle de photo-ablation). L'épaisseur de matière mise en jeu à chaque impulsion est micrométrique. L'usinage est donc plus lent. En contrepartie, la courte longueur d'onde donne accès à une meilleure résolution qu'en IR (densités de puissance  $10^9$  à  $10^{12}$   $\text{W}/\text{cm}^2$ ). Les lasers à impulsions brèves (picoseconde) et ultra-brèves (femtoseconde) pour lesquels la brièveté de l'impulsion minimise les effets collatéraux (essentiellement thermiques). Par abus de langage, on parle d'usinage athermique. L'épaisseur mise en jeu à chaque impulsion est là aussi micrométrique. La brièveté de l'impulsion permet d'atteindre des densités de puissance très élevées  $10^{12}$  à  $10^{15}$   $\text{W}/\text{cm}^2$ .

Le nouveau StarWeld Tool Open de la division Micro de Rofin propose des solutions laser pour le micro usinage (soudage, découpe et traitement de surface).

Source : Rofin



suite page 7

La découpe et le soudage  
représentent à eux seuls  
50% du chiffre d'affaire  
des procédés laser  
contre 15%  
pour le micro usinage  
Source : IREPA LASER



### Découpe de micro-pièces d'horlogerie

Impulsion SAS est implantée à Saint-Etienne depuis 2003. L'entreprise s'est créée autour de l'activité d'usinage par laser femtoseconde pour répondre à une demande industrielle. Hervé Soder, directeur, mentionne plusieurs types d'usinage : découpe de micro-pièces d'horlogerie d'épaisseur inférieure à 500  $\mu\text{m}$  et d'envergure 5 mm, découpe de stents pour des implants cardiaques dans le domaine de la santé, réalisation de guide d'onde optiques tridimensionnels dans des verres et polymères où le laser vient modifier l'indice de la matière et matérialiser le guide d'onde. Plus ponctuellement, il évoque des micro-perçages jusqu'à 20  $\mu\text{m}$  de diamètre sur différents types de matériaux.



Engrenage taillé au laser femtoseconde  
par Impulsions SAS. Source : Impulsions SAS

### Quelques applications du micro-usinage

Dans le domaine du micro-usinage, les applications les plus fréquentes sont celles de micro-perçage. Citons, par exemple les perçages d'aubes de turbines en aéronautique (Snecma, Turboméca, Rolls Royce), de trous de lubrification dans les pignons de boîte de vitesse (General Motors), des têtes de biberon, des trous borgnes (vias) sur circuit électronique multicouches, des têtes d'imprimante jet d'encre, des capots plastiques des micro-toximètres (Oldham). En ce qui concerne le perçage des trous d'injection des moteurs à injection directe, aucune application n'existe aujourd'hui. En effet, le mélange air-essence doit être propulsé à la façon d'un spray au travers de trous parfaitement calibrés et cylindriques. Des travaux sont en cours chez tous les

constructeurs souvent à base de lasers pompés par diode à impulsion ultra-brèves (de l'ordre de 200 kHz).

John Lopez précise que "le perçage à très haute cadence peut être fait par couplage d'un laser  $\text{CO}_2$  à très haute fréquence (10-100 kHz) avec un miroir polygonal en rotation rapide desservant alternativement plusieurs têtes à déflexion optique permet d'atteindre des cadences de perçage jusqu'à 250000 trous par seconde sur des films minces (polymère, feuillard métallique ou papier de 10 à 200  $\mu\text{m}$  d'épaisseur)". Ainsi, le micro-perçage laser du papier à cigarettes s'est généralisé (Papeteries de Malaucène notamment), car il permet d'accroître la perméabilité du papier à l'air.

Dans le secteur médical, la découpe de stents en alliage à mémoire de forme pour le traitement des lésions des artères coronaires (angioplastie) est aujourd'hui effectuée par laser Nd :YAG (et peut-être par laser femtoseconde dans l'avenir). Dans le secteur de l'emballage, la découpe facile des emballages alimentaires et médicaux reprend le principe du perçage haute cadence en facilitant une rupture (déchirure) propre et orientée du film. Dans le domaine de la micro-fluidique (pharmacie, laboratoire d'analyse, chimie fine), les micro-pilotes sont constitués de canaux, intersections, goulots d'étranglement, arborescences de 30 à 100  $\mu\text{m}$ . La gravure laser est complémentaire à la gravure chimique car elle permet notamment de remplacer les plaques de verre par des plaques de polymère.

### Quelques repères économiques

Pour l'usinage des matériaux, la part du laser dans le marché de la machine-outil est évaluée à 10%. En termes de chiffre d'affaires, la répartition par application est la suivante : 50% pour la découpe et le soudage, 30% pour le marquage et 15% pour le micro usinage, sachant que le micro usinage bénéficie de la plus forte croissance (15 à 20% par an). L'Europe concentre 40% des lasers pour l'usinage des matériaux contre 25% pour les Etats-Unis et 20% pour le Japon (données 2002). En France, on estime que 60% des lasers pour l'usinage des matériaux sont des lasers  $\text{CO}_2$ , 30% des lasers Nd :YAG (ou similaires) et 10% pour les autres types de lasers (Excimer, diodes, fibre, ions, femtoseconde).

suite page 9



Exemple d'usinage en surface sur un échantillon (le carré vert) détecteur de particules pour le CERN. On insole une résine photo-imageable avec un laser pour créer une micro-structuration de surface. Après révélation, on obtient un réseau de plots de 60 µm qui viendront supporter une grille métallique (électrode).  
Source : CEA/PLANI

## L'avenir promoteur des lasers femtoseconde athermiques

En définissant plus haut les types de laser, nous avons opposé les procédés "thermiques" (lasers IR CO<sub>2</sub>, Nd:YAG et diodes) aux "photochimiques" (laser UV) et aux athermiques (lasers pico et femtoseconde). Dans le premier cas, l'usinage est rapide, mais s'accompagne d'effets collatéraux type bavures, projections de métal en fusion, rugosité sur le chant de coupe, modification de la matière, apparition éventuelle de fissures. Ces dommages sont incompatibles avec la précision de l'usinage. En regard de cette limite des lasers thermiques, les lasers femtosecondes affichent clairement des potentialités intéressantes dans les domaines du micro-usinage et du marquage sur la plupart des matériaux. Pour John Lopez, "le principal avantage est l'absence de diffusion de chaleur pendant l'usinage. L'arrivée de sources industrielles fiables, et notamment de lasers femtoseconde pompés diodes, devrait permettre l'émergence de procédés industriellement viables dans les années à venir sur certaines applications niches".

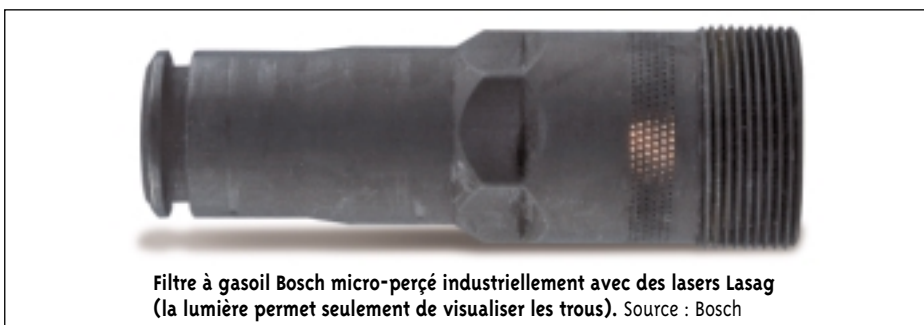
Eric Audouard, TSI Saint-Etienne, qui présentait les nouveaux procédés laser ultra brefs à Innov MECA en mars 2005, précisait qu'en France, il existe déjà deux fabricants de lasers à impulsions ultra-courtes

(Thales Laser et Amplitude Système) et deux plates-formes d'application des lasers femtoseconde (Saint-Etienne et Bordeaux) qui ont collaboré pour promouvoir et diffuser la technologie femtoseconde dans l'industrie. La société Impulsion (Saint-Etienne) fournit désormais des prestations de service de micro-usinage femtoseconde tandis que Novalase (Pessac) propose des modules de micro-usinage (voir les deux encadrés).

## Comment choisir le meilleur couple application/laser ?

Tout ceci étant dit, que peut-on conseiller à un "mécanicien" traditionnel qui voit arriver de plus en plus de pièces nouvelles avec des usinages complexes et qui se demande si le laser ne serait pas pertinent.

D'abord, il faut dire avec Eric Audouard que "le choix du type de laser adapté à l'application envisagée n'est pas forcément une question facile à résoudre". En effet, les paramètres à prendre en compte pour un traitement laser sont la puissance, le taux de répétition, la durée d'impulsion, la longueur d'onde, le profil d'intensité, le diamètre et la qualité du faisceau. L'ensemble de ces paramètres et la nature de la cible vont déterminer le type d'interaction et le résultat final du traitement laser.



Filter à gasoil Bosch micro-perçé industriellement avec des lasers Lasag (la lumière permet seulement de visualiser les trous). Source : Bosch

## Lasag et le "cracking" des bielles

Lasag qui fait partie du groupe suisse Swatch a environ 50 machines dans le monde qui réalisent une opération de "cracking" des bielles de moteur à explosion. Rappelons que les bielles comportent deux alésages, l'un (petit) qui vient se fixer à la tête du piston, l'autre (plus gros) se positionne "autour" du vilebrequin. La difficulté est de couper la bielle en deux, car avec le trait de scie, l'alésage n'est plus rond... Depuis une dizaine d'années, les constructeurs éliminent de 7 à 8 étapes de production en effectuant des "pointillés" par tir laser (pénétration entre 0,3 et 0,8 mm) sur le diamètre du gros alésage qui est ensuite "cassé" hydrauliquement, puis repositionné et fixé "autour" du vilebrequin avec précision. Michel Normandon, commercial Lasag Europe Ouest, mentionne également le perçage industriel des filtres à carburant. "Comme nos véhicules doivent répondre à l'appel de carburant lors de l'accélération, les constructeurs préfèrent augmenter le nombre de trous qui sont désormais très fins. Typiquement, sur les filtres gasoil, on fait environ 2500 trous de 80 µm percés à 200 trous/s et sur les filtres essence 2500 de 60 µm à 600 trous/s".



L'amorçage au laser de la rupture des bielles (cracking) permet une réduction du temps de mise au point et de production.

Source : LASAG

suite page 11



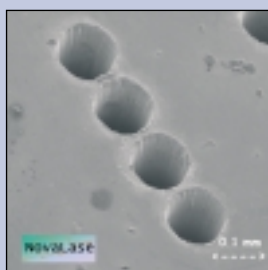
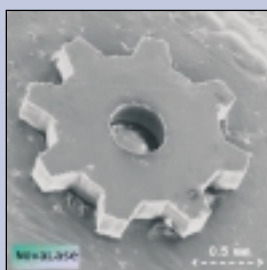
**Les lasers femtoseconde permettent la réalisation de travaux de très grande précision sans échange thermique.**

Source : Novalase

### **Des motifs de 10 µm à 1mm avec une résolution de 1 µm**

Novalase SA a été créée en septembre 2001 avec pour vocation l'industrialisation des procédés de micro-usinage par laser développés par la plate-forme CELIA-PALA, basés sur l'utilisation de sources laser à impulsions ultracourtes. Entre le fabricant de sources laser et l'industriel exigeant une solution, Novalase assure la réalisation de la machine adaptée qui sera mise au point et optimisée pour répondre précisément au besoin exprimé. La machine MUST 1010L est une station de travail qui intègre une source laser femto-

seconde travaillant à 10 KHz par ablation pure. Elle permet la réalisation de travaux de très grande précision sans échange thermique, sans dégradation périphérique et dans le respect des caractéristiques de la matière. Le micro-usinage par laser femtoseconde est caractérisé par 2 grandes propriétés : un travail par ablation directe de tous les matériaux et un usinage de grande précision. Ces technologies sont particulièrement adaptées à la réalisation de motifs de 10 µm à 1mm avec une résolution de 1 µm.



**Novalase réalise industriellement des perçages, des micro-usinages et des découpes fines par le biais de lasers femtoseconde.**

Source : Novalase

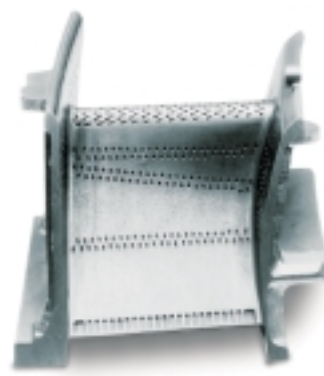
### **Micro-découpage de platines de montres**

C'est en développant ses propres sources pour l'activité traditionnelle horlogère de Cheval Frères que Laser Cheval situé à Pirey (25) a commencé à travailler en sous-traitance pour des clients demandeurs d'opérations de soudage, découpage et perçage laser. Dominique Cilia, directeur technique, cite entre autres, plusieurs applications de micro-découpe sur des platines de montres pour des PME d'horlogerie locales. "Il s'agit en général de petites séries en développements spécifiques, pour créer des ouvertures (dimension mini 40-50 µm) sur des pièces déjà usinées, pour lesquelles le laser (Nd :YAG) apporte, soit un "plus", soit une possibilité que d'autres procédés ne permettent pas".

Pour Emmanuelle Miquet, Chef de projet Micro-usinage IREPA LASER "d'une manière générale, le laser a tout son intérêt lorsque les motifs à usiner sont complexes et lorsque les pièces sont unitaires ou en petites séries. De même, si l'absence de contact entre la pièce et l'outil est nécessaire ou constitue un plus en termes techniques. Le laser se justifie également lorsque la zone à usiner est difficilement accessible par des moyens d'usinage conventionnels (encombrement des têtes d'usinage), lorsque les matériaux sont très durs (usinage de matériaux métalliques) ou si l'on souhaite minimiser les effets thermiques (usinage de matériaux non métalliques)". Elle ajoute qu'il est important de prévoir l'utilisation du laser dès la conception de la pièce.

Pour John Lopez, "les applications industrielles actuelles se justifient généralement pour des considérations de faisabilité (applications nouvelles) ou de performance (la qualité d'usinage requise n'est atteinte que par cette technologie). La tendance à la miniaturisation conduit à un développement inévitable du marché du micro-usinage laser".

Eric Audouard constate que l'engouement



**Les aubes et distributeurs de turbines en aéronautique (Snecma, Turbomeca) sont micro-perçés de trous droits et inclinés.** Source : LASAG

des utilisateurs de machines outils dites classiques pour des machines outils lasers a été possible pour les utilisateurs grâce à la baisse des prix de ces technologies. Cependant, "la tendance demeure majoritairement à l'externalisation. La majorité des fabricants confient en effet l'usinage ou le micro-usinage de leurs pièces à des entreprises spécialisées dans ce type de services".

Jean-Yves Catherin