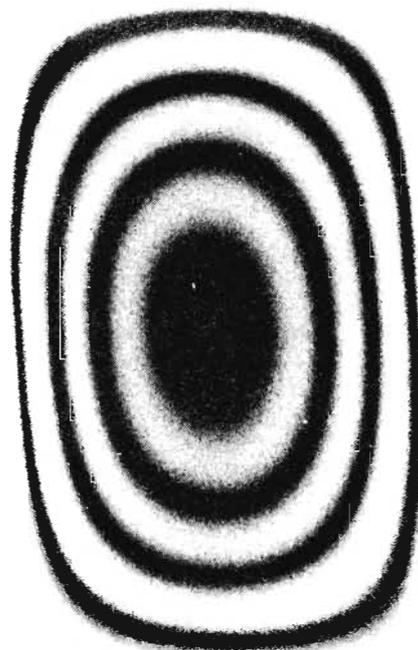


LES LASERS

Marc FERRETTI



ILS PERCENT, SOUDENT, DÉCOUPENT.

POUR la communauté internationale, l'année 1973 marquera le début d'une ère de crise de l'énergie; pour la communauté des « laseristes », cette même année marquera l'écllosion d'un nouveau marché potentiel : celui de l'énergie, justement. C'est en effet dans le secteur de l'énergie, que les ventes de lasers font les progrès les plus rapides : alors qu'en 1972, les investissements, pour la fusion thermonucléaire déclenchés par laser, et pour la séparation, par laser, d'isotopes fissiles, s'élevaient à 10 mégadollars, en 1973, ces investissements ont été presque quadruplés (37 mégadollars); en 1974, ils dépasseront 48 mégadollars, soit près de 18,7 % de l'ensemble des dépenses en lasers, produits annexes et services associés.

Le taux d'expansion de toute l'industrie des lasers, en 1973, a atteint un niveau record puisqu'il a été de 22,8 % (total des ventes : 220,3 mégadollars). Selon la revue américaine « LASER FOCUS », le taux devrait être ramené, en 1974, à 16,4 % (soit un montant de ventes voisin de 256,6 mégadollars), l'industrie des lasers parvenant à maturité.

Dans un tel contexte, le secteur industriel paraît avoir un taux



Photo 1 a.

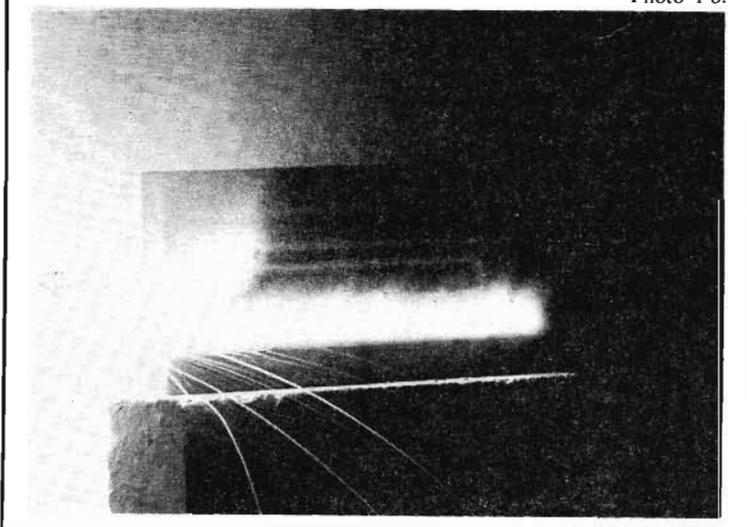


Photo 1 b.

d'expansion relativement faible, puisqu'il n'atteindra, en 1974, que 11,1 %. Au sein de ce secteur, l'expansion des ventes en matériels à lasers destinés au travail des matériaux est relativement élevé : elle s'élèvera, cette année, à 13,5 %.

LE LASER PENETRE EN USINE

Les progrès depuis quelques années, dans la mise au point des systèmes à lasers et la recherche de performances accrues, rendent possibles leurs utilisations industrielles, pour le travail des matériaux : soudage et coupage des métaux, perçage de pierres et de matériaux réfractaires, coupage de matières plastiques, bois, tissus, matériaux composites.

Le laser s'impose en effet, dans ces diverses applications : par des conditions particulières (par exemple, lorsque l'on ne peut pas avoir d'accès électriques aux pièces à souder, ou quand il faut travailler à l'air libre);

— par l'absence de pression mécanique exercée sur les pièces,
— par la densité de puissance et la précision de l'impact : on peut ainsi disposer de 1 000 kW/mm², sur un diamètre d'impact de quelques dizaines de microns;

— enfin, par l'absence de tensions ou de déformations dans le

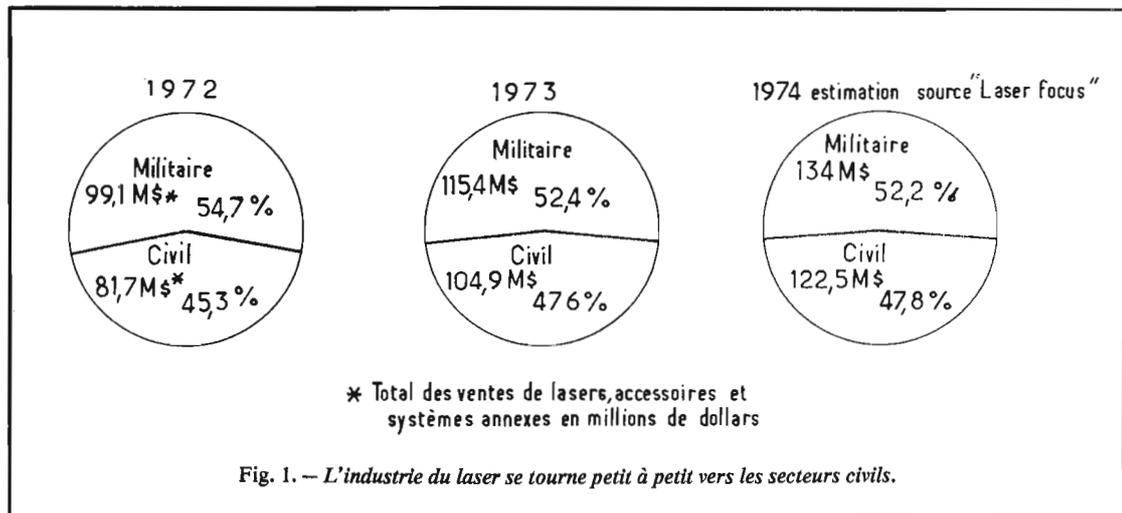
matériau usiné (la pièce chauffe peu).

Chacune des applications envisagées, fait appel à un type donné de laser, en fonction de ses performances et de certains critères économiques. En ne considérant que l'aspect technique, le choix sera établi à partir de diverses caractéristiques, telles que régime de fonctionnement (continu ou pulsé), mode d'excitation (lampes flash ou décharges électriques), longueur d'onde émise (sans tenir compte de la manière dont les matériaux absorbent les radiations), puissance (dans le cas de lasers continus) ou énergie (cas de lasers pulsés) à laquelle doit être associée la cadence des répétitions des tirs et la durée des impulsions.

Il existe deux classes de lasers utilisés pour le travail des matériaux : ce sont les lasers solides et les lasers à gaz.

Une source laser solide comprend un barreau cylindrique usiné dans une matrice neutre, supportant les ions actifs qui constituent le dopant; le barreau est soumis au rayonnement lumineux d'une lampe en régime d'arc, étroitement couplée, optiquement, avec le barreau. Sous l'effet du rayonnement, les ions actifs subissent un pompage optique. Si l'émission de la lampe excitant le barreau est continue, et suffisamment intense, l'émission du laser est continue; cependant, différentes conditions sont nécessaires pour la réalisation de lasers solides, travaillant en régime continu : la puissance nécessaire pour maintenir « l'inversion de population », doit être compatible avec la puissance des lampes, disponibles actuellement; la dépense d'énergie doit être économiquement acceptable; enfin, la matrice doit pouvoir évacuer rapidement les calories libérées par la lampe de pompage. Ces diverses conditions éliminent la possibilité d'obtenir industriellement, l'émission continue à partir des lampes à rubis (alumine dopée au chrome), et ses lasers à verre dopé au néodyme. Seuls les lasers utilisant une matrice en grenat d'yttrium-aluminium, dopée au néodyme, peuvent fonctionner en régime continu, ces derniers sont souvent désignés par l'acronyme YAG, abréviations de leur dénomination anglaise (yttrium-aluminium garnet).

Schématiquement, le laser d'usage, à solide, est constitué par un barreau de 10 mm, environ, de diamètre, de longueur voisine de 200 mm, placé dans une cavité optique résonante. Le faisceau lumineux parallèle émis est foca-



lisé, de manière à obtenir une grande concentration d'énergie, sur des surfaces extrêmement faibles (diamètre limité à quelques microns). Ce type de lasers sera préféré pour des travaux ponctuels ou de très faible longueur :

- soudage bord à bord, ou par recouvrement de pièces fines (de 10 microns à 2 millimètres d'épaisseur) : containers nucléaires, capsules diverses,
- soudage de composants électroniques (éléments de relais, capots de transistors, cadres de galvanomètres),
- soudage des fils fins et des fils émaillés, sans décapage préalable entre eux (sur broches, bobines, etc.),
- soudage, en horlogerie, de ressorts spiraux,
- perçage de pierres (rubis, diamant, céramique) : trous de 10 microns à 0,8 mm de diamètre, sur 1 à 4 mm d'épaisseur,
- perçage de métaux (gicleurs, fente de spectrographe...): trous de 10 microns à 0,8 mm sur 1 à 2 mm d'épaisseur,
- ajustage de résistances,
- trempe localisée;
- enlèvement de matière (pour équilibrage de pièces en rotation).

A l'Université de Munich, Gunther NATH a eu l'idée d'associer un laser YAG fonctionnant par impulsions et un faisceau de fibres optiques. Ces fibres optiques ont la propriété de conduire la lumière, d'une extrémité vers l'autre extrémité, sans qu'il y ait de pertes lumineuses latéralement. Ainsi, avec un faisceau de 1,4 m, et de diamètre égal à 10 mm, NATH a pu conduire les impulsions lumineuses émises par le laser YAG, vers une lentille optique de 2,5 cm de distance focale. Au foyer de la lentille, le spot lumineux avait un diamètre de 0,3 mm; avec deux (telles) lentilles optiques, on peut atteindre un dia-

mètre de 50 microns. Ce système pourrait avoir des applications autres qu'industrielles : en médecine par exemple, il servira de scalpel électronique.

LE LASER A GAZ MOLECULAIRE : VERS LES FORTES PUISSANCES

La technologie est ici différente de celle des émetteurs précédents. Un laser à gaz moléculaire est constitué par un tube contenant un mélange d'anhydride carbonique (CO₂), d'azote et d'hélium, sous pression réduite (quelques millimètres de mercure). On établit une différence de potentiel de plusieurs kilovolts entre les extrémités du tube au moyen d'électrodes annulaires, entretenant ainsi une décharge électrique, analogue à celles réalisées à l'intérieur des tubes d'éclairage au néon. Les molécules d'azote sont d'abord excitées par collision avec les élec-

trons mis en mouvement par le champ électrique; les molécules de CO₂ possédant un état excité dont le niveau énergétique est voisin de celui des molécules d'azote, un mécanisme analogue à celui qui régit les phénomènes de résonance entraîne un transfert d'énergie des molécules d'azote vers les molécules de CO₂, ces dernières se trouvent alors excitées et lors de leur désexcitation, se produit l'effet laser. L'hélium sert d'intermédiaire dans les phénomènes d'excitation.

La focalisation d'un faisceau lumineux est fonction de la longueur d'onde, la dimension limite de la tache focale, fixée par les lois de la diffraction, est d'environ 1,2 fois la longueur d'onde : un faisceau optique émis par un laser dopé au néodyme, dont la longueur d'onde est de 1,06 micron, pourra être localisé sur un diamètre dix fois plus petit que le faisceau d'un laser à CO₂, dont la longueur d'onde est de 10,6 microns. A puissance égale,

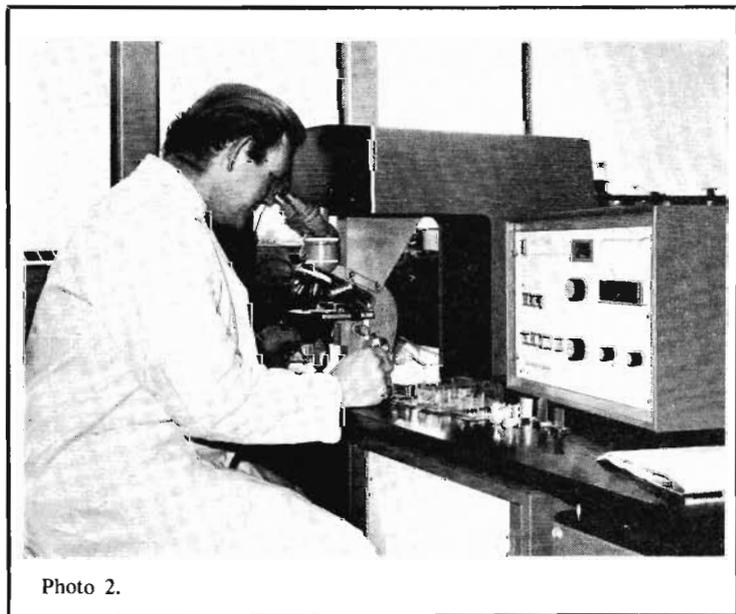


Photo 2.

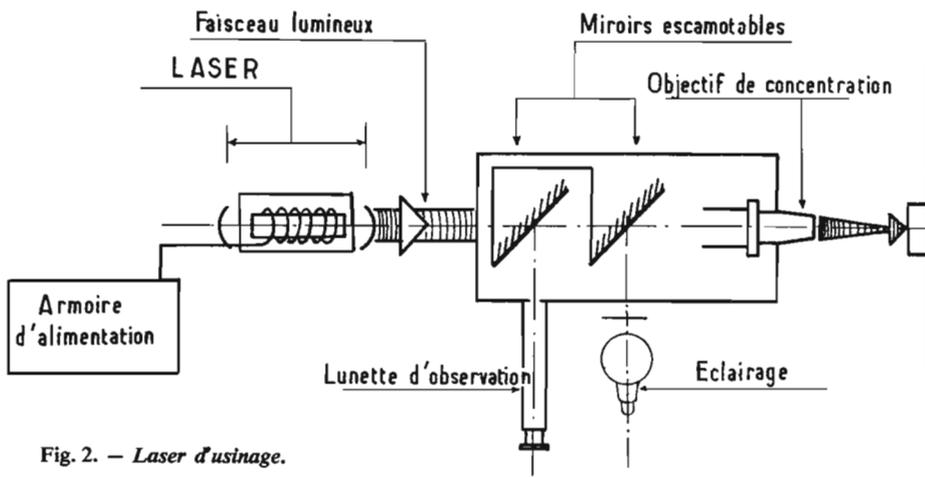


Fig. 2. — Laser d'usinage.

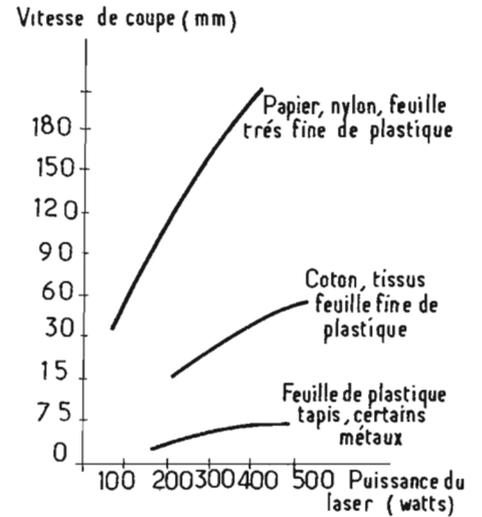


Fig. 3. — La vitesse de coupe est fonction de la puissance du laser et de la nature du matériau à découper.

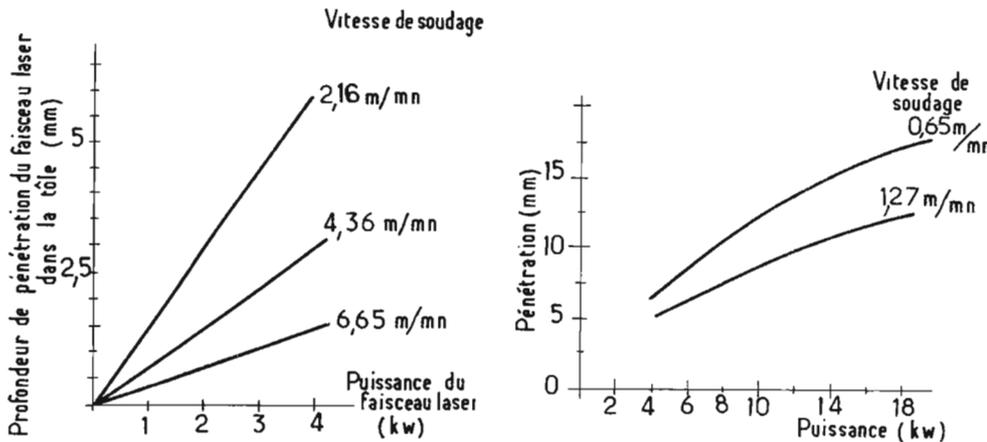


Fig. 4. — Le soudage par lasers de tôles d'acier. — a. aux moyennes puissances. — b. aux grandes puissances.

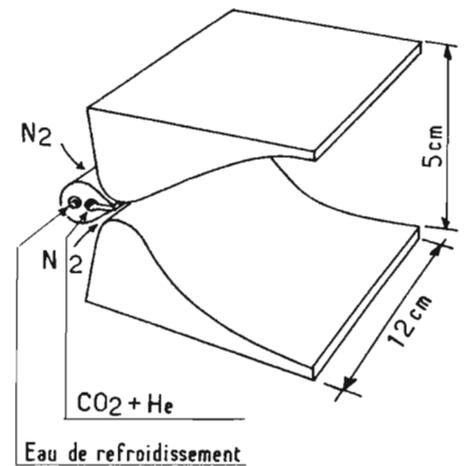


Fig. 5. — Le laser thermique de l'ONERA. On injecte un mélange gaz carbonique-hélium au col de la tuyère alimentée en azote chauffé (2 000 à 4 000 °K) et sous pression (10 Atmosphères).

la densité d'énergie, par unité de surface, est dans le rapport 100 : pour disposer de fortes densités d'énergie, on doit réaliser des lasers à gaz de grande puissance.

En outre, si l'on peut espérer obtenir une saignée de largeur comprise entre 2 et 5 microns dans une couche mince avec un laser YAG, il est exclu d'obtenir une saignée de longueur inférieure à 20, voire 50 microns, sur le même matériau avec un laser à CO_2 , en raison de la différence des longueurs d'onde (donc de focalisation).

La puissance recueillie, avec un tel laser, peut atteindre plusieurs centaines de watts, avec un rendement (environ 20 %) très supérieur à celui des lasers solides. Elle est proportionnelle à la longueur du

tube à décharge, qui peut être replié sur lui-même pour donner à l'ensemble, des dimensions plus réduites, et compatibles avec les besoins industriels.

Les applications les plus développées relèvent, pour la plupart, du découpage des matériaux. Dans le cas des métaux, le découpage s'effectuant en présence d'un jet d'oxygène qui altère la surface du métal, l'inconvénient du pouvoir réflecteur des métaux à la longueur d'onde du laser (10,6 microns) ne se fait pas sentir, cette même longueur d'onde devient un avantage pour le travail sur les matériaux non métalliques : verre, plexiglass, qui sont parfaitement absorbants pour 10,6 microns, alors qu'ils transmettent, sans le moindre chauffe-

ment, les longueurs d'ondes plus courtes. Il est évident que le caractère continu des lasers à CO_2 les destine tout naturellement au travail en continu des matériaux : usinage, soudage, découpage de matériaux très divers. Ainsi, avec un laser de 250 W, on peut couper :

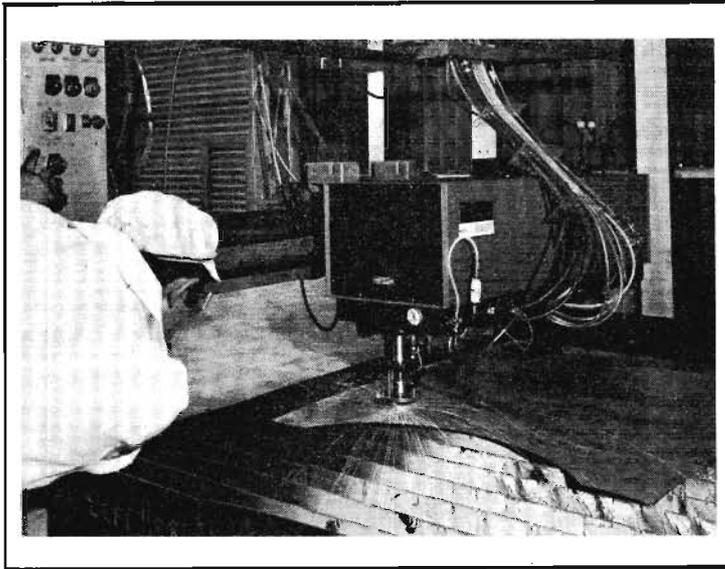
- du bois, à la vitesse de 5 m/mn, sur une épaisseur de 18 mm;
- du plexiglass, à des vitesses pouvant atteindre 5 m/mn, sur une épaisseur de 30 mm;
- des aciers, vitesse : 3 m/mn, épaisseur : 4 mm;
- des textiles, vitesse : 5 m/mn, épaisseur : 10 mm.

L'évolution actuelle, dans le domaine des lasers industriels à gaz carbonique, consiste à accroître les puissances installées. Deux

constructeurs américains d'automobiles ont d'ores et déjà, introduit de tels lasers sur leurs chaînes de production : Général Motors équipe ses chaînes d'un laser de 1 200 W, construit par Photon Sources Inc., tandis que Ford Motor Company a commandé, auprès de la division Hamilton Standard, de l'United Aircraft Corp., un laser de 4 à 5 000 W pour le soudage de tôles métalliques destinées aux châssis d'automobiles.

Chez Avco Everett Research Laboratory, on a mis au point un laser électrique de 10 kW, dénommé HPL-10, dont le premier modèle a été installé chez Caterpillar Tractor Co.

L'intérêt des grandes puissances optiques a été analysé par le labo-



ratoire d'AVCO, qui, dans ses recherches expérimentales, a fait appel à un laser thermique pour des puissances supérieures à 14 kW. Dans un tel laser, on uti-

lise la détente hors d'équilibre d'un mélange azote-gaz carbonique-hélium dans une tuyère. En France, l'ONERA a étudié un laser semblable sous contrat de la

DRME, une amélioration de la technique, proposée par l'ONERA, consiste à chauffer l'azote seul, puis à effectuer le mélange légèrement en aval du col de la tuyère. De cette manière, les pertes de désexcitation sont fortement réduites, il est alors possible d'augmenter la température des gaz arrivant à la tuyère (elle est de 1 500 °C, environ dans les lasers thermiques à gaz pré-mélangés), donc d'accroître le rendement (on obtient alors des rendements qui sont 3 à 4 fois supérieurs à ceux réalisés par les lasers pré-mélangés).

Marc FERRETTI

- « Applications des lasers au travail des matériaux » par J. BASTIEN
Communication faite aux journées d'études des applications matérielles des lasers (novembre 1970)

- « L'usinage au laser » par P. RAVASSIN
La Machine Moderne (février 1973).

- « Applications du laser en soudage et en usinage » par J. BASTIEN
Soudage Technique Connexes, n° 11/12 (nov.-déc. 1971).

- « Applications du laser CO₂ en soudage » par M. BECHE
Communication présentée à la Société des Ingénieurs Soudeurs (janvier 1971).

ON LIRA AVEC INTERET...

- « Le travail aux faisceaux » par Eric CATIER
Traitements de surface, n° 122 (mai 1973).

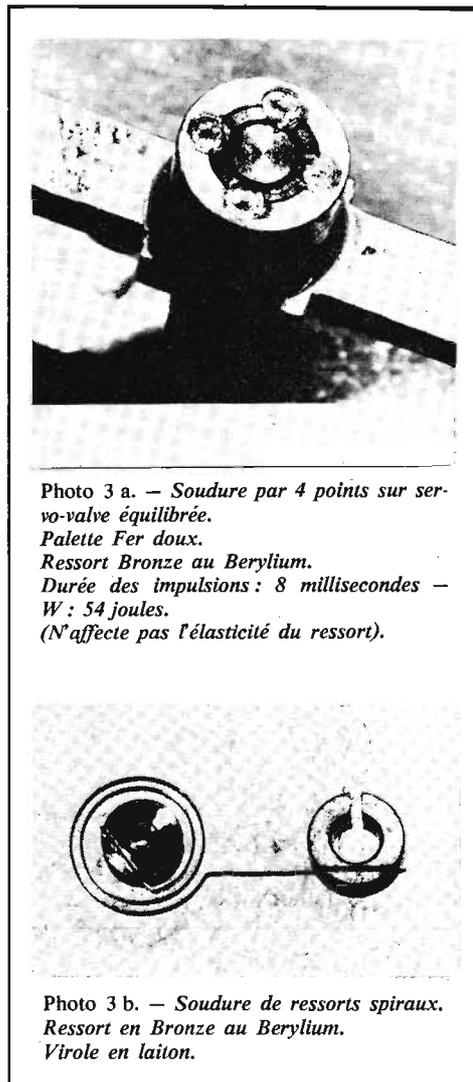


Photo 3 a. — Soudure par 4 points sur servo-valve équilibrée.
Palette Fer doux.
Ressort Bronze au Beryllium.
Durée des impulsions : 8 millisecondes —
W : 54 joules.
(N'affecte pas l'élasticité du ressort).

Photo 3 b. — Soudure de ressorts spiraux.
Ressort en Bronze au Beryllium.
Virole en laiton.

TABLEAU I— LES LASERS INDUSTRIELS POUR LE TRAVAIL DES MATERIAUX

Type de lasers	Mode de fonctionnement	Matériaux constitutifs	Source d'excitation	Longueur d'onde (microns)
gaz	continu	CO ₂	décharge	10,6
	pulsé	CO ₂	décharge	10,6
	continu	YAG	arc au krypton	10,6
Solides	pulsé	YAG	flash	10,6
		verre	flash	1,06
		rubis	flash	0,6943
Puissance maximale (watts)	Energie maximale (joules)	Durée de impulsions (millisecondes)	Cadence maximale (Hz)	
plusieurs kilowatts	10	10	7	0,3
		2	0,5	
		0,2	1	
		0,5	20	
		0,5	30	
				3
				0,5 à 10
				1 à 10

TABLEAU II— LES EMPLOIS DES LASERS A SOLIDE EN REGIME PULSE

Industrie horlogère	Industrie électronique
<ul style="list-style-type: none"> • Soudage de ressorts spiraux sur leur moyeu. • Perçage de rubis de montres. • Equilibrage de balanciers de montres. 	<ul style="list-style-type: none"> • Soudage de fils sur pièces massives : <ul style="list-style-type: none"> — fils de cuivre émaillé sur contacts massifs en bronze ou laiton. Le laser permet de ne pas décaper l'émail avant soudage, — réalisation d'un pont résistif en fil de nickel-chrome entre deux broches en bronze. • Soudage de fils entre eux : <ul style="list-style-type: none"> — soudage de thermocouples, — soudage de fils bout à bout, ou en croix. • Usinage de couches minces ou épaisses (circuits hybrides) : <ul style="list-style-type: none"> — ajustage de résistances déposées par sérigraphie (épaisseur des couches : 10 à 20 microns). — Ajustage de résistances déposées sous vide (épaisseur des films : 0,05 micron).
Micro-mécanique	
<ul style="list-style-type: none"> • Soudage d'aimants en Ticonal sur des pièces en fer, pour constituer des microrelais. • Perçage de filières en diamant, en céramique, en carbure... • Assemblage par cordon étanche d'un feuillard métallique (épaisseur : 0,05 à 0,5 mm) sur une pièce massive. • Equilibrage de rotors. 	

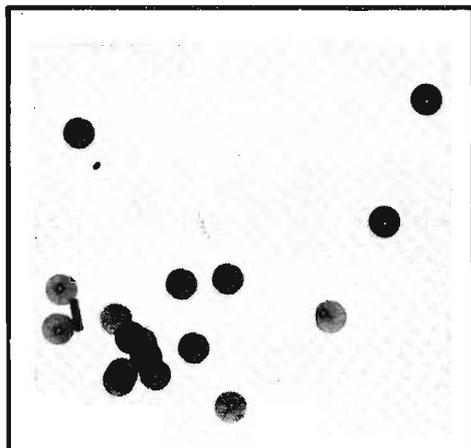


Photo 3 c. — Perçage de rubis (pivots de montre).
Épaisseur : 0,7 mm.
Perçage en 2 tirs.
Diamètres variants de 50 à 100.

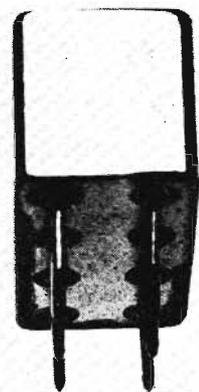


Photo 3 d. — Soudure étanche sur relais hermétique.
Embase ferronickel 52 % — 48 %.
Capot Cupronickel 50 % — 50 %.
Temps : 8 millisecondes — W : 55 joules.
Pas : 0,2 mm.

TABLEAU III— LES LASERS A CO₂ DE GRANDE PUISSANCE

Ils permettent de souder ou de découper rapidement des tôles épaisses

Emploi	Classe de puissance des lasers	Matériaux	Epaisseur (mm)	Vitesse d'usage (m/mn)
Découpage	37,5	Béton	8 000 W	0,05
	25	Plexiglass		1,5
	12,5	Aluminium	15 000 W	2,25
	8	Composite exosy-bore		1,6
	4,7	Acier inoxydable	1,25	
Soudage	12,5	Epoxy armé de fibres de verre	20 000 W	4,5
	9,5	Verre		1,5
	1 à 2		4 000	5 à 10
	8,75	Acier inoxydable	8 000	0,75
	12,5		20 000	2,5
	20			1,25

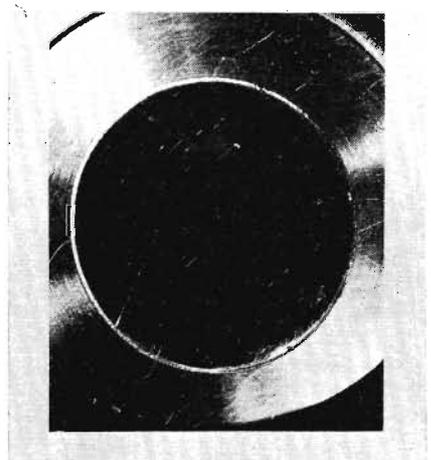


Photo 3 e. — Soudage étanche, sans déformation, avec recuit minimum, d'une membrane d'acier inoxydable d'épaisseur 0,07 mm sur une douille massive du même matériau.
Énergie : 0,8 joule. Durée des impulsions : 8 millisecondes.
Pas : 0,15 mm.