

LES

LASERS

# LA FUSION PAR LASER

(SUITE VOIR N° 1429)

L'INDUSTRIE des lasers est effervescente, changeante : les découvertes succèdent aux découvertes, aux innovations font suite d'autres innovations : conférences et expositions apportent leurs propres faits divers, et modifient constamment l'actualité dans le monde des lasers. De sorte que les écrits se trouvent, eux aussi, rapidement dépassés, démodés.

Ainsi, la plus faible largeur d'onde produite par un laser vient d'être abaissée de 0,1161 à 0,1098  $\mu$ , avec, simultanément, un accroissement très net de la puissance : 5 kW/cm<sup>2</sup>, contre 0,5 kW/cm<sup>2</sup> à 0,12  $\mu$ . L'expérience a été réalisée par R.W. Dreyfus et R.T. Hodgson, des laboratoires IBM (ils étaient également les détenteurs du précédent record de basse longueur d'onde), avec divers gaz (hydrogène, deutérium), excités par un faisceau électronique de 4 GW.

Les besoins en lasers de grande puissance ont marqué profondément les militaires américains, qui ont révisé leurs priorités en matière de recherches et développements : on ne parle, certes plus, de lasers en semi-conducteur

de grande puissance, fonctionnant à la température ambiante, faute de résultats concrets. Par contre il est fortement question de sources accordables. Les priorités se portent en effet, maintenant, sur :

- Les lasers de grande puissance, susceptibles d'être accordés, même sur une faible largeur spectrale (quelques centaines d'ångström), autour d'une longueur d'onde située dans le proche infrarouge (3,7 ou 1,2  $\mu$ ), et non plus à 10  $\mu$ .

- Les lasers accordables dans le spectre vert, avec suffisamment de puissance pour être utilisés dans les communications et dans la recherche sous-marine.

- Des sources de grande puissance, à base de fluorure, voire d'holmium, travaillant à des longueurs d'onde supérieure à 1,3  $\mu$ , pour la constitution de télémètres et autres détecteurs infrarouges.

- De nouvelles substances pour lasers, et en particulier certains halogénures (HF, DF, HCl) excités électriquement.

- Des systèmes économiques émettant entre 0,3 et 0,35  $\mu$ .

En U.R.S.S., l'influence des

techniciens en lasers s'est accrue récemment par la nomination de Nikolai G. Basov au poste de directeur de l'institut de physique Lebedev, et de R.V. Khokhlov à la fonction de recteur de l'université de Moscou. Un poste est vacant à la tête de la

branche scientifique de l'Institut de l'énergie atomique, où l'on travaille sur la fusion thermonucléaire contrôlée : un choix logique pourrait être la nomination d'un autre nom du monde des lasers, celui de A.M. Prokhorov.

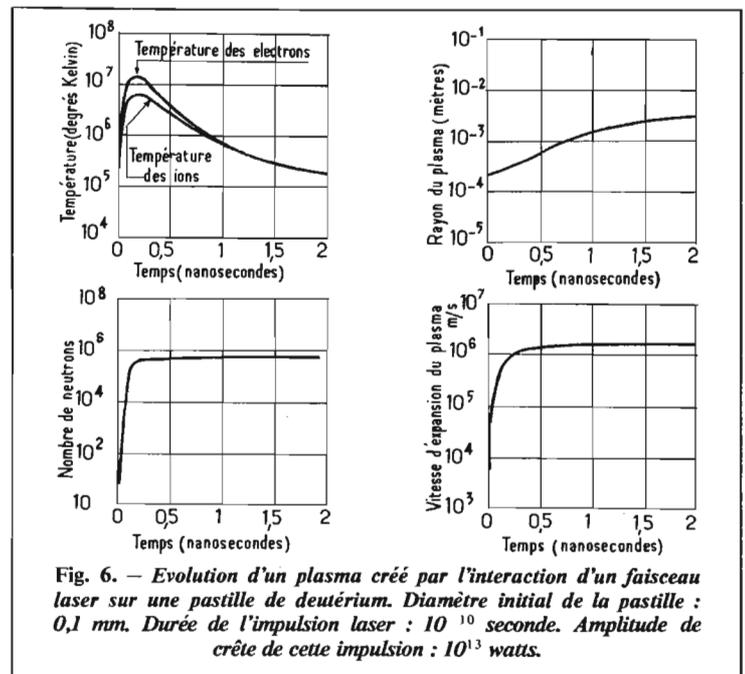


Fig. 6. — Evolution d'un plasma créé par l'interaction d'un faisceau laser sur une pastille de deutérium. Diamètre initial de la pastille : 0,1 mm. Durée de l'impulsion laser :  $10^{10}$  seconde. Amplitude de crête de cette impulsion :  $10^{13}$  watts.



plasmas denses, en expansion (Fig. 6) : après quelques nanosecondes, le plasma est trop dilué pour absorber l'énergie laser incidente.

Le processus de chauffage par laser d'un plasma ne sera donc efficace que si l'impulsion laser a une durée supérieure à celle du transfert d'énergie entre électrons et ions (soit un centième de ns), et inférieure à la durée d'expansion utilisable (quelques nanosecondes). Ainsi, un laser délivrant une impulsion de durée comprise entre ces deux limites, par exemple égale au dixième de ns, conviendra parfaitement.

Les premiers calculs ont montré que l'énergie libérée au cours de ce processus sera supérieure à l'énergie fournie au plasma, si le faisceau laser possède une énergie de 100 à 1 000 kJ..., les lasers actuels ne produisant guère que quelques kilojoules, il semblerait vain de poursuivre dans cette voie pour la découverte de nouvelles sources d'énergie.

### UNE LUEUR D'ESPOIR CEPENDANT...

Néanmoins, rien n'est joué, la bataille pour la fusion par laser est loin d'être perdue. Lors de la septième Conférence internationale sur l'électronique quantique, tenue à Montréal à la mi-72, Edward Teller, du Lawrence Livermore Laboratory mentionnait une technique capable d'abaisser considérablement l'énergie minimale à fournir au plasma par les lasers, pour que le processus de conversion thermonucléaire ait un rendement positif. Il est en particulier suggéré d'augmenter la densité du plasma à un niveau dix mille fois supérieur à la densité de l'hydrogène liquide, en déclenchant, au moyen du laser, une implosion sphérique, dans une sphère d'un mélange de deutérium et de tritium liquide. Une couche sphérique de très forte température serait alors créée à la surface de la sphère, en produisant des pressions de plusieurs dizaines ou centaines de millions d'atmosphères. Cette méthode, analysée par John L. Emmett et John H. Nuckolls, permettrait de réduire d'un facteur égal à 10 000 environ, l'énergie minimale requise des lasers : ainsi, avec un laser délivrant un faisceau d'énergie comprise entre 10 et 100 kJ, il serait possible de déclencher un processus thermonucléaire efficace, c'est-à-dire ayant un rendement positif.

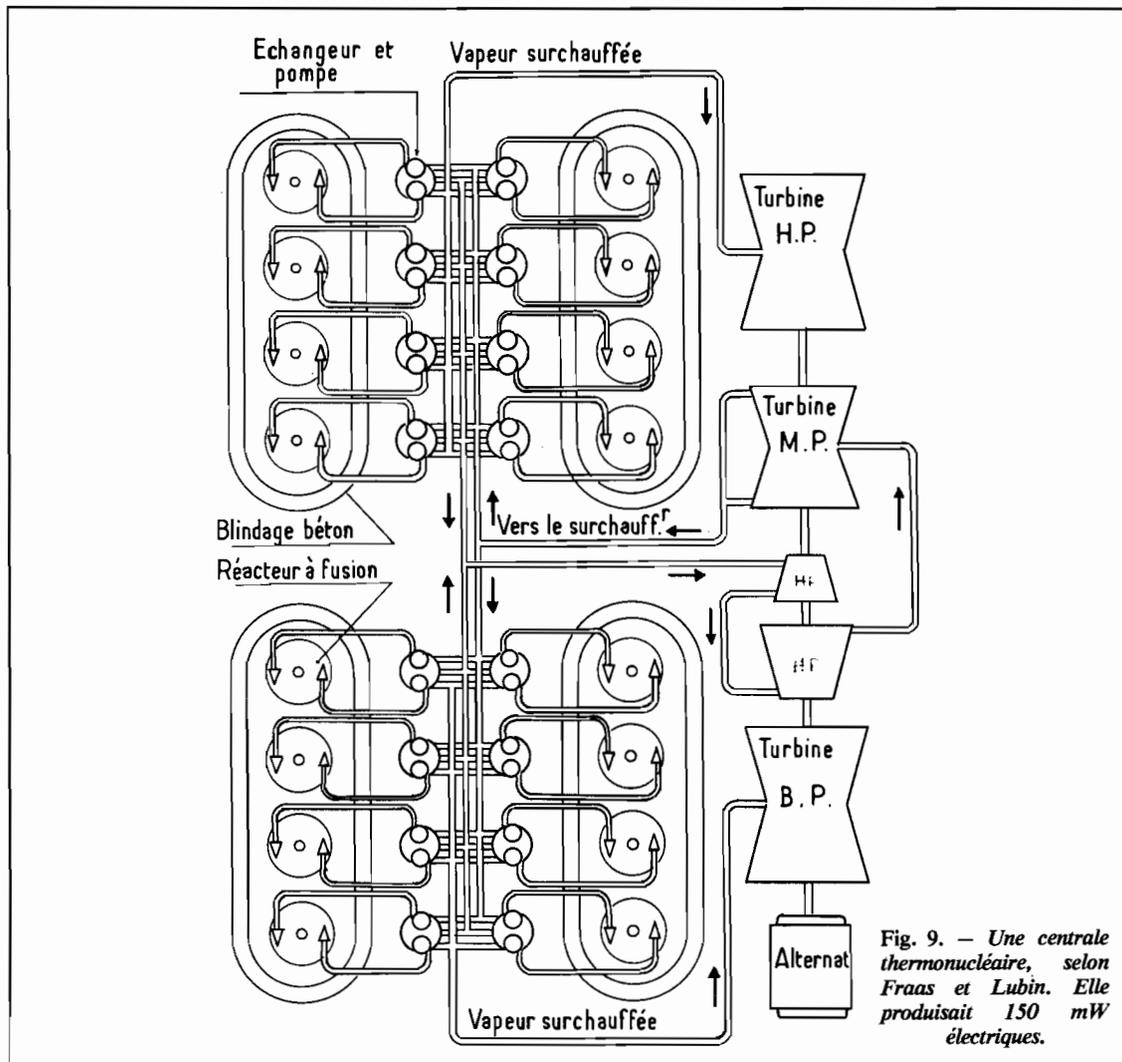


Fig. 9. — Une centrale thermonucléaire, selon Fraas et Lubin. Elle produisait 150 mW électriques.

De tels lasers pourraient bien être disponibles d'ici 1975.

Dès lors, à Livermore aux Etats-Unis, comme à l'Institut Lebedev à Moscou, les équipes de recherche mettent au point des chaînes laser multifaisceaux, en vue d'expériences d'implosion : laser à 12 faisceaux à Livermore, 9 faisceaux au Lebedev, où est prévu un système de 27 faisceaux.

Pour J.H. Nuckolls, une centrale thermonucléaire générant un mégawatt de puissance électrique pourrait voir le jour d'ici 10 à 30 années. Une telle usine serait pourvue d'un laser irradiant, par un faisceau d'un mégajoule, 100 pastilles de deutérium par seconde, dans 10 chambres. Chaque chambre pourrait avoir quelques mètres de diamètre, et être reliée à un système thermodynamique de récupération de l'énergie thermonucléaire.

### LE THERMOMETRE A NEUTRONS

La production de neutrons lors de l'interaction d'un faisceau

laser et d'un plasma a été observée, dès 1963, par N.G. Basov à l'Institut Lebedev ; mais c'est en France, fin 1969, que les chercheurs du Commissariat à l'Energie Atomique, au Centre de Limeil ont mis en évidence, pour la première fois de façon indiscutable, une émission de neutrons lors de l'irradiation d'une cible en deutérium solide par un laser à néodyme. Depuis l'expérience a été reproduite dans de nombreux laboratoires. Ces neutrons constituent des « thermomètres » idéaux pour évaluer les performances d'un réacteur à fusion thermonucléaire ; à chaque réaction deutérium - tritium, un neutron est produit avec une énergie de 14,1 millions d'électrons-volts. La récupération de l'énergie des neutrons a été étudiée par plusieurs laboratoires américains et une solution viable a été décrite dès 1969 par deux chercheurs de l'Oak Ridge National Laboratory (O.R.N.L.), Moshe J. Lubin et Arthur P. Fraas.

La solution de l'O.R.N.L. (Fig. 7) consiste à prévoir une

circulation, en boucle fermée, de lithium. Ce matériau, à l'état liquide, est chargé d'absorber les neutrons issus de la réaction thermonucléaire, et, par voie de conséquence, il vient à s'échauffer. L'énergie calorifique est ensuite rétrocédée à un gaz dans un cycle thermodynamique classique (turbine à vapeur par exemple). Le dispositif (Fig. 7) dans lequel a lieu l'échange d'énergie entre la pastille de deutérium-tritium et le lithium en fusion a été dénommé un « Blascon ».

Le Blascon est un container sphérique (ou cylindrique) de 3 à 5 mètres de diamètre, dans lequel pénètre latéralement le lithium ; celui-ci s'écoule, en tourbillonnant librement autour de l'axe vertical du Blascon. Il se forme donc, comme dans tout liquide en tourbillon, une cavité au sein du lithium, dans laquelle on laisse tomber une pastille de deutérium - tritium ; au cours de sa chute, cette pastille est « allumée » par une intense impulsion laser, générant une réaction thermonucléaire, chauffant à son tour le lithium.

Au cours de la réaction thermonucléaire, se forme une onde de choc qui se propage vers les parois. Il est nécessaire d'amortir l'effet de l'onde, par exemple en introduisant un grand nombre de bulles de gaz dans le lithium, afin d'en diminuer, de 5% environ, la masse volumique moyenne. A chaque traversée de bulle gazeuse, l'onde de choc voit son énergie transformée en chaleur.

Un tel processus pourrait être répété à intervalles de 10 secondes; lors de chaque réaction thermonucléaire, les puissances mises en jeu s'évaluent en dizaines de mégawatts.

Fraas et Lubin ont analysé ce que pourrait être l'engineering d'une centrale thermonucléaire à Blascon. D'une part, le choix de la température du lithium devra être guidé par la nature du matériau constituant l'enceinte du Blascon: avec un acier au chrome-molybdène, on est limité, pour des raisons de corrosion, à 500 °C; avec des alliages de niobium, on peut atteindre 1100 °C,

ce qui, certes, est préférable du point de vue rendement total du cycle; cependant, le niobium coûte cher, et requiert des protections contre l'oxydation. Dans un premier temps, tout au moins, il faudra donc se contenter de l'acier au chrome-molybdène et d'une température du lithium de 500 °C (Fig. 8).

Un seul Blascon pourrait fournir jusqu'à 500 MW. Pour des raisons économiques, Fraas et Lubin préfèrent associer de nombreux petits Blascons modulaires, associés à une seule et même turbine à vapeur par l'intermédiaire d'un échangeur thermique lithium-eau (Fig. 9).

Le rendement global de l'installation pourrait être voisin de 40%; ce serait donc un rendement équivalent à celui des centrales thermiques classiques. Avec une enceinte en niobium, et du lithium porté à 1000 °C, le rendement global serait alors de 58%.

(à suivre)

Marc FERRETTI.

## MONTAGES UNIVERSELS D'ALARME

(suite de la page 345)

Comme dans celui de la figure 5, ce plan indique le branchement du potentiomètre de 50 k $\Omega$  réglant la tension d'entrée appliquée au point 5, deux bornes pour brancher cette tension, deux bornes pour la tension d'entrée, deux bornes pour le haut-parleur, deux bornes pour l'alimentation de 5 V.

Les résistances sont au nombre de quatre: R de 270 k $\Omega$ , 220  $\Omega$ , 150  $\Omega$  et 10 M $\Omega$ , il n'y a qu'une seule capacité C<sub>2</sub> de 50 nF, et un seul potentiomètre de 50 k $\Omega$  et une diode LED, dont la cathode est du côté du point 13.

A remarquer que les deux plans ne comportent aucun croisement, ce qui facilitera la détermination des platines imprimées ou autres, par exemple Veroboard.

Il va de soi que les plans seront modifiés si les capacités C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> et les résistances R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub> doivent être commutables ou variables. Dans ce cas, on prévoira un panneau avant de commande, sur lequel seront montés les organes à variation.

### TROISIEME MONTAGE AVEC LED SEULE

On a représenté ce montage à la figure 11 et le plan explosé de montage à la figure 12.

Dans cette variante, l'oscillateur de tonalité est mis hors service et remplacé, comme oscillateur de commande, par celui ayant servi d'oscillateur de période dans les autres montages.

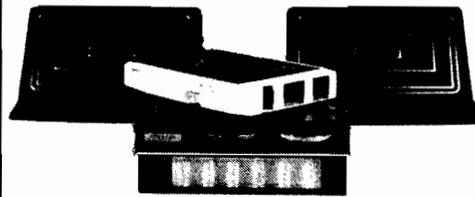
A cet effet, le point 12 de l'oscillateur de tonalité est branché à la masse par une résistance de 10 k $\Omega$ . La diode LED est commandée par l'oscillateur de période. Elle s'illuminera et s'éteindra à la fréquence de 2 Hz, avec un rapport cyclique de 70%.

Les montages décrits peuvent être expérimentés et essayés dans de nombreuses applications, même autres que celles d'alarme.

F. JUSTER.

Références: Documents Tekelec-Airtron à Sèvres, cité des Bruyères, rue Carl-Vernet.

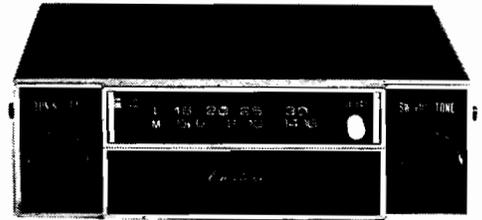
## LA STÉRÉO 8 A LA PORTÉE DE TOUS



Lecteur de cartouches stéréophonique 8 pistes entièrement transistorisé (puissance de sortie 2 x 4 W, alimentation 12 V, - à la masse, HP sur 4 ou 8  $\Omega$ ). Livré avec les haut-parleurs pré-montés, si bien qu'il ne reste qu'un fil à brancher au + de la voiture.

Prix : 325 F

Dernier-né des autoradios combinés avec un lecteur de cartouches stéréophonique 8 pistes. Réception des programmes PO et GO. Appareil entièrement automatique. Affichage lumineux des pistes en cours de lecture. Commandes de volume, balance, tonalité, changement de programme. Montage instantané et à la portée de tous. Livré avec ses haut-parleurs spéciaux.



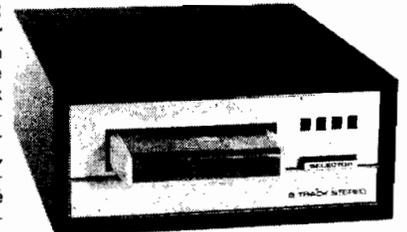
Prix : 495 F



Un des meilleurs lecteurs de cartouches stéréophonique 8 pistes pour appartement. Solution d'avenir remplaçant l'électrophone. Appareil entièrement automatique, puissance de sortie par canal 6 W, potentiomètres à déplacement linéaire, prise pour casque, affichage lumineux des programmes, présentation très soignée. Livré avec ses deux enceintes haute fidélité. Alimentation 220 V/50 Hz.

Prix : 590 F

Lecteur de cartouches BSR 8 pistes stéréophonique pour chaîne haute fidélité. Mise en service par simple insertion de la cartouche, affichage lumineux des pistes, entièrement automatique. Alimentation 220 V. Complément idéal de la chaîne Hi-Fi, comporte ses propres préamplificateurs afin d'être raccordé sur l'entrée « auxiliaire » de l'amplificateur.



Prix : 390 F

### TOUTE PERSONNE BÉNÉFICIERA DE REMISE SUPPLÉMENTAIRE POUR L'ACHAT DE :

2 lecteurs : 10 %  
3 lecteurs : 15 %

Les paiements sont de 1/3 à la commande, le reste contre remboursement.

GARANTIE TOTALE

EN PRIME POUR TOUT ACHAT, PROGRAMMES DE BANDES MAGNÉTIQUES PRÉENREGISTRÉES SUR CASSETTES ET CARTOUCHES 8 PISTES - REMISE EXCEPTIONNELLE DE 25% SUR LES TARIFS PUBLICS, SUR TOUTES LES MARQUES ET TOUS LES PRIX.

D.I.D. Electronic B.P. N° 405 16 75 769  
PARIS CEDEX 16