

LES

LASERS

## LASERS MILITAIRES :

L'IDEE d'utiliser le laser comme arme s'est affirmée à la suite d'une expérience au cours de laquelle il a été possible d'abattre un avion-cible avec un faisceau laser. Les progrès effectués dans la mise au point de nouveaux types de lasers (les lasers chimiques, thermiques, ainsi que ceux à excitation électronique) amènent à penser aujourd'hui qu'il sera possible de provoquer, dans des conditions d'emploi militaire, l'émission d'un rayon porteur d'une énergie suffisante pour causer des dommages importants à une cible. Pour les spécialistes, grâce à des faisceaux lasers porteurs d'une grande énergie, il devrait être possible d'abattre, en le prenant dans un faisceau laser, un engin d'attaque naviguant à basse altitude, et à des vitesses modérées. De même, de tels faisceaux devraient pouvoir être utilisés contre les blindés. Enfin, utilisés à des fins de « contre-mesure », ils pourraient neutraliser les dispositifs de guidage optique dont sont munis un certain nombre d'engins.

On est encore loin de ce « rayon de la mort » d'une portée illimitée (un faisceau laser est très facilement absorbé par l'at-

mosphère, et il suffirait d'une mince couche nuageuse pour l'annihiler complètement) et d'une efficacité définitive que certains ont cru pouvoir décrire dès l'invention du laser... Mais il ne faut pas, à l'inverse, railler les effets nocifs des armes à laser : on n'a pas manqué de rappeler, dans le clan des sceptiques, que le laser, rayon de la mort, a frappé... les producteurs de films à sensation, dans les studios d'Hollywood ; « et l'on put très vite trembler, dans les salles obscures, au spectacle de l'abominable Goldfinger menaçant de découper en rondelles avec un laser de pacotille, un James Bond aussi flegmatique que crédule ».

### LE LASER THERMIQUE SUSCITE L'INTERET DES MILITAIRES

Dans certains types de lasers, dits thermiques, l'inversion de population nécessaire à l'émission stimulée de rayonnement, est produite lors d'une détente adiabatique d'un gaz. La détente se produit dans des tuyères supersoniques de forte divergence, ces dernières étant fréquemment assemblées en réseaux parallèles, de façon à fournir un écoulement rectangulaire de grande largeur.

## LE RAYON DE LA MORT ?

Les montages fonctionnent en général avec un mélange de gaz carbonique, d'azote, et un catalyseur, tel que l'eau ou l'hélium ; le mélange est produit, souvent, par la combinaison de composés appropriés à une température voisine de 1200 °C et une pression comprise entre 5 et 20 atmosphères. L'expansion rapide du mélange dans les tuyères permet de figer l'énergie vibrationnelle de l'azote, tandis que la température au sein de l'écoulement tombe à un niveau voisin de la température ambiante. L'inver-

sion de population se produit entre les niveaux énergétiques du gaz carbonique : l'un des niveaux est en équilibre vibrationnel avec l'azote, tandis que d'autres niveaux parviennent au nouvel équilibre obtenu après la détente adiabatique.

Un laser de ce type, réalisé par Avco Everett a déjà délivré 135 kW en fonctionnement continu, et il est probable que des puissances nettement supérieures aient été obtenues, ou sont sur le point de l'être.

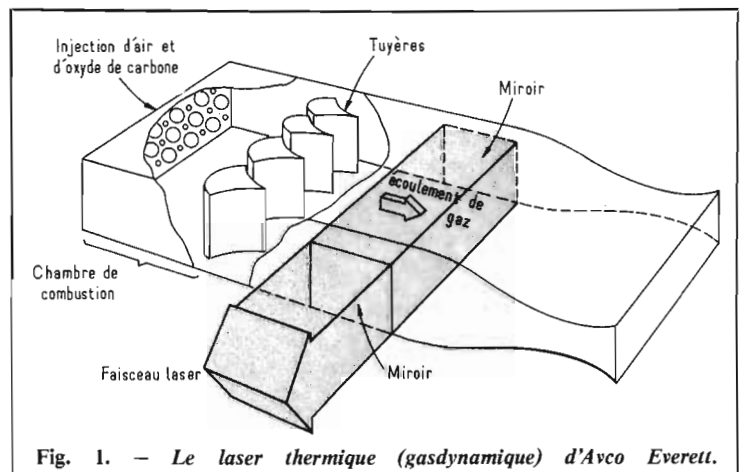


Fig. 1. — Le laser thermique (gasdynamique) d'Avco Everett.

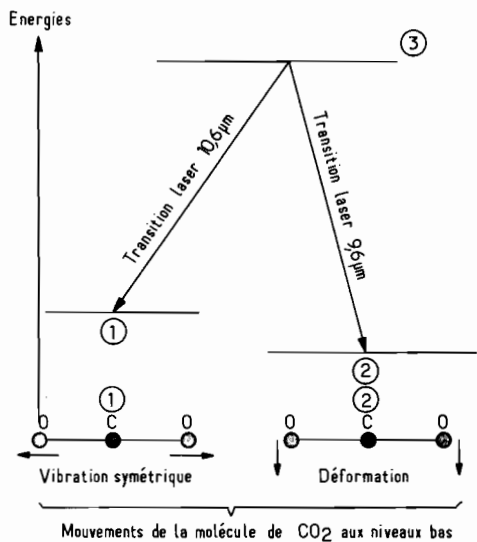


Fig. 2. — Les niveaux d'énergie du système  $CO_2N_2$ .

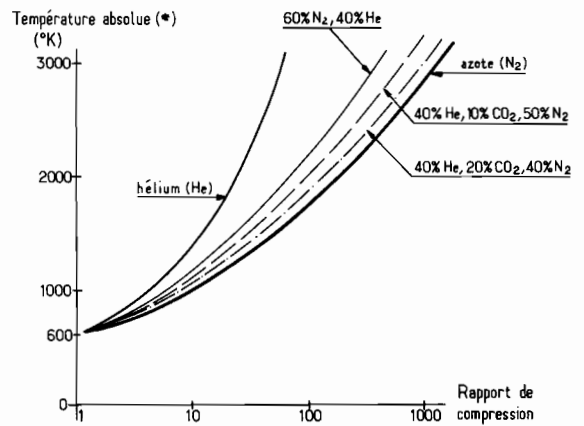
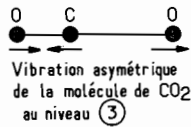


Fig. 3. — Température théorique d'un mélange (comprimé de façon adiabatique) contenant de l'azote ( $N_2$ ), de l'hélium ( $He$ ) et du gaz carbonique  $CO_2$ .  
(La relation entre température absolue  $T$  ( $^{\circ}K$ ) et température centigrade  $t$  ( $^{\circ}C$ ) est  $T = t + 273$ ).

Des études similaires sont entreprises, depuis 1968, à l'United Aircraft Corp., parfois en compétition avec celles de l'Avco Everett.

Généralement, le mélange de départ est obtenu en faisant brûler de l'oxyde de carbone et de l'air dans une chambre de combustion. Le rendement de l'opération, rapport entre l'énergie laser émise et l'énergie libérée par la combustion, est faible (0,5 à 1 %). En accroissant la vitesse des gaz ainsi que la température de combustion, il serait possible d'atteindre des rendements voisins de 2 %.

La nécessité de chauffer le mélange à haute température requiert l'emploi d'une source de chaleur. Pratiquement, les premières applications militaires de ces lasers thermiques seront terrestres ou marines; on pourrait envisager de les utiliser également à bord d'avions supersoniques, en récupérant la chaleur des gaz d'échappement des turbo ou des stato-réacteurs.

Aux Etats-Unis, General Electric et Boeing travaillent aussi dans ce domaine.

Récemment, W.H. Christiansen démontrait l'intérêt des tubes à choc à haute pression (100 à 1 000 atmosphères) pour produire des impulsions laser de grande énergie. De tels systèmes sont d'un maniement facile, et l'augmentation de pression rend le montage plus compact, à énergie émise égale; enfin, il est possible, ici, d'optimiser les concentrations des différents constituants chimiques, alors qu'avec les installations alimentées par combustion, on est difficilement maître des produits de réaction.

Le problème d'obtention d'écoulements larges avec des tubes à choc est difficile à résoudre. On

peut penser à de nouvelles configurations de tuyères, mais celles-ci deviennent vite de réalisation compliquée.

A l'Onera, il a été étudié un laser thermique fonctionnant avec un réchauffeur à compression adiabatique, dans un domaine de pressions allant de 40 à 150 atmosphères. Ce type de réchauffeur offre des caractéristiques intéressantes du point de vue de la qualité de l'écoulement (\*). Le gaz à réchauffer est introduit, à la pression atmosphérique, dans un cylindre de compression, où il prend d'abord, au contact avec les parois chauffées du tube, la température de préchauffage de  $300^{\circ}C$ . La compression est provoquée par le déplacement, à vitesse modérée, d'un piston. La pression du gaz s'élève alors, sans discontinuité, jusqu'à sa valeur finale, et le niveau de température est fonction du rapport de compression et de la nature du gaz: les températures de fin de compression, sont voisines de  $1 700^{\circ}C$  (sans tenir compte des pertes thermiques), en comprimant à 100 atmosphères (Fig. 3), un mélange d'azote (50 %), de gaz carbonique (10 %) et d'hélium (40 %). Par suite du transfert de chaleur aux parois du tube, les températures réellement atteintes en fin de compression sont sensiblement inférieures aux valeurs théoriques (Fig. 4). Un maximum de température, s'échelonnant entre  $1 200$  et  $1 400^{\circ}C$ , apparaît au voisinage du taux de compression égal à 100.

En U.R.S.S., des études similaires ont été effectuées. Dès juin 1966, un éminent spécialiste soviétique, A.M. Prokhorov publiait, en collaboration avec V.K. Konyukhov, un article montrant l'intérêt de détentes rapides de gaz dans des tuyères supersoniques.

## LES LASERS ELECTRIQUES ONT DE MEILLEURS RENDEMENTS

Une autre technologie, bien adaptée aux applications militaires, est le laser à excitation électrique transversale (ou laser TEA), mis au point, au Canada, par A.J. Beaulieu. Le système de Beaulieu utilise une simple cathode à pointes, créant une multitude de petites décharges électriques dans un mélange gazeux à la pression atmosphérique; cependant, le volume excité uniformément est relativement petit (Fig. 5).

Au cours d'une étude entreprise indépendamment sur le même sujet, aux laboratoires de Marcoussis, R. Dumanchin, J.-C. Farcy, M. Michon et J. Rocca-Serra se sont attachés à la recherche d'une structure de laser pulsé, à gaz carbonique, capable de fournir une énergie importante par unité de volume, et susceptible d'être étendue à de grands volumes (Fig. 6).

Les premiers lasers TEA fonctionnaient en régime impulsif.

La difficulté, pour les utiliser en régime continu provient du double rôle joué par les électrons: entretien de la décharge et excitation du milieu. Dans la seconde génération de lasers TEA, l'ionisation est produite par un canon à électrons qui permet de séparer nettement l'ionisation de l'excitation: les électrons primaires, d'énergie très élevée, ionisent le milieu et créent un grand nombre d'électrons secondaires ne servant qu'à l'excitation.

Cette technique conduit à des résultats très prometteurs: aux laboratoires d'Avco Everett, un laser à impulsions, fonctionnant suivant le principe précédent, délivre une énergie de 2 kJ en

$10 \mu s$ , avec un rendement électrique de 20 %.

Les lasers TEA à canons à électrons sont étudiés dans de nombreux laboratoires, tant aux Etats-Unis (United Aircraft, Los Alamos), qu'en U.R.S.S. (Institut Lebedev) et en France (Laboratoires de Marcoussis).

Aux U.S.A., les lasers électriques sont développés sous contrats militaires, en particulier de l'U.S. Navy. Les niveaux élevés des rendements atteints permettent d'envisager l'utilisation des lasers électriques à bord d'avions. Il faut, au préalable, mettre au point des sources d'énergie suffisamment compactes, embarquables dans les avions, ce qui explique les contrats passés par l'U.S. Air Force, aux industriels américains.

\* Voir, à ce sujet, l'article de M. Thomas-Andraud, A. Carrega, O. Leuchter, J.-P. Taran: « Laser thermique à haute pression avec réchauffage par compression » paru dans La recherche aérospatiale, novembre-décembre 1972.

\* La puissance spécifique est le rapport d'une puissance (exprimée en watts) à un débit de gaz (en kilogramme par seconde). Elle s'exprime donc en watts par kilogramme par seconde (en abrégé:  $W/kg/s$ ).

Comme le watt correspond à 1 joule pendant 1 seconde, on exprime aussi la puissance spécifique en joules par kilogramme de gaz ( $J/kg$ ). Les puissances spécifiques sont, dans le cas des lasers décrits, comprises entre quelques kilojoules par kilogramme ( $kJ/kg$ ) et une centaine de kilojoules par kilogramme.

\* Certains observateurs américains pensent qu'en U.R.S.S. est expérimentée une arme à laser au xénon; ils se basent sur deux éléments:

- les succès soviétiques récents en matière de laser au xénon;
- des essais soviétiques de rapprochement de satellites en orbite; d'après la revue américaine « Laser Focus », certains de ces observateurs estiment que les Soviétiques disposeraient d'un engin spatial capable d'inspecter les satellites; cet engin pourrait être équipé, ultérieurement, d'un laser au xénon pour la destruction de satellites ennemis.

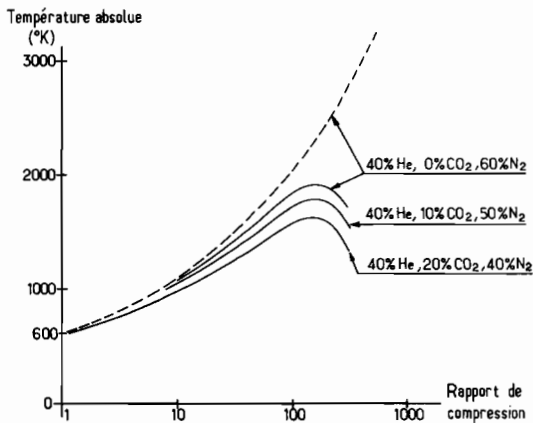


Fig. 4. — Température de fin de compression pour mélanges  $N_2 - CO_2 - He$ , compte tenu des pertes thermiques en cours de compression. Les pertes thermiques s'accroissent, de manière accentuée, au delà d'un rapport de compression de 100, en raison de la conductivité thermique élevée de l'hélium. On observe alors un maximum de température au voisinage de ce rapport de compression. Les valeurs maximales de température s'échelonnent entre 1 500 et 1 700 °K (environ 1 200 et 1 400 °C) suivant la teneur en  $CO_2$ .

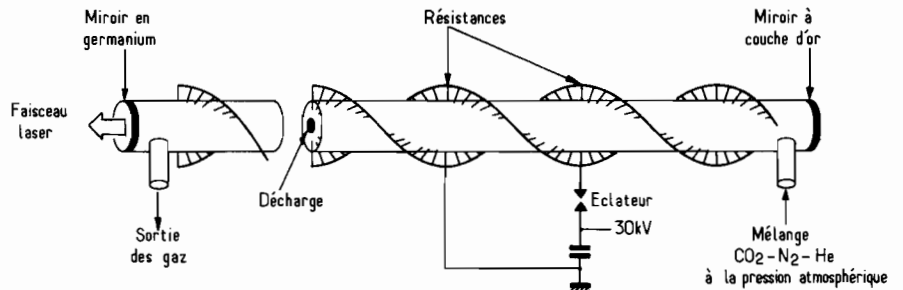


Fig. 5. — Le laser de Beaulieu : le mélange gazeux est excité transversalement par une multitude de petites décharges produites entre deux hélices munies de pointes. La structure hélicoïdale permet de créer un rayonnement laser de grande qualité optique.

— Mise au point, par Westinghouse, d'un alternateur embarqué de 5 000 kVA, d'une capacité de 50 à 100 fois plus élevée que celle des générateurs classiques. L'U.S. Air Force fait également étudier, sous contrat, des générateurs supraconducteurs, qui seraient, à puissance égale, moins lourds et moins encombrants ;

— North American Rockwell étudie une unité d'alimentation auxiliaire de 4 000 kVA ;

— Des piles à combustible de haute puissance sont développées par Pratt & Whitney ;

— Le Thermal Technology Laboratory travaille sur des transformateurs légers pour alimentations embarquées.

### DES LASERS CHIMIQUES... POUR MILITAIRES

Les lasers chimiques sont compacts, légers et ne nécessitent aucune source externe d'excitation et intéressent, pour cette raison, les militaires. En 1964, un symposium, tenu en l'université de Californie, à San Diego, réunissait les chercheurs étudiant, encore alors sous l'aspect purement théorique, les lasers chimiques. Le premier laser chimique a fonctionné à la fin de 1964, à Berkeley. Il travaillait en mode impulsionnel, délivrait une puissance moyenne de l'ordre du kilowatt, sous forme d'impulsions durant entre 10 et 20  $\mu s$  ; son rendement global était faible (moins de 1 %).

Ce n'est qu'en 1969 que l'on parvint à démontrer la possibilité de faire fonctionner, en mode continu, le laser chimique. Ce résultat fut obtenu dans trois laboratoires américains, ceux de l'Aerospace Corp., d'Avco et de l'Université de Cornell. Depuis, les succès enregistrés sont fort nombreux.

L'Aerospace Corp. s'est affirmée comme l'un des leaders dans la technologie des lasers chimiques. Son premier laser, réalisé en mai 1969, générait une

puissance voisine du kilowatt ; un système analogue, produirait, actuellement, entre 5 et 6 kW. Dans le montage original, l'azote moléculaire est chauffé par un arc électrique, puis mélangé à de l'hexafluorure de soufre (Fig. 7) ; le mélange se détend alors dans des tuyères, dans lesquelles est injecté de l'hydrogène moléculaire. Il se forme du fluorure d'hydrogène (HF) qui se trouve excité en vibration par l'énergie libérée au cours de la réaction. Le fluorure d'hydrogène émet un rayonnement laser infrarouge sur 2,6 et 3,5  $\mu$  de longueur d'onde.

Cette bande de longueur d'onde ne convient pas aux applications militaires car elle se trouve fortement absorbée par l'humidité atmosphérique. Il est préférable de remplacer l'hydrogène par du deutérium ; il se produit alors du fluorure de deutérium, et le domaine de longueur d'onde de l'effet laser (entre 3,6 et 5  $\mu$ ) ne subit pas d'absorption atmosphérique.

Néanmoins, le deutérium coûte cher, de sorte qu'au stade expérimental, on utilise encore l'hydrogène. Au stade opérationnel, de tels lasers chimiques utiliseront obligatoirement le deutérium.

En remplaçant l'azote par de l'hélium, les chercheurs d'Aerospace Corp. ont amélioré de 80 % la puissance de sortie de leur premier modèle de laser chimique. Le rendement chimique a alors atteint 10 % environ.

L'un des problèmes associés à ce type de laser provient du fait que les molécules excitées de HF (ou de DF) cèdent trop rapidement leur énergie vibrationnelle ; il s'ensuit qu'une partie seulement des molécules de fluorure passe au niveau excité.

Un nouveau type de laser chimique, dit à transfert (laser « TCL » : transfer chemical laser) a été mis au point récemment : les molécules de HF (ou de DF) excitées vibrationnellement, trans-

fèrent leur énergie à des molécules de gaz carbonique. On a donc ici un laser chimique à gaz carbonique, pompé par l'énergie de la réaction chimique de l'hydrogène, ou du deutérium, sur le fluor. Les molécules de fluorure ont un rôle entièrement analogue à celui des molécules d'azote dans les lasers électriques.

Le premier modèle de laser TCL fut réalisé par T.A. Cool, en 1969, à Cornell. T.A. Cool a quitté récemment l'université de Cornell, et travaille maintenant au Naval Research Laboratory, près de Washington, où il a construit un laser TCL de grande puissance ; il a transformé, pour cela, un laser thermique de 4 à 5 kW, réalisé par Avco, en un laser TCL produisant, avec le même débit de gaz, 45 kW, soit une puissance spécifique 10 fois plus élevée. Les puissances spécifiques annoncées pour ce type de laser sont de l'ordre de 55 kJ/kg\*.

Le laser TCL entre en compétition directe avec le laser thermique, en raison de sa puissance spécifique élevée, à la même longueur d'onde (10,6  $\mu$ ). Il ne se compare cependant pas au laser chimique à DF, qui dispose, pour sa part, à une autre longueur d'onde, d'une puissance spécifique au moins 4 fois plus grande. En outre, le laser chimique à DF fonctionne sur une longueur d'onde qui traverse aisément l'atmosphère, ce qui devrait le conduire à de nombreuses applications militaires. Un autre type de laser chimique a été intensivement étudié en U.R.S.S., mais en mode impulsionnel : c'est le laser à onde de détonation. Les produits devant entrer en réaction sont mélangés, puis soumis à une excitation externe (onde de choc, onde de détonation, décharge électrique) qui initie la réaction. Ce type de laser commence à être étudié aux Etats-Unis.

L'U.S. Air Force développe également une technique, dite hybride, pour les lasers chimiques : on leur associe des méthodes d'excitation employées en particulier dans les lasers électriques. Hughes Aircraft Co. a conçu le premier prototype de laser hybride, dans lequel un mélange de fluor, d'hydrogène et d'hélium est préionisé. Il se produit alors une décharge uniforme au sein du gaz, qui, à son tour, engendre une dissociation des molécules de fluor donnant naissance à une réaction chimique avec l'hydrogène. La puissance spécifique du laser hybride a atteint 90 kJ/kg.

### DES ARMES THERMIQUES

Voici une dizaine d'années, la puissance continue maximale dans les faisceaux lasers n'était que de quelques dizaines de watts ; actuellement, les niveaux de puissance sont mille fois plus élevés, et des centaines de kilowatts sont déjà disponibles. Dans ces conditions, le laser doit trouver des utilisations militaires, essentiellement pour des missions défensives ; certains spécialistes « enthousiastes » espèrent utiliser également les lasers dans des missions offensives.

Les principales applications des armes à laser concerneront :

— La défense antiaérienne de navires et de bases militaires, ainsi que de tout site ayant une importance logistique. Le faisceau laser peut être amené à détruire certaines parties vitales des avions ennemis (radome, cockpit...) ou des engins (capteurs optiques de missiles à guidage par laser ou par télévision) ;

— Le combat air-air, pour la protection de bombardiers ; on envisage aussi d'utiliser les lasers à bord d'intercepteurs ;

— La destruction de missiles intercontinentaux ennemis à également été suggérée, pour un terme, cependant, relativement lointain.

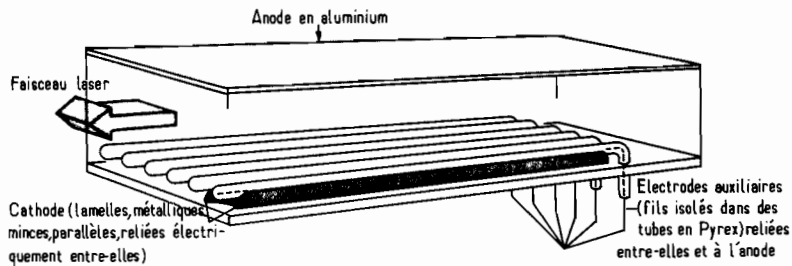


Fig. 6. — Le laser TEA des laboratoires Marcousis : Lorsqu'une impulsion de tension négative est appliquée à la cathode, le champ électrique élevé entre la cathode et les électrodes auxiliaires provoque une émission électronique. Une multiplication des électrons par un facteur très grand intervient entre ces électrodes. On crée ainsi un tapis d'électrons qui contribue à rendre homogène la décharge principale.

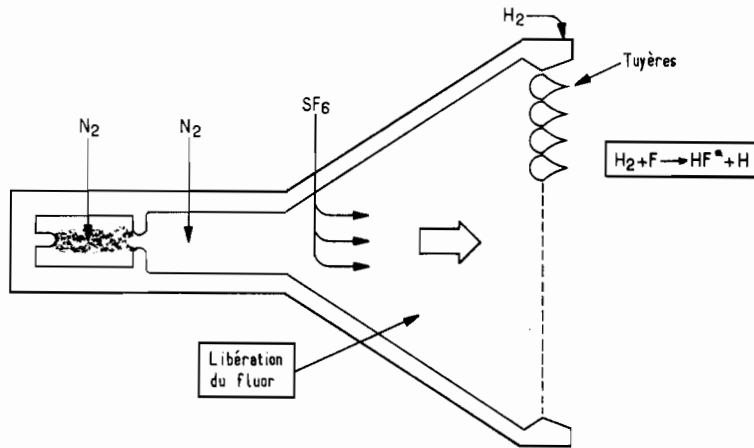


Fig. 7. — Le laser chimique d'Aerospace corp. La puissance spécifique (rapport de la puissance au débit de gaz) de ce type de laser atteint 300 kJ/kg, contre 4,5 kJ/kg pour les lasers thermiques d'Avco.

On demandait, l'an passé, au responsable des recherches, au sein de l'U.S. Army : « Quand pourra-t-on disposer d'un matériel efficace, utilisant les lasers de grande puissance ? » ; à cette question, W.C. Gribble, Jr., répondit « Dans, au moins 6 à 10 années ! ». Ces estimations paraissent être confirmées par les programmes de développement des lasers à haute puissance : les premières armes à lasers ne devraient pas voir le jour avant 1978-1980.

Il est logique de penser que l'ennemi\*, quel qu'il soit, met au point, lui-aussi, des armes thermiques à laser ; il faut donc d'ores et déjà penser aux contre-mesures : éjection de fluides ou gaz absorbant les infrarouges ; refroidissement des surfaces vitales des avions, ou mieux : mise en place de leurres pour désorienter les radars de guidage des armes thermiques à lasers.

**Marc FERRETTI.**

*A lire éventuellement*

- **LES LASERS MOLECULAIRES**, par H. Brunet, La Recherche, n° 32, mars 1973.
- **ELECTRICAL HIGH-PRESSURE MOLECULAR GAS LASERS**, par E.J. Seppi, Institute for Defense Analysis, rapport P-847, mai 1972.
- **LASER THERMAL WEAPONS** Aviation Week & Space Technology, 14-8-72 et 21-8-72.

**PEXON K7**

alvéole pour musicassettes

- sortie automatique de vos cassettes sur simple poussée d'un doigt.
- volume compact, rangement maxi.
- combinaisons d'assemblages vertical, horizontal illimitées.
- fixation murale rapide.
- protection complète.
- coloris : orange - bleu - rouge - gris blanc.

EN VENTE CHEZ LES DISQUAIRES

SOFRADIAM - 3, rue Laborde  
75008 Paris - tél. 292 03-95