

LES

LASERS

## LES LASERS U.V.

**I**L y a peu de temps que les lasers fonctionnant dans l'ultraviolet sont en développement. Pourtant, ils sont déjà employés en photochimie, en spectroscopie moléculaire, en spectroscopie Raman et par fluorescence, en recherches biologiques ; ils sont même utilisés pour des usinages industriels, voire en médecine.

### LA GÉNÉRATION D'HARMONIQUES

L'une des techniques de réalisation de sources laser fonctionnant dans l'ultraviolet, consiste à partir d'un laser conventionnel travaillant dans le spectre visible ou infrarouge, et à doubler, tripler, quadrupler... la fréquence du faisceau lumineux jusqu'à obtention d'un faisceau ultraviolet. On obtient de la sorte des puissances de pointe en impulsions atteignant 50 MW, ou encore des puissances continues de 500 mW.

Ce sont les lasers solides à impulsions qui conviennent le mieux à la génération d'harmoniques. Par exemple, la conversion de 50 % de l'énergie de sortie

d'un laser au néodyme, de l'infrarouge au vert, dans un cristal de KDP (diphosphate de potassium) de quelques centimètres de long, requiert une densité de puissance de 0,3 GW/cm<sup>2</sup> dans une largeur de bande de 2 nm, centrée sur le fondamental (1,06 μm), et une divergence de faisceau inférieure à 0,5 mrd.

Pour la conversion efficace du faisceau vert sortant d'un tel dispositif en un faisceau ultraviolet, on a besoin d'une largeur de bande encore plus faible. Cela est dû essentiellement au coefficient élevé de dispersion de la plupart des matériaux dans l'ultraviolet.

Les lasers solides à impulsions, avec leur niveau élevé de puissance, leur largeur spectrale étroite, et de bonnes possibilités de collimation du faisceau de sortie sont bien adaptés à la conversion de fréquences. Pour un fonctionnement optimal, et la génération optimale du quatrième harmonique, une largeur de bande spectrale inférieure à 0,1 nm est nécessaire : les lasers à grenat d'yttrium-aluminium (laser YAG) pourraient convenir, mais leur capacité de stockage

de l'énergie est relativement faible, de sorte qu'ils sont limités aux impulsions de faible puissance, mais de fréquence relativement élevée.

On peut envisager d'amplifier le faisceau émis par un oscillateur laser YAG, dopé au néodyme, dans un amplificateur laser en verre au néodyme : porté à un niveau énergétique de 10 J, ce faisceau amplifié sera converti en son second harmonique, de niveau énergétique voisin de 3 J, puis dans son quatrième harmonique, à un niveau de l'ordre du joule, à la longueur d'onde de 266 nm.

### LES LASERS MOLECULAIRES A VAPEUR METALLIQUE...

Le laser à hélium-cadmium fournit un faisceau dont la fréquence fondamentale se situe dans le spectre ultraviolet. Il est important, dans ce type de lasers, de maintenir une distribution uniforme de vapeur métallique au cours de la décharge. On y parvient d'une part en alimentant de façon continue, en ions cad-

mium, le tube à décharges, et en injectant les vapeurs au voisinage de l'anode. Les ions cadmium s'écoulent, au cours de la décharge vers la cathode, où ils se condensent sur les parois froides de cette partie du tube à décharges.

Une autre technique développée actuellement aux Bell Telephone Laboratories, consiste à insérer de petits segments, désignés par la dénomination « réservoirs » dans le tube à décharges même.

Les lasers à réservoirs de cadmium ont été mis au point en 1969, par trois équipes indépendantes de chercheurs : celles de Sosnowski, de Goldsborough et de Fendley : dans leurs lasers, un réservoir de cadmium était disposé à proximité de l'anode ; par effet de cataphorèse, les vapeurs de cadmium se trouvaient distribuées au sein du laser. En 1970, K.G. Hernqvist développait un laser à hélium-cadmium, fonctionnant à 0,4416 μm et utilisant un dispositif de retour du cadmium.

A la mi-1971, W.T. Silfvast et L.H. Szeta, des Bell Telephone Lab., mirent au point un laser à réservoir segmenté (Fig. 1), fournissant une distribution bien

homogène de cadmium (alors que par cataphorèse, la distribution de cadmium n'est pas parfaitement uniforme). Ce laser est capable de délivrer 2,5 mW à la longueur d'onde de 0,3250  $\mu\text{m}$  ou 10 mW à 0,4416  $\mu\text{m}$ .

### ... ET A GAZ

La puissance nécessaire du pompage de lasers croît considérablement lorsque la longueur d'onde chute, donc lorsque l'on pénètre dans le spectre ultraviolet. En partie, cela est dû au manque de bons miroirs, destinés à des cavités optiques à faibles pertes.

Dans les lasers à vapeur métallique, ce problème est résolu par une décharge de grande puissance.

Le pompage par faisceau d'électrons a servi initialement aux lasers fonctionnant dans le spectre visible ou infrarouge. En 1965, W.R. Bennett Jr., proposait d'utiliser un faisceau électronique pour provoquer des transitions dans l'hélium He II. Plus récemment, on est parvenu à provoquer l'effet laser dans l'ultraviolet, avec de l'hydrogène, du xénon et de l'azote.

Un laser moléculaire à hydrogène (Fig. 2), fonctionnant à 0,1161  $\mu\text{m}$ , a été réalisé au centre de recherches Thomas J. Watson d'I.B.M., par R.T. Hodgson et R.W. Dreyfus, en 1971. Ce laser est doublement intéressant, car :

- il délivre des photons extrêmement énergétiques (10 eV), susceptibles d'être utilisés dans les études de molécules par photochimie, photodissociation et photoionisation,

- la technique employée doit conduire à des longueurs d'onde encore plus basses, et permettre la réalisation de lasers à rayons X, éventuellement.

Hodgson et Dreyfus ont pompé des molécules d'hydrogène dans un état électronique fortement excité, en bombardant le gaz contenu dans un tube de 2,3 m de long à une pression comprise entre 20 et 100 torrs (\*) avec un faisceau d'électrons de 400 kV. Les électrons sont confinés au centre du tube par un champ magnétique axial : on a ainsi une densité de courant de crête de 10 000 A/cm<sup>2</sup>, sous forme d'une impulsion durant 3 ns. Les longueurs d'onde émises se situent dans une bande spectrale dite de Werner ; la puissance est voisine de 10 000 W/cm<sup>2</sup>, à 0,1161  $\mu\text{m}$  de longueur d'onde.

Plus récemment (mars 1972), Dreyfus et Hodgson ont utilisé un appareillage similaire (tube de 1,75 m de long) pour pomper, avec un faisceau d'électrons, de

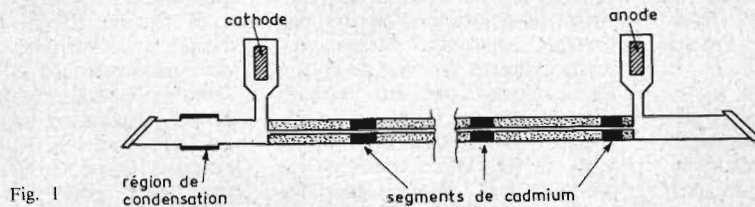


Fig. 1

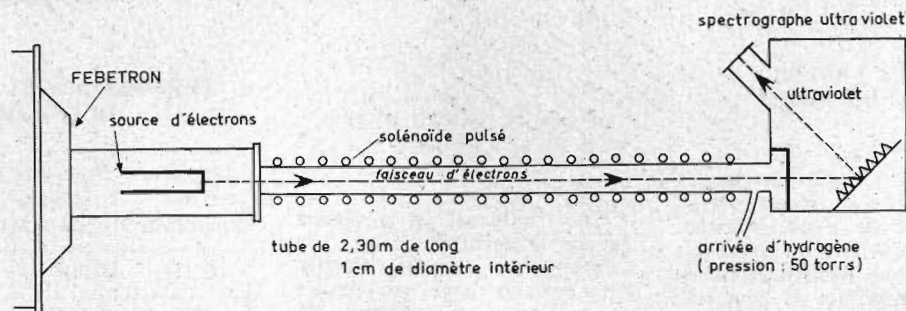


Fig. 2

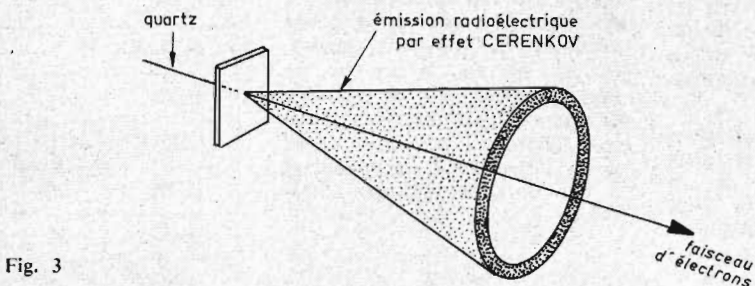


Fig. 3

l'azote, à une pression située entre 10 et 50 torrs. L'émission ultraviolette se produit sur la longueur d'onde de 0,3371  $\mu\text{m}$ .

Les deux chercheurs envisagent d'employer ultérieurement du xénon à haute pression (10 atmosphères), pour émettre à 0,17  $\mu\text{m}$  ; ils espèrent également utiliser de l'hélium liquide pour travailler en-dessous de 0,1  $\mu\text{m}$ .

Pour ce qui est du xénon, une équipe soviétique dirigée par N.G. Basov est parvenue dès 1970 à y stimuler l'effet laser. Fin 1972, A. Koehler, L.J. Ferderber, D.L. Redhead et P.J. Ebert, du Lawrence Livermore Laboratory, parvinrent, toujours à l'aide d'un faisceau électronique dans du xénon, à émettre un faisceau ultraviolet de 0,015  $\mu\text{m}$  de largeur de bande, centré autour de la longueur d'onde 0,17  $\mu\text{m}$ , avec une puissance de 300 MW.

### L'EFFET CERENKOV

Lorsqu'une particule chargée traverse un matériau à une vitesse supérieure à la célérité de la lumière dans ce matériau (\*), des rayonnements électromagné-

tiques sont produits par effet Cerenkov spontané, dans un cône annulaire.

En juin 1972, P.H. Pantell, de l'université de Stanford, a proposé de réaliser un laser Cerenkov, basé sur l'effet Cerenkov stimulé (et non spontané) (Fig. 3).

Des essais préliminaires ont été menés au laboratoire de la physique des hautes énergies, à Stanford, à l'aide d'un accélérateur linéaire d'un giga électron-volt. Cet accélérateur peut produire des faisceaux d'électrons d'énergie comprise entre 100 MeV et 1,1 GeV. Les premières expériences ont porté sur les matériaux susceptibles de produire l'effet Cerenkov sans être endommagés par le faisceau d'électrons : le quartz ordinaire et le verre noircissent sous l'effet d'un faisceau issu de l'accélérateur tandis que le plexiglass fond. Des essais ont également été conduits avec du quartz de très grande pureté (le quartz « suprasil »), qui s'est avéré convenir à la production de l'effet Cerenkov.

Afin de produire un effet Cerenkov stimulé, des miroirs diélectriques ont été déposés sur la cible de quartz suprasil. Ces miroirs sont chargés de renvoyer la presque totalité du rayonnement

émis par effet Cerenkov dans le quartz pour stimuler de nouveau l'effet Cerenkov, et de ne transmettre à l'extérieur qu'une faible partie de ce rayonnement. Si l'on a effectivement un laser Cerenkov, il faut, bien entendu, que l'énergie du faisceau stimulé soit supérieure à celle du faisceau spontané.

Il a été montré qu'à 0,3  $\mu\text{m}$ , le gain est de 3 dB avec un faisceau électronique de 400 MeV sur une distance d'interaction de 3 cm. On observe ainsi un faible gain de puissance, pouvant éventuellement être attribué à des erreurs expérimentales : la faisabilité du laser Cerenkov n'est donc pas démontrée et les études se poursuivent, en particulier en augmentant le volume d'interaction du résonateur.

(\*) Le torr, unité de pression utilisée par les spécialistes du vide, équivaut à 1 mm de mercure. Rappelons que la pression atmosphérique normale est égale à 760 mm de mercure.

(\*) Si V est la vitesse de la particule, c la célérité de la lumière dans le vide et n l'indice de réfraction du matériau, il faut que V soit supérieure à c/n.

L'effet Cerenkov peut être fort intéressant : l'intensité du faisceau produit par effet Cerenkov spontané augmente lorsque la longueur d'onde diminue : la brillance est extrêmement élevée dans le spectre ultraviolet ; elle est mille à dix mille fois supérieure à celle des sources ultraviolettes connues. Si l'on parvenait à accroître, par effet laser l'énergie du faisceau, on disposerait alors d'un outil très puissant d'investigations.

### DES LASERS ACCORDABLES

La plupart des lasers solides et des lasers à gaz émettent avec une largeur de bande extrêmement fine. Ainsi, un laser en verre dopé au néodyme générateur d'harmoniques ne peut être accordé que sur une largeur d'un nanomètre centrée sur la longueur d'onde de 0,266  $\mu\text{m}$ . Avec les lasers à colorants, cette limitation peut être levée. Il en va de même avec les oscillateurs paramétriques.

Les générateurs paramétriques produisent simultanément deux ondes cohérentes. Celle de ces longueurs d'onde désirée peut être choisie par voie thermique ou par accord angulaire d'un cristal non linéaire approprié.

Les lasers à colorants sont pompés au moyen de lampes à éclairs ou d'autres lasers. Avec un laser de pompage à azote, il est aisé d'obtenir, à la sortie des lasers à colorant, des faisceaux de longueurs d'ondes comprises entre 0,36 et 0,67  $\mu\text{m}$ , avec des puissances de crête atteignant 30 kW. Les colorants ultraviolets travaillent sur une largeur de 14 nm, environ, centrée sur la longueur d'onde de 0,363  $\mu\text{m}$  : ils produisent des impulsions de 10 kW durant 5 ns, à la cadence de 500 impulsions par seconde.

Il est possible de pomper un laser à colorant par un laser YAG, dopé au néodyme, pour produire un faisceau accordable entre 0,530 et 0,690  $\mu\text{m}$  ; on génère le second harmonique avec un cristal non linéaire placé dans la cavité du laser à colorant : on obtient alors un faisceau ultraviolet, accordable entre 0,266 et 0,34  $\mu\text{m}$ . Des puissances de crête de 200 W et des puissances moyennes de 5 mW ont été produites ainsi à 0,290  $\mu\text{m}$ .

Lorsque le laser à colorant est pompé par une lampe à éclairs, de courtes impulsions de pompage sont nécessaires : des lampes spéciales sont disponibles produisant un éclair durant 0,1  $\mu\text{s}$ . Les lasers à colorants pompés par lampes à éclairs

ont de faibles rendements (0,3 %), ce qui crée un échauffement du colorant, d'où des distorsions optiques. Néanmoins, des puissances de crête de l'ordre du mégawatt ont été atteintes dans le spectre visible. Dans le spectre ultraviolet, des impulsions de 50 kW en crête ont été produites à 0,374  $\mu\text{m}$  ; avec des cadences de 10 impulsions par seconde. Des impulsions de 40 kW ont également été produites à la longueur d'onde de 0,341  $\mu\text{m}$ .

### DE LA LUMIÈRE BLEUE PAR SEMI-CONDUCTEURS

Chez Siemens, on a obtenu un élargissement du spectre des couleurs des diodes électroluminescentes grâce au nitrure de gallium : en déposant des couches monocristallines transparentes de nitrure de gallium sur des spinelles, par un procédé chimique de transport gazeux, on est parvenu à émettre un faisceau bleu. Il y a tout lieu de croire que l'on obtiendra d'autres couleurs (peut-être même dans l'ultraviolet ?) en procédant à des dopages appropriés (tableaux 1 et 2).

### EN DEÇA : LES LASERS A RAYONS X

Les chercheurs tentent d'obtenir des longueurs d'ondes de rayonnement électromagnétique encore plus basses : on devrait

pouvoir descendre vers les rayons X.

En juillet 1972, trois chercheurs du département de chimie de l'université d'Utah auraient, semble-t-il, réalisé le premier dispositif expérimental constituant un laser à rayons X. Le laser à rayon X comporte un gel contenant une solution faiblement concentrée de sulfate de cuivre qui est illuminée par un rayonnement infrarouge émis par un laser en verre dopé au néodyme.

avec des impulsions de 30 J pendant 20 ns. La solution cuivrique dans la gélatine est placée en sandwich entre deux lames de microscope, et le rayonnement infrarouge produit un effet de pompage sur les ions de cuivre.

A propos de ce dispositif, une controverse s'est déclarée, aux Etats-Unis : il émet des rayons X, mais est-ce bien un laser ? John G. Kepros, l'un des auteurs de ce « laser » affirme que tous les

TABLEAU I  
PERFORMANCES ATTENDUES DE QUELQUES LASERS ULTRAVIOLETS EN DÉVELOPPEMENT

Longueurs d'onde (micromètre)	Puissance de crête (watts)	Durée des impulsions (secondes)	Puissance moyenne (watts)	Milieu actif	Génération d'harmoniques numéro :
0,212	10 <sup>9</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-3</sup>	Néodyme	5
0,2314	10 <sup>8</sup>	10 <sup>-8</sup>	1	Rubis	3
0,244		continu	2	Argon	2
0,2573		continu	2	Argon	2
0,266	10 <sup>11</sup>	10 <sup>-10</sup>	0,1	Néodyme	4
0,2678		continu	1	Néon	
0,290	10 <sup>8</sup>	10 <sup>-11</sup>	0,1	Colorant	
0,3371	10 <sup>7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10	Azote	
0,3472	10 <sup>8</sup>	10 <sup>-8</sup>	1	Rubis	2
0,354	10 <sup>11</sup>	10 <sup>-10</sup>	0,1	Néodyme	3
0,3507 0,3564		continu	2	Krypton	
0,3511 0,3638		continu	2	Argon	

TABLEAU II  
QUELQUES LASERS ULTRAVIOLETS COMMERCIALISÉS

Longueurs d'onde (micromètre)	Puissance de crête (mégawatts)	Durée des impulsions (nanosecondes)	Puissance moyenne (milliwatts)	Milieu actif	Fabricant	Modèle
0,266	50	20	20	Néodyme	American Optical Corp.	401 SUV
0,325		Continu	15	Hélium-Cadmium	Spectra Physics	185
0,3371	0,1	10	500	Azote	AVCO	C5000
0,3371	0,3	10	50	Azote	Molelectron	UV300
0,3371	0,1	10	100	Azote	AVCO	C-950
0,3472	10	15	10	Rubis	Korad	KIQ + KM
0,3507 0,3564		Continu	250	Krypton	Coherent Radiation	53K
0,3511 0,3638		Continu	150	Argon	Coherent Radiation	53A

résultats prouvent qu'il s'agit effectivement d'un laser. Au Naval Research Laboratory de Washington, Ray Elton et ses collègues suggèrent que l'émission de rayons X aurait pu être produite par le plasma qui s'est formé après la désintégration du sandwich de gélatine. Au Lawrence Livermore Laboratory, Lynn Cleland doute fortement qu'il s'agisse là d'un laser : les essais y ont été refaits, sans pour autant que les conclusions paraissent claires. Les essais de J. G. Kepros sont également en voie d'être refaits dans d'autres laboratoires : au National Bureau of Standards, à Gaithersburg et à l'Ames Research Center de la NASA.

Tous les essais actuels se poursuivent. Ils confirmeront ou informeront l'existence du laser à rayon X.

### DES LASERS A ULTRAVIOLETS ET RAYONS X : POURQUOI FAIRE ?

De nombreuses raisons militent en faveur du développement de lasers si possible accordables et fonctionnant dans l'ultraviolet ou dans le domaine spectral des rayons X. Il y a un besoin de lasers ultraviolets et de lasers à rayons X pour les études de photo-émission : jusqu'alors on a dû employer des systèmes complexes et chers (synchrotron).

En photochimie, les lasers ultraviolets ont une énergie suffisante pour briser de nombreuses liaisons chimiques, ce qui les rend utiles dans la recherche d'informations concernant la cinétique chimique et les structures moléculaires. En irradiant une substance photo-active avec une impulsion laser intense et de courte durée, on peut déterminer les spectres d'absorption ou d'émission des groupes chimiques intermédiaires, dont la durée de vie est très faible : cette technique, dénommée photolyse par laser, rend possible l'identification et l'étude de mécanismes qui surgissent lors de la modification de structure des molécules.

Les lasers ultraviolets peuvent produire des radicaux libres ou favoriser des réactions photochimiques, conduisant à de nouveaux composés. Ils peuvent également être susceptibles d'initier des réactions chimiques, par exemple dans les lasers chimiques.

Ils peuvent aussi être employés en spectroscopie par fluorescence, ou en spectroscopie Raman, en particulier pour la détermination de polluants tels l'anhydride sulfureux, l'oxyde de carbone et l'oxyde d'azote. La surveillance antipollution est bien adaptée, en effet, dans la fenêtre de longueurs d'ondes

situées entre 0,250 et 0,295  $\mu\text{m}$ .

Il y a encore bien d'autres applications possibles pour les lasers ultraviolets : le micro-usinage de couches minces en or ou en oxyde de silicium est plus efficace dans le spectre ultraviolet qu'aux autres longueurs d'ondes ; irradiées par des ultraviolets, les substances photochromes subissent des transformations internes qui les mènent de l'état transparent naturel à un état coloré ; les lasers ultraviolets pourraient servir dans les techniques photographiques ou photolithographiques nécessitant de grandes vitesses d'écriture. Dans le domaine médical, l'influence d'une irradiation ultraviolette sur les cellules vivantes est étudiée : comme certaines substances des tissus vivants, tels la purine et la pyrimidine, absorbent fortement les ultraviolets, un faisceau focalisé ultraviolet peut induire, à l'échelle microscopique des cellules, des mutations ou des changements génétiques ; la destruction sélective de cellules cancéreuses est également à l'étude, en mettant à profit les différences d'absorption des diverses cellules.

Toujours en applications médicales, la disponibilité de sources cohérentes de rayons X devrait permettre de réaliser des radiographies de grande résolution, rendant possible l'observation de cellules vivantes d'infimes dimensions.

Enfin, une dernière application des basses longueurs d'ondes réside dans les télécommunications à longues distances (communications interplanétaires par exemple). L'efficacité de la transmission augmente lorsque la longueur d'onde du faisceau diminue : on a donc intérêt ici encore à s'approcher des rayons X.

Marc FERRITTI

# Pourquoi?

Risquer la vie de vos transistors  
et de vos circuits intégrés précieux,

Avec les fers ANTEX, ce danger est écarté.



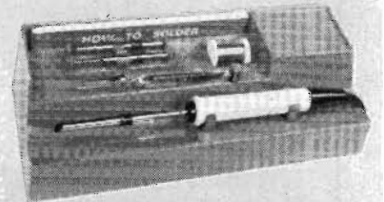
**MODELE B** - 12 Watts -  
90 ou 12 et 24v.  
Panses interchangeables longue  
durée, plaquées fer ou nickelées,  
o des pointes: 1 - 2,3 et  
4,7 mm. Fer extra-léger.  
poids 28 gr. Longueur: 16 cm.  
Prix TVA incluse: 35,50 F

**MODELE X 25**  
- 25 Watts -  
220/240v ou 110v.  
courant de filte 3 à 5 uA  
en service.  
Panses interchangeables  
longue durée,  
o des pointes:  
2,38 - 3,18 et 4,76 mm.  
Prix TVA incluse: 35,50 F

**MODELE C**  
(CN) 15 Watts -  
24 ou 110v, 230v, 240v.  
Panses interchangeables longue  
durée, plaquées fer ou nickelées,  
o des pointes: 1 - 2,3 et  
4,7 mm. Fer extra-léger.  
poids 28 gr. Longueur: 16 cm.  
Prix TVA incluse: 47,80 F

#### KIT DE SOUDURE SK1:

Consiste en un socle et un  
châssis en plastique pouvant  
servir de support pour le fer.  
Contient: 1 Fer C (CN) voltage au choix,  
2 Panses nickelées en supplément,  
1 Dissipateur de chaleur,  
1 Petite bobine de soudure,  
1 Brochure "Comment souder".  
Prix TVA incluse: 65,35 F



Agents Généraux pour la France:

ETS V. KLIATCHKO,  
6 Bis, rue Auguste Vitu,  
75015 PARIS.  
Tél: 577.84.46

Pour les Fers à souder ANTEX,  
adressez-vous à votre Revendeur ou Grossiste.  
Si vous avez des difficultés, écrivez-nous.

Firme ou Nom \_\_\_\_\_

Adresse: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_