

# ETUDE QUANTITATIVE D'UN LASER PULSE A LIQUIDE APROTIQUE POLAIRE

**Abstract.** It is first demonstrated how it is possible to calculate the amplification coefficient of a laser medium from the efficiency slopes measured with two different sets of mirrors or the energy balance. Then preliminary results from a 3,75g% Nd<sup>3+</sup> aprotic polar liquid laser are given. Pierre Ravussin, Alcyon SA, 1970

## Résumé

Un laser liquide contenant 3,75g% Nd<sup>3+</sup> sans Se O Cl<sub>2</sub> a été réalisé. Les coefficients de perte et d'amplification sont calculés par deux méthodes. La première fait appel à la condition d'oscillation du laser. La deuxième est basée sur la détermination du bilan d'énergie du système laser complet. Les deux méthodes coïncident. Pierre Ravussin, Alcyon SA, 1970

## 1 Introduction

Il est apparu depuis peu de temps que les lasers liquides dopés au néodyme ont un grand intérêt dans la réalisation d'impulsions laser de grande énergie, avec une grande puissance moyenne (1).

Tout récemment, une étude a montré qu'il est possible de réaliser une centrale électrique thermonucléaire basée sur la fusion contrôlée sans passer par un dispositif de confinement électro-magnétique du plasma, et ceci au moyen d'impulsions laser, de grande puissance et de grande énergie (2), Des réactions de fusion nucléaire déclenchées par laser ont déjà été réalisées au moyen d'un laser solide à verre néodyme (3). Ces lasers ont un rendement et une durée de vie faible. D'autre part, la densité de puissance est limitée par la rupture du barreau (4).

Les lasers liquides ne sont pas soumis à ces limitations (5).

## 2 les paramètres du laser

Le rendement d'un laser à pompage optique dépend d'un certain nombre de paramètres que l'on peut grouper en 3 catégories.

- a) les paramètres électriques et optiques de la lampe flash déterminant la puissance électrique fonction du temps  $p(t)$  et la densité spectrale de la puissance lumineuse fonction de la longueur d'onde la lumière  $u(\lambda)$  de la lumière émise.
- b) les paramètres optiques de la cavité de pompage; soit le rendement de transfert de l'énergie lumineuse du flash au milieu laser  $\eta_i$  et les coefficients de réflexion  $R_1$  et  $R_2$  des miroirs.

- c) les paramètres optiques du milieu laser proprement dit, dont les principaux sont le spectre d'absorption, le spectre de fluorescence, le temps de relaxation du niveau piège et le coefficient de diffusion du milieu.

Ces paramètres se traduiront expérimentalement par la courbe de rendement  $E_s / E_e$ . Cette courbe est généralement une droite définie par le seuil  $E_0$  et sa pente  $\Delta E_s / \Delta E_e$  (fig. 1)

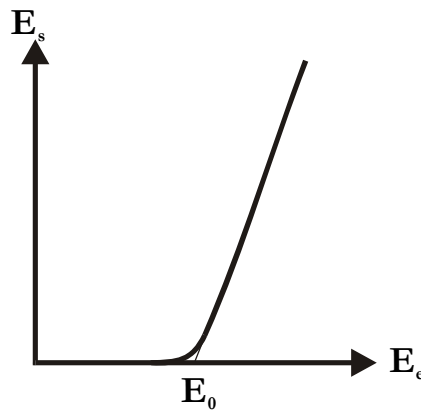


Fig. 1 rendement d'un laser

### 2.1 Coefficient de perte et gain au seuil.

La condition d'oscillation du laser, correspondant à l'énergie de seuil est donnée par la relation

$$1) \quad R_1 R_2 e^{(\gamma - \alpha) 2L} = 1 \quad \text{où}$$

$R_1 R_2$	coefficient réflexion des miroirs
$\gamma$	Coefficient d'amplification
$\alpha$	Coefficient de perte
$L$	longueur du laser

$\gamma$  dépend du taux d'inversion de population du niveau piège.

Pour une impulsion de durée convenable, on peut écrire :

$$2) \quad \gamma = C E_e$$

$C$  coefficient de proportionnalité  
 $E_e$  énergie d'entrée

En faisant la mesure de  $E_0$  pour deux valeurs de  $R_1 R_2$ , on peut tirer, en posant  $R = R_1 R_2$

$$3) \quad C = \frac{\ln ( R'' / R' )}{2 L (E_0' - E_0'')}$$

$$4) \quad \alpha = C E_0' + \frac{1}{2L} \ln R'$$

## 2.2 Rendement d'un laser

La pente  $m$  de la fig. 1 correspond au rendement du laser, indépendamment des temps de transfert et de fluorescence du milieu laser. L'expérience montre en effet que la pente est indépendante de la durée de pompage  $\Delta t$ .

On a donc la relation

$$5) \quad m = \frac{E_s}{E_E - E_0} \quad (E_E > E_0)$$

$m$  représente:

- a) Le rendement de la conversion de l'énergie électrique en énergie lumineuse  $\eta_1$
- b) Le rendement de transfert de la cavité de pompage  $\eta_2$
- c) Le coefficient d'absorption du milieu laser  $\eta_3$
- d) Les pertes dans ce milieu  $\eta_4$

Donc

$$6) \quad m = \frac{1}{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}} \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} \prod_i \eta_i \, d\lambda$$

Pour un flash au Xenon  $\eta_1$  peut être considéré comme indépendant de  $\lambda$ , de même que  $\eta_2$  et  $\eta_4$

$\eta_3$  s'écrit alors

$$7) \quad \eta_j = \sum_j \Delta\lambda_j A_j$$

$\Delta\lambda_j$  largeur de bande de la raie

$A_j$  absorption de la raie  $j$  par le milieu

$$8) \quad A_j = 1 - e^{-\sigma_j d}$$

$\sigma_j$  coefficient d'absorption de la raie  $j$   
 $d$  diamètre du milieu laser

$\eta_4$  dépend de la longueur  $L$  du milieu laser, du coefficient de diffusion  $\alpha$  et de la réflectivité  $R$  des miroirs.

On peut écrire alors

$$9) \quad \eta_4 = e^{-2\alpha RL}$$

d'où

$$10) \quad m = \eta_1 \eta_2 \sum [\Delta\lambda_j (1 - e^{-\sigma_j d})] e^{-2\alpha RL}$$

et

$$11) \quad \alpha = -\frac{1}{2RL} \ln \frac{m}{\eta_1 \eta_2 \sum [\Delta\lambda_j (1 - e^{-\sigma_j d})]}$$

### 3 Résultats expérimentaux

#### 3.1 Préparation du liquide

Nous avons essayé diverses méthodes de dissolution des sels de terres rares dans  $\text{Se O Cl}_2$  et  $\text{P O Cl}_3$ .

Nous avons obtenu le meilleur rendement laser avec une solution de 3,75g %  $\text{Nd}^{3+}$  dans  $\text{Se O Cl}_2$

La méthode de préparation consiste à faire passer en solution l'oxyde de terre rare dans  $\text{Se O Cl}_2$  et  $\text{P O Cl}_3$  grâce à la présence d'acide de Lewis  $\text{Sn Cl}_4$ . Ces produits doivent être rigoureusement anhydres et purs. Après dissolution, la solution est purifiée et filtrée. La porosité du filtre était de  $1\mu$ .

#### 3.2 Montage expérimental.

Nous avons utilisé les éléments d'une machine d'usinage par laser ALCYON ML01.

La tête laser a été modifiée pour recevoir un tube contenant le liquide laser (fig.2).



La partie active a un diamètre de 6 mm et une longueur de 170 mm. Les extrémités sont formées par les deux miroirs laser  $R_1$  et  $R_2$

Le liquide de refroidissement circule autour du tube laser et du flash. Il contient du  $\text{K}_2 \text{Cr}_2 \text{O}_7$  qui absorbe la lumière au dessous de  $5500\text{\AA}$ .

Les condensateurs et les selfs sont dimensionnées de telle sorte que la décharge électrique se fasse à l'amortissement critique. Nous avons travaillé avec des durées d'impulsion de  $350\ \mu\text{s}$ ,  $530\ \mu\text{s}$ ,  $750\ \mu\text{s}$  et  $1,5\ \text{ms}$ .

Elles correspondent à 90% de l'énergie du banc de condensateurs.

### 3.3 Résultats

Les fig. 3 et 4 montrent les courbes de rendement de la solution de 3,75 g % Nd<sup>3+</sup> dans Se O Cl<sub>2</sub>, respectivement avec un miroir de sortie de R = 33%, et R = 65%.

Les pentes de rendement **m** dépendent très peu de la durée d'impulsion, mais de la réflectivité des miroirs.

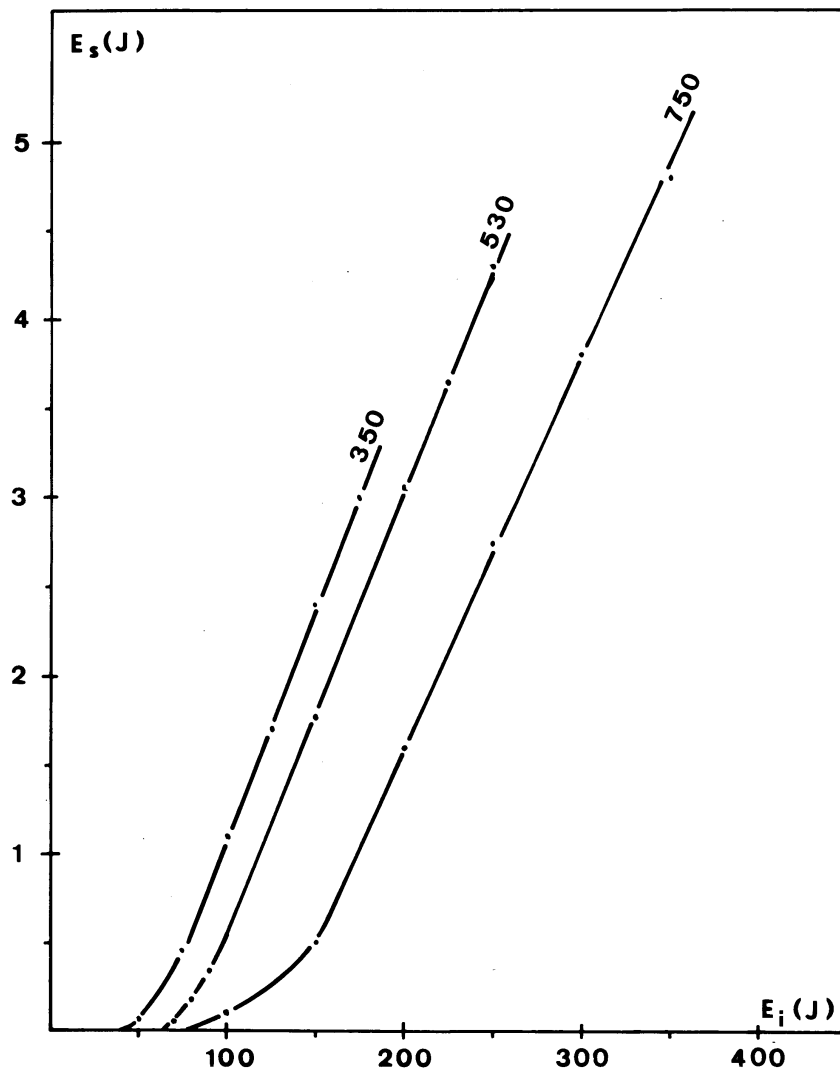


Fig 3. Miroir 33%

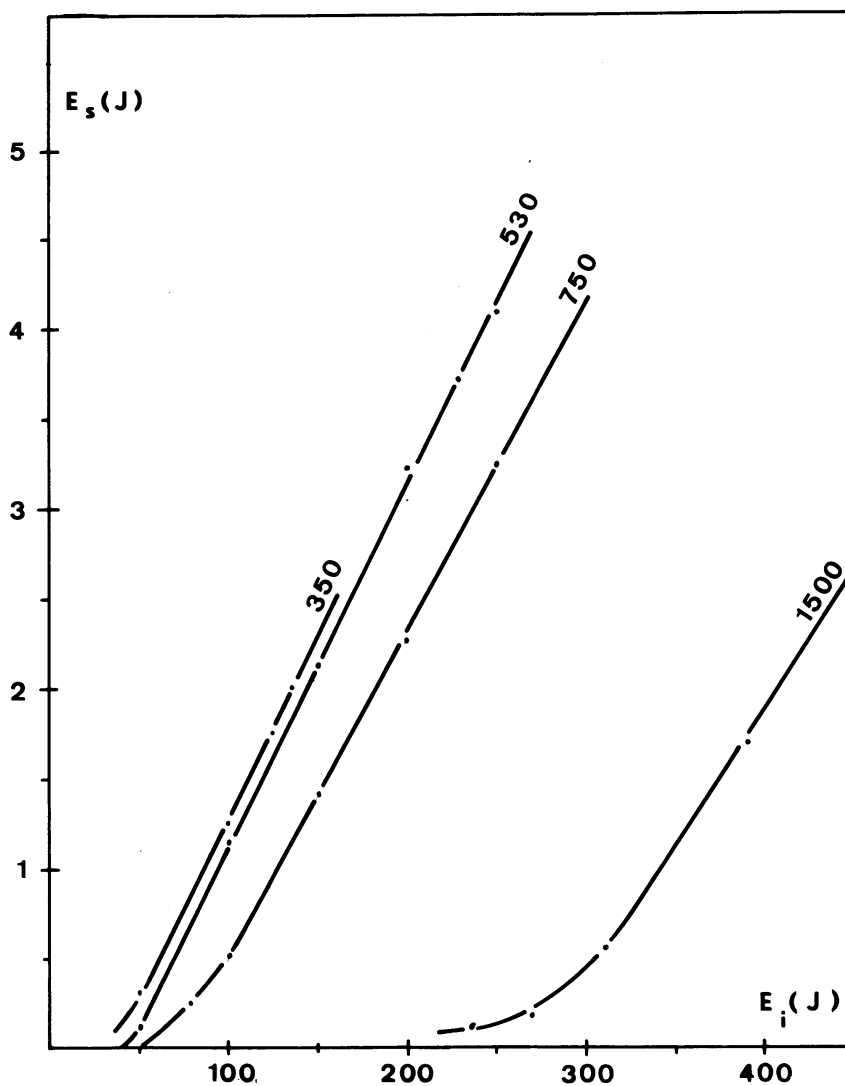


Fig. 4. Miroir 65%

Le meilleur rendement a été obtenu avec l'impulsion de 350  $\mu$ s, qui se rapproche le plus du temps de fluorescence de la solution.

Les meilleurs résultats ont été obtenu avec un miroir de 33%.

Miroir R1 R2	0,33		0,65	
	Eo [j]	m [%]	Eo [j]	m [%]
Durée $\Delta t$				
350 $\mu$ s	60	2,65	35	2,0
530 $\mu$ s	77,5	2,48	45	2,0
750 $\mu$ s	127,5	2,25	70	1,8
1,5 ms	-		275	1,5

Fig. 5

### 3.4 Calcul des paramètres (1<sup>er</sup> méthode)

En remplaçant les valeurs de la fig. 5 dans équations 1) et 2), on obtient :

$$C = 8,0 \cdot 10^{-4} \quad [\text{j}^{-1} \text{ cm}^{-1}]$$

$$A = 1,53 \cdot 10^{-2} \quad [\text{cm}^{-1}]$$

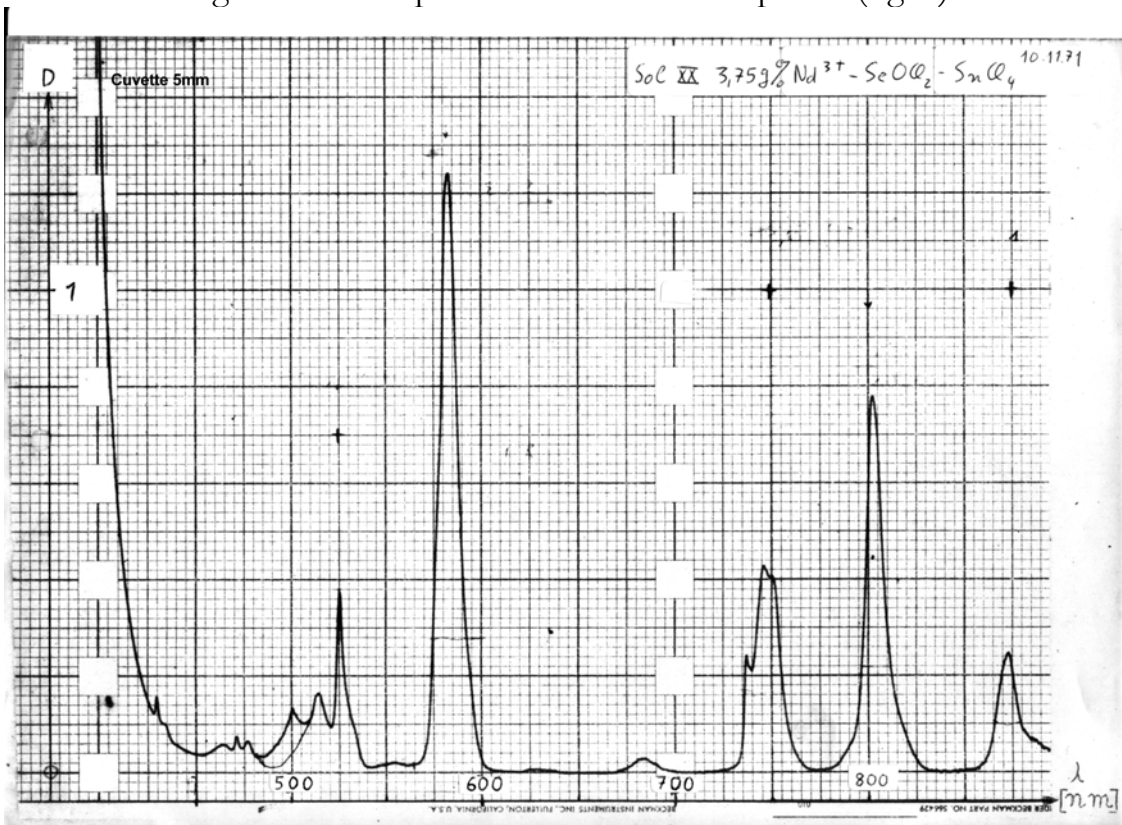
Le coefficient de perte est assez élevé. Ceci est dû à la présence dans le liquide de particules non filtrées d'un diamètre de  $1\mu$  et moins.

En faisant passer un rayon laser axialement dans le tube et en observant latéralement sur un fond noir, on voit apparaître très distinctement ces particules.

### 3.5 Méthode du bilan d'énergie.

Déterminons successivement le divers paramètres de la formule 11). Le flash au Xenon utilisé a un rendement spectral de  $80\mu\text{W}$  par watt d'entrée et par  $\text{\AA}$  de largeur de bande (6). Le spectre est quasi continu et constant dans le visible et le proche infrarouge. La cavité de pompage argentée a un rendement de 81% pour les bandes d'absorption qui nous intéressent, en comptant un pouvoir réflecteur de l'argent de 90% et 10% de pertes diverses (diffusion, réflexion vitreuse, etc.)

Le coefficient global d'absorption se déduit de son spectre (fig. 6).





En estimant à 5mm l'épaisseur moyenne dans le tube, nous trouvons :

Longueur d'onde	Coefficient d'absorption	Largeur de bande à mi-hauteur	Absorption sur 5mm	Absorption globale
$\lambda_i$ [Å]	$\sigma$ [cm <sup>-1</sup> ]	$\Delta\lambda_i$ [Å]	$A_i$	$\Delta\lambda_i A_i$ [Å]
5850	5,72	175	0,9425	165
7475	1,98	200	0.628	125
8025	3,60	150	0.834	125
8725	1,15	150	0,437	65

$$\sum_i \Delta\lambda_i A_i = 480 \text{ Å}$$

Fig. 7

La formule 11) nous donne alors, avec  $m = 0,0265$

$$A = 1,42 \cdot 10^{-2} \text{ [cm}^{-1}\text{]}$$

### 3.6 Conclusion

Les deux méthodes de calcul concordent. Toutefois la 2<sup>ème</sup> méthode est très imprécise. Elle n'est correcte que pour la valeur optimum de R et de  $\Delta T$ .

Le rendement de ce laser peut être encore augmenté d'une part en diminuant  $\alpha$  par une filtration plus poussée et une solution plus pure et d'autre part en élargissant les bandes d'absorption en optimisant les concentrations de Nd<sup>3+</sup>, Se O Cl<sub>2</sub> et acide de Lewis. L'utilisation d'un mélange de terre rare devrait permettre d'atteindre des rendements dépassant 10%.

P. Ravussin

ing. physicien EPFL – SIA

Dr ès Sciences Techniques

ALCYON ELECTRONIQUE ET PHYSIQUE SA - LAUSANNE

Ce projet a fait l'objet d'une thèse à l'Institut de chimie minérale de l'Université de Lausanne (Prof. Brünishold). Dont l'auteur a été co-directeur

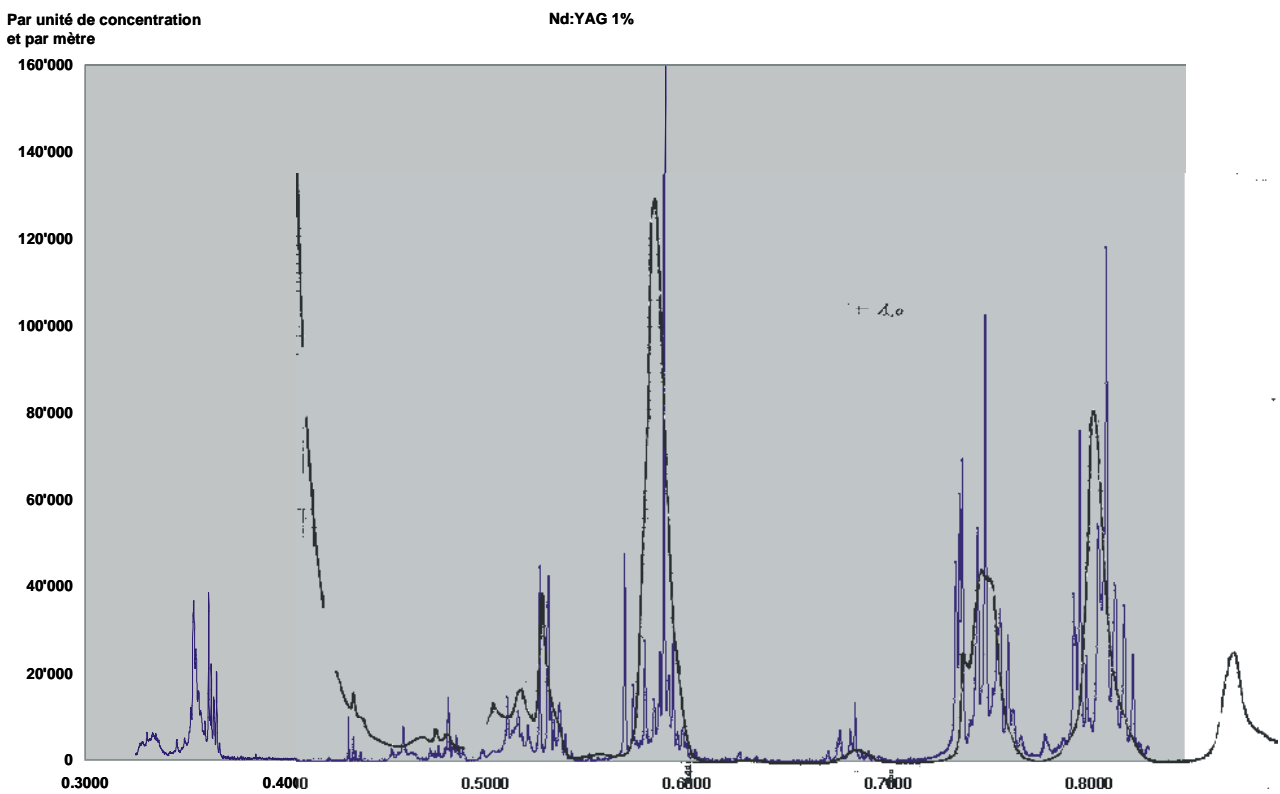
Huyhn Cong Khanh : Contribution à l'étude des propriétés luminescentes de solutions de terres rares dans des solvants aprotiques polaires, Thèse, Université de lausanne, Suisse..

Notes de l'auteur (janvier 2005)

Le rendement élevé obtenu malgré la présence d'un grand nombre de particules diffusantes provient du fait qu'il est possible de dissoudre une bien plus grande quantité de  $\text{Nd}^{3+}$  dans  $\text{SeOCl}_2$  que dans un cristal Nd :YAG (généralement 1,2%).

Il serait probablement possible d'obtenir un rendement en encore plus élevé (doublé ?) en utilisant un système binaire Ce : Nd :  $\text{SeOCl}_2$  et en supprimant le bichromate de potassium dans l'eau de refroidissement.

Nous ne savons pas si la largeur des raies du spectre de  $\text{Nd}^{3+}$  dans  $\text{SeOCl}_2$  provient d'une limitation du spectromètre ou d'un élargissement provenant de l'effet du  $\text{SeOCl}_2$ .



Spectre de Nd : $\text{SeOCl}_2$  superposé sur un spectre fin Nd :YAG

## Références succinctes

- 1) High Energy Pulsed Liquid Laser. Semi-annual Technical Summary Report, U.S. Navy Office of Naval Research, Washington., D.C., Contract N00014 – 68 –C-0110, 30 January 1969.
- 2) Fusion by Laser, Moshe J. Lubin, Arthur P. Fraas, Scientific American, June 1971, Volume 224, No 6.
- 3) Fusion nucléaire obtenue par laser, F. Floux. L'Onde électrique, 50 (7), juillet - août 1970
- 4) Eigenschaften und Anwendungen der Glass Laser. N. Neuroth. Laser nr, 4/70.
- 5) A Construction of th High Power Laser Amplifier using Glass and Selenium oxychloride doped with  $\text{Nd}^{3+}$  . Takatomo Sasaki, Tatsuhiko Yamanaka, Gentaro Yamaguchi and Chiyoe Yamanaka. Japanese Journal of applied Physic, Vol. 8, No. 8, August 1969.
- 6) Charting a Simpler Approach to lasers by S. Donald Sims and Lawrence Was Zak, Biorad Inc, New Hyde Park, MY.

## Table des figures

Fig. 1 Courbe de rendement d'un laser à pompage optique

Fig. 2 Tête laser ML01 modifiée, avec son support de tube à liquide.

Fig. 3 Courbes de rendement avec un miroir de 33%

Fig. 4 Courbes de rendement avec un miroir de 65%

Fig. 5 Tableau des rendements laser.

fig 6 Spectre d'absorption de 3,75g%  $\text{Nd}^{3+}$  dans  $\text{Se O Cl}_2$

fig 7 Tableau des bandes d'absorption de 3,75g%  $\text{Nd}^{3+}$  dans  $\text{Se O Cl}_2$

## Crédit

Les solutions de néodyme dans le liquide aprotique polaire ont été préparée par P. Würsch, chimiste, Dr ès sciences.