

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR INGÉNIEUR

par

Jacques DEPRET



**"RÉALISATION D'UN LASER INFRA-ROUGE LOINTAIN GUIDÉ,
OPTIQUEMENT POMPÉ, ET UTILISATION EN TANT QUE
SOURCE SUBMILLIMÉTRIQUE"**

Soutenue le 14 novembre 1979, devant la Commission d'Examen

Membres du Jury	M.	Y. LEROY	Président
		E. CONSTANT	Rapporteur
		J. BELLET	Examineur
		J. CITERNE	Examineur
		R. ADDE	Invité
		E. DA SILVA	Invité

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

CHAPITRE I : CONDITIONS D'OSCILLATION

I. La cavité passive.....	4
II. Le milieu actif.....	9
III. Cavité milieu actif : conditions d'oscillation.....	19
IV. Cavité milieu actif : puissance IRL.....	25
V. Conclusion.....	27

CHAPITRE II : DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

I. Le laser à CO ₂	28
II. Le système optique.....	40
III. La cavité submillimétrique.....	40
IV. Protection de l'ensemble contre les vibrations extérieures.....	46
V. Conclusion.....	48

CHAPITRE III : CARACTERISTIQUES ET PERFORMANCES DU LASER SUBMILLIMETRIQUE

I. Recherche des paramètres influant sur la puissance IRL..	49
II. Influence des paramètres expérimentaux sur la puissance IRL.....	50
III. Obtentions des raies submillimétriques.....	62

IV. Stabilité du laser IRL.....	68
V. Conclusion.....	68

CHAPITRE IV : UTILISATION DE LA SOURCE POUR LA CARACTE-
RISATION DE MATERIAUX

I. Méthode de mesure - Diviseur analogique.....	70
II. Application aux cristaux liquides.....	73
III. Conclusion.....	92

CONCLUSION

<u>ANNEXE I : ASSERVISSEMENT DU LASER A CO₂.....</u>	94
---	----

<u>ANNEXE II : ORDERED LIST OF OPTICALLY-PUMPED LASER LINES WITH FREQUENCIES.....</u>	99
---	----

INTRODUCTION

C'est en 1962 qu'ont débuté les premières études concernant les lasers submillimétriques avec la découverte des émissions lasers à 28 μm [1] et 122 μm [2] d'un mélange Hélium-Néon excité par une décharge électrique. Apparaissent ensuite les lasers moléculaires à décharge concernant les molécules d'eau [3] et d'acide cyanhydrique [4]. Il s'est avéré très vite que peu de molécules pouvaient être excitées de cette manière car de nombreux problèmes apparaissaient : dissociation des molécules, temps de relaxation défavorables, ennuis divers liés à la décharge, excitation non sélective des niveaux de rotation-vibration. Il fallut donc trouver un autre système pour pouvoir continuer à développer les lasers submillimétriques avec d'autres molécules et c'est en 1970 qu'apparaissent les premiers lasers submillimétriques optiquement pompés [5] qui offrent de nombreux avantages : [6, 7]

- nombre élevé de raies (figure 0-1)
- suppression des fluctuations associées à la décharge
- pompage sélectif des niveaux

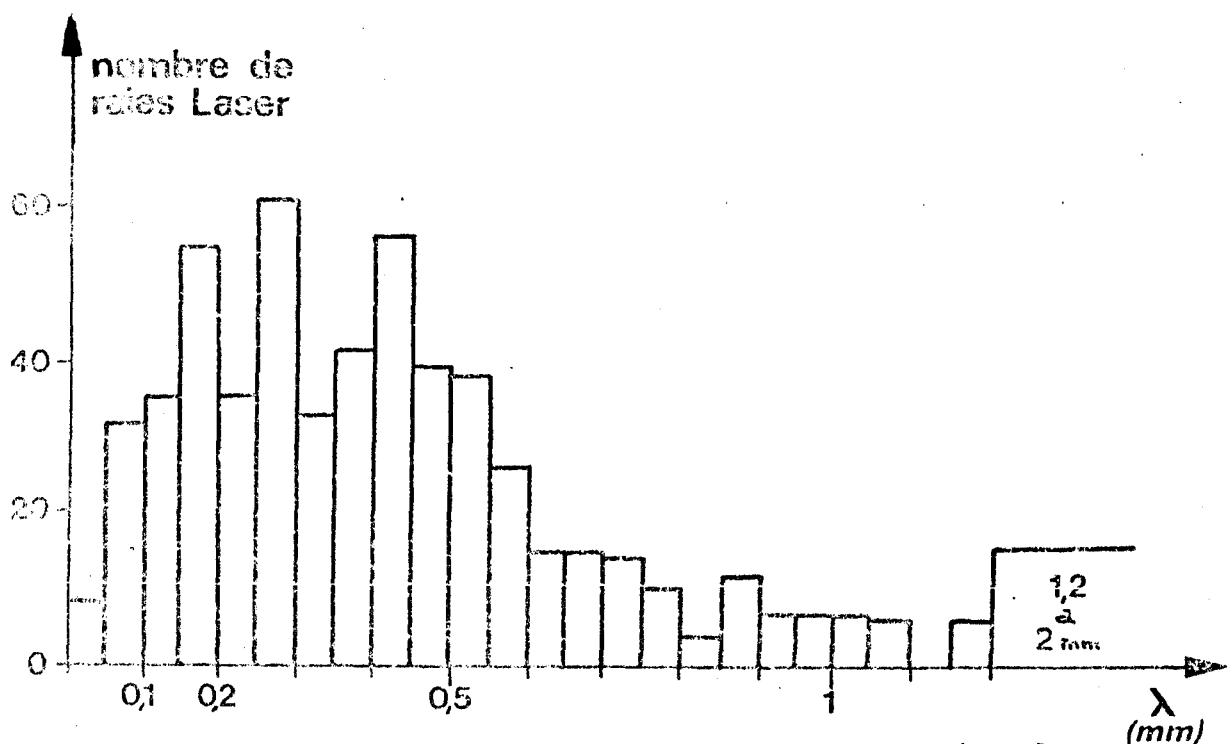


Figure 0.1 : Répartition des raies en fonction de leur longueur d'onde [d'après [6]].

Outre son intérêt en tant qu'instrument de physique fondamentale (spectroscopie) il est à remarquer que c'est actuellement la seule source capable de couvrir toute la région submillimétrique avec un niveau de puissance élevé (supérieur au milliwatt).

En effet, actuellement les seules sources dans ce domaine de fréquences sont :

- le carcinotron
- la diode Impatt
- la lampe à vapeur de mercure

Les deux premiers types, quoi que fournissant une puissance appréciable, ne couvrent pas tout le domaine submillimétrique et de plus ne sont accordables que sur une bande relativement restreinte de fréquence. Quant au troisième type, bien que couvrant tout le domaine submillimétrique, ne fournit qu'une très faible puissance. (figure 0.2)

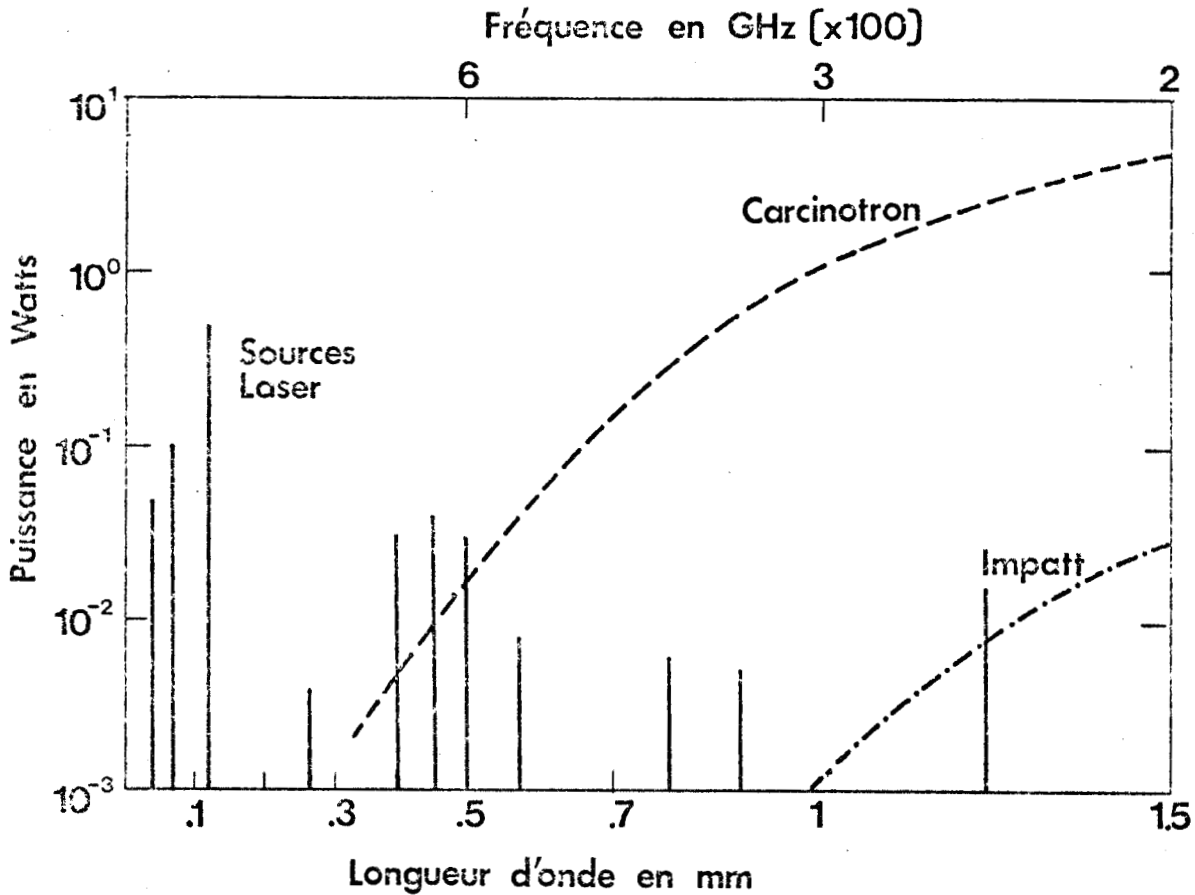


Figure 0.2 : Comparaison des différentes sources submillimétriques (d'après [7]).

Le but de notre travail a été de construire un laser optiquement pompé et de l'utiliser en tant que source pour des mesures de caractérisation en infra-rouge lointain (IRL).

Après avoir reprécisé dans le premier chapitre le principe de fonctionnement du laser IRL, nous décrivons dans le second chapitre notre installation. Dans le troisième chapitre, nous verrons l'influence des principaux paramètres physiques sur la puissance IRL délivrée, et nous donnerons les performances obtenues. Enfin, des mesures de caractérisation de matériaux effectuées à l'aide de cette source seront présentées dans le dernier chapitre.

B I B L I O G R A P H I E

- [1] R.A. Mc FARLANE and al
"Gas maser operation at wavelengths out to 28 μm "
Quant. Elect. vol 3. New York - Colombia Press p 573 (1964)

- [2] C.K.P. PATER, W.L. FAUST and al
"cw optical maser action up to 133 μm in Neon discharge"
Proc. IEEE vol 32. p 713 (June 1964)

- [3] H.A. GEBBIE and al
"A stimulate emission source at 0,34 mm wavelength"
Nature p 685 (16 May 1964)

- [4] L.E.S. MATHIAS and J.T. PARKER
"Stimulated emission in the band spectrum of nitrogene"
Appl. Phys. Lett, vol 3, p 16 (1963)

- [5] T.Y. CHANG and T.J. BRIDGES
"Laser action at 452, 496 and 541 μm in optically pumped CH_3F "
Opt. Comm. vol 1 n° 9 p 423 (April 1970)

- [6] R.J. TEMKIN
"An introduction to optically pumped lasers"
SPIE vol 105 FIR/Submil. waves (1977)

- [7] D.T. HODGES
"A review of advances in optically pumped FIR lasers"
Infr. Lasers (1978)

CHAPITRE I

CONDITIONS D'OSCILLATIONS

CONDITIONS D'OSCILLATION

I. La cavité passive

1. Description
2. Pertes de propagation
3. Description des modes de propagation
4. Pertes totales.

II. Le milieu actif

1. Définition et réalisation d'un milieu actif
 - a) Différents types de transitions radiatives
 - b) probabilité de transition
 - c) Définition du gain et saturation.
2. Largeur des raies. Facteur de forme
3. Modèle théorique du laser IRL.

III. Cavité-Milieu actif : Conditions d'oscillation

- A. Le régime permanent
 1. Conditions d'oscillation laser
 2. Condition d'amplitude
 3. Condition de phase
- B. Le régime transitoire
 1. Evolution du nombre de photons IRL.

IV. Cavité-Milieu actif : Puissance IRL

V. Conclusion.

Un laser est constitué essentiellement de deux parties

- une cavité passive, avec ses modes, son atténuation...
- un milieu actif, composé d'un gaz de molécules créant l'oscillation et l'amplifiant.

Bien que ces deux systèmes interfèrent entre eux, il est nécessaire pour une bonne compréhension, de les étudier séparément dans un premier temps.

Nous pourrions ainsi analyser les différents mécanismes et phénomènes physiques qui interviennent dans le fonctionnement d'un laser IRL (Infra-Rouge-Lointain) et ainsi justifier la relation donnant la puissance de sortie IRL que nous allons utiliser pour l'interprétation des résultats.

I. LA CAVITE PASSIVE

1° DESCRIPTION

La cavité se compose d'un guide d'onde circulaire, fermé à chaque extrémité par un miroir percé d'un trou en son centre afin de permettre : (figure I.1)

- d'une part, de faire pénétrer le rayonnement IR (Infra-Rouge) de pompe
- d'autre part, de prélever une partie du rayonnement IRL.

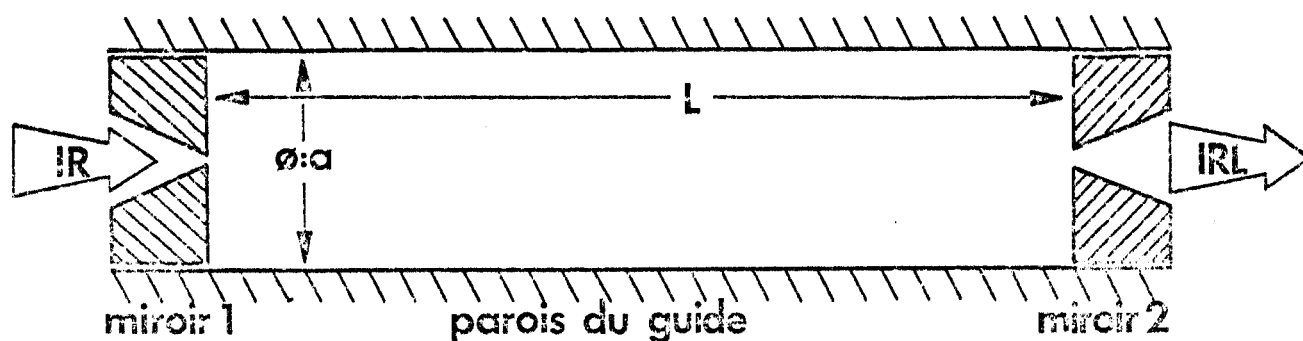


Figure I.1 La cavité submillimétrique

2° PERTES DE PROPAGATION

La cavité étant métallique, les modes fondamentaux sont du type TE_{nm} ; ce sont en effet, les seuls ayant un coefficient d'atténuation inférieur à quelques db/m.

Celui-ci étant donné par la relation [1,2,3]

$$\alpha_{TE_{nm}} = \left(\frac{\pi \epsilon_0 \nu}{\sigma a^2}\right)^{1/2} \left[\left(\frac{n}{U'_{nm}}\right)^2 \left(1 - \left(\frac{n}{U'_{nm}}\right)^2\right)^{-1} + \left(\frac{CU'_{nm}}{2\pi a \nu}\right)^2 \right] \quad (I-1)$$

où U'_{nm} est le m^{ième} zéro de J'_n
 ν est la fréquence de la radiation
 σ représente la conductivité du matériau utilisé
 a est le rayon du guide.

Plus particulièrement, les deux modes ayant la plus faible atténuation sont les TE₀₁ et TE₀₂.

Dans le cas de la cavité diélectrique, il y a en plus comme mode fondamental, le EH₁₁. Dans ce type de cavité, les pertes par effet joule sont négligeables devant les pertes dans le diélectrique : en effet, l'onde est moins bien guidée que dans le guide métallique et une partie "s'échappe" dans les parois. Dans ce type de guide, l'atténuation est alors donnée par [2,3] :

$$\alpha_{nm} = \frac{h_{nm}^2 \lambda^2}{4\pi^2 a^3} - \begin{cases} (\eta^2 - 1)^{-1/2} & TE_{0m} \\ \eta^2 (\eta^2 - 1)^{-1/2} & TM_{0m} \\ 1/2 (\eta^2 + 1) (\eta^2 - 1)^{-1/2} & EH_{nm} (\eta \neq 0) \end{cases} \quad (I-2)$$

où h_{nm} représente le m^{ième} zéro de J_{n-1}
 η est l'indice de réfraction du diélectrique
 λ est la longueur d'onde de la radiation

A titre d'exemple, on obtient, à 119 μm pour a = 12 mm :

- guide métallique (Laiton) :

$$\alpha_{TE_{01}} \approx 5.10^{-4} \text{ db/m}$$

$$\alpha_{TE_{02}} \approx 1,5.10^{-3} \text{ db/m}$$

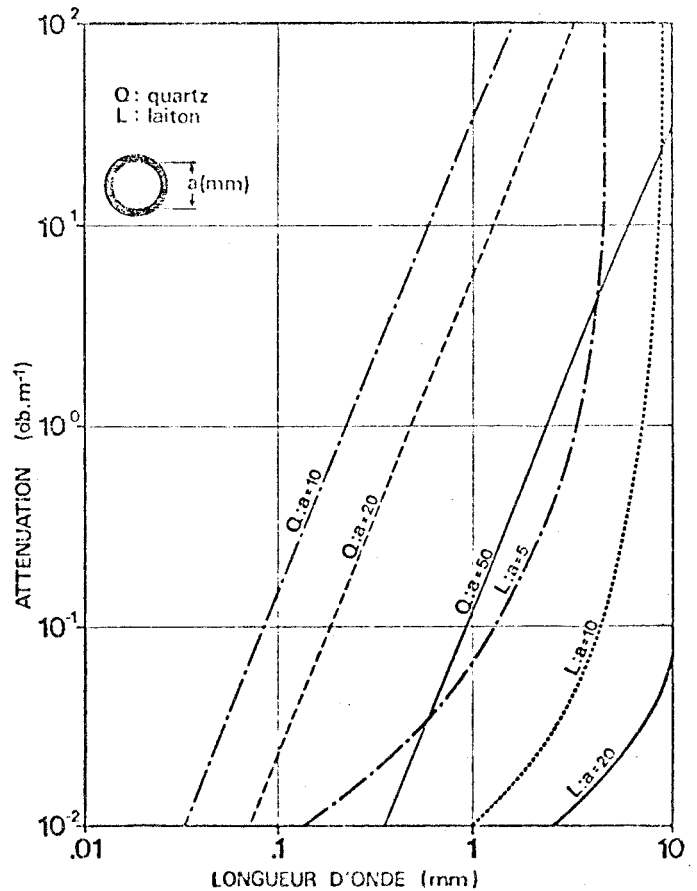
- guide diélectrique
(Pyrex)

$$\alpha_{EH_{11}} \approx 0,08 \text{ db/m}$$

$$\alpha_{TE_{01}} \approx 0,12 \text{ db/m}$$

$$\alpha_{TE_{02}} \approx 0,27 \text{ db/m}$$

Figure I.2 : Atténuation
du mode principal en fonction
de la longueur d'onde (d'après
Yamanaka [4])



3° DESCRIPTION DES MODES DE PROPAGATION

Nous venons de voir que les modes fondamentaux sont les TE_{01} , TE_{02} et EH_{11} , puisque ce sont ceux ayant la plus faible atténuation. Il reste maintenant pour terminer leur description, à exprimer la constante de propagation et à décrire la polarisation ainsi que la répartition énergétique de ces différents modes.

La constante de propagation est donnée par :

$$\beta_{TE_{nm}}^2 = (2\pi\nu)^2 \epsilon\mu - \frac{U'_{nm}}{a^2} \quad (I.3)$$

pour le guide métallique (c'est celui que nous avons utilisé)

or, à la fréquence où le laser fonctionne, et comme le diamètre du guide est grand devant la longueur d'onde, le premier terme est beaucoup plus important que le second, par conséquent :

$$\beta \approx 2\pi\nu \sqrt{\epsilon\mu} = \beta_0 \quad (I-4)$$

où β_0 est la constante de propagation d'une onde TEM

En ce qui concerne la polarisation du champ électrique, elle est donnée à la figure I.3, pour les trois modes considérés.

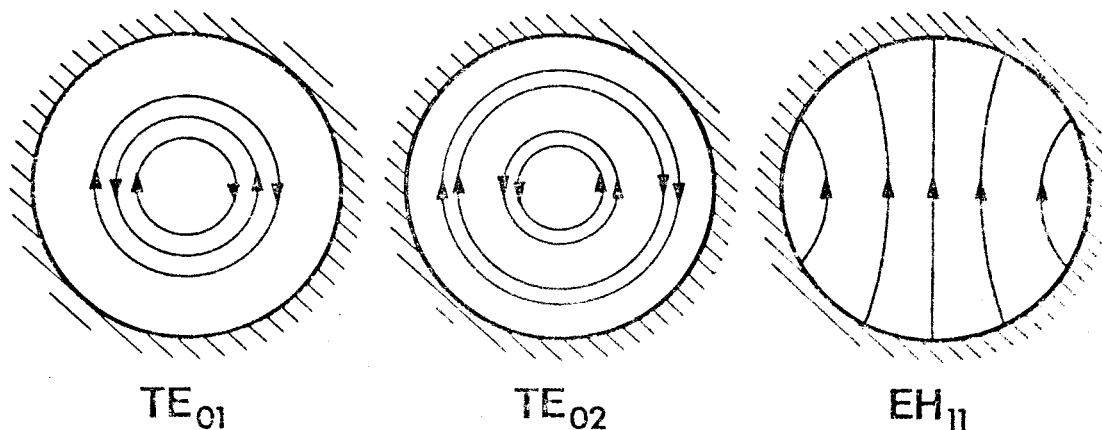


Figure I.3 : Polarisation du champ électrique des principaux modes (d'après Wood [3])

Enfin, pour la répartition énergétique des modes, il ne faut pas oublier que ceux-ci sont "distordus" par la présence du rayonnement IR de pompe (polarisation, inhomogénéité..), et également par la présence des trous de couplages se trouvant au centre des miroirs comme le montre la figure I.4

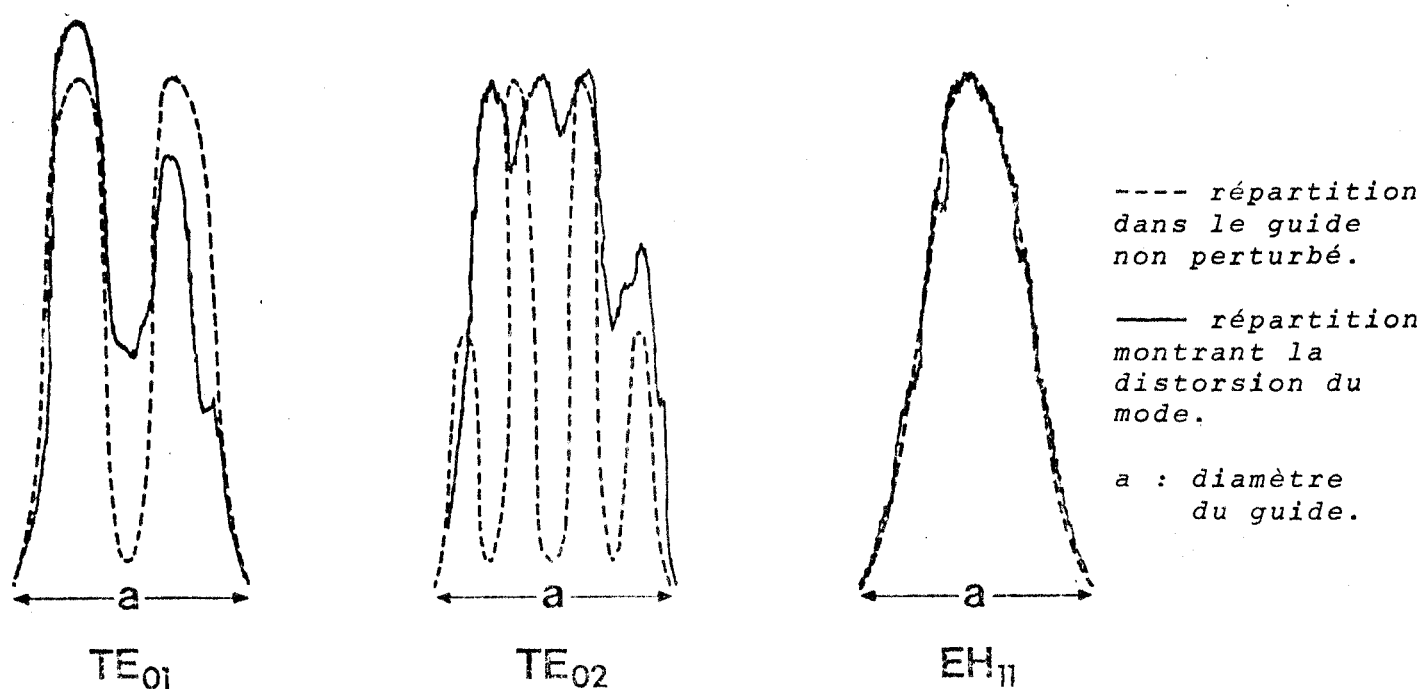
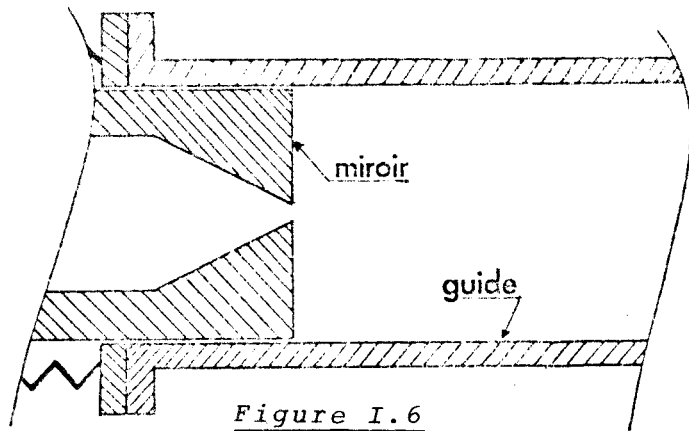
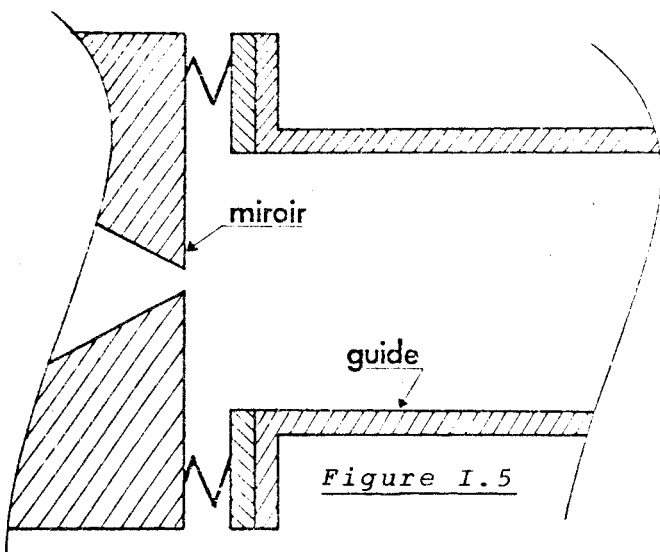


Figure I.4 : Répartition spatiale à travers une section perpendiculaire à l'axe du guide des principaux modes (d'après Wood [3])

4° PERTES TOTALES

La cavité submillimétrique se composant d'un guide fermé à chaque extrémité par un miroir, il en résulte en plus des pertes de propagation, d'autres pertes liées au couplage entre chaque miroir et le guide.

En effet, afin de pouvoir régler la longueur de la cavité et l'orientation des miroirs, une solution possible est de placer ces miroirs un peu à l'extérieur du guide, ceci permet alors d'avoir des miroirs dont le diamètre est supérieur à celui du guide, ce qui diminue fortement les pertes par diffraction : mais il en résulte une zone où le rayonnement n'est plus guidé (figure I.5)



Dispositifs possibles des miroirs dans la cavité submillimétrique

Ce couplage miroir - guide se fera d'autant mieux, que le mode se propageant est d'autant plus proche d'un mode TEM, ce qui est le cas pour EH_{11} et par conséquent il n'y aura aucun problème pour la cavité diélectrique.

Dans le cas de la cavité métallique, c'est à dire pour les modes TE_{0m} , ce passage se fait très mal, il en résulte des pertes importantes et il est nécessaire d'utiliser une autre solution c'est à dire de placer les miroirs à l'intérieur du guide comme le montre la figure I.6. Ceci entraîne malgré tout des pertes liées à la discontinuité guide - miroir, mais toutefois moins importantes que les précédentes.

Il en résulte, en ajoutant ces pertes aux pertes de propagation, que ces deux types de cavité donnent des résultats différents :

Aux faibles longueurs d'onde, comme les pertes de propagation sont faibles, ce seront les pertes de couplage qui prédomineront et il en résultera une meilleure efficacité de la cavité diélectrique.

Par contre, pour des longueurs d'onde plus importantes, ce sont les pertes de propagation qui prédomineront et la cavité métallique aura un meilleur rendement.

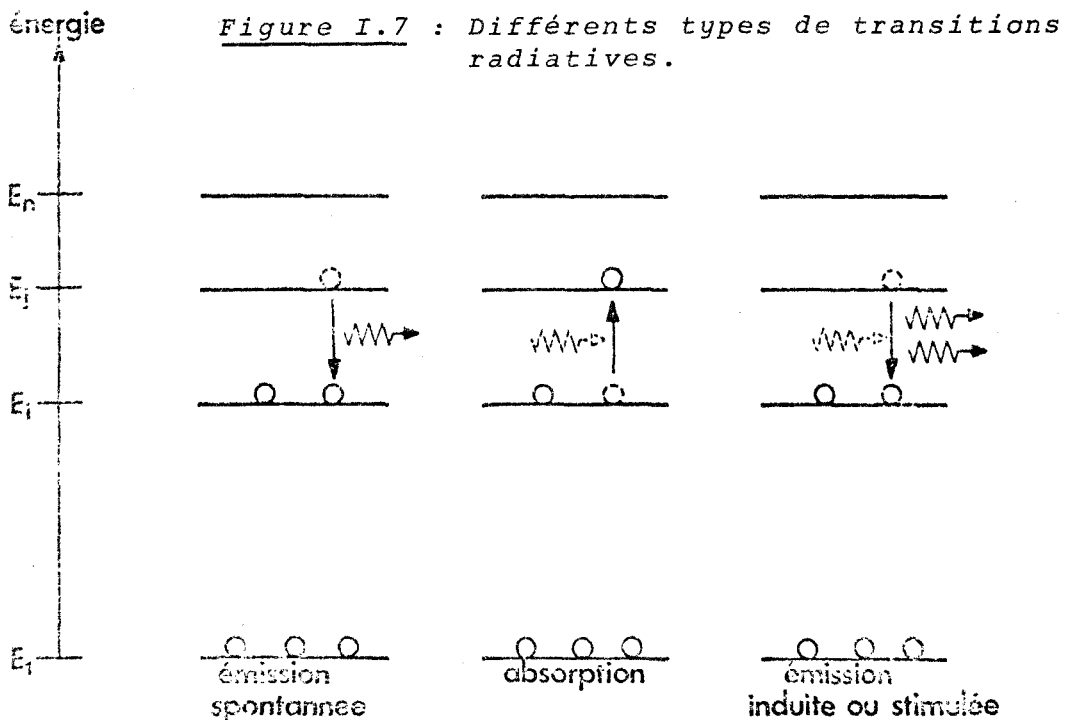
II. MILIEUX ACTIF

1° DEFINITION ET REALISATION D'UN MILIEU ACTIF

a) *Différents types de transitions radiatives*

A l'équilibre thermique les atomes (ou molécules) se répartissent dans les niveaux d'énergie plus bas ; le fait de leur fournir de l'énergie conduit à les répartir sur l'ensemble des niveaux disponibles.

Par conséquent, une raie spectrale déterminée correspond à une transition entre deux niveaux, qui peut s'effectuer de trois manières possibles (figure I.7) :



* Emission spontanée : l'atome (ou la molécule) descend spontanément du niveau E_j à un niveau inférieur en émettant un photon à la fréquence $\nu_{ij} = (E_j - E_i)/h$

* Absorption : si des photons de fréquence ν_{ij} sont déjà présents dans le milieu, l'atome (ou la molécule) peut en absorber un et se trouver ainsi porté de l'état E_i à l'état E_j .

* Emission induite : c'est le phénomène inverse du précédent. L'un de ces mêmes photons ν_{ij} peut en effet induire un atome se trouvant dans l'état E_j à redescendre dans l'état E_i en émettant un second photon non seulement à la fréquence ν_{ij} , mais dont toutes les autres caractéristiques (direction, sens, polarisation, phase) sont identiques à celles du photon "inducteur". On voit donc que l'émission induite peut être à l'origine dans certaines conditions d'un phénomène d'amplification cohérente du nombre de photons : l'émission laser. L'une des conditions pour que ceci soit réalisé est qu'il faut que la population du niveau E_j soit supérieure à celle de E_i ; il va donc falloir inverser les populations par un phénomène appelé "pompage" (puisqu'il faudra "pomper" les molécules d'un niveau bas vers un niveau haut par un rayonnement extérieur).

B) probabilité de transition [7,8,9]

Nous venons de voir que l'on pouvait avoir trois types d'interactions entre deux niveaux donnés. Par conséquent, la probabilité totale pour qu'un système passe, pendant l'unité de temps, d'un niveau 2 à un niveau 1 d'énergie plus basse peut s'écrire :

$$P_{21} = A + U\nu B_{21} \quad (I-5)$$

où A : probabilité de transition spontanée

B_{21} : coefficient de transition stimulée

U_ν : densité de rayonnement à la fréquence ν_{21}

de même, la probabilité totale pour que le système passe de l'état 1 à un état 2 d'énergie plus haute peut s'écrire :

$$P_{12} = U\nu B_{12} \quad (I-6)$$

où B_{12} : coefficient d'absorption.

On peut résumer ceci par la figure suivante :

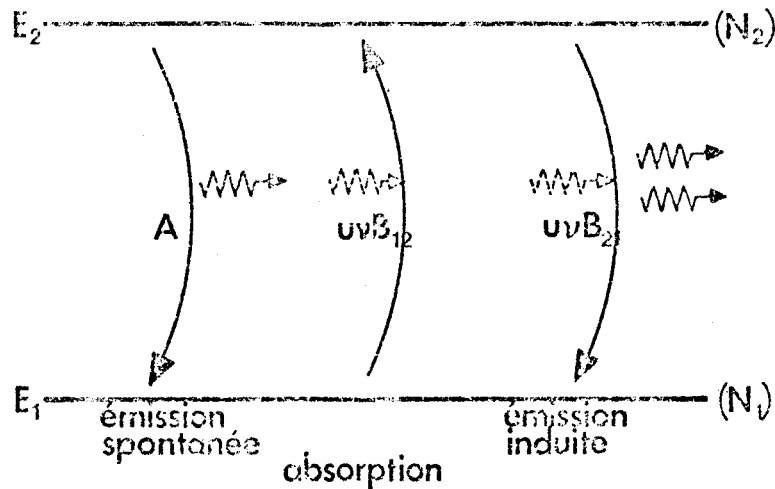


Figure I.8 : probabilités de transition entre deux niveaux

De ces deux relations, on en déduit les équations gouvernant l'évolution des populations N_1 et N_2 des niveaux 1 et 2 :

$$\frac{dN_2}{dt} = - N_2 (A + Uv B_{21}) + N_1 Uv B_{12} \quad (I-7)$$

$$\frac{dN_1}{dt} = - \frac{dN_2}{dt}$$

Nous supposons dans ces relations que le système est isolé, et par conséquent que $N_1 + N_2$ reste constant. On montre que les coefficients d'absorption et d'émission stimulée sont reliés par la relation :

$$g_2 B_{21} = g_1 B_{12} \quad (I-8)$$

où g_1 et g_2 sont les dégénérescences des niveaux 1 et 2, la relation (I.7) peut alors s'écrire :

$$\frac{dN_2}{dt} = - AN_2 + Uv B_{12} (N_1 - \frac{g_1}{g_2} N_2) \quad (I-9)$$

Remarquons qu'à l'équilibre thermique, le niveau E_2 est très peu peuplé devant E_1 , par conséquent N_2 est négligeable devant N_1 et la relation (I.9) peut s'approximer à :

$$\frac{dN_2}{dt} = - AN_2 + Uv B_{12} N_1 \quad (I-10)$$

Alors que dans le cas du laser où l'on a réalisé l'inversion de population, le niveau E_2 est plus peuplé que E_1 , et l'approximation précédente n'est plus valable.

c) définition du gain et saturation [7, 9, 10]

Le gain d'une transition est généralement défini par

$$\alpha = \frac{1}{I} \frac{dI}{dz} \quad (I-11)$$

où : I représente l'intensité de la radiation
 z est l'axe de propagation

Ce gain est proportionnel au nombre de photons IRL, c'est à dire à la décroissance du niveau N_2 . Comme dans le cas du laser, l'émission spontanée est négligeable devant les autres mécanismes [21], on peut écrire :

$$\alpha \sim \left(\frac{g_1}{g_2} N_2 - N_1 \right) \quad (I-12)$$

Il apparaît alors que G est d'autant plus important que $\left(\frac{g_1}{g_2} N_2 - N_1 \right)$ l'est, mais il ne faut pas oublier que la transition peut se saturer, c'est à dire que le terme $\left(\frac{g_1}{g_2} N_2 - N_1 \right)$ ne peut augmenter indéfiniment, c'est ce que l'on appelle la "saturation du gain"

En général, la saturation dans les lasers est due au fait que les retombées du niveau supérieur E_2 vers le niveau inférieur E_1 (amplification de l'émission) ne sont plus négligeables devant l'inversion de population. Ces transitions tendent alors à réduire l'écart $\left(\frac{g_1}{g_2} N_2 - N_1 \right)$ et par conséquent, le gain devient inférieur au gain en champ nul.

Dans ce cas on peut en déduire deux gains, l'un à petits signaux que l'on note $\alpha_{\text{non saturé}}$, l'autre à grands signaux que l'on note $\alpha_{\text{saturé}}$. Rigrod [11,12] a montré, que l'expression du gain pouvait alors se mettre sous la forme :

$$\alpha = \alpha_S (1 + I/I_S)^{-n} \quad (I.13)$$

où α_S est le gain saturé

I est l'intensité de radiation

I_S est le paramètre de saturation égal à l'intensité de saturation quant le gain tombe à $g_0 \times 2^{-n}$

avec $n = 1$ dans le cas d'un élargissement homogène

$n = 1/2$ dans le cas d'un élargissement inhomogène

On peut remarquer que la transition inhomogène se sature moins vite, ceci est principalement dû au fait que la largeur de la raie inhomogène augmente avec l'intensité de radiation.

On peut également noter que l'utilisation du paramètre de saturation est intéressante car il ne dépend que des paramètres moléculaires [13] et de la pression [14] ($I_{sat} \sim p^2$) et que le gain IRL est toujours "saturé" en régime permanent.

2° LARGEUR DES RAIES. FACTEUR DE FORME

Nous avons jusqu'à présent considéré la transition laser comme parfaitement monochromatique, ce qui n'est évidemment pas le cas. En fait, plusieurs causes interviennent pour élargir la raie et on peut distinguer deux grands types :

- élargissement homogène ou type "Lorentz" : dans ce cas, la forme de la raie ne dépend que des chocs subits par les molécules.

- élargissement inhomogène ou type "Gaussien" : la fréquence de la transition dépend de la vitesse des molécules et par conséquent le déplacement en fréquence est différent pour chaque "classe de molécules" (Effet Doppler").

Cela veut dire, par conséquent, que tous les paramètres liés aux molécules notamment le coefficient d'amplification ou d'absorption de la transition, va se voir multiplié par un terme dépendant de la fréquence et qui sera appelé "Facteur de forme". C'est ce terme qui traduira le fait que la transition n'est pas parfaitement monochromatique. Par exemple, on écrira pour le gain :

$$\alpha(\nu) = \alpha(\nu_a) \times f(\nu) \quad (I.14)$$

valeur du gain pour la fréquence centrale ν_a \uparrow facteur de forme

Ce facteur de forme sera naturellement différent selon que l'élargissement est homogène ou inhomogène et a une forme [8,9] du type "Lorentz" ou "Gauss" (figure I.9), ce qui justifie l'appellation donnée précédemment. On montre en effet que $f(\nu)$ peut s'écrire :

$$\left\{ \begin{aligned} f(\nu) &= \frac{\Delta\nu}{2\pi} \times \frac{1}{(\nu - \nu_a)^2 + (\Delta\nu/2)^2} && \text{(Lorentz)} \\ f(\nu) &= \frac{2}{\Delta\nu} \sqrt{\frac{\text{Log}_2}{\pi}} e^{-\frac{4\text{Log}_2(\nu - \nu_a)^2}{\Delta\nu^2}} && \text{(Gauss)} \end{aligned} \right. \quad (I.15)$$

où $\Delta\nu$ représente la largeur de la transition et, est égale à :

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta\nu &= \frac{1}{\pi\tau} \quad (\sim \text{pression}) && \text{(Lorentz)} \\ \Delta\nu &= \frac{2\nu_a}{c} \left(\frac{2kT \text{Log}_2}{m} \right)^{1/2} && \text{(Gauss)} \end{aligned} \right. \quad (I.16)$$

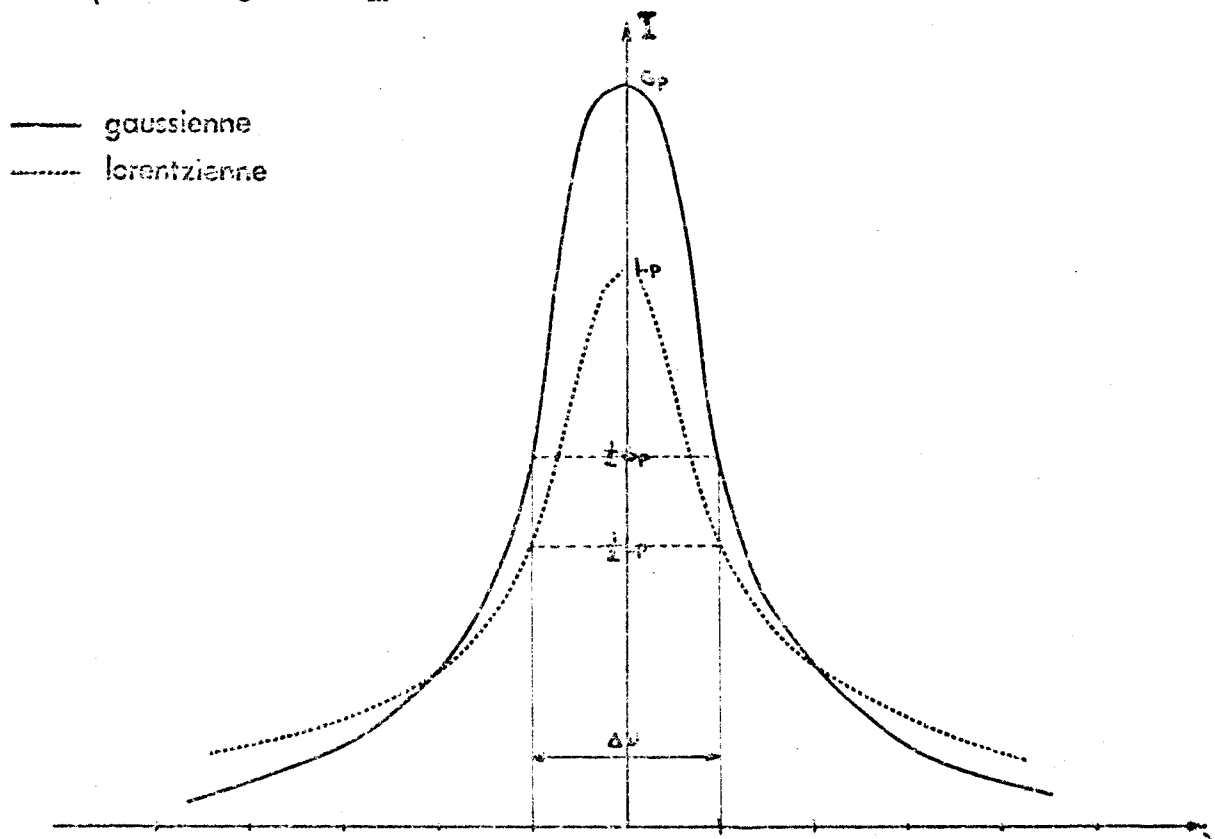


Figure I.9 : Comparaison de deux types de courbes de Gauss et de Lorentz ayant la même largeur $\Delta\nu$

3° *Modèle théorique du laser IRL* [4, 13, 18, 19, 20]

Après avoir reprecisé les différents mécanismes intervenant dans la physique du laser, nous allons développer un modèle particulier au laser IRL qui nous permettra de calculer la puissance délivrée par ce laser en fonction des différents paramètres physiques.

Le modèle proposé par Tucker [13] regroupe :

- les deux niveaux de la transition laser IRL
- le niveau à partir duquel s'effectue la transition de pompage
- le niveau regroupant tous ceux autour de la transition IRL et qui sont influencés par les variations de population de cette transition.

On obtient au total quatre niveaux, ce qui permet d'avoir un modèle relativement simple, bien qu'assez complet. Ce modèle est représenté sur la figure suivante (figure I.10), il regroupe en fait les deux niveaux vibrationnels entre lesquels a lieu la transition de "pompe". Chacun de ces niveaux est composé d'un grand nombre de sous-niveaux rotationnels ; c'est entre deux de ces derniers (pour le niveau vibrationnel excité) qu'à lieu la transition laser IRL.

Voyons un peu plus précisément le processus complet du laser IRL : un rayonnement de pompe "presque - résonnant" produit des transitions de vibration - rotation entre un sous - niveau rotationnel (noté par les nombres quantiques de rotation : J',K) d'un niveau vibrationnel de base et un sous-niveau (J,K) du niveau vibrationnel excité. L'effet Laser se produit entre les sous-niveaux rotationnels (J,K) et $(J - 1,K)$ du niveau vibrationnel excité.

Les collisions entre molécules intervenant avec un taux λ tendent à équilibrer les populations des sous-niveaux rotationnels de chaque niveau vibrationnel selon une distribution de Boltzmann, tandis que la désexcitation entre les deux niveaux s'effectue avec un taux Γ .

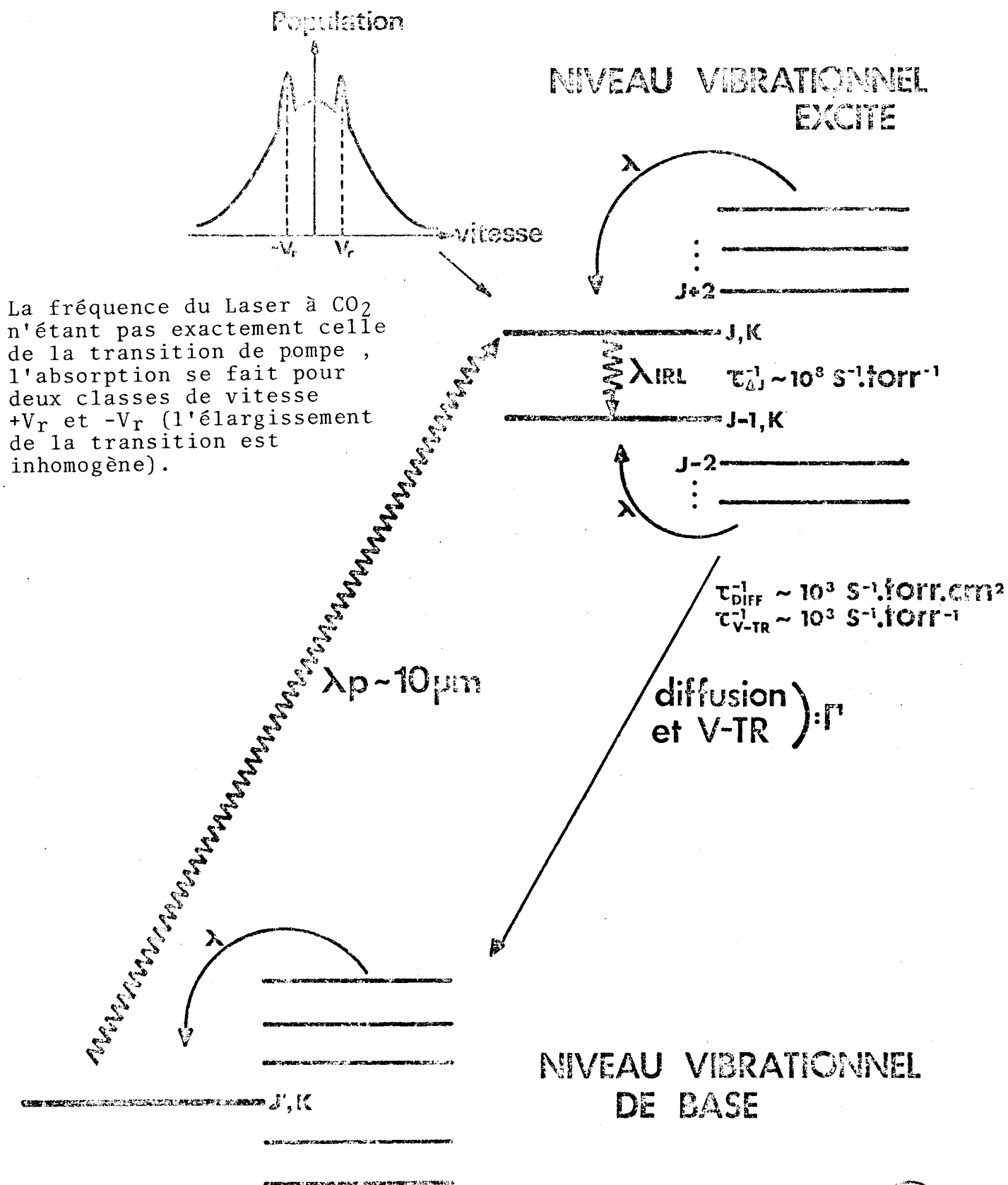


Figure I.10 : Modèle à quatre niveaux du Laser IRL (d'après [13]).



Ce modèle montre la faible conversion "photonique" existant dans la cavité laser, qui est de l'ordre de quelques %. en effet, ce faible taux est dû à la combinaison d'un rapide taux de relaxation rotationnel (λ) par rapport à un taux de relaxation vibrationnel (Γ) trop lent des molécules actives.

La faible valeur de Γ est liée au fait que le retour au sous-niveau (J' , K) se fait par l'intermédiaire d'autres sous-niveaux rotationnels du niveau vibrationnel de base. De plus, seules seront pompées les molécules ayant une vitesse comprise dans un étroit domaine ; il faut donc considérer aussi le processus de relaxation dans le profil de vitesse à l'intérieur d'un sous-niveau rotationnel donné. (V-TR)

Une façon efficace d'améliorer les performances de ce type de laser est d'augmenter le taux de désexcitation vibrationnelle contre les parois de la cavité (diffusion) en utilisant une cavité guidée. En effet, prenons les valeurs moyennes indiquées à la figure I.10, en considérant que la pression dans la cavité IRL est de l'ordre de 0,1 Torr, on obtient :

$$\lambda = \tau_{\Delta j}^{-1} \approx 10^7 \Delta^{-1}$$

$$\Gamma \begin{cases} \tau_{V-TR} \approx 10^2 \Delta^{-1} & \text{(V-TR : Vibration-Translation Rotation).} \\ \tau_{diff} \approx 5 \cdot 10^{+4} \Delta^{-1} & \text{(avec une cavité de } \varnothing 25 \text{ mm).} \end{cases}$$

Ceci montre que le rapport λ/Γ passe de 10^5 pour une cavité classique (type Pérot-Fabry) à $2 \cdot 10^2$ pour une cavité guidée.**

En conséquence, la cavité guidée permet d'améliorer le taux de désexcitation vibrationnelle Γ aux faibles pressions, ce qui permet d'avoir une valeur du taux de relaxation rotationnelle assez faible.

 * au plus fortes pressions, bien que l'absorption de la pompe augmente, les collisions ($\tau_{\Delta j} \sim$ pression) tendent à rétablir un équilibre des populations entre les sous niveaux rotationnels, et par conséquent à détruire l'inversion de population

** Pour une cavité guidée, comme τ_{Diff} est prédominant, on peut considérer que Γ varie comme $\tau_{Diff} / p d^2$, où p est la pression et d le diamètre du guide

Après avoir analysé l'ensemble du processus, nous allons interpréter de façon plus quantitative ce modèle afin d'en déduire l'expression de la puissance IRL en fonction des différents paramètres, aussi bien physiques que technologiques.

Nous pouvons reprendre la figure I.10 en la simplifiant (figure I.10.b) afin de pouvoir calculer l'évolution des population des différentes niveaux.^[17]

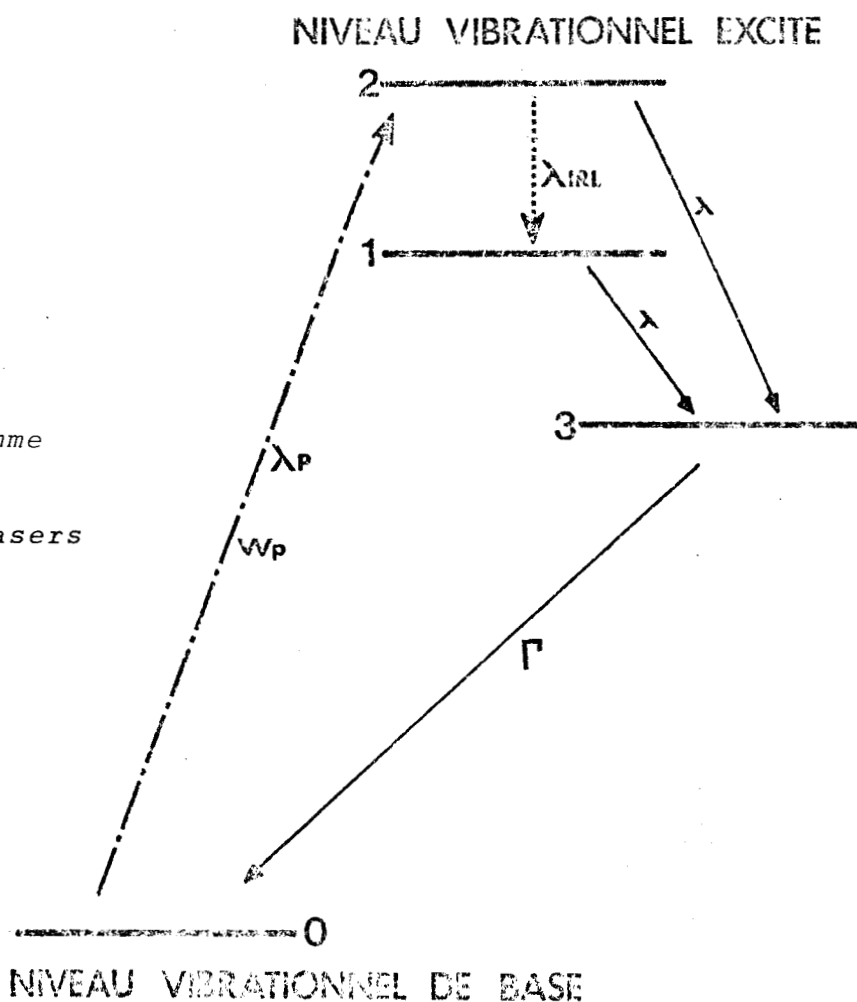


Figure I.10.b : Diagramme simplifié des niveaux intervenant dans les lasers IRL optiquement pompés

Le sous-niveau 3 regroupe tous les sous-niveaux rotationnels du niveau vibrationnel excité autre que ceux intervenant directement dans la transition IRL.

De plus, nous supposerons que le niveau vibrationnel excité est suffisamment loin du niveau vibrationnel de base pour ne pas être peuplé thermiquement.

Les équations régissant les populations N_i de ces sous-niveaux s'écrivent :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_0}{dt} = \Gamma N_3 - W_p N_0 \\ \frac{dN_1}{dt} = B_{21} n (N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1) - \lambda N_1 \\ \frac{dN_2}{dt} = W_p N_0 - \lambda N_2 - B_{21} n (N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1) \\ N_t = N_0 + N_1 + N_2 + N_3 \end{array} \right. \quad (I.17)$$

où N_t : population totale du système

B_{21} : coefficient d'Einstein pour l'émission stimulée

Γ : coefficient de relaxation vibrationnelle : $\tau_{v,TR}^{-1} + \tau_{Diff}^{-1}$

λ : coefficient de désexcitation rotationnelle = τ_j^{-1}

W_p : taux de pompage, il dépend à la fois de la pression et de la puissance du rayonnement IR de pompe.

n : densité de photons IRL

III. CAVITE. MILIEU ACTIF : CONDITIONS D'OSCILLATION

Après avoir vu séparément la cavité passive et le milieu amplificateur, nous allons maintenant montrer comment les deux interagissent pour donner naissance à une émission laser.

A. LE REGIME PERMANENT

1° CONDITIONS D'OSCILLATION LASER [7]

L'oscillation laser prend naissance dans une cavité ce qui implique une condition d'oscillation en régime permanent

$$\sqrt{R_1 R_2} e^{-2\alpha(\nu)L} e^{-2j\beta(\nu)L} = e^{-2jq\pi} \quad (I.18)$$

où : q est un entier

R_1 et R_2 sont les coefficient de réflexion en puissance des miroirs 1 et 2.

$\alpha(\nu)$; $\beta(\nu)$ sont les constantes de propagation de l'onde dans dans la cavité où baigne le milieu actif.

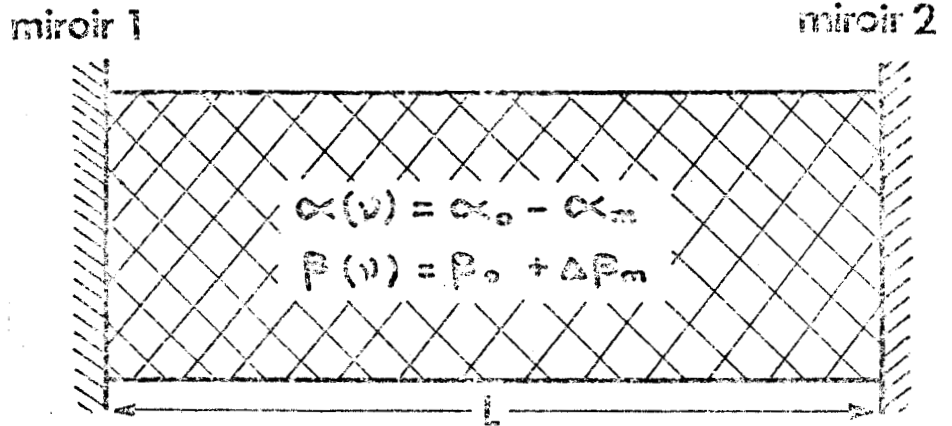


Figure I.11 :
Interaction cavité passive - milieu actif

Rappelons que le terme β_0 qui apparaît dans la figure I.11 est le coefficient de propagation d'une onde non guidée, puisque nous avons vu au début de ce chapitre que l'approximation était tout à fait justifiée. De plus, les coefficients $\alpha(v)$ et $\beta(v)$ représentent les constantes de propagation de l'onde (figure I.11) en tenant compte de la cavité passive et du milieu actif.

On montre alors que α et β peuvent s'écrire sous la forme :

$$\begin{cases} \alpha(v) = \alpha_0(v) - \alpha_m(v) \\ \beta(v) = \underbrace{\beta_0(v)}_{\text{cavité passive}} + \underbrace{\Delta\beta_m(v)}_{\text{milieu actif}} \end{cases} \quad (I.19)$$

l'équation (I.18) peut par conséquent s'écrire :

$$\sqrt{R_1 R_2} e^{2(\alpha_m(v) - \alpha_0(v))L} e^{-2j(\beta_0(v) + \Delta\beta_m(v))L} = e^{-2jq\Pi}$$

ce qui se décompose en :

$$\begin{cases} \sqrt{R_1 R_2} e^{2(\alpha_m(v) - \alpha_0(v))L} = 1 & (a) \\ e^{-2j(\beta_0(v) + \Delta\beta_m(v))L} = e^{-2jq\Pi} & (b) \end{cases} \quad (I.20)$$

On obtient donc :

- une condition d'amplitude (20.a)
- une condition de phase (20.b)

2° CONDITION D'AMPLITUDE

Comme nous venons de le voir, celle-ci s'écrit :

$$\sqrt{R_1 R_2} e^{2(\alpha_m(\nu) - \alpha_0(\nu))L} = 1$$

ce qui donne :

$$\alpha_m(\nu) = \alpha_0(\nu) + \frac{1}{4L} \text{Log} \frac{1}{R_1 R_2} \quad (\text{I.21})$$

Cette relation traduit le fait qu'il n'y aura émission laser que si Gain = Pertes. Nous pouvons alors définir un coefficient de qualité moléculaire par :

$$Q_m = \frac{\omega \times \text{énergie stockée par unité de longueur}}{\text{Quant. d'énergie/unité de long. fournie par effet Laser}} \quad (\text{I.22})$$

comme l'amplitude de l'onde est proportionnelle à $\exp(\alpha_m z)$, la puissance est proportionnelle à $\exp(2 \alpha_m z)$ d'où :

$$dP(z) = 2\alpha_m P(z) dz \quad (\text{I.23})$$

enfin, l'énergie dans un tronçon de longueur est

$$dW(z) = P(z) \frac{dz}{c} \leftarrow \text{vitesse de la lumière} \quad (\text{I.24})$$

d'où :

$$Q_m = \frac{\omega}{2\alpha_m c} \quad (\text{I.25})$$

Nous pouvons donc également définir un coefficient de qualité pour la cavité passive par une relation analogue à (I.22) ce qui donne :

$$Q_c = \frac{\omega}{2\alpha_0 c + \frac{c}{2L} \text{Log} \frac{1}{R_1 R_2}} = 2\pi \frac{L}{\lambda} \times \frac{1}{2\alpha_0 L + \frac{1}{2} \text{Log} R_1 R_2} \quad (\text{I.26})$$

La condition d'oscillation s'écrit alors

$$Q_c = Q_m \quad (\text{I.27})$$

Soient a_1 et a_2 les pertes des miroirs et t la transmission du miroir 2 (ce coefficient de transmission sera très utile par la suite puisque c'est par lui que l'on "extraite" l'énergie utile de la cavité). On a donc :

$$\begin{cases} R_1 = 1 - a_1 \\ R_2 = 1 - a_2 - t \end{cases} \quad (\text{I.28})$$

Or a_1 , a_2 et t sont très petits devant 1 (pertes et couplages faibles) d'où :

$$\text{Log} \frac{1}{R_1 R_2} \approx a_1 + a_2 + t \quad (\text{I.29})$$

de plus, $2\alpha_0 L$ représente les pertes en puissance de l'onde sur un "aller" d'où si l'on pose :

$a = 4\alpha_0 L =$ pertes sur 1 aller-retour, on obtient :

$$Q_c = \frac{2\pi L}{\lambda} \times \frac{1}{a/2 + (a_1 + a_2 + t)/2}$$

$$Q_c = \frac{4\pi L}{\lambda} \times \frac{1}{A+t} \quad (\text{I.30})$$

où A représente les pertes totales de la cavité (guide + miroirs) et t le coefficient de couplage du miroir de sortie.

Enfin, nous pouvons déduire le "temps de vie" de l'onde dans la cavité par :

$$1/\tau_c = W/Q_c = \frac{c}{L} \times \frac{A+t}{2}$$

ou

$$\tau_c = \frac{2L}{c(A+t)} \quad (\text{I.31})$$

On peut noter que $\frac{1}{\tau_c}$ représente l'élargissement de l'émission dû à la cavité passive :

$$Q_c = \frac{\omega}{\Delta\omega} = \frac{\nu}{\Delta\nu}$$

$$\Delta\nu_{\text{passif}} = \frac{\pi c(A+t)}{L} \quad (\text{I.32})$$

3° CONDITION DE PHASE

Après avoir exploité la condition d'amplitude, il reste une condition à exploiter, donnée par la relation (I.20.b)

$$e^{-2j(\beta_0(\nu) + \Delta\beta_m(\nu))L} = e^{-2jq\pi} \quad (\text{I.20,b})$$

cette relation donne :

$$L(\beta_0(\nu) + \Delta\beta_m(\nu)) = 2q\pi$$

Avec $\beta_0 = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi\nu}{c}$ constante de propagation de l'onde libre
 or on montre que :

$$\Delta\beta_m(\nu) = 1/2 \beta_0 \chi'(\nu)$$

où $\chi'(\nu)$ est la partie réelle de la susceptibilité du milieu, d'où

$$\nu \frac{L}{c} + \frac{1}{2} \frac{L}{c} \chi'(\nu) = q \quad (I.33)$$

En absence d'oscillation laser, la fréquence d'accord ν_c est donnée par :

$$\nu_c \frac{L}{c} = q$$

d'où

$$\nu + \frac{1}{2} \nu \chi'(\nu) = \nu_c \quad (I.34)$$

Ceci montre que si la fréquence de la cavité ν n'est pas centrée sur la fréquence de la transition ν_a (où $\chi'(\nu_a) = 0$), il apparaît un phénomène de décalage appelée "Frequency Pulling" qui tend à "tirer" ν_c vers ν_a comme le montre la figure I.12.

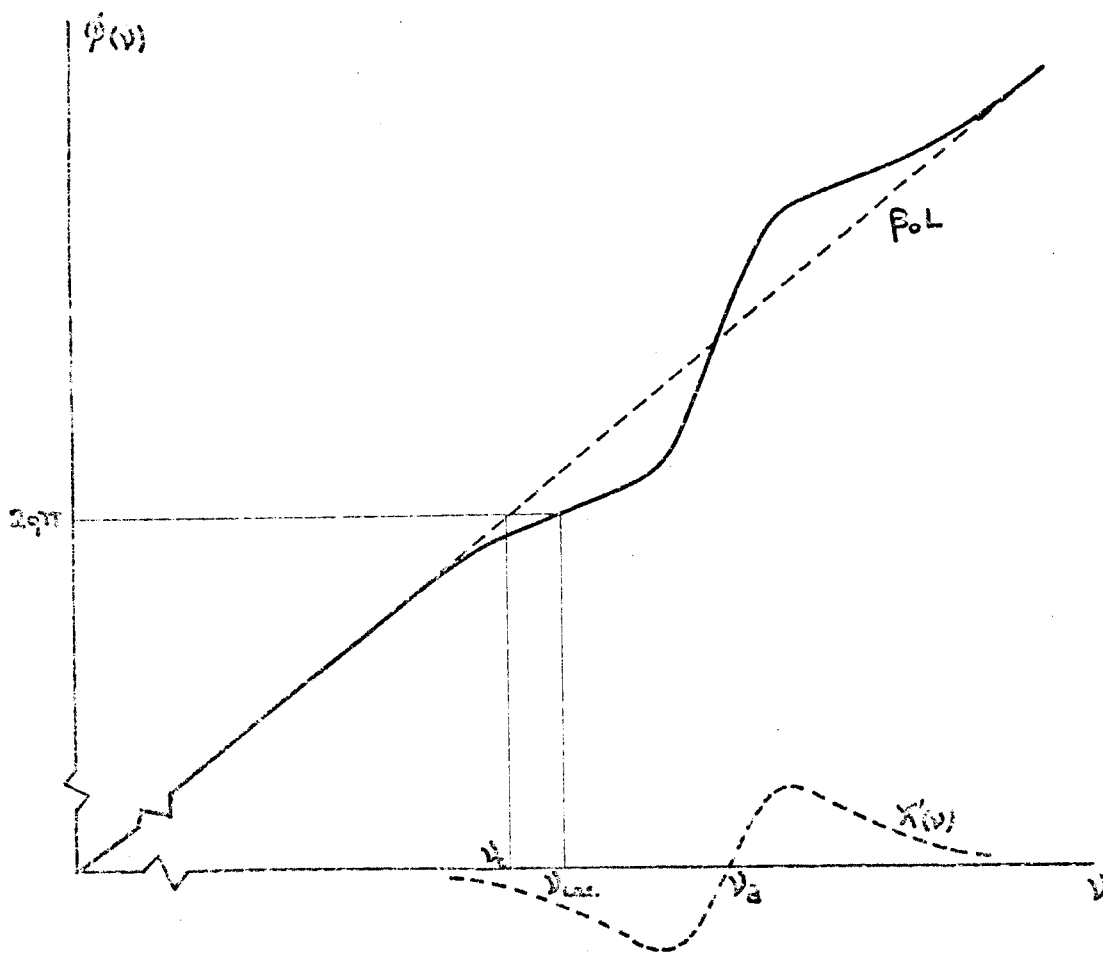


Figure I.12 : "Frequency - Pulling" (cas où $\nu_a > \nu_c$)

B. LE REGIME TRANSITOIRE

Après avoir développé les conditions d'oscillation du laser, nous allons établir un certain nombre de relations qui nous permettront de déterminer la densité de photons dans la cavité.

Cette densité de photons IRL est particulièrement intéressante puisqu'elle va permettre principalement le calcul de la puissance IRL.

1° EVOLUTION DU NOMBRE DE PHOTONS IRL

Nous avons vu au début de ce chapitre, la relation (I.9) donnant l'évolution des populations des niveaux entre lesquels s'effectue la transition IRL

$$\frac{dN_2}{dt} = -AN_2 + U_\nu B_{12} (N_1 - \frac{g_1}{g_2} N_2) \quad (I.9)$$

où AN_2 est le terme lié à l'émission spontanée et $U_\nu B_{12} (N_1 - \frac{g_1}{g_2} N_2)$ celui lié à l'émission stimulée et à l'absorption, donc à l'émission laser.

Or, le nombre de photons IRL est lié à la variation de population du niveau N_2 par la relation

$$\frac{dn}{dt} = - \frac{dN_2}{dt} - \left(\frac{dn}{dt} \right) \left\{ \begin{array}{l} \text{Amortissement dû} \\ \text{à la cavité passive} \end{array} \right. \quad (I.36)$$

Comme l'émission spontanée est négligeable devant l'émission stimulée et l'absorption, on peut négliger le terme $-AN_2$, de plus $\left(\frac{dn}{dt} \right)$ est simplement égal à $\frac{n(t)}{\tau_c}$; τ_c étant la "durée de vie" des photons IRL dans la cavité définie au paragraphe (III,A,2), d'où :

$$\frac{dn(t)}{dt} = - U_\nu B_{12} (N_1 - \frac{g_1}{g_2} N_2) - \frac{n(t)}{\tau_c} \quad (I.37)$$

où également puisque U_ν représente la densité de photons IRL $n(t)$, et $B_{12} = B_{21} \frac{g_2}{g_1}$:

$$\frac{dn(t)}{dt} = n(t) B_{21} (N_2(t) - \frac{g_2}{g_1} N_1(t)) - \frac{n(t)}{\tau_c} \quad (I.38)$$

IV. CAVITE. MILIEU ACTIF : PUISSANCE IRL

Nous avons établi précédemment les équations régissant les populations des différents niveaux (I.17). Nous avons également l'équation ci-dessus donnant l'évolution du nombre de photons IRL

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_0}{dt} = \Gamma N_3 - W_p N_0 \\ \frac{dN_1}{dt} = B_{21} n (N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1) - \lambda N_1 \\ \frac{dN_2}{dt} = W_p N_0 - \lambda N_2 - B_{21} n (N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1) \\ N_t = N_0 + N_1 + N_2 + N_3 \\ \frac{dn}{dt} = n B_{21} (N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1) - \frac{n}{\tau_c} \end{array} \right.$$

Nous n'avons pas tenu compte dans ces relations de l'émission spontanée entre les niveaux 1 et 2 du fait que la durée de vie de celle-ci est beaucoup plus longue que les autres. Il suffit alors pour avoir le système à l'équilibre de faire $\frac{d}{dt} = 0$ ce qui donne en résolvant ce système :

$$n = \frac{g_1}{g_1 + g_2} \times \frac{\lambda}{B_{21}} \left[\frac{N_t B_{21} \tau_c W_p}{\lambda (1 + W_p / \Gamma)} - 1 \right] \quad (I.39)$$

C'est l'équation donnant la densité photonique IRL dans la cavité.

La puissance de sortie IRL peut s'écrire sous la forme [14, 15, 16]

$$P_{IRL} = \frac{1}{2} c A n h \nu_{IRL} \quad (I.40)$$

où A représente la surface "effective" du trou de couplage, c'est à dire en tenant compte de la répartition de l'énergie sur le miroir de sortie.

Le terme $\frac{1}{2}$ indique que les photons IRL peuvent avoir deux directions longitudinales et que seule l'une d'entre elles est utilisable pour sortir de l'énergie de la cavité. Enfin $n h \nu_{IRL}$ représente la densité de puissance IRL dans la cavité. D'où en remplaçant n par sa valeur (58) dans la relation (59) on obtient :

$$P_{IRL} = \frac{1}{2} c A h \nu_{IRL} \times \frac{g_1}{g_1 + g_2} \times \frac{\lambda}{B_{21}} \left[\frac{N_t B_{21} \tau_c W_p}{\lambda (1 + W_p / \Gamma)} - 1 \right] \quad (I.41)$$

Il ne reste plus qu'à exprimer les différents termes intervenant dans cette relation afin de la rendre plus exploitable :

- le coefficient de transmission du miroir de sortie t (défini au paragraphe (III.A.2) peut s'écrire :

$$t = \frac{A}{S} = \frac{A \times L}{V} \quad (\text{I.42})$$

pour une cavité de section S , de largeur L

- Dans ce même paragraphe, nous avons calculé par :

$$\tau_c = \frac{2L}{c(a+t)} \quad (\text{I.31})$$

où a représente les pertes totales de la cavité (guide + miroirs) pour un aller - retour.

- soit P_{IR} la puissance de pompe et F_{abs} la fraction qui est effectivement utilisée dans la transition $0 \rightarrow 2$, on peut écrire :

$$F_{abs} P_{IR} = W_p N_0 h \nu_{IR} V \quad (\text{I.43})$$

et en calculant N_0 à l'aide des équations (17) au régime permanent ($\frac{d}{dt} = 0$), on obtient :

$$F_{abs} P_{IR} = \frac{W_p N_t}{1 + W_p/\Gamma} h \nu_{IR} V \quad (\text{I.44})$$

d'où en remplaçant A , τ_c , $\frac{W_p N_t}{(1 + W_p/\Gamma)}$ par leur expression issue des relations (61), (43) et (63), on obtient :

$$P_{IR} = \frac{1}{2} ch\nu_{IRL} \frac{g_1}{g_1+g_2} \frac{\lambda}{B_{21}} \left[\frac{2LB_{21} F_{abs} P_{IR}}{(a+t)c\lambda h\nu_{IR} V} - 1 \right] \quad (\text{I.45})$$

Il ne reste plus qu'à faire intervenir un paramètre introduit au paragraphe (II.1.c) qui est l'intensité de saturation I_{sat} . Ce terme est intéressant car il ne dépend que des paramètres moléculaires et de la pression, on montre [11,17] qu'il peut s'écrire :

$$I_S = ch\nu_{IRL} \frac{g_1}{g_1+g_2} \frac{\lambda}{21} (\nu p^2) \quad (\text{I.46})$$

d'où la relation (64) s'écrit finalement* :

$$P_{\text{IRL}} = \frac{1}{2} t I_{\text{sat}} S \left[\frac{2}{a+t} \times \frac{F_{\text{abs}} P_{\text{IR}}}{S \cdot I_{\text{sat}}} \times \frac{v_{\text{IRL}}}{v_{\text{IR}}} \times \frac{g_1}{g_1 + g_2} - 1 \right] \quad (\text{I.47})$$

REMARQUES :

- On a supposé la répartition de l'énergie de pompe dans la cavité IRL uniforme, ce qui n'est pas tout à fait exact ; par conséquent la relation (47) est un peu optimiste.

- Dans le cas idéal où :

- . $F_{\text{abs}} = 1$
- . Les niveaux ne sont pas dégénérés $g_1 = g_2 = 1$
- . Les pertes sont nulles : $a = 0 = t$

la relation (47) prend une forme connue :

$$P_{\text{IRL}} = \frac{1}{2} \frac{v_{\text{IRL}}}{v_{\text{IR}}} P_{\text{IR}} \quad (\text{I.48})$$

V. CONCLUSION

Nous avons vu dans ce chapitre le mécanisme de l'effet laser ce qui nous a permis d'en déduire une relation donnant la puissance de sortie en fonction des paramètres tant technologiques (pertes, couplage, pression...) que physique (intensité de saturation...). Cette relation ainsi que tout ce qui a été dit dans ce chapitre sera très utile dans les chapitres suivants surtout afin d'interpréter les résultats que nous avons obtenus.

Toutefois, avant cette interprétation, nous allons décrire, de la façon la plus complète, l'installation que nous avons réalisée: c'est le but du 2ème chapitre.

* Nous avons négligé dans la puissance IRL, afin de simplifier les calculs, la réabsorption du rayonnement IRL par les états excités (due à l'"embouteillage" créé par une relaxation rotationnelle trop rapide devant la relaxation vibrationnelle) [14]

B I B L I O G R A P H I E

- [1] J.A. STRATTON
"Electromagnetic theory"
Mc Graw Hill, New York
- [2] MARCATILI and SCHMELTZER
Bell. Syst. Tech. Journal, 43, 1783, (1964)
- [3] R.A. WOOD, N. BRIGNALL, C.R. PIDGEON and F. AL-BERKDAR
"Mode properties of optically pumped infrared waveguide lasers"
Infrared Physics (1976), Vol. 16, pp. 201-205
- [4] M. YAMANAKA
"Optically pumped waveguide lasers"
J. Opt. Soc. Amer., Vol. 67, n° 7, (July 1977)
- [5] J.J. DEGNAN, D.R. HALL
"Finite aperture waveguide laser resonators"
I.E.E.E. QE-9, n° 9, pp. 901 - 910, (Sept. 1973)
- [6] R.L. ABRAMS
"Coupling losses in hollow waveguide lasers resonators"
I.E.E.E. QE-8, n° 11, pp. 838 - 843, (Nov. 1972)
- [7] A. E. SIEGMAN
"An introduction to lasers and masers"
Mc Graw Hill (1971)
- [8] B.A. LENGYEL
"Introduction à la physique du laser"
Editions eyrolles (1968)

- [9] J. LEMAIRE
"Cours de D.E.A." Lille I (1977)
- [10] O. SWELTO
"Principles of lasers"
Plenum Press, pp. 55 - 63 (1976)
- [11] W.W. RIGROD
"Gain saturation and output power of optical masers"
Journ. of Applied Physics, Vol. 34, n° 9, pp. 2602 - 2609
(Sept. 1963)
- [12] W.W. RIGROD
"Saturation effects in high - gain lasers"
Journ. of Applied Physics, Vol. 36, n° 8, pp. 2487 - 2490
(Aug. 1965)
- [13] J.R. TUCKER
"Theory of an F.I.R. gas laser"
Intern. Conf. Submil. Waves and their Appl., Atlanta,
G.A. Conference Digest (1974), 17
- [14] J.M. LOURTIOZ, R. ADDE, D. BOUCHON and J. PONTNEAU
"Design and performances of a Cw CH₃OH waveguide laser"
Revue de Phys. Appl., Tome 14, pp. 23 - 30 (Fev. 1979)
- [15] D.T. HODGES
"A review of advances in optically pumped F.I.R. lasers"
Infrared Physics, Vol. 18, pp. 375 - 384, (1978)
- [16] J. M. LOURTIOZ, R. ADDE, and J. PONTNEAU
"Analysis of optically pumped w F.I.R. laser efficiency"
Intern. Conf. Submil. Waves and their applications,
Guilford (1978), conference Digest, 188
- [17] J.O. HENNINGSEN and H.G. JENSEN
*"The optically Pumped F.I.R. Laser : Rate equations
and diagnostic experiments"*
I.E.E.E. Quant. Elec., Vol. QE-11, n° 6, pp. 248 - 252
(June 1975)

- [18] J.J. DEGNAN
"The waveguide laser : A Review"
Appl. Phys. 11 (1976), pp. 1-33
- [19] D.T. HOGES, J.R. TUCKER and T.S. HARTWICK
"Basic Physical mechanisms determining performances of the CH₃F laser"
Infr. Phys., Vol. 16, pp. 175 - 182, (1976)
- [20] P.D. COLEMAN
"Present and future problems concerning lasers in the F.I.R. spectral region"
J. Opt. Soc. Amer., Vol. 67, n° 7, pp. 894 - 901, (July 1977)
- [21] J.P. SPLINGARD
"Réalisation d'un laser moléculaire submillimétrique optiquement pompé"
Thèse, Lille, p. 7 (1977)

CHAPITRE I I

DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

I. LE LASER à CO₂

- 1° Rappels théoriques
- 2° Description du tube laser
- 3° Modes de propagation dans la cavité CO₂
- 4° Caractéristiques du laser utilisé
 - a) Performances
 - b) Modifications apportées

II. LE SYSTEME OPTIQUE

III. LA CAVITE SUBMILLIMETRIQUE

IV. PROTECTION DE L'ENSEMBLE CONTRE LES VIBRATIONS EXTERIEURES

V. CONCLUSION

La source se compose d'un laser à CO₂ servant à créer l'inversion de population, d'une cavité IRL afin d'amplifier suffisamment le rayonnement submillimétrique pour qu'il soit exploitable, et d'un système optique permettant d'introduire le rayonnement de pompe dans la cavité IRL (figure II.1)

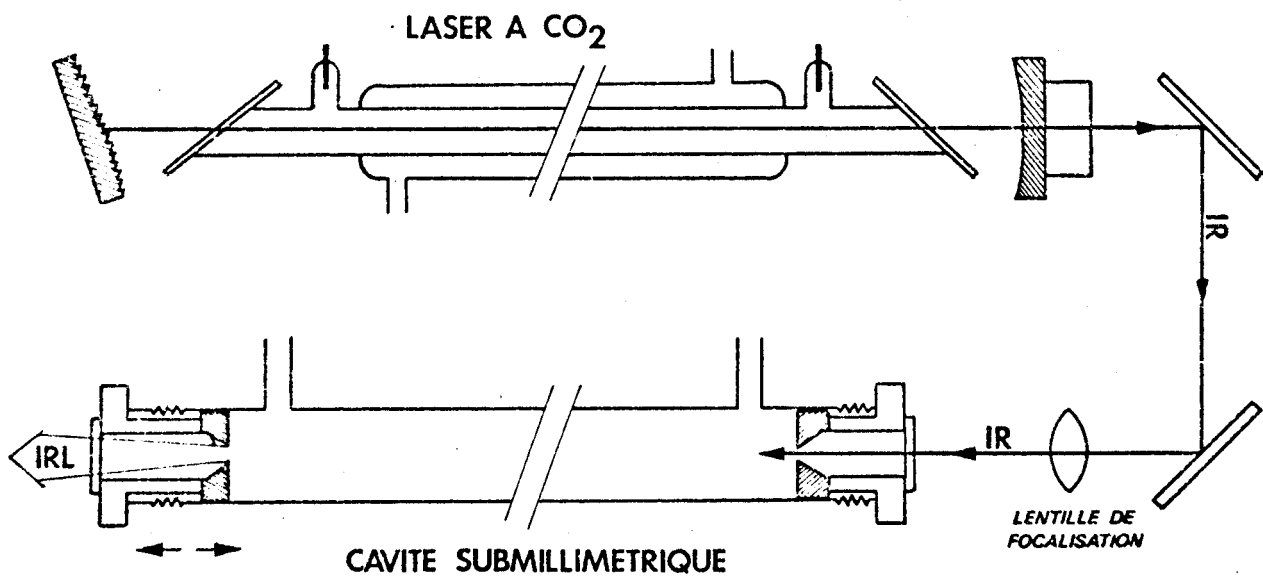


Figure II.1. : Synoptique de l'installation submillimétrique

Nous allons donc dans ce chapitre analyser séparément les trois parties constituant l'ensemble appelé "source submillimétrique".

I. LE LASER à CO₂ [1, 2, 3, 4]

1° L'EMISSION LASER INFRA-ROUGE

La molécule d'anhydride carbonique de type linéaire possède trois vibrations fondamentales schématisées sur la figure suivante (figure II.2)

L'anhydride carbonique peut être excitée directement à l'aide d'une décharge électrique. Cependant avec cette méthode, la puissance de sortie est relativement faible. L'adjonction d'un gaz supplémentaire tel que l'azote, peut considérablement favoriser l'enrichissement du niveau supérieur par chocs. Deux raisons importantes justifient l'emploi de l'azote :

- le niveau $V = 1$ de l'azote ne diffère que de 18 cm^{-1} du niveau $00^{\circ}1$ du CO_2

- la durée de vie dans cet état excité est très grande et de plus, l'azote vibrationnellement excité est facilement produit par une décharge électrique.

Le rendement de ce type de laser peut encore être amélioré en ajoutant de l'hélium aux deux précédents gaz. Ceci a un effet considérable sur les performances du laser et on lui attribue généralement une double action :

- réduction du coefficient de diffusion du CO_2 , ce qui atténue ainsi le phénomène de désexcitation des molécules de CO_2 sur les parois.

- réduction de l'impédance du milieu entre les deux électrodes, ce qui permet pour une puissance d'alimentation égale d'obtenir un meilleur rendement.

Chaque niveau de vibration se compose en fait de sous-niveaux de rotation caractérisés par le nombre quantique J . Les émissions correspondent donc à des transitions de rotation - vibration (figure II.4) et constituent un spectre discret relativement dense compris entre $9 \mu\text{m}$ et $11 \mu\text{m}$. La fréquence séparant deux fréquences d'émission successives est d'environ 50 GHz (figure II.5).

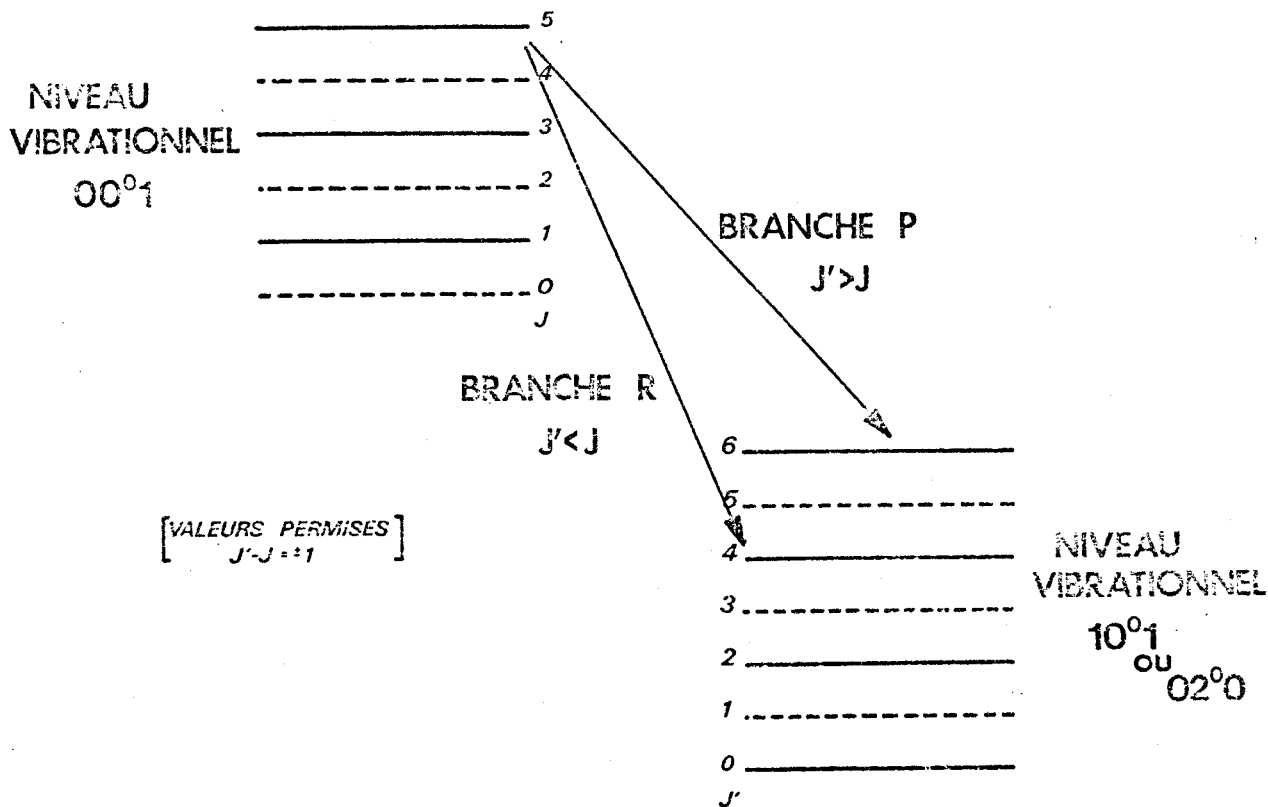


Figure II.4 : Transitions de vibration-Rotation du Laser à CO_2 .

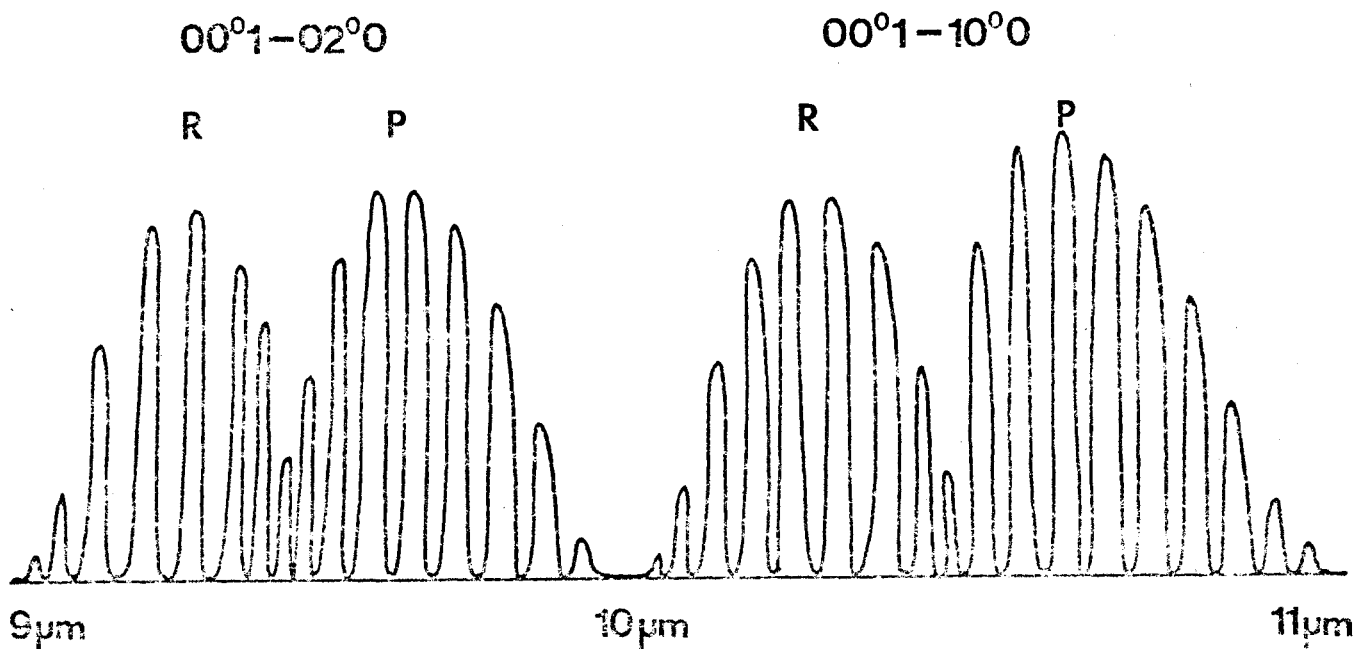


Figure II.5 : Puissance relative de l'émission laser pour les différentes raies



2° DESCRIPTION DU TUBE LASER

Le milieu amplificateur est placé à l'intérieur d'une cavité Pérot - Fabry de longueur L , dont les fréquences de résonance successives sont espacées de $\frac{C}{2L}$ (100 MHz pour une cavité de 1,5 m). Plusieurs émissions peuvent avoir lieu simultanément si leur fréquence est un multiple de $\frac{C}{2L}$: fonctionnement "multi-raies" (figure II.6).

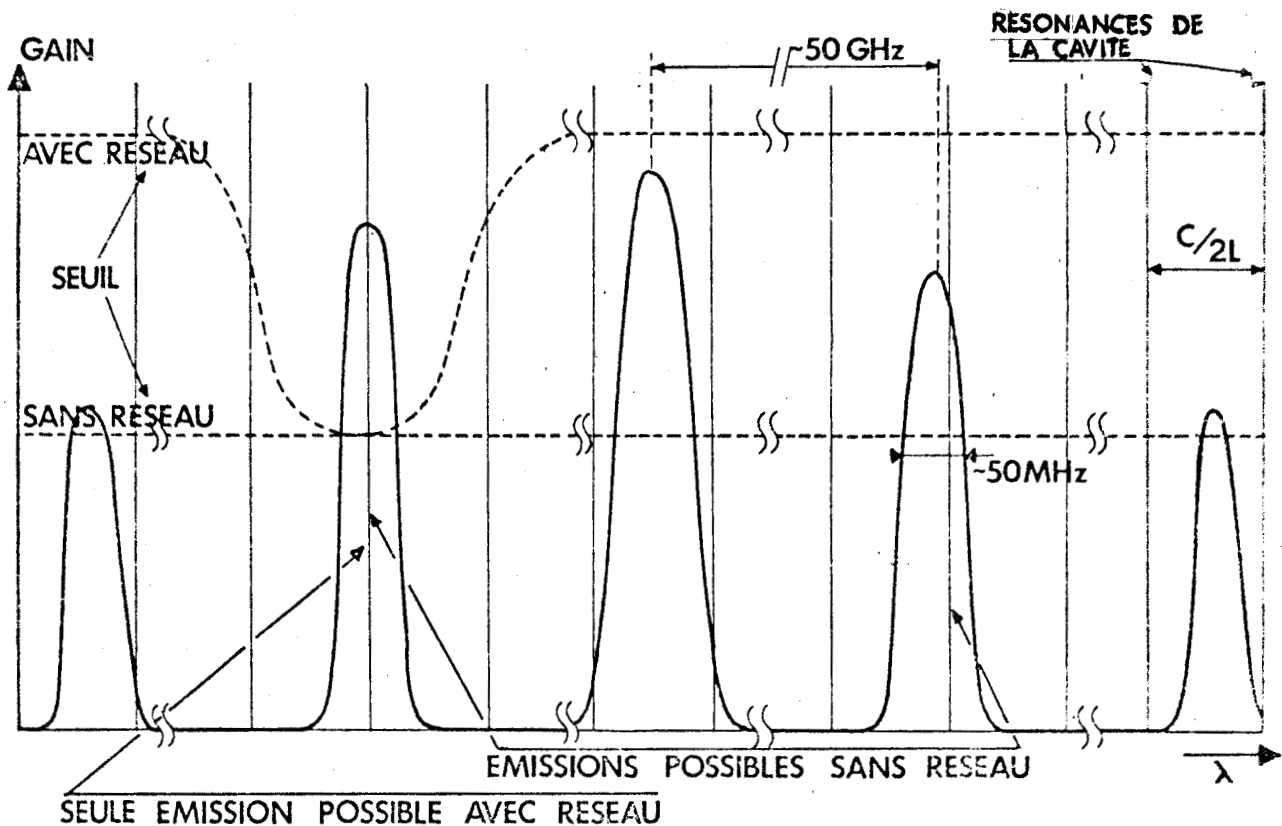


Figure II.6 : Gain en fonction de la longueur d'onde, montrant les résonances de la cavité et les seuils d'émission avec ou sans réseau

Le fonctionnement "multi - raies" est toujours accompagné d'un phénomène de compétition constitué par une répartition aléatoire de la puissance entre ces différentes émissions. Une grande instabilité en amplitude caractérise alors ce mode de fonctionnement. Afin d'éliminer cet inconvénient, l'un des miroirs est remplacé par un élément dispersif qui dans notre cas est un réseau blasé à $10,6 \mu\text{m}$ [5]. Celui-ci permet à la fois de créer une sélectivité dans les différentes raies pouvant être émises, comme le montre la figure II.6, ce qui entraîne par conséquent un fonctionnement

mono - raie et également donne une polarisation au rayonnement électromagnétique présent dans la cavité.

D'autre part, la cavité est très longue devant la longueur d'onde, ce qui a pour conséquence d'introduire en plus des modes longitudinaux, des modes transverses. C'est pourquoi, nous avons remplacé le tube d'origine par un tube dont les parois sont dépolies (ce qui entraîne des pertes importantes pour les modes transverses).

Le laser que nous avons utilisé est un modèle commercial fournit par la société Advanced Kinetics. Il est de conception classique (figure II.7)

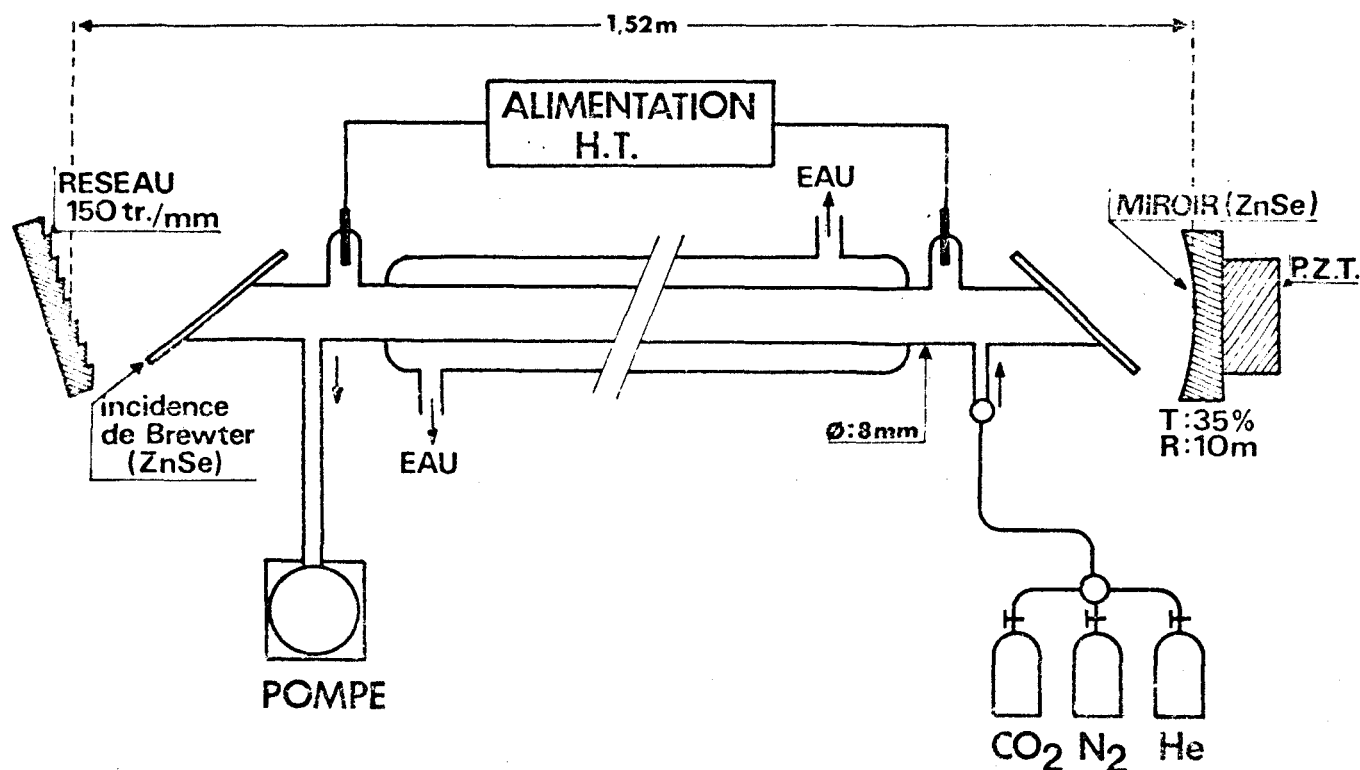


Figure II.7 : Le laser à CO_2

L'enceinte contenant le gaz est constituée d'un tube de pyrex de 132 mm de longueur et de 8 mm de diamètre, fermé aux extrémités par deux

lames de sélénium de zinc (ZnSe) placées sous incidence Brewstérienne* pour la longueur d'onde moyenne (10,6 μm). Ce tube est entouré d'une jaquette parcourue par un courant d'eau assurant le refroidissement des parois.

Des ajustages disposés près des extrémités permettent le passage des gaz et l'introduction des électrodes d'excitation de décharge.

Le gaz est constitué d'un mélange CO_2 - He - N_2 dans les proportions

$$\text{CO}_2 = 13 \% \quad ; \quad \text{He} = 65 \% \quad \text{et} \quad \text{N}_2 = 22 \%$$

à une pression de fonctionnement comprise entre 5 et 25 Torr. Ce mélange est effectué comme l'indique la figure suivante (II.8), la vanne à aiguille servant à régler la pression du gaz dans la cavité laser.

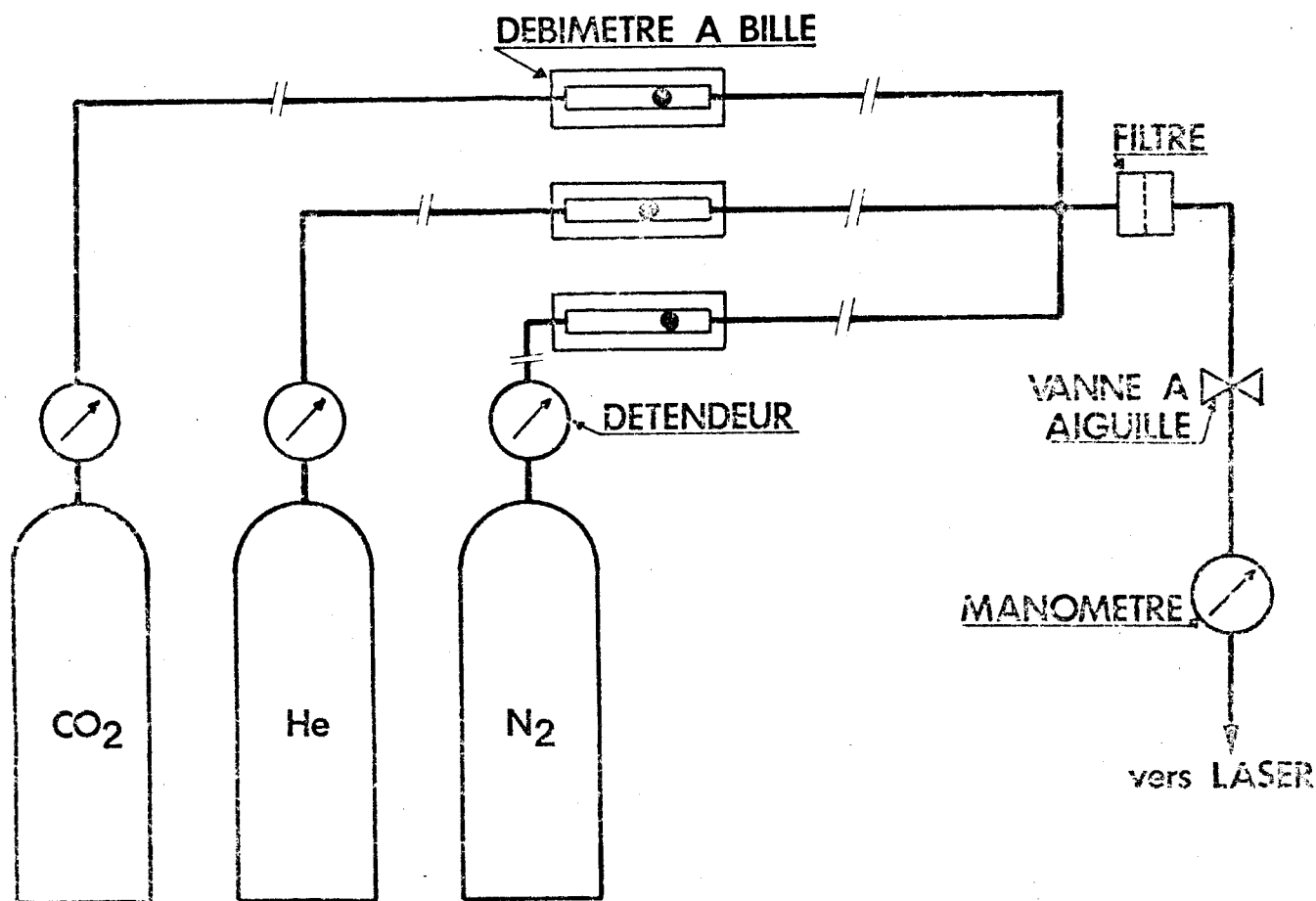


Figure II.8 : Système mis en oeuvre pour le mélange CO_2 -He- N_2

* Lors d'une réflexion sur une surface, lorsque le plan défini par le rayon lumineux et la normale à la surface de séparation contient également la polarisation du champ électrique, la courbe donnant le coefficient de réflexion en fonction de l'angle d'incidence, passe par un minimum pour une valeur appelée "incidence de Brewster". Celle-ci est, dans le cas de ZnSe à $\approx 10 \mu\text{m}$ de 57° .

Une pompe à palette assure l'écoulement permanent des gaz constituant le milieu amplificateur. La décharge électrique est produite par une alimentation régulée en courant.

Le miroir de sortie en ZnSe de 10 cm de rayon de courbure et de 35 % de transmission à $10,6\ \mu\text{m}$, ainsi que le réseau (150 traits/mm) sont situées à chaque extrémité, distants l'un de l'autre de 152 cm. Ils sont à l'extérieur du tube et en sont indépendants.

Enfin l'ensemble est maintenu par quatre tiges d'invar assurant une bonne stabilité en longueur de la cavité.

3° MODES DE PROPAGATION DANS LA CAVITE CO_2

Le problème des résonateurs ouverts est difficile, mais peut être simplifié à l'aide de quelques hypothèses :

- les dimensions du résonateur sont grandes devant la longueur d'onde (dans notre cas $\frac{\lambda}{\varnothing\ \text{cavité}} \approx 10^{-3}$).

- et le champ dans la cavité est essentiellement TEM (cette hypothèse découlant en fait de la première).

Aussi longtemps que ces deux conditions restent valables, la formulation de la diffraction selon la loi de Fresnel - Kirchoff permet d'obtenir une paire d'équations intégrées [6] qui relie les champs sur les miroirs en regard :

$$\begin{aligned} \gamma_1 E_1(\Delta_1) &= \int_{S_2} K_2(\Delta_1, \Delta_2) E_2(\Delta_2) dS_2 \\ \gamma_2 E_2(\Delta_2) &= \int_{S_1} K_1(\Delta_1, \Delta_2) E_1(\Delta_1) dS_1 \end{aligned} \quad (\text{II.1})$$

Les intégrations sont faites sur les surfaces respectives S_2 et S_1 des miroirs.

Δ_1 et Δ_2 représentent les coordonnées transverses sur la surface du miroir $\Delta_i = (r, \psi)$, E est la distribution relative du champ électrique sur chaque miroir et γ donne l'atténuation et le déphasage subit par l'onde pendant son trajet de l'un à l'autre miroir.

Les fonctions K_1 et K_2 sont complexes et dépendent des miroirs et de la géométrie de la cavité. En fait, ces deux équations (II.1) ne font que traduire le fait qu'une onde partant d'un miroir se retrouve identique à elle même après un aller-retour dans la cavité.

On en déduit des solutions approchées [7] qui sont le produit d'une gaussienne et d'un polynôme de Laguerre.

$$\text{TEM}_{\ell m} \quad \left\{ \begin{array}{l} E/E_0 = \left(\frac{\sqrt{2}}{\omega}\right) r^\ell L_p^\ell \left(\frac{2}{\omega^2} r^2\right) e^{-r^2/\omega^2} \cos \ell \phi \\ \text{avec } \omega^2 = \omega_0^2 (1 + (\lambda z / \pi \omega_0^2)^2) \end{array} \right. \quad (\text{III.2})$$

Comme le mode fondamental dans notre laser est le TEM_{00} , le terme ω a une grande importance, car il représente la distance par rapport à l'axe de propagation pour laquelle le champ électrique tombe à $1/e$ de sa valeur maximale et ω_0 a pour valeur :

$$\omega_0^4 = \left(\frac{\lambda}{\pi}\right) \frac{d(R_1-d)(R_2-d)(R_1+R_2-d)}{(R_1+R_2-2d)^2} \quad (\text{II.3})$$

où R_1 et R_2 sont les rayons de courbure des miroirs
 d est la distance qui sépare les deux miroirs.

Ce qui donne pour notre cavité

$$\omega_0 = 3,4 \text{ mm} \quad \text{et} \quad \omega(z = 1,52 \text{ m}) = 3,7 \text{ mm}$$

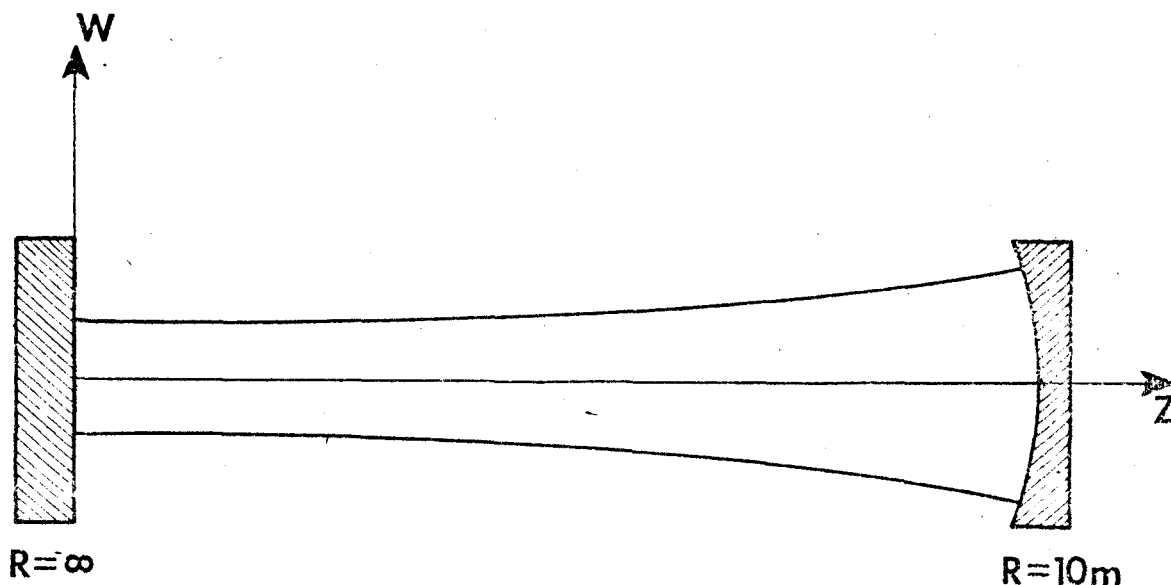


Figure II.9 : Répartition de l'énergie dans la cavité CO_2

Nous avons dit que le mode fondamental était le TEM_{00} ; en fait, le laser peut également osciller sur d'autres modes simultanément; toutefois le fonctionnement monomode est préférable si l'on veut avoir la meilleure stabilité en puissance et en fréquence du laser à CO_2 (phénomène de "compétition" entre les modes entraînant des changements aléatoires de modes, d'où instabilité du laser).

4° CARACTERISTIQUES DU LASER UTILISE

a) Performances

Nous avons relevé avec ce laser les principales raies connues (figure II.10)

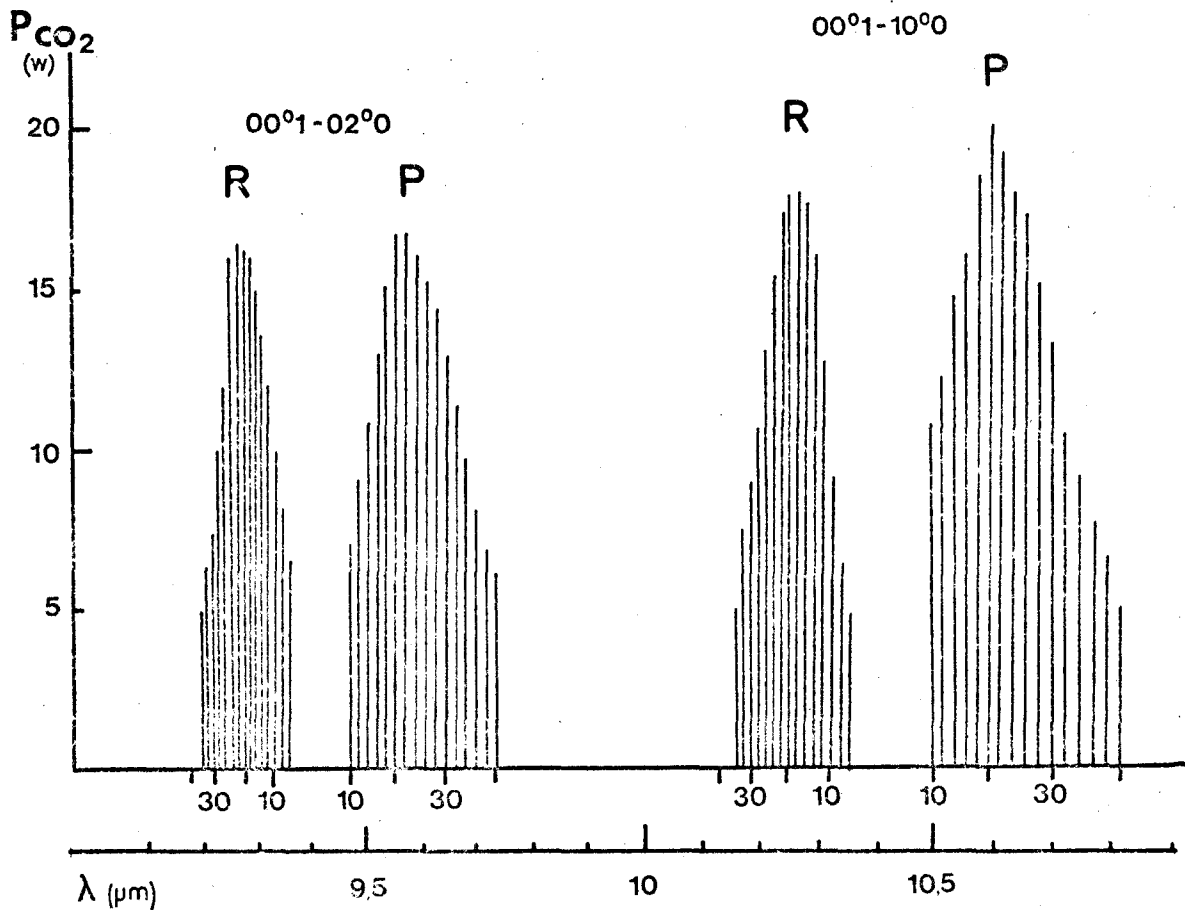


Figure II.10 : Principales raies CO_2 obtenues. Puissance en fonction de la longueur d'onde

b) Modifications apportées

Ayant eu beaucoup de problèmes d'ordre technologique, nous avons été conduits à effectuer plusieurs modifications sur le laser à CO_2 :

- Remplacement du tube d'origine par un tube dépoli afin de supprimer les modes parasites créés par réflexion sur les parois du tube.

- Utilisation d'un diaphragme sur le miroir de sortie afin de garder un mode unique dans toutes les conditions d'utilisation. En effet, lorsque l'écart entre les transitions de pompage et la fréquence d'émission du laser à CO_2 est important, nous accordons ce laser sur le bord de la courbe de gain, de façon à améliorer le plus possible la coïncidence ; mais dans ce cas le laser a tendance à changer de mode ; le diaphragme sert alors à favoriser le TEM_{00} (puisque étant placé dans un plan perpendiculaire à l'axe de propagation, centré sur cet axe et à l'intérieur de la cavité juste devant le miroir de sortie).

- Remplacement des "passages" métalliques d'arrivée et de sortie des gaz par des "passages" isolants pour éviter des claquages en tension trop fréquents.

- Modification de l'alimentation (figure II.11) et du procédé de mise en fonctionnement du laser qui s'est révélé trop brutal. C'est ainsi que fut détruit lors d'une mise sous tension le tube de régulation et une partie des éléments de l'alimentation haute tension.

- Modification du système d'ajustage de la longueur de la cavité par les cales prézo-électriques qui s'est avéré peu commode à utiliser, très lent et très peu fiable (figure II.12)

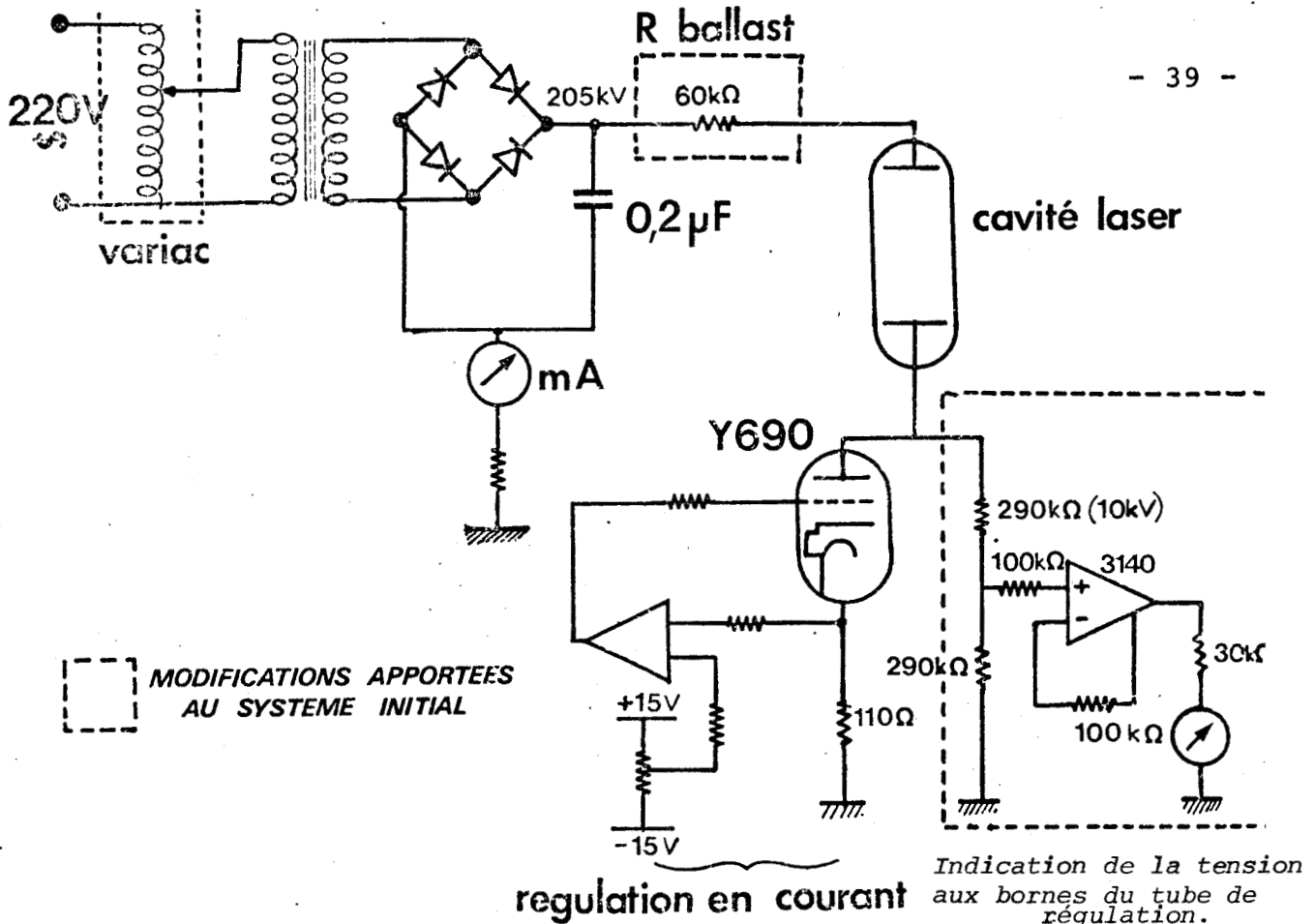


Figure II.11 : Modification de l'alimentation H.T du laser à CO₂

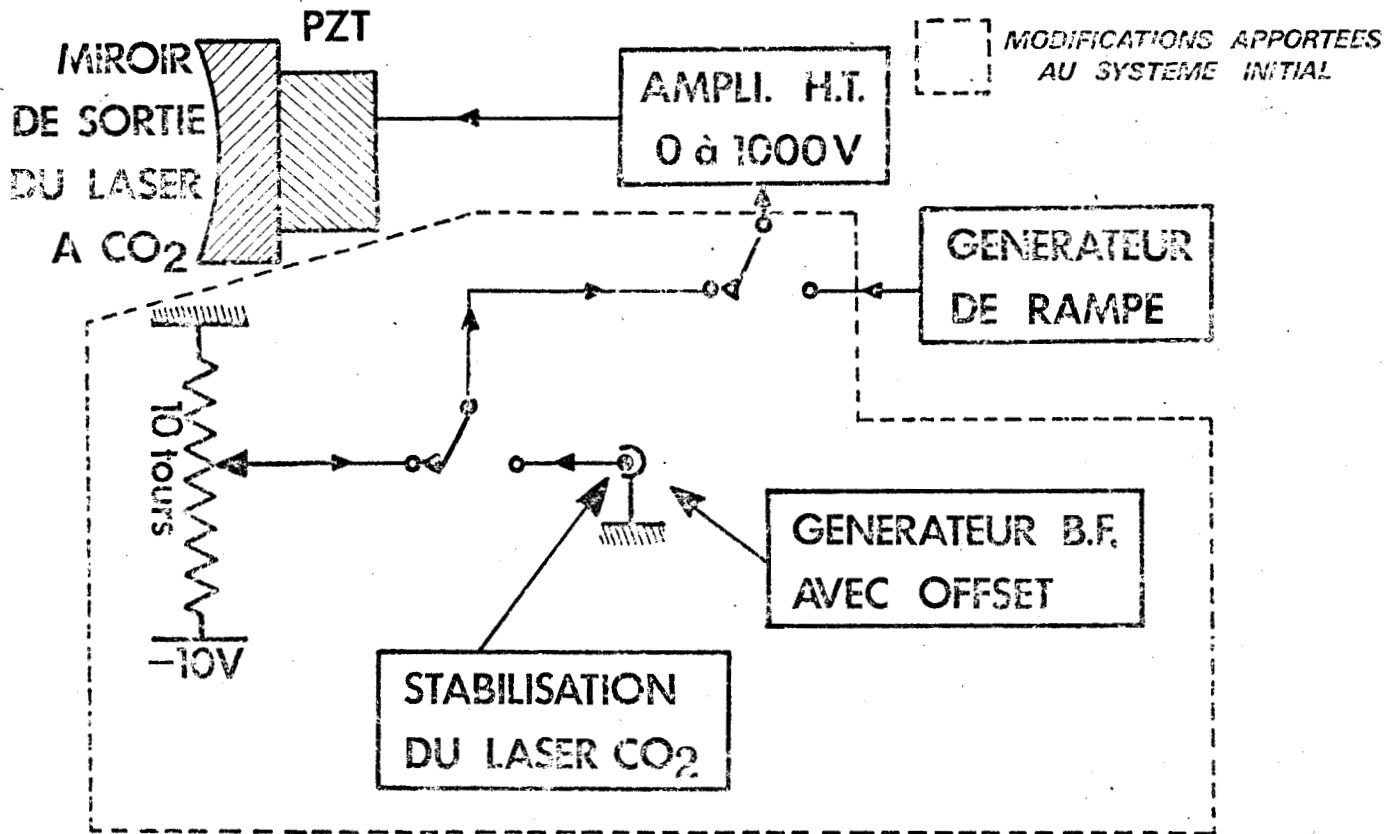


Figure II.12 : Modification du système de réglage de la longueur de la cavité du laser à CO₂



3° LE SYSTEME OPTIQUE

Il va servir à introduire le faisceau du laser à CO_2 dans la cavité IRL. Il doit permettre à la fois :

- de faire coïncider les axes du laser à CO_2 et de la cavité IRL, d'où la nécessité de deux miroirs de renvoi (figure II.13) en laiton doré et poli

- de focaliser le faisceau de pompe à l'entrée de la cavité IRL et de régler l'ouverture de ce faisceau dans cette cavité (figure II.14), d'où l'utilisation de deux lentilles en ZnSe de 100 mm et 25 mm de focale.

Les miroirs de renvoi sont placés sur des supports permettant l'orientation dans deux directions. Les lentilles de focalisations sont montées sur des supports permettant le déplacement dans les trois directions.

III. LA CAVITE SUBMILLIMETRIQUE

La cavité IRL que nous avons réalisée (figure II.15) est constituée d'un guide en laiton de 1,30 m de long et 25 mm de diamètre, fermé à chaque extrémité par un miroir en aluminium poli. Ceux ci sont percés en leur centre d'un trou, afin de permettre :

- d'une part, le couplage avec le rayonnement IR de pompe (diamètre du trou de l'ordre de 2 mm)

- d'autre part, de prélever une partie du rayonnement IRL présent dans la cavité (ce trou ayant été optimisé à un diamètre de l'ordre de 3 mm).

Le trou de couplage IR permet également, par l'intermédiaire

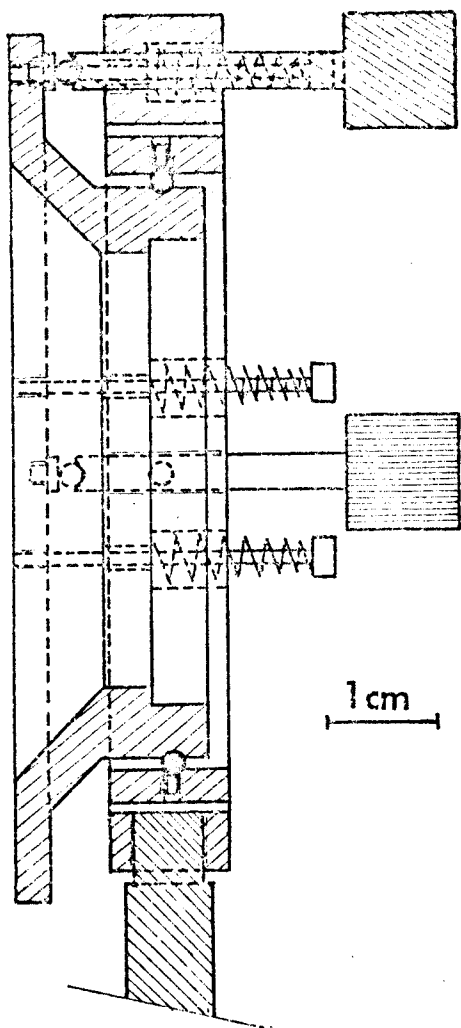
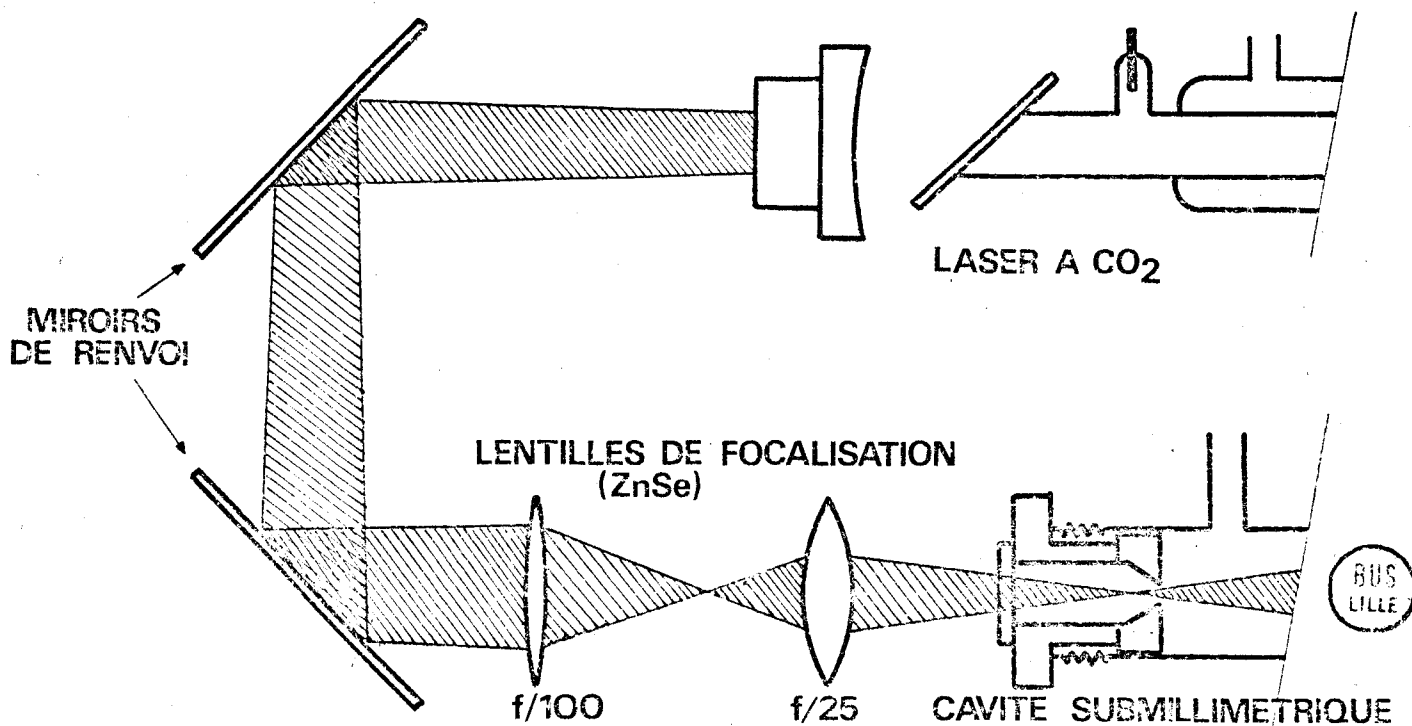


Figure II.13 :
Miroir avec son support réalisé au Laboratoire (d'après les plans fournis par le laboratoire de Spectroscopie Hertzienne de Lille I)

Figure II.14 :
Système optique complet



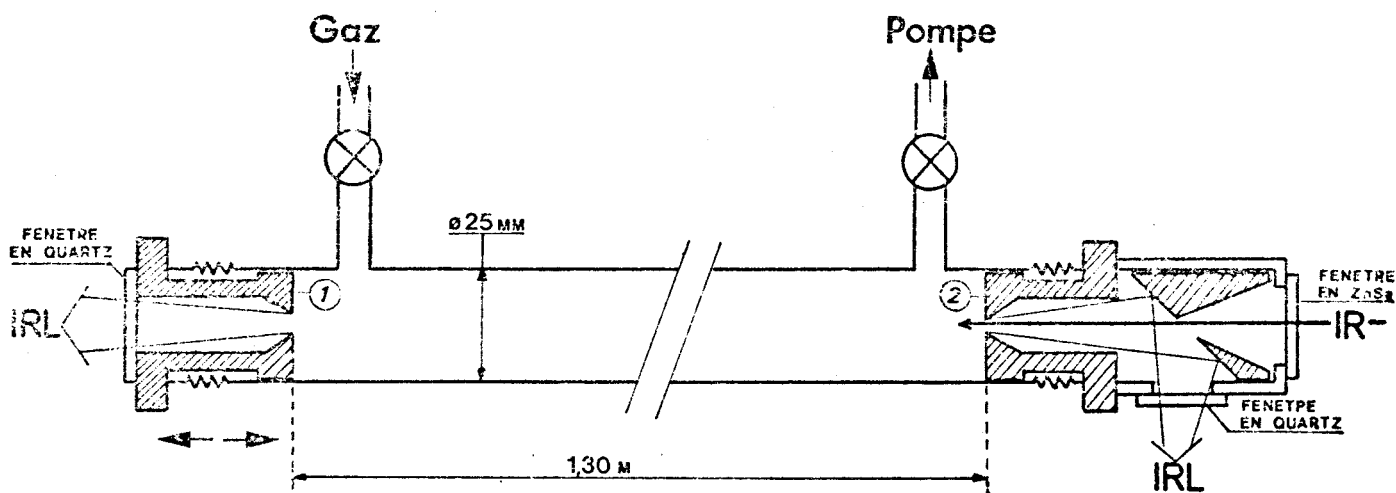


Figure II.15 : Synoptique de la cavité IRL

d'un miroir à 45°, de prélever un deuxième signal IRL, proportionnel au signal principal (figure II.16).

Le miroir 1 a été aligné au départ avec un laser He-Ne et n'est plus réglable en cours d'expérience. Le miroir 2 peut être orienté à tout instant en jouant sur la compression d'un gros joint torique (figure II.16). De plus, le miroir 1 est monté sur une platine SCHNEEBERGER, permettant le déplacement en longueur, et par conséquent l'accord de la cavité (figure II.17).

Afin de garder l'étanchéité de la cavité tout en permettant le passage des faisceaux IR et IRL, on trouve à l'entrée du couplage IR une fenêtre en ZnSe traitée anti réflexion à 10,6 μm , et aux sorties IRL des fenêtres en Quartz (coupe X), transparentes entre 100 μm et 1mm et opaques au rayonnement IR de pompe.

La courbure du guide peut être corrigée par les deux supports réglables placés entre les deux miroirs (figure II.18).

Enfin l'ensemble est maintenu par quatre barres d'Invar donnant ainsi une bonne stabilité en longueur à la cavité IRL.

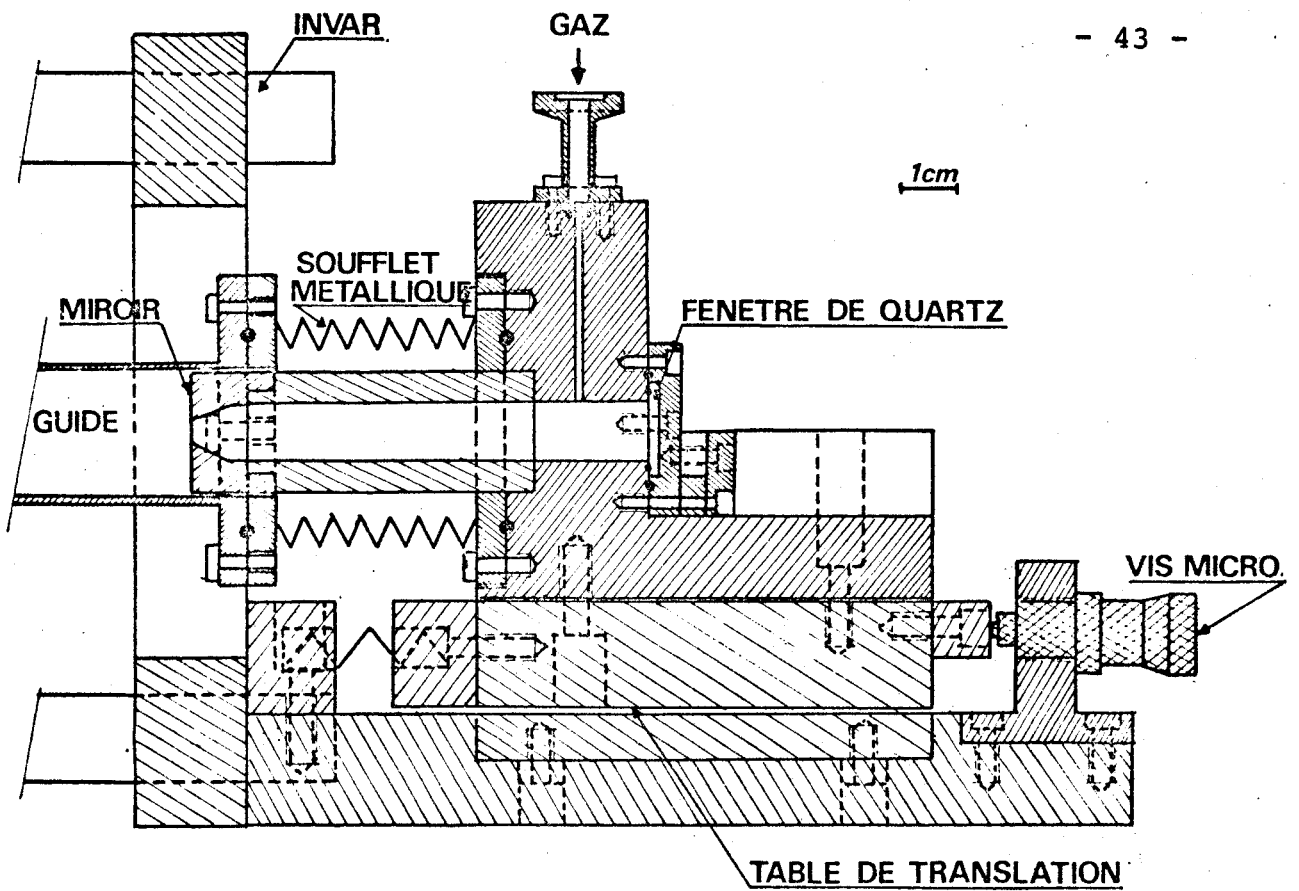
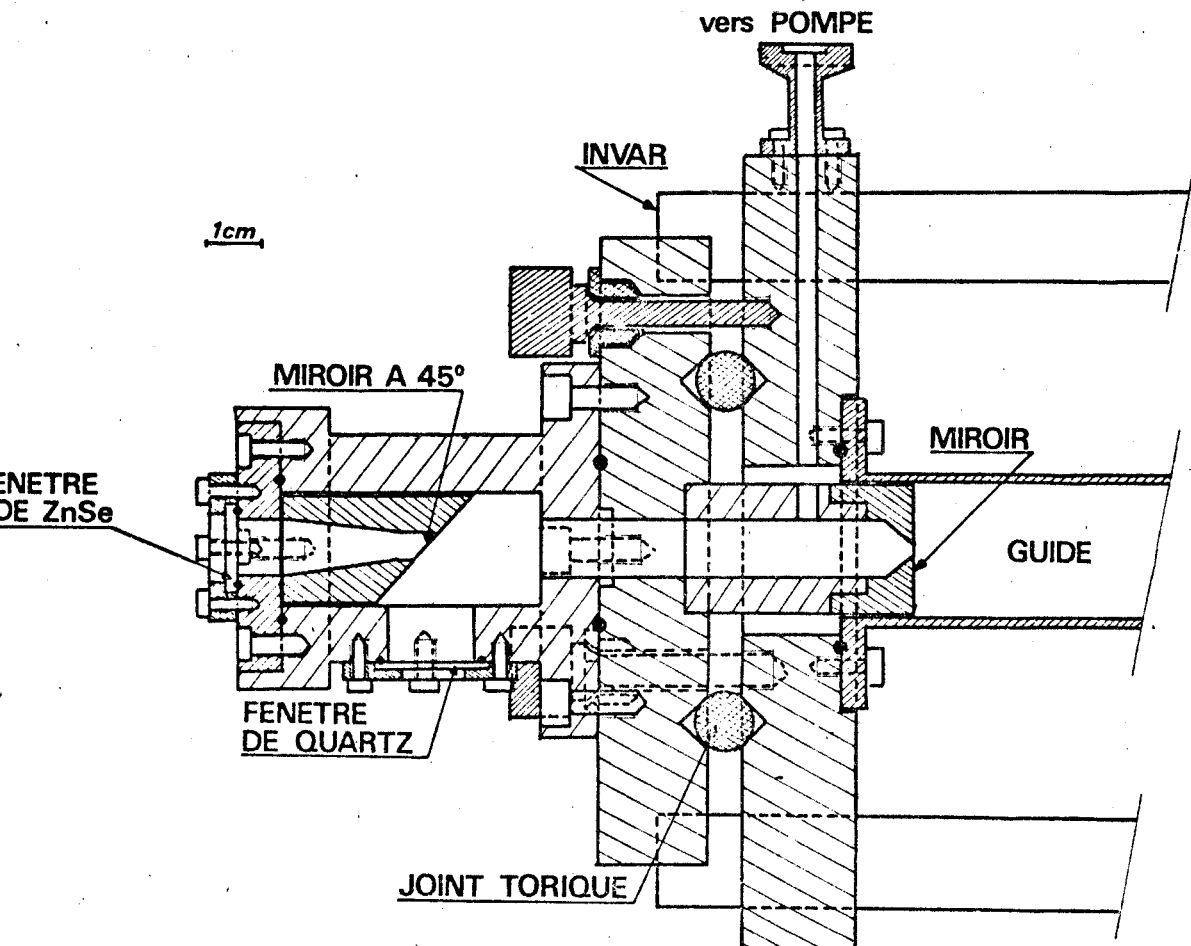


Figure II.17 : Montage du miroir 1 et réglage en longueur de la cavité.

Figure II.16 : Système d'orientation du miroir 2



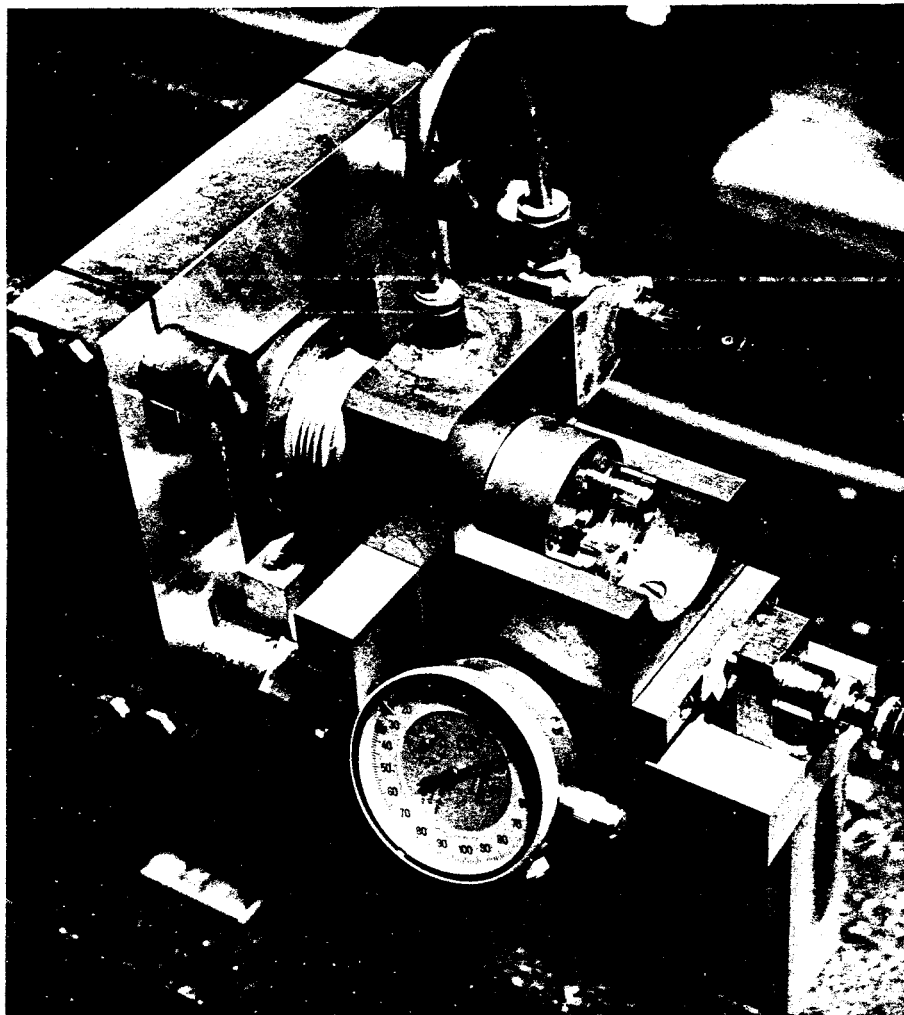


Photo n° 1

Montage du
miroir 1.

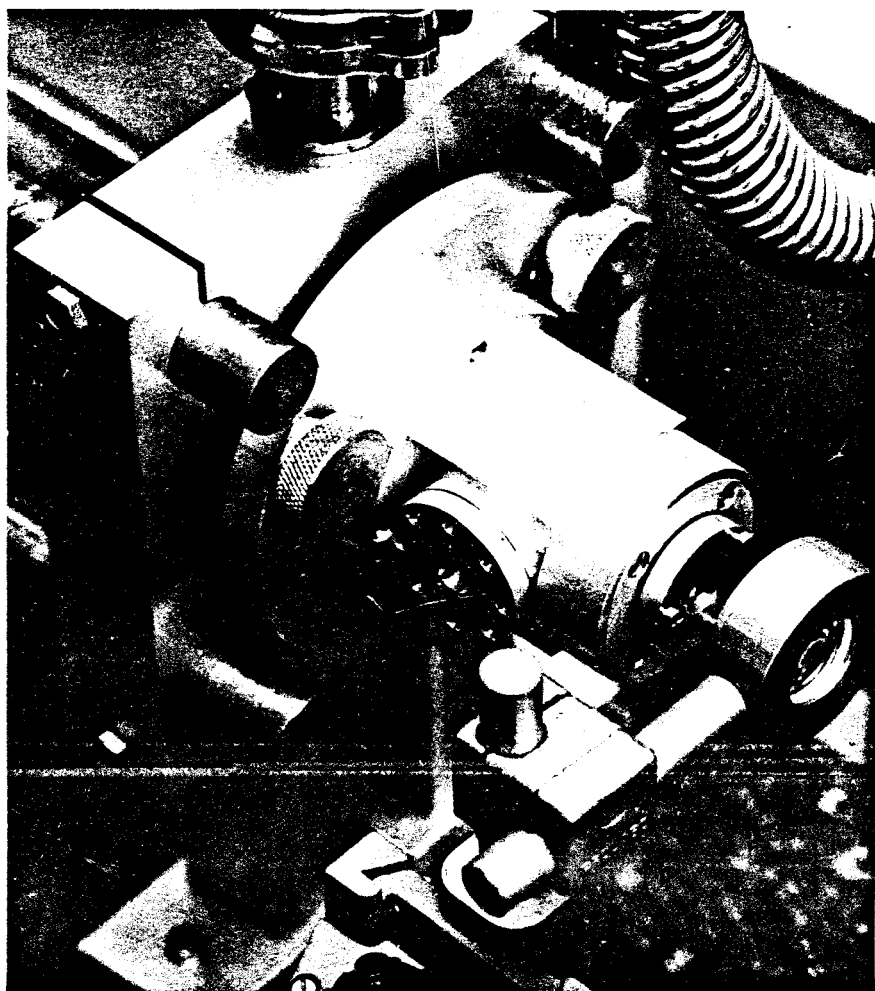


Photo n° 2

Montage du
miroir 2.

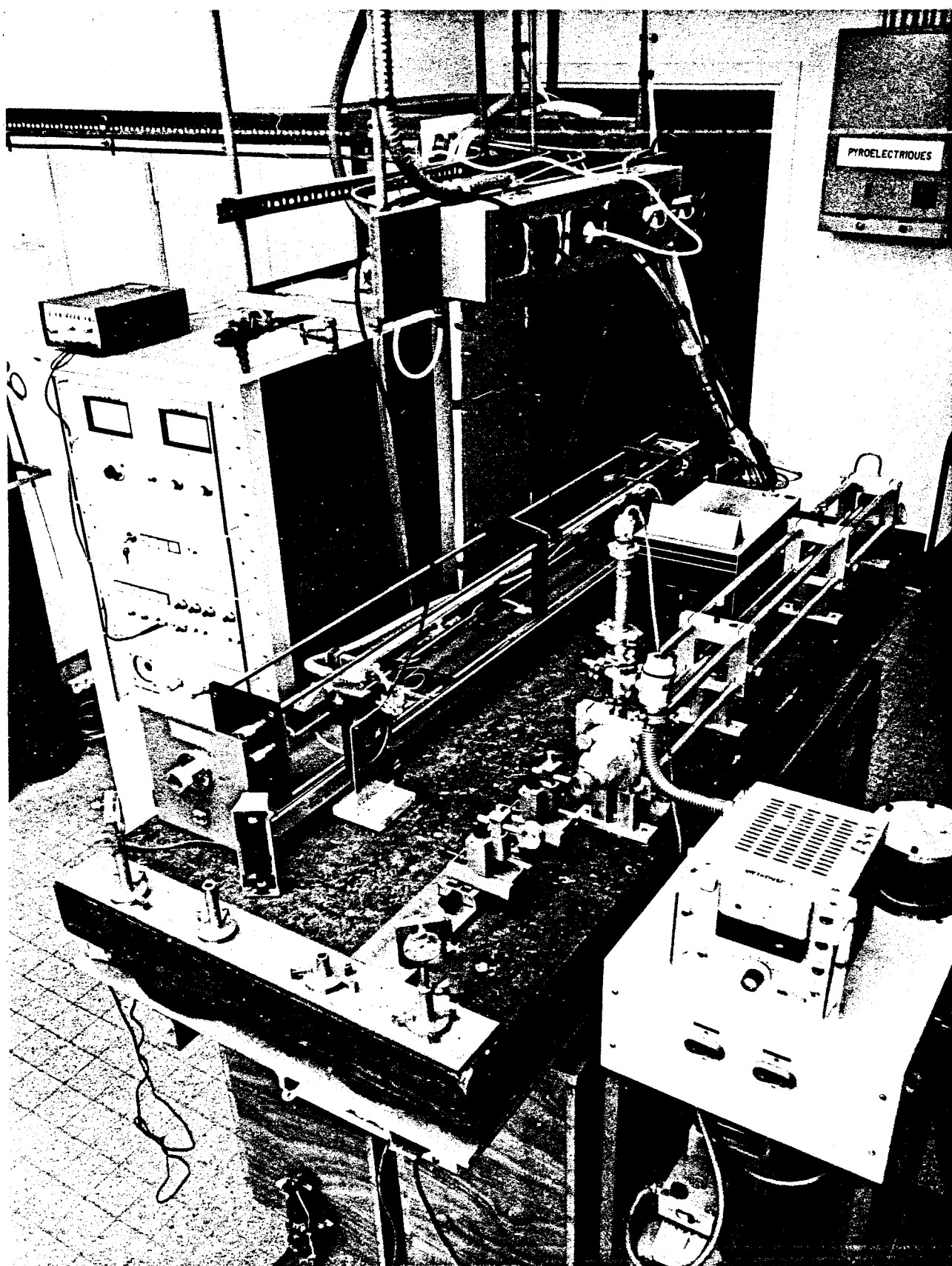


Photo n° 3 : Installation complète de la source.

BUS
LILLE

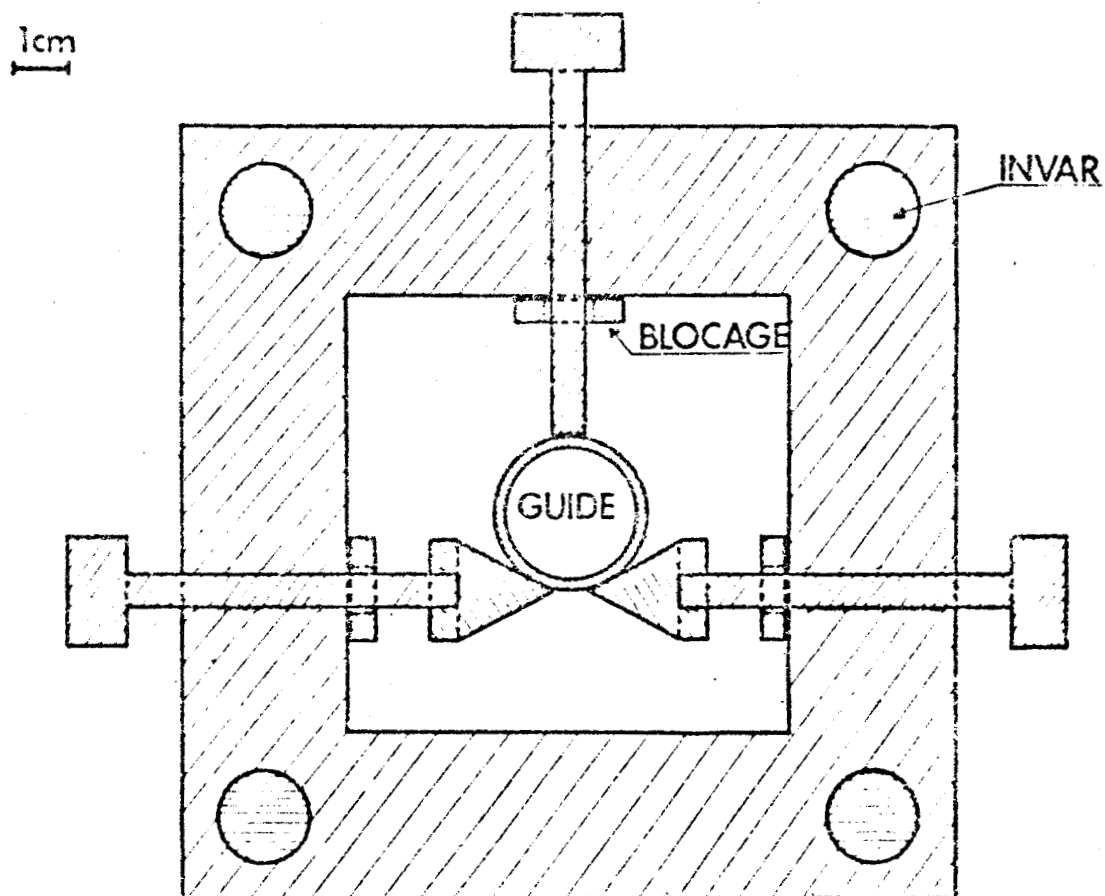


Figure II.18 : Supports permettant de corriger une éventuelle courbure du guide

IV. PROTECTION DE L'ENSEMBLE CONTRE LES VIBRATIONS EXTERIEURES [8]

Pour s'affranchir des vibrations du bâtiment dans lequel est montée l'expérience, l'ensemble de la source est posé sur une dalle de granit de 600 kg, reposant elle même sur des chambres à air (figure II.19).

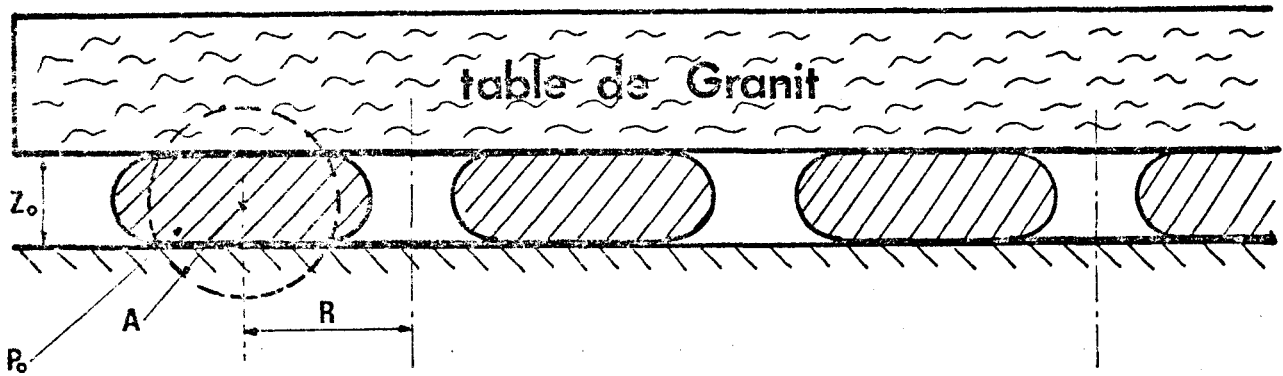


Figure II.19 : Suspension pneumatique de la dalle

- Soient :
- P_0 : pression dans les chambres
 - R : rayon moyen du tore
 - M : masse de la dalle
 - ω_0 : fréquence de résonance des vibrations
 - $\omega_0 = \left(\frac{g}{Z_0}\right)^{1/2}$
 - g : accélération de la pesanteur
 - a : section des chambres à air
 - Z_0 : hauteur moyenne de la dalle ($Z_0 \sim 1,8 a$)
 - N : nombre de chambres utilisées

Ces différents paramètres sont reliés par la formule approchée suivante :

$$M \approx 4\pi R P_0 a N \left(2 - \frac{g}{a\omega_0^2}\right)^{1/2}$$

qui peut s'énoncer sous une forme simplifiée quand l'écrasement des chambres sous le poids de la dalle modifie le diamètre d'environ 10 % :

$$N P_0 a R \approx 0,18 M$$

$$\omega_0^2 \approx \frac{g}{1,8a}$$

Par exemple, dans notre cas, le marbre pèse 600 kg et repose sur 10 chambres de section $a = 3,5$ cm et de rayon $R = 19$ cm; on obtient pour une pression $p_0 = 160$ g cm⁻², une fréquence de résonance: $\omega_0 \approx 1$ Hz. Cette fréquence de résonance très basse

permet un excellent filtrage des vibrations mécaniques.

V. CONCLUSION

Nous venons dans ce chapitre de décrire la source submillimétrique que nous avons réalisée. Il reste maintenant à vérifier ses possibilités, ainsi que son aptitude en tant que source.

Le prochain chapitre va par conséquent consister à vérifier le fonctionnement de cette source dans le domaine IRL.

B I B L I O G R A P H I E

- [1] O. SVELTO
"Principles of lasers"
Plenum Press (1976)
- [2] J. HOURIEZ
"Contribution à la réalisation d'un laser à CO₂ de grande stabilité"
Thèse, Lille I (1971)
- [3] C.K.N. PATEL
"continious wave laser action on vibrational Rotational transitions of CO₂"
Phys. Rev. 136, p. A1187 (30 Nov. 1964)
- [4] T.S. FAHLEN
"CO₂ laser Design Procedure"
Appl. Optics, 12, p. 2381 (Oct. 1973)
- [5] P. BOUSQUET
"Spectroscopie instrumentale"
Dunod pp. 35 - 71 (1969)
- [6] A.G. FOX and T. LI
"Modes in a maser interferometer with curved and tilted mirrors"
Proc. of the I.E.E.E., Vol. 51, p. 80 (Jan. 1963)
- [7] G.D. BOYD and H. KOGELNIK
"Generalized confocal resonator theory"
B.S.T.J., Vol. 41, p. 1347 (July 1962)

[8]

D. BEYSENS

"Filtrage des vibrations mécaniques"

Revue de Phys. appliquée, Tome 8, n° 2, pp. 1978 - 1979

(Juin 1973)

CHAPITRE III

CARACTERISTIQUES ET PERFORMANCES

DU LASER SUBMILLIMETRIQUE

CARACTERISTIQUES ET PERFORMANCES DU LASER SUBMILLIMÉTRIQUE

I. RECHERCHE DES PARAMETRES INFLUANT SUR LA PUISSANCE IRL

II. INFLUENCE DES PARAMETRES EXPERIMENTAUX SUR LA PUISSANCE IRL

- 1° Influence de la pression P sur P_{IRL}
- 2° Influence de la puissance de pompe P_{IR} sur P_{IRL}
 - a) $P_{IRL} = f(P_{IR})$ à pression constante
 - b) $P_{IRL} = f(P_{IR})$ à pression optimale
- 3° Taux de conversion photonique
- 4° Choix de la cavité
 - a) type de cavité
 - b) longueur et section
- 5° Couplage optimal
- 6° Divergence du faisceau de sortie

III. OBTENTION DES RAIES SUBMILLIMÉTRIQUES

- 1° Recherche des raies
- 2° Interférogramme de la cavité IRL
- 3° Raies obtenues

IV. STABILITE DU LASER IRL

V. CONCLUSION

I. RECHERCHE DES PARAMETRES INFLUANT SUR LA PUISSANCE

Nous avons établi à la fin du chapitre I, une relation (47) donnant l'expression de la puissance submillimétrique P_{IRL} en fonction des différents paramètres :

$$P_{IRL} = \frac{1}{2} t I_{sat} S \left[\frac{2}{a+t} \times \frac{F_{abs} P_{IR}}{S \cdot I_{sat}} \times \frac{\nu_{IRL}}{\nu_{IR}} \frac{g_1}{g_1+g_2} - 1 \right] \quad (I.47)$$

- où : t : couplage de sortie de la cavité IRL
- a : pertes totales de la cavité pour un aller-retour
- S : section du guide
- g_1, g_2 : sont les dégénérescences des niveaux entre lesquels s'effectue la transition laser IRL
- ν_{IR} et ν_{IRL} : représentent les fréquences des rayonnements respectivement de pompe (IR) et submillimétrique (IRL)
- P_{IR} : est la puissance de pompe
- $F_{abs} P_{IR}$: représente la partie de P_{IR} qui est réellement utilisée pour la transition submillimétrique
- I_{sat} : est l'insensité de saturation de la transition IRL

Tous ces paramètres, sauf les deux derniers sont, soit des paramètres propres à la molécule utilisée ($g_1, g_2, \nu_{IR}, \nu_{IRL}$), soit des paramètres propres à la cavité utilisée (t, a, S). Il faut néanmoins essayer de mieux préciser les deux derniers paramètres (F_{abs}, I_{sat}) afin de voir comment ils varient quand on change les conditions de fonctionnement du laser :

- $F_{abs} P_{IR}$ représente, comme nous l'avons dit précédemment la partie de la puissance IR de pompe qui est réellement utilisée pour la transition submillimétrique. Pour voir quels sont les paramètres physiques dont dépend ce terme, nous allons utiliser la relation (I.44)

$$F_{abs} P_{IR} = \frac{W_p N_t}{(1+W_p/r)} h \nu_{IR} V \quad (I.44)$$

où W_p représente le taux de pompage. Il dépend un peu de la pression mais essentiellement de la puissance IR de pompe.

N_t est le nombre total de molécules

r représente le taux de relaxation vibrationnelle, et est proportionnel à $(pd^2)^{-1}$

Par conséquent, à faible pression, $F_{abs} P_{IR}$ sera sensiblement proportionnel à $W_p N_t$, donc à la pression et à la puissance IR de pompe. Par contre, plus la pression va augmenter et plus le terme Γ va influencer de façon à saturer $F_{abs} P_{IR}$.

- I_{sat} représente l'intensité de saturation de la transition IRL et, comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, est proportionnel à p^2 [1,2].

II. INFLUENCE DES PARAMETRES EXPERIMENTAUX SUR LA PUISSANCE IRL

Nous pouvons distinguer trois catégories de paramètres influant sur le laser :

- paramètres liés au gaz : pression, addition d'un gaz tampon [4], température [5].

- paramètres liés à la cavité IRL : type de cavité [6] longueur [7], section [8], couplages.

- paramètres liés au rayonnement de pompe : puissance IR, décalage de la fréquence de la raie du laser à CO_2 par rapport à la transition de pompe ("offset"), disposition spatiale de l'onde IR dans la cavité IRL.

Nous allons donc étudier l'influence de certains de ces paramètres (ceux qui nous semblent les plus importants), les autres étant plus difficilement exploitables.

1° INFLUENCE DE LA PRESSION P SUR LA PUISSANCE P_{IRL}

Nous avons relevé la puissance IRL en fonction de la pression du gaz dans la cavité IRL pour différentes puissances de pompe (figures II.1 et II.2).

On peut déjà remarquer (en regard également du "tableau des raies obtenues", à la fin de ce chapitre), que les pressions optimales sont à peu près équivalentes pour toutes les longueurs d'ondes.

Pour interpréter les courbes obtenues, nous allons développer la relation (I.65), ce qui donne :

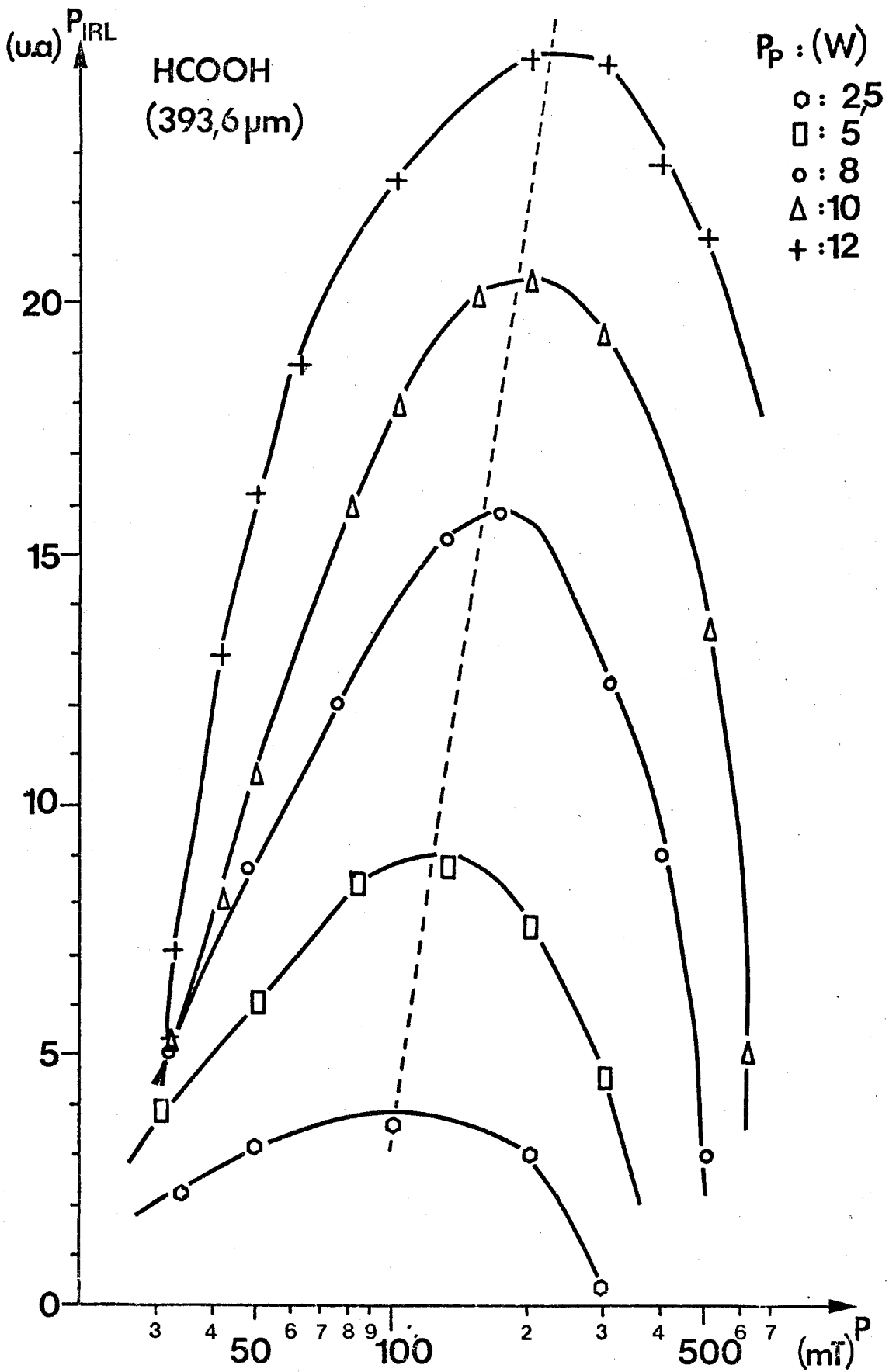


Figure III.1 : P_{IRL} en fonction de la pression avec P_{IR} constant pour HCOOH ($\lambda = 393,6 \mu m$).



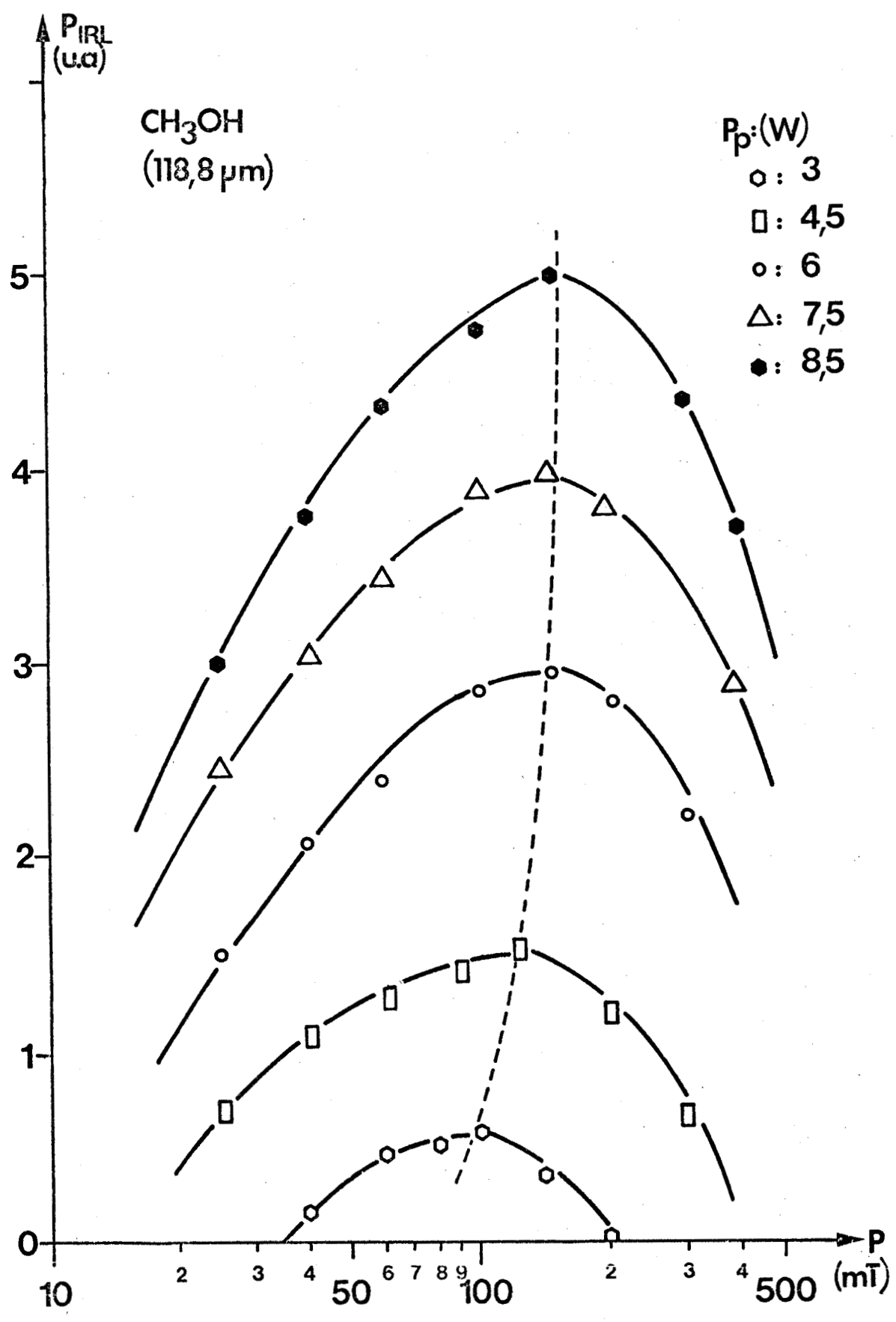


Figure III.2 : P_{IRL} en fonction de la pression avec P_{IR} constant pour CH₃OH ($\lambda = 118,8 \mu\text{m}$).



A faible pression, seul le terme $F_{abs} P_{IR}$ va intervenir ($N W_p N_t$) puisque I_{sat} est du second ordre ; plus la pression va augmenter et plus le terme $F_{abs} P_{IR}$ va se "saturer" tandis que I_{sat} va devenir de plus en plus important, ceci va par conséquent entraîner une pression optimale à partir de laquelle P_{IR} va diminuer.

On peut remarquer également que la pression optimale augmente avec la puissance de pompe, du fait que le terme $W_p N_g$ augmente avec cette puissance.

Enfin, ces courbes montrent l'importance de la pression pour obtenir une puissance IRL maximale.

2° INFLUENCE DE LA PUISSANCE DE POMPE (P_{IR}) sur P_{IRL}

a) $P_{IRL} = f(P_{IR})$ à pression constante

Nous avons relevé la puissance IRL en fonction de la puissance de pompe P_{IR} , pour différentes pressions du gaz dans la cavité submillimétrique (figure II.3). Le relevé a été fait pour la raie à 393,6 μm de l'acide formique (HCOOH), mais les résultats sont similaires pour les autres transitions laser.

L'interprétation de ces courbes est assez aisée en regard de la relation (I.47)

$$P_{IRL} = \left(\frac{t}{a+t}\right) \frac{v_{IRL}}{v_{IR}} \frac{g_1}{g_1+g_2} F_{abs} P_{IR} - \frac{1}{2} t S I_{sat} \quad (I.47)$$

Lorsque la pression est faible et P_{IR} faible également, le terme $F_{abs} P_{IR}$ qui est égal à :

$$F_{abs} P_{IR} = \frac{W_p}{1+W_p/r} N_t h v_{IR} V \quad (I.43)$$

va être proportionnel à P_{IR} puisque r est proportionnel à $(pd^2)^{-1}$ et comme I_{sat} est faible ($I_{sat} \sim p^2$), on peut en conclure que pour les pressions faibles P_{IRL} est proportionnel à P_{IR} et à N_t (donc à la pression). Lorsque P_{IR} va devenir important, le terme $F_{abs} P_{IR}$ se sature et par conséquent P_{IRL} va également se saturer d'où la forme obtenue.

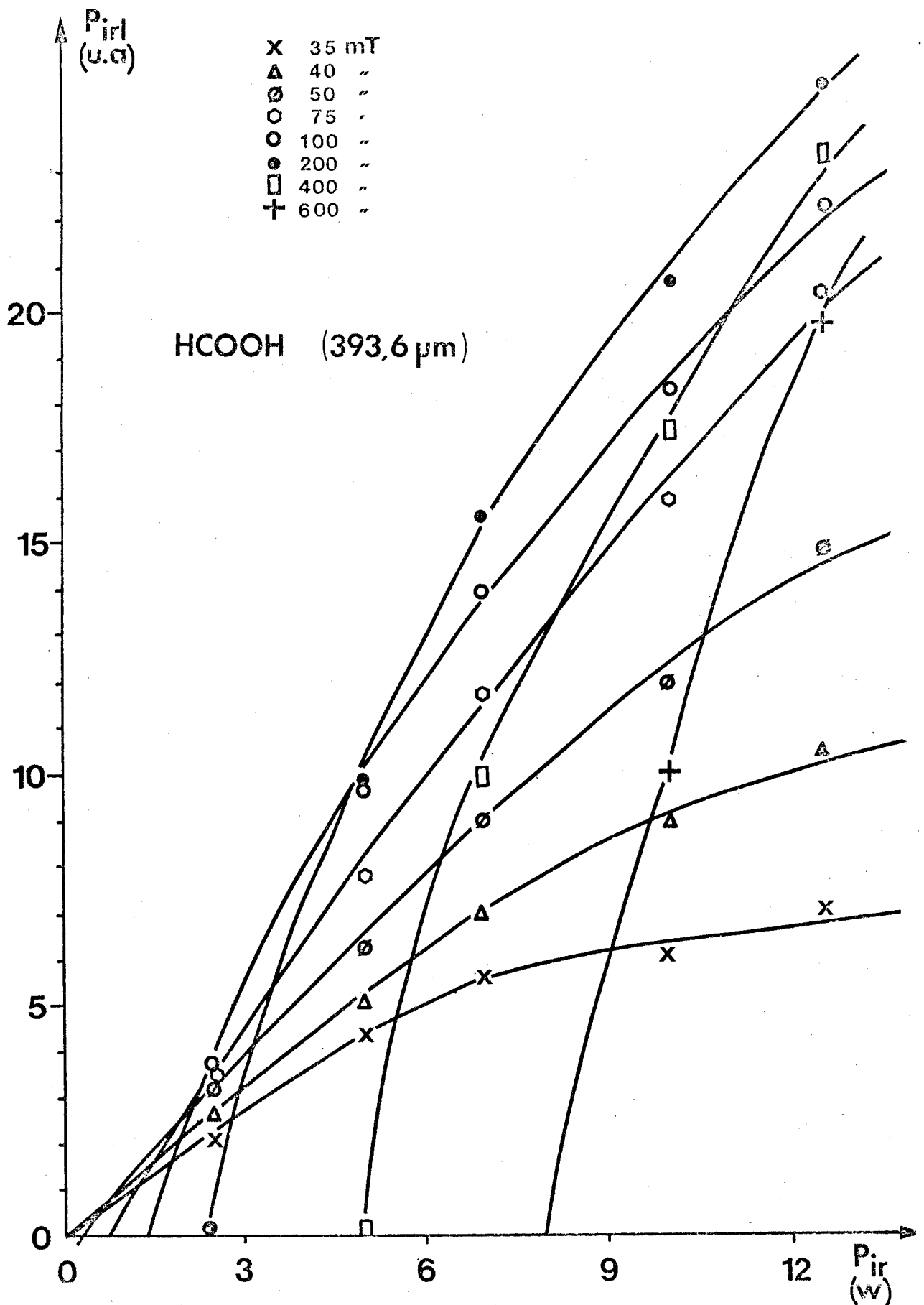


Figure III.3 : P_{IRL} en fonction de P_{IR} à pression constante pour HCOOH ($\lambda = 393,6 \mu\text{m}$).



Lorsque la pression est plus importante, la forme générale des courbes reste la même ; simplement le terme I_{sat} n'est plus négligeable lorsque P_{IR} est faible, il en résulte la présence d'un seuil d'émission dû au fait que dans la relation (I.65), le premier terme doit être supérieur au second terme.

Naturellement ce seuil est d'autant plus important que la pression est forte. De même, le terme $F_{\text{abs}} P_{\text{IR}}$ se saturera d'autant moins vite que la pression est forte.

$$b) \underline{P_{\text{IRL}} = f(P_{\text{IR}}) \text{ à pression optimale}}$$

A pression optimale, comme l'on se trouve loin du seuil, le deuxième terme de la relation (I.65) est négligeable devant le premier, par conséquent, cette relation se réduit à

$$(P_{\text{IRL}})_{\text{opt}} = \left[\frac{t}{t+a} F_{\text{abs}} \frac{v_{\text{IRL}}}{v_{\text{IR}}} \frac{g_1}{g_1+g_2} \right] P_{\text{IR}} \quad (\text{III.1})$$

or F_{abs} est sensiblement constant, puisque étant proportionnel au nombre de molécules et inversement proportionnel à la pression, ces deux facteurs s'annulent entre eux.

Il en résulte que $(P_{\text{IRL}})_{\text{opt}}$ est proportionnel à P_{IR} comme le montre la figure 4, sauf lorsque P_{IR} est faible, ceci parce que l'approximation donnant la relation (III.1) n'est plus parfaitement vérifiée.

3° TAUX DE CONVERSION PHOTONIQUE [3,9]

Si l'on considère le cas "théorique" où les pertes sont nulles, l'absorption de la pompe parfaite et si l'on se considère loin du seuil, la relation (I.47) se réduit à :

$$P_{\text{IRL}}^{\text{théo}} = \frac{g_1}{g_1+g_2} \frac{v_{\text{IRL}}}{v_{\text{IR}}} P_{\text{IR}} \quad (\text{III.2})$$

On peut alors définir un taux de conversion photonique théorique η_{theo} par :

$$P_{\text{IRL}}^{\text{théo}} = \eta_{\text{theo}} P_{\text{IR}} \quad (\text{III.3})$$

Nous pouvons également, en considérant la relation (III.1), définir

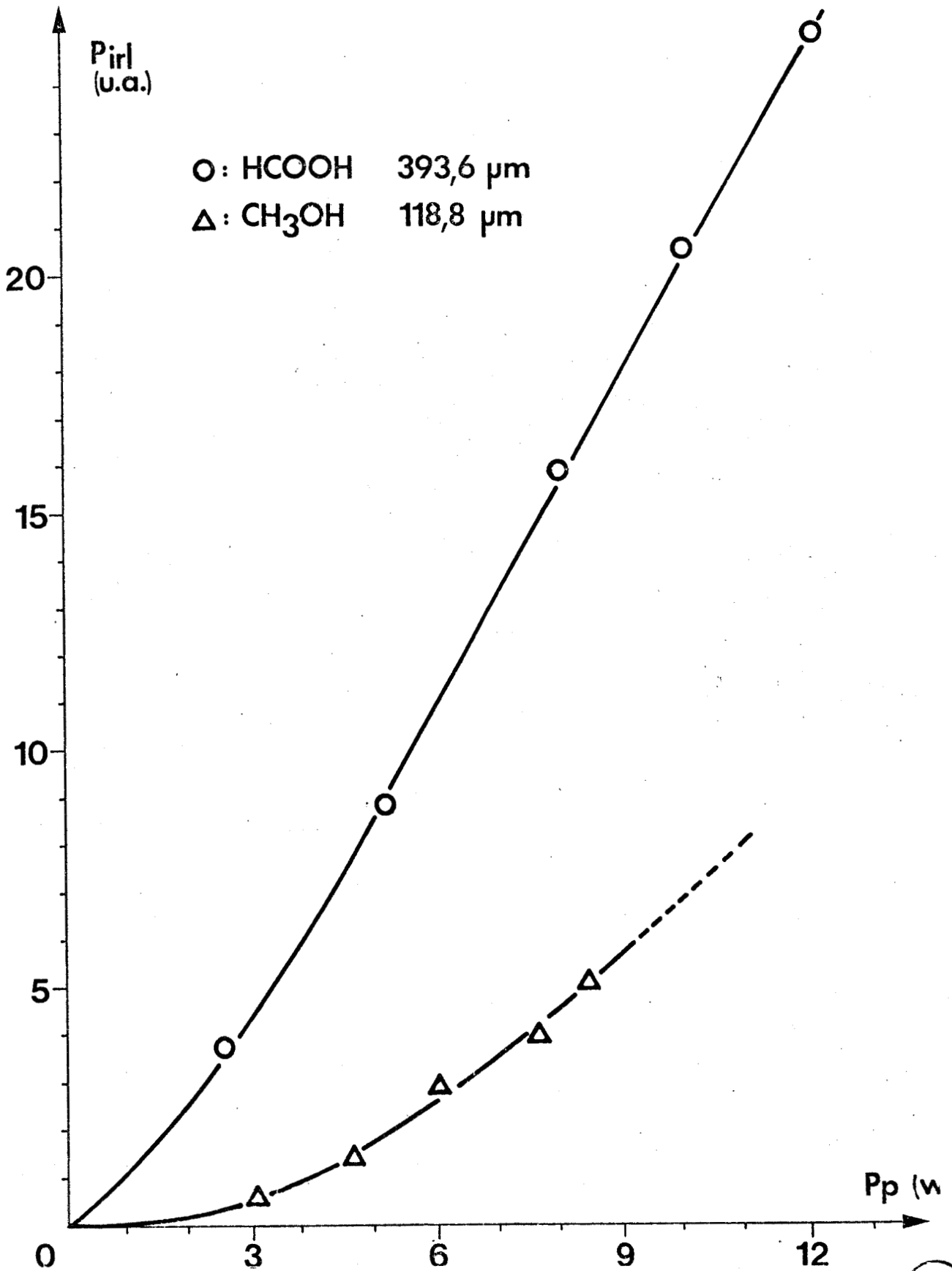


Figure III.4 : P_{IRL} en fonction de P_{IR} à pression optimale pour HCOOH ($\lambda = 393,6 \mu\text{m}$) et CH₃OH ($\lambda = 118,8 \mu\text{m}$).



un taux de conversion expérimental à la pression optimale $\eta_{\text{exp}}^{\text{opt}}$ par :

$$(P_{\text{IRL}}^{\text{exp}})_{\text{opt}} = \eta_{\text{exp}}^{\text{opt}} P_{\text{IR}} \quad (\text{III.4})$$

d'où, en comparant les relations (III.1), (III.3) et (III.4), on en déduit :

$$\eta_{\text{exp}}^{\text{opt}} = \eta_{\text{theo}} \times \frac{t}{t+a} (F_{\text{abs}})_{\text{opt}} \quad (\text{III.5})$$

Il faut remarquer que cette relation n'est vérifiée que lorsque l'on se trouve loin du seuil.

En traçant la courbe $\eta_{\text{exp}}^{\text{opt}}/\eta_{\text{theo}}$ en fonction de la puissance de pompe (figure 5), on se rend compte que le faible rendement du laser est essentiellement dû au terme F_{abs} .

Nous avons également représenté (figure 6) le taux de conversion photonique des raies submillimétriques ayant le meilleur rendement [9] entre 40 μm et 1,2 mm

4° CHOIX DE LA CAVITE

a) Type de cavité [6]

Nous avons montré dans le chapitre I, que la cavité guidée permettait d'obtenir une désexcitation vibrationnelle plus rapide, et par conséquent un rendement meilleur par rapport à la cavité Pérot - Fabry, ce qui justifie notre choix.

b) Longueur et section

Des études faites [7] sur des cavités de longueurs différentes ont montré comme l'on pouvait s'y attendre, que plus la longueur est grande, meilleure sera la puissance IRL obtenue. Néanmoins, pour des raisons d'infrastructure de l'installation nous avons limité la longueur de la cavité à 1,30 m.

Enfin en ce qui concerne la section de la cavité, un compromis doit être fait pour choisir le diamètre du guide. En effet, lorsque celui-ci augmente, les pertes diminuent mais le taux de relaxation diminue également ($\Gamma \sim (pd^2)^{-1}$). Par conséquent, nous avons choisi une section intermédiaire, c'est à dire un diamètre de 25 mm.

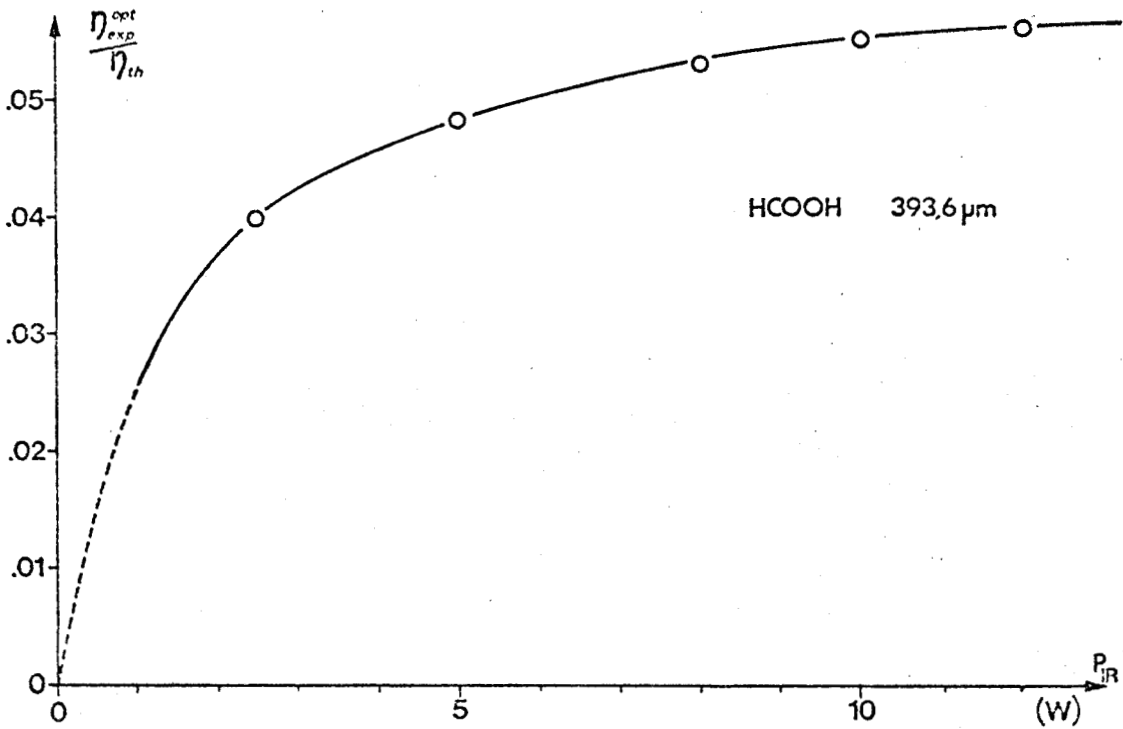


Figure III.5 : $\eta_{exp}^{opt} / \eta_{theo}$ en fonction de P_{IR} pour HCOOH ($\lambda = 393,6 \mu$ m).

Figure III.6 : $\eta_{exp}^{opt} / \eta_{theo}$ en fonction de la longueur d'onde pour les principales raies IRL (d'après [9]).

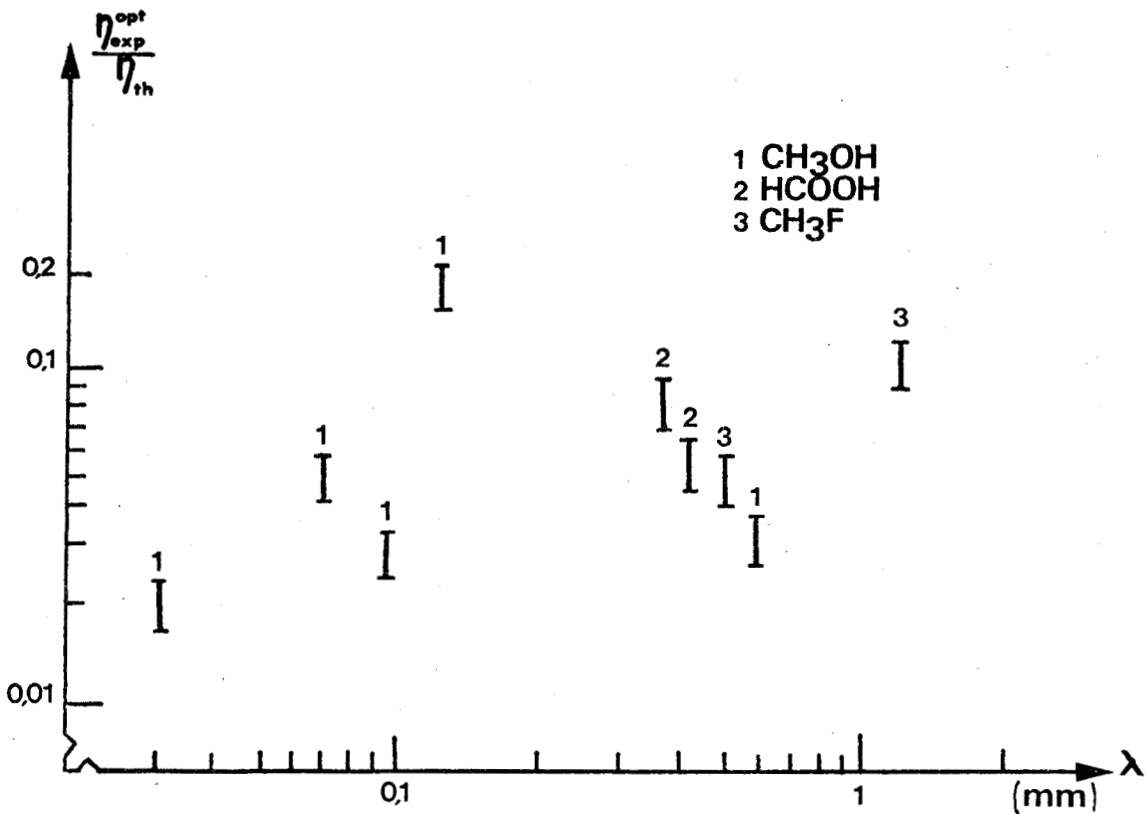
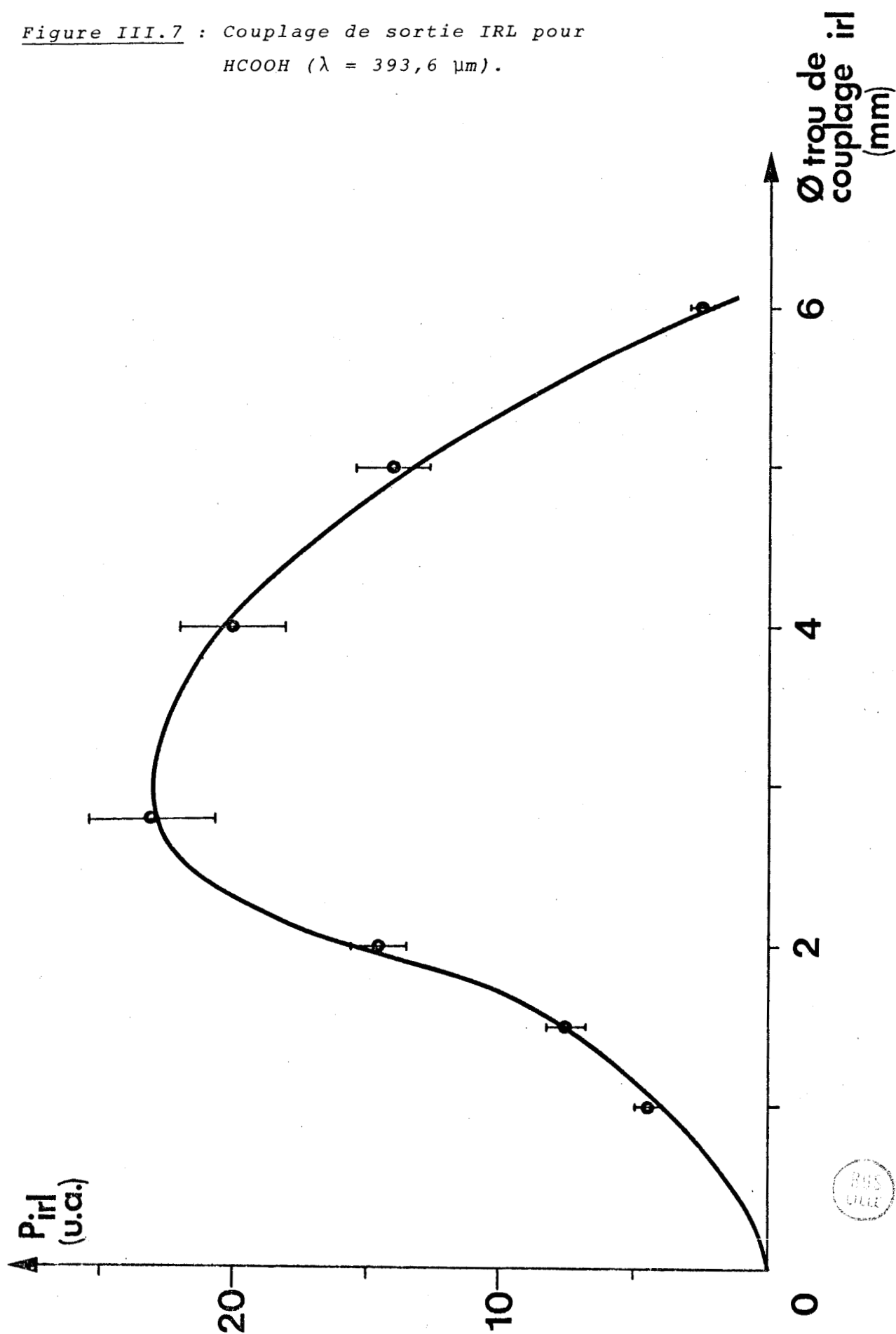


Figure III.7 : Couplage de sortie IRL pour HCOOH ($\lambda = 393,6 \mu\text{m}$).



5° COUPLAGE IRL OPTIMAL

La recherche du couplage optimal paramètre t dans la relation (I.65) se révèle particulièrement importante, car c'est une condition nécessaire à l'obtention d'une puissance de sortie IRL maximale.

En effet, si le diamètre du trou de couplage est trop grand, les pertes (liées à une trop faible réflexion sur le miroir) seront importantes, et par conséquent, la puissance de sortie IRL sera faible. Par contre, si ce diamètre est trop petit, trop peu d'énergie contenue dans la cavité pourra être utilisée. Nous avons relevé la puissance IRL en fonction du diamètre du trou de couplage (figure 7) pour une longueur d'onde moyenne ($393,6 \mu\text{m}$), ce qui nous a permis d'optimiser ce diamètre à 3 mm, correspondant à un coefficient de transmission de quelques pour cent. Cette faible valeur de t_{opt} est dû au fait que le gain de la transition laser est relativement faible.

6° DIVERGENCE DU FAISCEAU DE SORTIE

Le faisceau IRL étant destiné à être utilisé pour des mesures de transmission, nous avons mesuré sa divergence. Il faut tout d'abord rappeler comment sort ce faisceau.

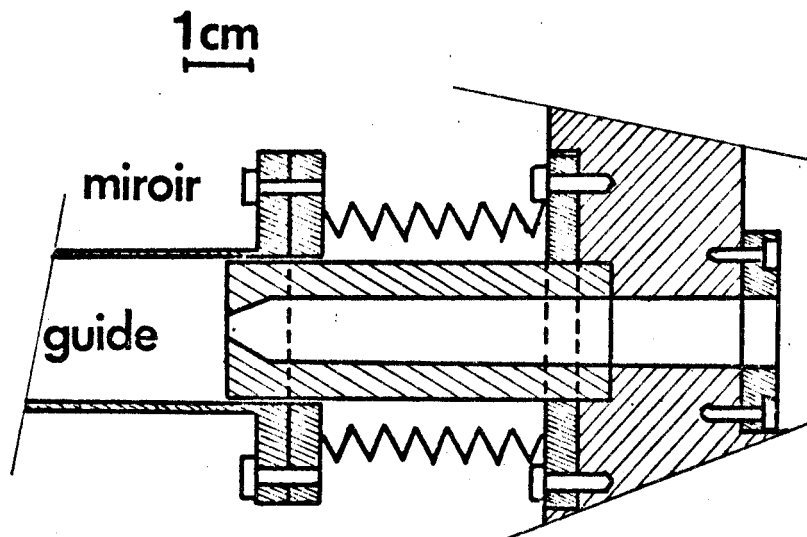


Figure III.8 : Couplage de sortie du Laser IRL.

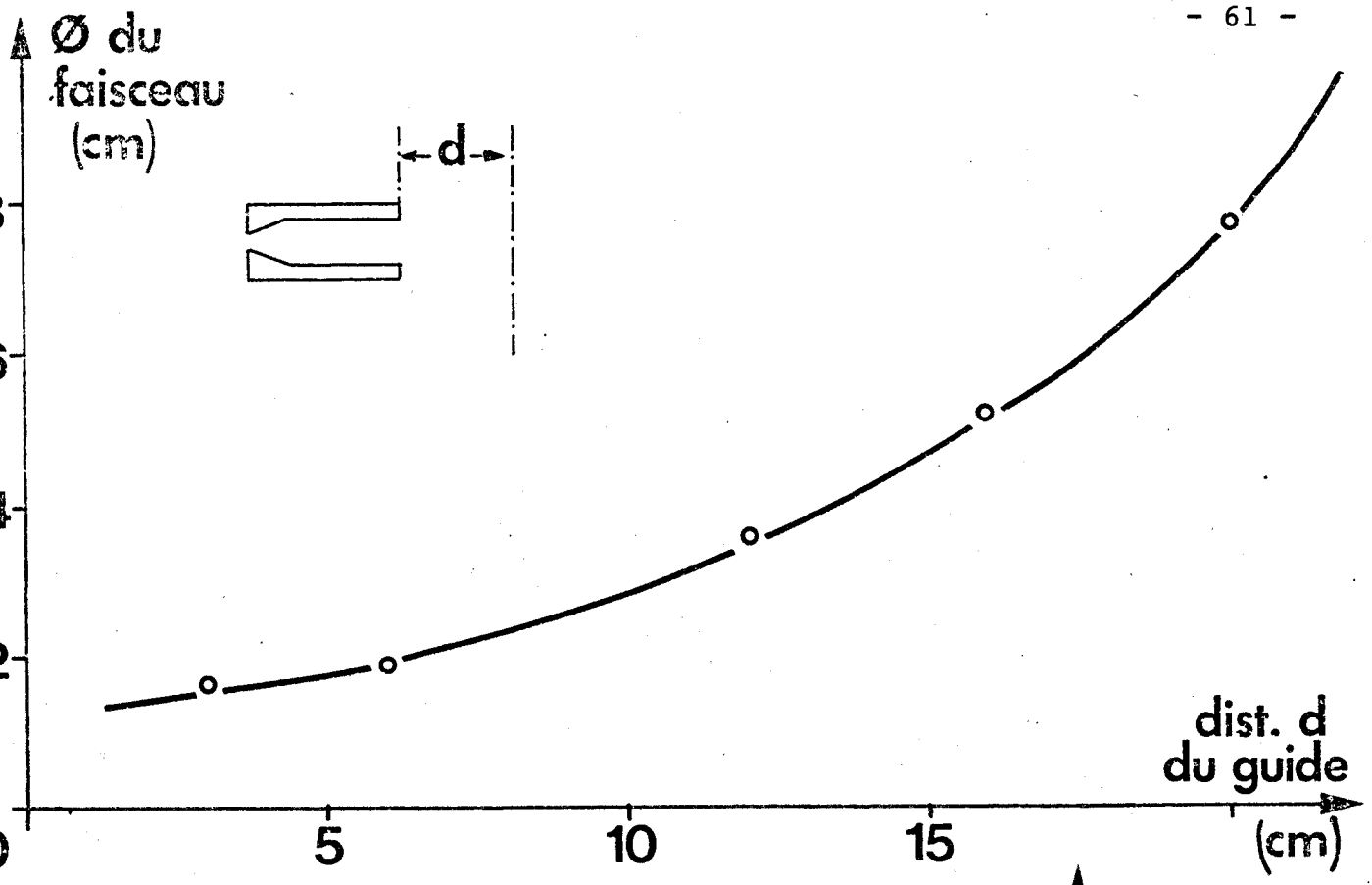
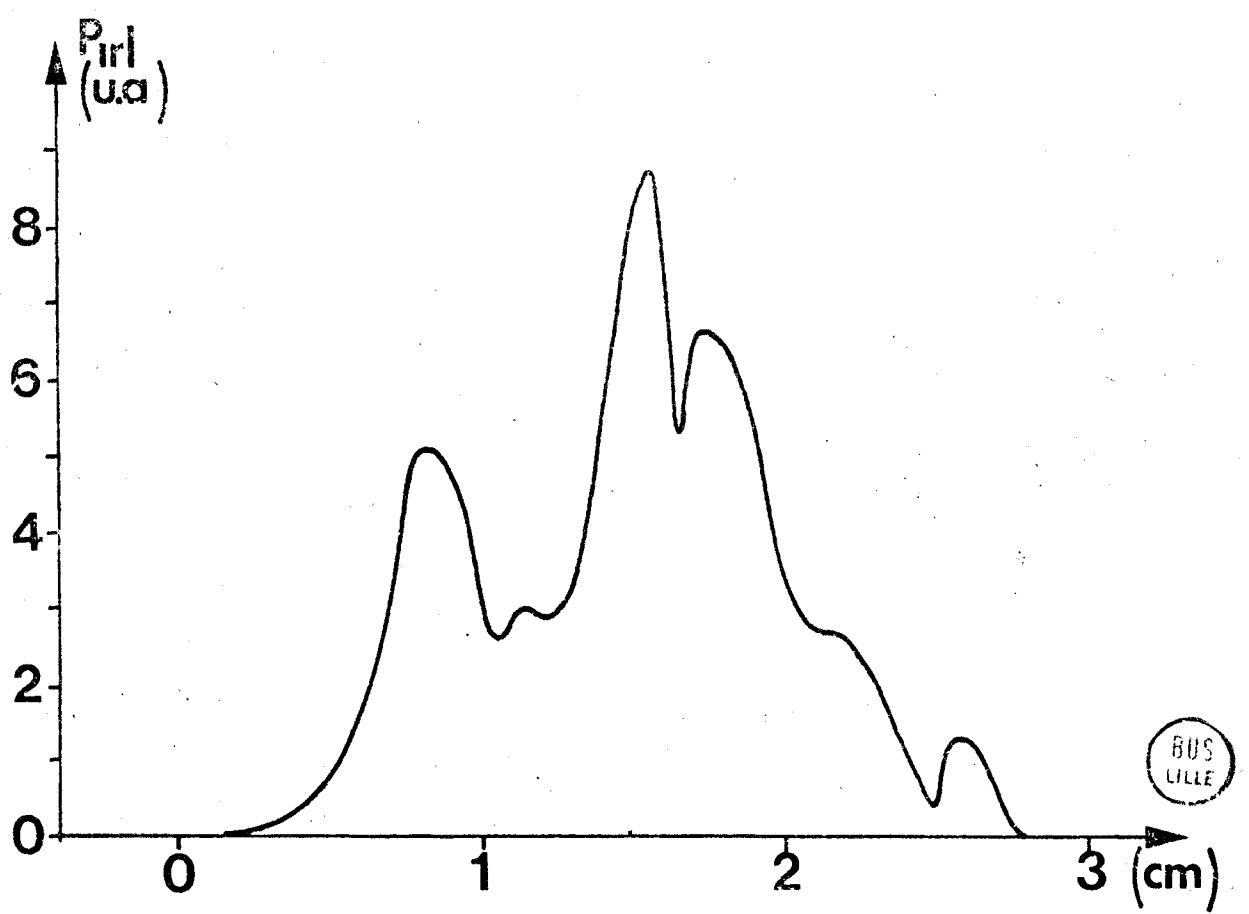


Figure III.10 : Le faisceau IRL de sortie { - divergence ↑
- répartition spatiale ↓



Comme le montre la figure 8, le faisceau, après passage par le trou de couplage, est guidé sur plusieurs centimètres par un tube de 10 mm de diamètre, nous avons donc mesuré le diamètre à mi-puissance du faisceau IRL à différentes distances d du guide (figure III.10). La mesure a été effectuée en déplaçant, dans un plan perpendiculaire à l'axe de propagation, un détecteur de petite surface (environ 1 mm de diamètre).

Nous donnons également (figure III.10), la répartition spatiale de l'énergie IRL dans un plan perpendiculaire à l'axe de propagation. Cette courbe montre la dissymétrie du mode due sans doute à des défauts mécaniques du trou de couplage et à la forme du faisceau de pompe dans la cavité IRL (voir également figure I.4).

III. OBTENTION DES RAIES SUMILLIMETRIQUES

1° RECHERCHE DES RAIES

Puisque le laser IRL est optiquement pompé, il est évident que la recherche des raies va se faire en deux parties :

- Recherche de la raie de pompe.
- Accord de la cavité IRL et coïncidence de la "pompe"

a) Recherche de la raie de pompe

A chaque raie submillimétrique correspond une raie de pompe bien déterminée par les spectroscopistes [12, 13]. Il suffit alors, à l'aide d'un analyseur de spectres à CO_2 , d'orienter convenablement le réseau, de façon à favoriser la raie de pompe désirée (figure II.6)

b) Accord de la cavité IRL et coïncidence de la "pompe"

La recherche de la raie de pompe étant faite, il faut accorder la cavité IRL tout en réglant la longueur de la cavité du laser à CO_2 , de façon à faire légèrement varier sa fréquence ; ceci afin d'obtenir la meilleure coïncidence entre

la fréquence du laser à CO_2 et la transition de pompe idéale*. Afin de simplifier cette double - manipulation, on utilise un générateur de signaux BF dont le rôle sera de moduler la longueur du laser à CO_2 (figure III.11)

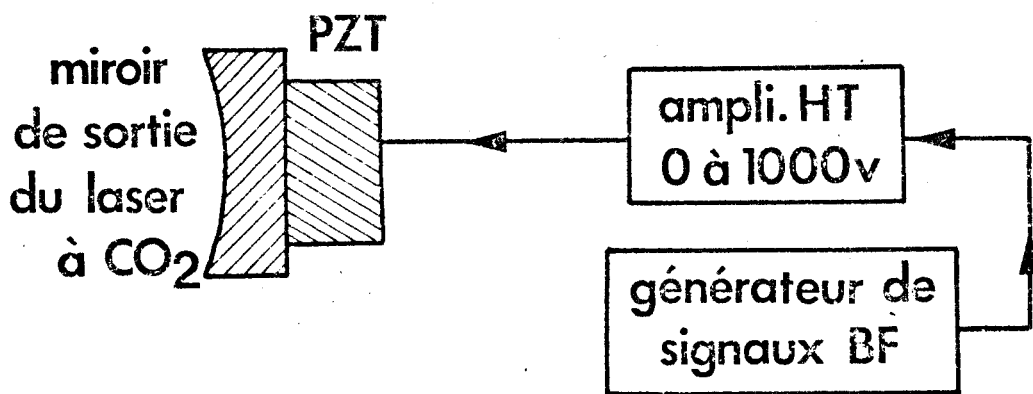


Figure III.11 : Modulation de la longueur du laser à CO_2

Par conséquent il suffit de régler la longueur de la cavité submillimétrique et, ceci étant fait, de supprimer le générateur BF et de régler manuellement la longueur de la cavité du laser de pompe.

2° INTERFEROGRAMME DE LA CAVITE IRL

En balayant de façon continue la longueur de la cavité IRL et en enregistrant la puissance IRL en fonction de cette longueur, on obtient l'interférogramme de la cavité (figure III.12) Cet enregistrement permet de montrer que le nombre de modes varie beaucoup avec la pression, ceci est sans doute dû au fait

* Bien que la transition de pompe soit toujours voisine de la fréquence d'émission du laser à CO_2 , il est rare que l'écart entre les deux ou "offset" soit nul : on cherche alors dans tous les cas à réduire au maximum cet "offset"

qu'à faible pression, les chocs étant peu nombreux, beaucoup de modes peuvent se propager ; tandis qu'à haute pression, seul ceux ayant de très faibles pertes le peuvent encore.

De plus, ces enregistrements sont très riches en informations car ils permettent à la fois de vérifier la longueur d'onde du rayonnement IRL (maximums distants de $\lambda/2$), de voir que plusieurs modes peuvent se propager, et également de pouvoir observer les "cascades de raies", (figure III.13). En effet, une raie de pompe IR peut produire plusieurs raies submillimétriques en "cascade" (figure III.13).

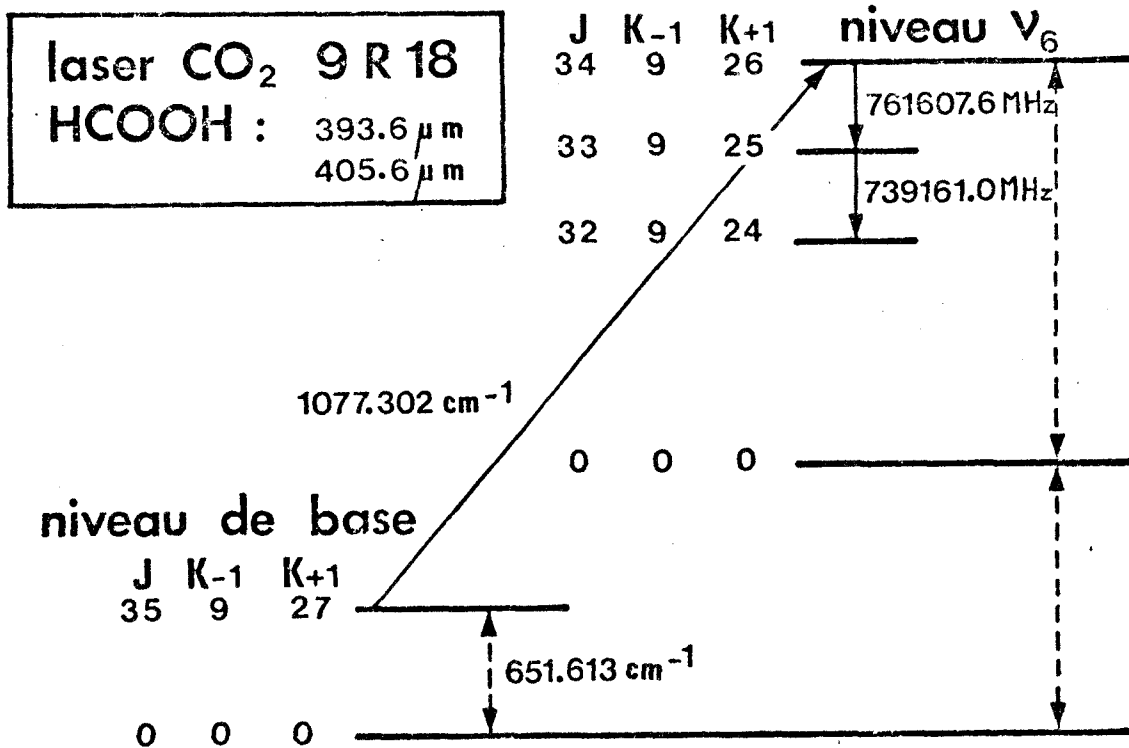


Figure III.13 : Cascade obtenue avec HCOOH (d'après Dangoisse [10])

Toutefois, ces cascades sont très difficiles à observer avec une cavité métallique, par le fait que les modes sont très nombreux comme le montre la figure III.12.

Figure III.12 : Interferogrammes
de la cavité IRL pour différentes
pressions.

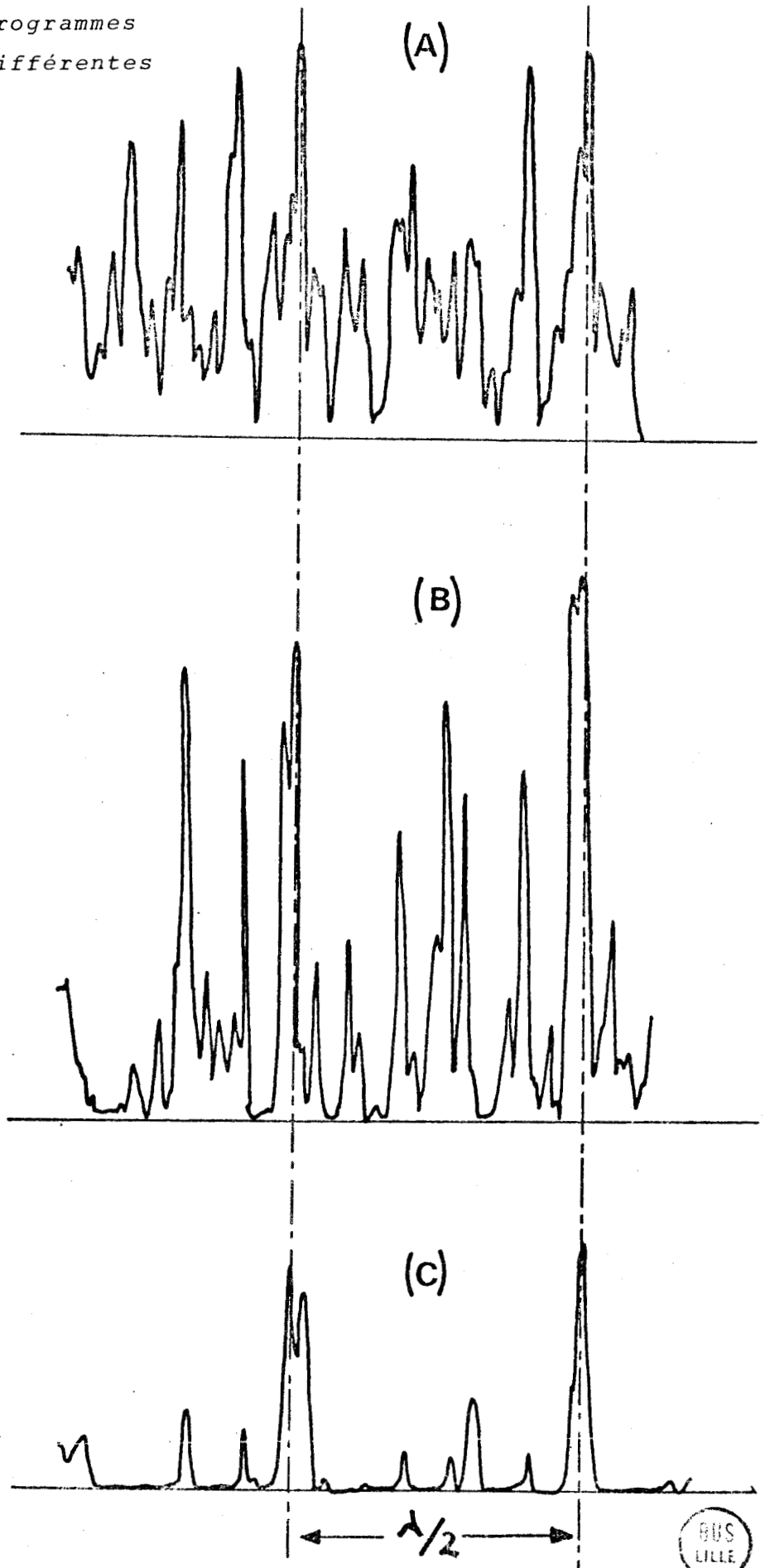
HCOOH

(393,6 μM)

(A) p : 100 mT

(B) p : 200 mT

(C) p : 400 mT



3° RAIES OBTENUES

Nous voulions au début de ce travail explorer toute la région submillimétrique, mais les problèmes trop fréquents avec le laser CO_2 nous ont obligés à restreindre cette prospection, et à porter l'accent sur l'utilisation et les expériences qui pouvaient être réalisées (chapitre IV).

Par conséquent, nous n'avons utilisé que l'Acide Formique ($HCOOH$), et également l'Alcool Méthylique (CH_3OH) pour pouvoir effectuer des mesures à $118 \mu m$.

Il faut également noter que le tableau ci-dessous est sans doute incomplet par le fait que les cascades sont assez difficiles à observer, et que des mesures plus précises nécessiteront la construction d'un interféromètre submillimétrique.

Enfin les résultats obtenues avec l'Alcool Méthylique sont nettement inférieurs à ceux obtenus avec une cavité diélectrique pour des raisons qui ont été exposés dans le début du chapitre I. Toutefois, une cavité diélectrique a été réalisée dans notre laboratoire [11] et sera essayée très prochainement.

TABLEAU DES RAIES IRL OBTENUES

Gaz	Raie de pompe CO ₂	Longueur d'onde IRL (μm)	Pression (mT)	Puissance IRL relative
HCOOH	9R18	393,6	200	Forte
	9R22	418,6	250	Forte
	9R20	432,6	150	Moyenne
	9R16	446,9	200	Faible
	9R28	513,0	100	Moyenne
	9R22	580,4	100	Moyenne
	9R30	669,5	200	Faible
	9R24	744,0	100	Moyenne
CH ₃ OH	9P36	118,8	150	Moyenne
	9P36	170,6	100	Moyenne
	9P36	392,1	100	Faible
	9P16	570,6	100	Moyenne
	9P34	699,4	150	Faible

REMARQUES

- Plusieurs raies en cascade ont sans doute été obtenues mais ne sont pas indiquées du fait qu'elles sont difficilement mesurables (nombre de modes trop important).

- La puissance relative correspond à :

- . Forte : $P_{\text{IRL}} > 5 \text{ mW}$
- . Moyenne : $1 \text{ mW} < P_{\text{IRL}} < 5 \text{ mW}$
- . Faible : $P_{\text{IRL}} < 1 \text{ mW}$



IV. STABILITE DU LASER IRL

La stabilité du laser est pour nous l'un des paramètres les plus importants, puisque notre but est d'effectuer des mesures. C'est cependant son point faible. En effet, les causes d'instabilité sont multiples :

- instabilité en longueur du laser à CO₂
- instabilité en longueur du laser IRL (beaucoup moins importante puisque $\lambda_{IRL} \gg \lambda_{IR}$)
- retour de l'onde de pompe dans le laser à CO₂
- échauffement des fenêtres...

Tout ceci entraîne une stabilité médiocre qui, pour la raie la plus stable, est de 15 % sur 10 mm (figure 14).

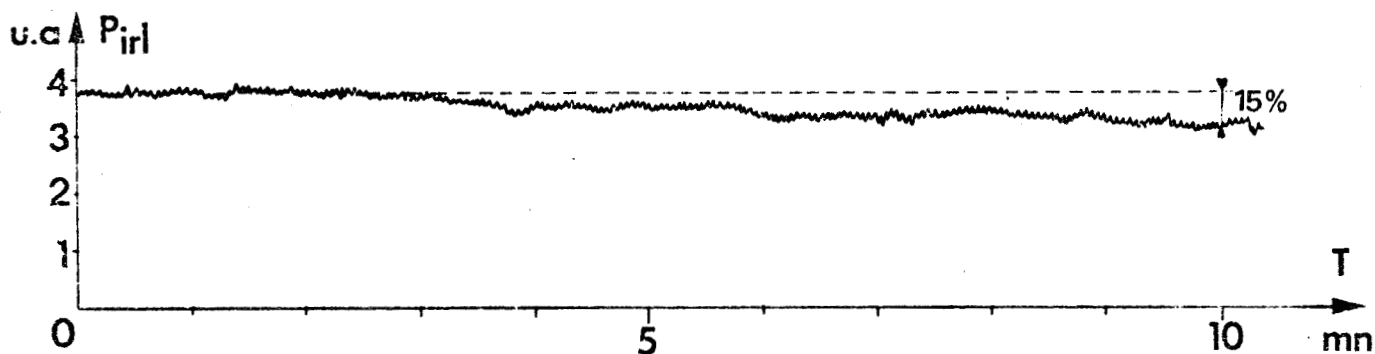


Figure III.14 : Stabilité du laser (pour la raie la plus stable)

Afin de diminuer ces instabilités, nous avons refroidi, (par une circulation d'air) les fenêtres du laser à CO₂, demandé à notre atelier d'électronique de réaliser un asservissement de la longueur du laser à CO₂ par la puissance IRL (voir annexe I) et enfin, durant les mesures, nous essayons de créer le moins possible de modifications de température dans la salle.

Enfin pour effectuer des mesures correctes, nous avons mis au point un "diviseur analogique" dont l'utilisation est exposée dans le chapitre suivant.

V. CONCLUSION

Nous avons dans ce chapitre, essayé d'exposer l'influence des différents paramètres sur la puissance de sortie du laser submillimétrique, et nous avons pu remarquer que l'optimisation

du laser était nécessaire si l'on voulait tirer le maximum de celui-ci.

Nous avons également donné les résultats obtenus (différentes raies); malgré tout, ce travail de recherche est très incomplet du fait des différents problèmes que nous avons eus avec le laser à CO_2 .

Il reste maintenant à effectuer des mesures avec ce laser, puisque tel est son but ; c'est ce que nous allons faire dans ce dernier chapitre.

B I B L I O G R A P H I E

- [1] T.A. DETEMPLE, E.J. DANIELEWICZ
I.E.E.E. J. Quant. Elect., QE-12, 40 (1976)
- [2] C.A. KOEPF, K. SMITH
"The cw 496 μ m Methylfluoride laser : review and theoretical predictions"
I.E.E.E. J. Quant. Elect., QE-14, 333 (1978)
- [3] J.M. LOURTIOZ, R. ADDE, D. BOUCHON and J. PONTNEAU
"Design and performances of a cw CH₃OH waveguide laser"
Revue de Phys. Appliquée, Tome 14, Fev. 1979, p. 323 - 330
- [4] T.Y. CHANG, C.J. LIN
"Effect of buffer gases on an optically pumped CH₃F FIR Laser"
J. Opt. Soc. Am., 66, 362 (1976)
- [5] G. DUXBURY, H. HERMAN
Inter. Conf. Submillimeter waves and their applications
Guilford. Conference Digest, 175 (1978)
- [6] K. WALZER
"Comparaison between a Fabry - Perot FIR laser and a waveguide FIR Laser"
Infrared Phys., Vol. 17, pp. 537 - 540 (1977)
- [7] T.A. DETEMPLE, T.K. PLANT P.D. COLEMAN
"Intense superradiant emission at 496 μ m from optically pumped methylfluoride"
Appl. Phys. Lett., Vol. 22, n° 12, 15 (June 1973)

- [8] S. F. DYBKO, L.D. FESENKO and O.I. BASKAKOV
"Investigation of submillimeter wave amplification in optically pumped molecular gases"
Soviet J. Quant. Elec., Vol. 7, n° 7, pp. 859-862 (July 77)
- [9] J.M. LOURTIOZ, R. ADDE and J. PONTNEAU
"Analysis of optically pumped cw FIR Laser efficiency"
Inter. Conf. Submillimeter waves and their applications
Guilford - Conference Digest, 188 (1978)
- [10] D. DANGOISSE, E. WILLEMOT, A. DELDALLE and J. BELLET
"Assignment of the HCOOH cw submillimeter laser"
Opt. Communications, Vol. 28, n° 1, pp 111-116 (Jan. 1979)
- [11] A.A. ZOUNON
"utilisation et amélioration d'une source laser IRL"
D.E.A., Lille (1979)
- [12] R. BECK, W. ENGLISCH and K. GURS
"Table of laser lines in Gases and Vapors"
Springer Verlag (1976)
- [13] D.J.E. KNIGHT
"Ordered list of optically pumped laser lines"
Voir annexe II

CHAPITRE IV

UTILISATION DE LA SOURCE POUR

LA CARACTÉRISATION DE MATÉRIAUX

UTILISATION DE LA SOURCE POUR
LA CARACTÉRISATION DE MATÉRIAUX

I. METHODE DE MESURE. DIVISEUR ANALOGIQUE

- 1° Principe de mesure
- 2° Le diviseur Analogique

II. APPLICATIONS AUX CRISTAUX LIQUIDES

- 1° Rappels sur les cristaux liquides
 - a) Généralités
 - b) Le paramètre d'ordre
 - c) Substances étudiées
- 2° Le banc de mesure
- 3° Résultats expérimentaux
- 4° Interprétation des résultats expérimentaux

III. CONCLUSION

Après avoir étudié les performances de la source, nous abordons la dernière partie, qui concerne son utilisation pour la caractérisation de l'absorption présentée par des semiconducteurs ou diélectriques. Nous ne décrirons dans ce mémoire, que les résultats obtenus pour les diélectriques.

I. METHODE DE MESURE. DIVISEUR ANALOGIQUE

1° PRINCIPE DE MESURE

Le but de l'opération est de mesurer le coefficient de transmission présenté par une lame diélectrique d'épaisseur e .

Soient P_{IRL} la puissance IRL incidente et P_{det} celle détectée après la cellule de mesure (figure IV.1)

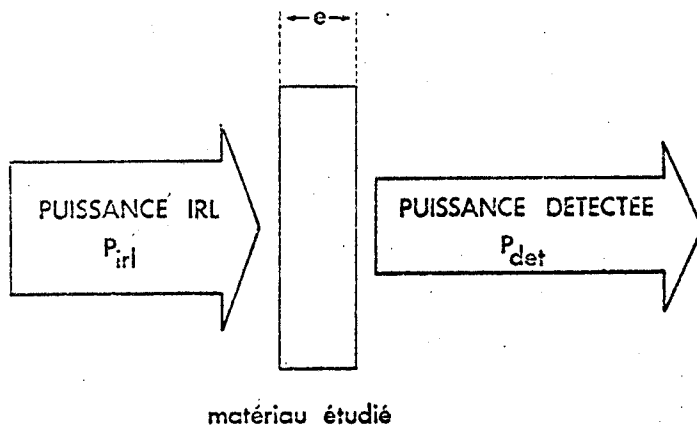


Figure IV.1

Si R est le coefficient de réflexion sur la face d'entrée de la cellule, α le coefficient d'absorption du matériau étudié, et n l'indice de réfraction ; le coefficient de transmission t est donné par [19] :

$$t = \frac{P_{det}}{P_{IRL}} = \frac{(I-R)^2 \exp(-\alpha e)}{I - 2R \cos \frac{4\pi n e}{\lambda} \exp(-\alpha e) + R^2 \exp(-2\alpha e)} \quad (IV-1)$$

Afin d'éviter les réflexions multiples dans ce matériau nous avons travaillé avec une épaisseur e telle que $\alpha e \gg 1$. Dans ce cas, la relation (IV.1) se réduit à :

$$t = \frac{P_{det}}{P_{IRL}} = (I-R)^2 e^{-\alpha e}$$

$$\text{ou } P_{det} = (I-R)^2 P_{IRL} e^{-\alpha e} \quad (IV-2)$$

Ce principe de mesure, des plus classiques, serait très simple à utiliser si les termes P_{det} et P_{IRL} étaient indépendants du temps. Or ce n'est pas le cas, car la source est instable, comme le montre la figure (III.14).

2° LE DIVISEUR ANALOGIQUE [1, 14, 17]

Pour palier à cet inconvénient, nous avons utilisé la deuxième "sortie" submillimétrique décrite dans le chapitre II, dont la puissance recueillie est proportionnelle à la puissance IRL de la sortie principale ; soit K, ce coefficient de proportionnalité (figure IV.2) :

$$P'_{IRL} = K P_{IRL}$$

(IV-3)

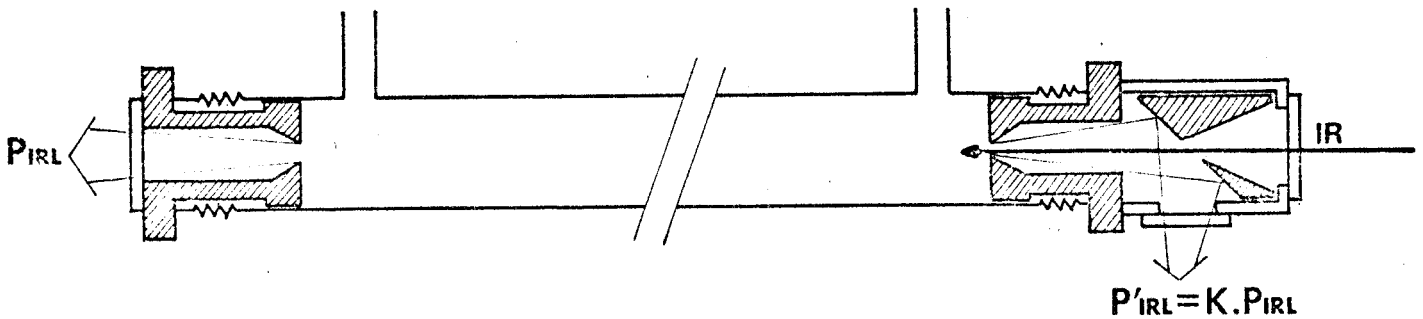


Figure IV.2 : Sorties submillimétriques utilisées pour la mesure

Il suffit alors de faire le rapport P_{det}/P'_{IRL} pour s'affranchir des instabilités

Pour ceci, un diviseur analogique a été réalisé dans le laboratoire qui, associé à deux détections synchrones, permet d'afficher directement le rapport P_{det}/P'_{IRL} (figure IV.3)

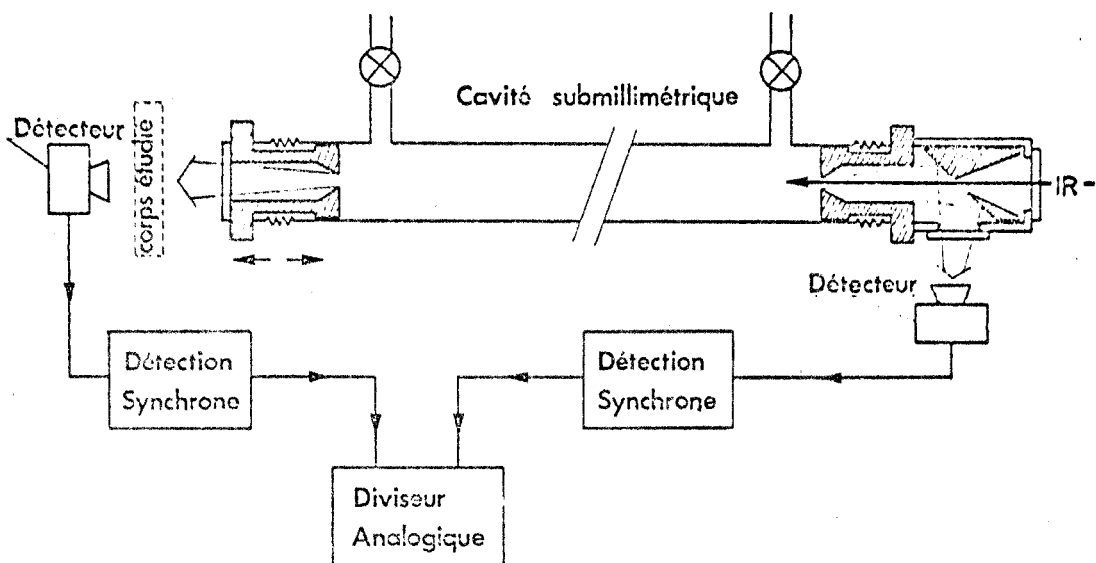


Figure IV.3 : Méthode de mesure utilisant le diviseur analogique

L'enregistrement simultané, présenté à la figure 4, de la puissance P_{IRL} et du rapport P_{IRL}/P'_{IRL} montre l'intérêt d'une telle méthode. On remarque que les instabilités de la puissance émise par le laser ne se retrouvent pratiquement plus sur le rapport P_{IRL}/P'_{IRL} .

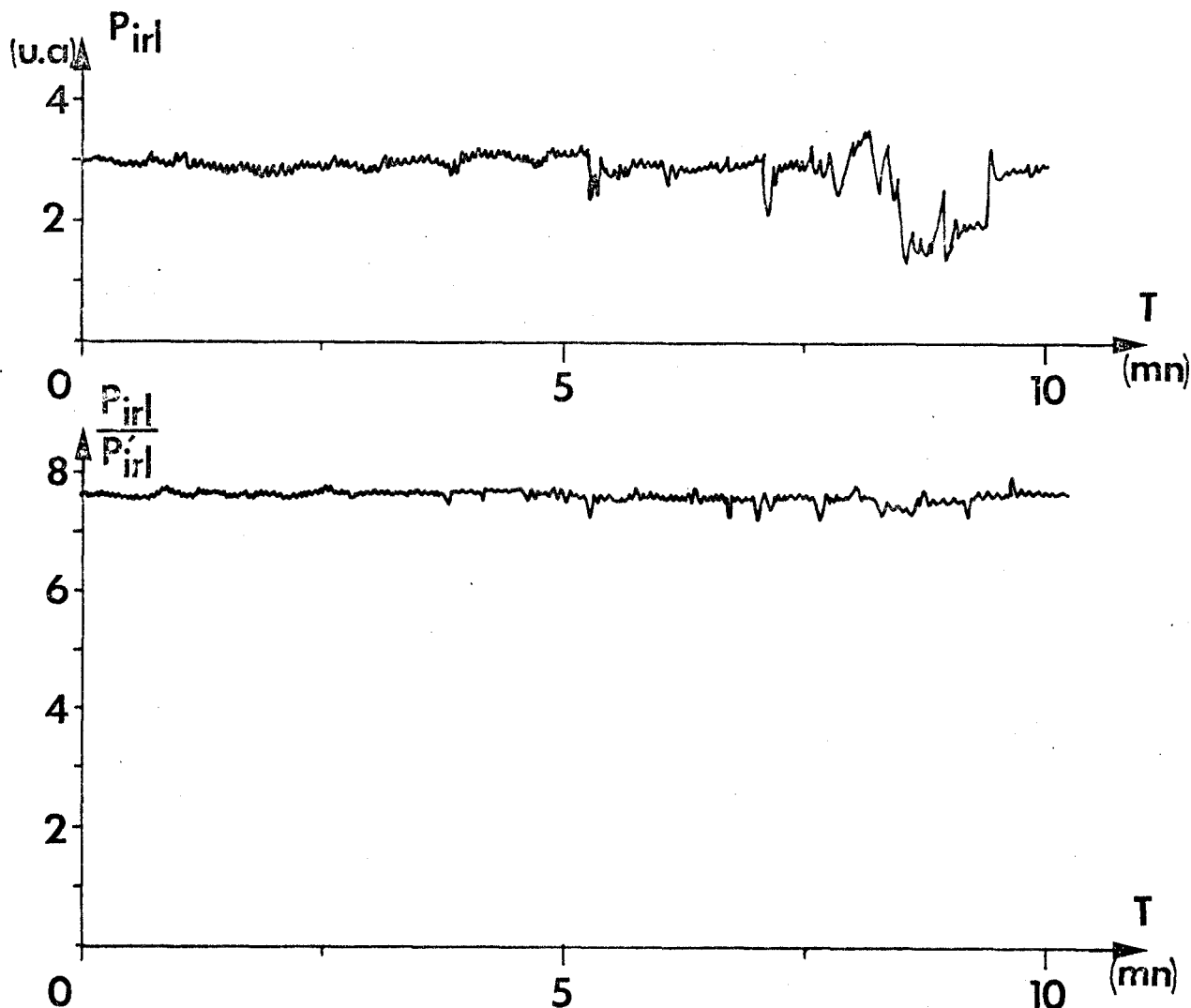


Figure IV.4 : Enregistrement simultané de P_{IRL} et P_{IRL}/P'_{IRL} en fonction du temps

A l'aide des relations (IV.2) et (IV.3), le rapport $\frac{P_{det}}{P'_{IRL}}$ peut s'écrire

$$\frac{P_{det}}{P'_{IRL}} = \frac{(I-R)^2 P_{IRL} e^{-\alpha e}}{K \cdot P_{IRL}}$$

ou

$$\frac{P_{det}}{P'_{IRL}} = \frac{(I-R)^2}{K} e^{-\alpha e} = t' \tag{IV-4}$$

On remarque que t' est indépendant du temps, donc des fluctuations. Or, le terme que nous voulons calculer est en fait α , par conséquent nous avons effectué deux séries de mesures avec des épaisseurs

e différentes, mais en respectant toujours $\alpha e \gg 1$, d'où l'expression de α^* :

$$t_1/t_2 = e^{-\alpha(e_1-e_2)}$$

ou

$$\alpha = \frac{1}{e_1-e_2} \text{Log}(t_2/t_1) \quad (\text{IV-5})$$

II. APPLICATION AUX CRISTAUX LIQUIDES

Afin d'illustrer cette méthode, nous l'avons appliquée à la mesure du coefficient d'absorption de quelques cristaux liquides et tenté d'en déduire des grandeurs caractéristiques de ces substances.

1° RAPPELS SUR LES CRISTAUX LIQUIDES.

a) Généralités

Les cristaux liquides sont des substances organiques [3 à 7] présentant des phases intermédiaires entre l'état solide (parfaitement ordonné) et l'état liquide : elles sont liquides dans leur mobilité et cristallines dans leur propriétés optiques. En 1922, G. Friedel [2] a proposé d'appeler ces corps "substances mésomorphes ou mésomorphogènes" et a également établi une classification permettant de distinguer trois phases principales selon les types d'arrangement moléculaire : (Figure IV. 5)

- les nématiques
- les cholestériques
- les smectiques

Dans les trois cas, les molécules, de forme allongée, tendent à s'aligner parallèlement les uns aux autres (ainsi que le montre la figure IV.5).

Notons que récemment, une nouvelle classe de phase

* Les valeurs t_1 et t_2 peuvent être déterminées de façon absolue en faisant au préalable une mesure à vide. Il est par ailleurs possible de cette façon, d'estimer l'importance des réflexions sur la fenêtre d'entrée de la cellule (R)

Les structures des cristaux liquides.

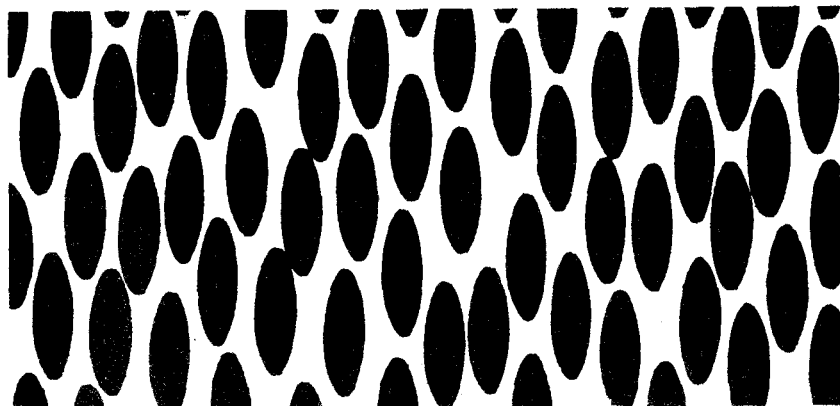


Fig. 2A. L'empilement nématique. Les molécules du cristal liquide sont des formes allongées ; on peut les représenter schématiquement par des ellipsoïdes allongés. Leurs centres de gravité se déplacent au hasard comme dans un liquide ordinaire, mais au cours de ces mouvements les grands axes des molécules restent en moyenne parallèles à une direction commune.

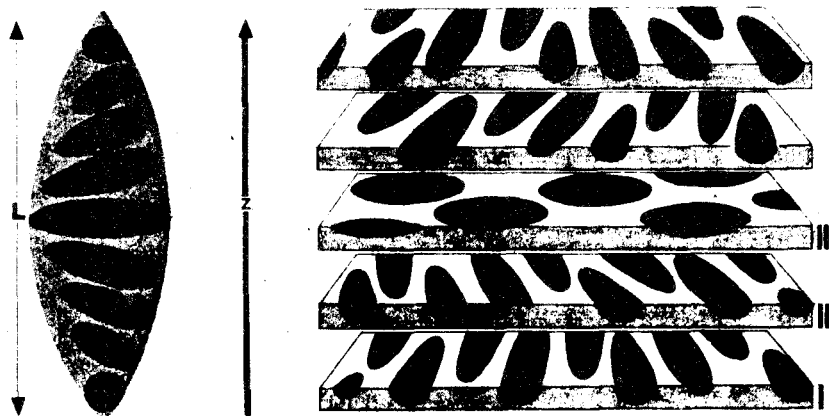


Fig. 2B. La spirale cholestérique. Dans une « tranche » de cristal liquide, perpendiculaire à l'axe z de la figure, la disposition des molécules est tout à fait analogue à celle d'un nématique. Mais la direction privilégiée d'orientation des molécules tourne lentement, quand on se déplace suivant l'axe z. Ainsi, les molécules de la tranche III sont perpendiculaires à celles de la tranche I. Il en résulte une structure périodique de période L.

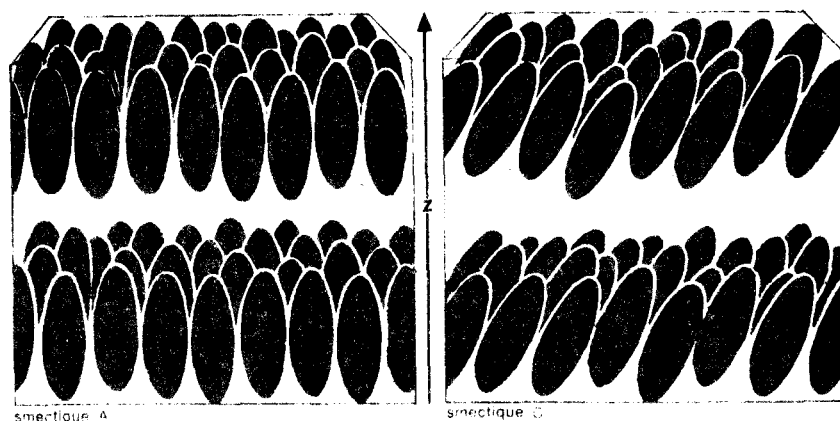


Fig. 2C. La structure en couches des smectiques. Dans cette phase, la plus proche de l'état solide, il subsiste un ordre à une dimension : les molécules sont réparties dans des « couches » qui s'empilent régulièrement les unes au-dessus des autres. A l'intérieur de chaque couche, les molécules gardent une direction privilégiée. Le plus souvent, elles sont parallèles à l'axe d'empilement z (smectiques A). Dans les smectiques C, récemment découverts, elles sont inclinées sur cet axe, suivant un angle qui peut varier avec la température.

Figure IV.5 : Différentes structures des cristaux liquides.



mésomorphe a été synthétisée : les discotiques. C'est essentiellement en phase nématique, que nous avons affectué nos mesures.

b) Le paramètre d'ordre

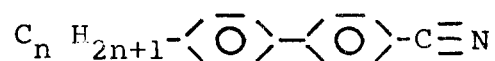
En phase nématique, l'arrangement moléculaire est caractérisé par une orientation moyenne du grand axe des molécules : le directeur \vec{n} . A cause de l'agitation thermique, l'orientation propre du grand axe de chaque molécule diffère de celle de \vec{n} ; néanmoins, il subsiste un "ordre moyen" que l'on peut évaluer à l'aide du paramètre d'ordre S défini par [3, 4, 6, 12]

$$S = \frac{1}{2} (3 \langle \cos^2 \theta \rangle - 1) \quad (\text{IV-6})$$

où θ représente l'angle entre l'axe moléculaire et le directeur \vec{n} . En phase isotrope, S est nul ; il est égal à 1 lorsque l'ordre est total.

c) Substances étudiées

Ce sont des produits qui appartiennent à la famille des cyano-biphenyls, commercialisés par la société BDH, la formule développée de ces corps étant :

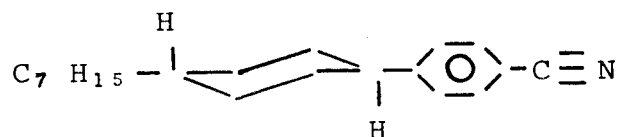


pour $n = 5, 6$ et 7 , il y a apparition d'une phase nématique, pour $n = 8$, ce corps présente en plus une phase smectique A.

Nous consignons dans le tableau suivant, les températures de transition des mésomorphes étudiées.

Dénomination de la substance	Températures de transition en °C		
	Cristal smectique A	Cristal nématique de smectique A nématique	Nématique-isotrope (t° de clarification)
K 15 (n = 5)	-	22,5	35
K 18 (n = 6)	-	13,5	27
K 21 (n = 7)	-	28,5	42
K 24 (n = 8)	21	32,5	40

Nous avons également étudié le PCH (S 1115) ou 4-Heptyl 4'-Cyanohexabiphenyl de formule développée



qui est une molécule analogue à celle du K21, l'un des noyaux benzéniques étant remplacé par un groupement cyclohexane. (sa température de fusion est de 30°C, et de clarification de 57°C)

2° BANC DE MESURE [1, 14, 17]

Le banc de mesure est représenté à la figure IV.6
Un guide en laiton de 10 mm de diamètre conduit le rayonnement IRL jusqu'à la cellule de mesure et jusqu'au détecteur.

La cellule de mesure est représentée à la figure IV.7 ; c'est une cuve constituée de deux lames de quartz séparées par une cale en téflon d'épaisseur $e = 0,4$ ou 1 mm.

Afin d'étudier les propriétés anisotropes de la phase nématique, un polarisateur est placé entre la cellule de mesure et la source, et définit l'axe du champ électrique IRL. En outre, la cellule est placée entre les pièces polaires d'un électro-aimant ; le champ magnétique créé permet d'orienter la substance en phase nématique, parallèlement ou perpendiculairement au champ électrique IRL.

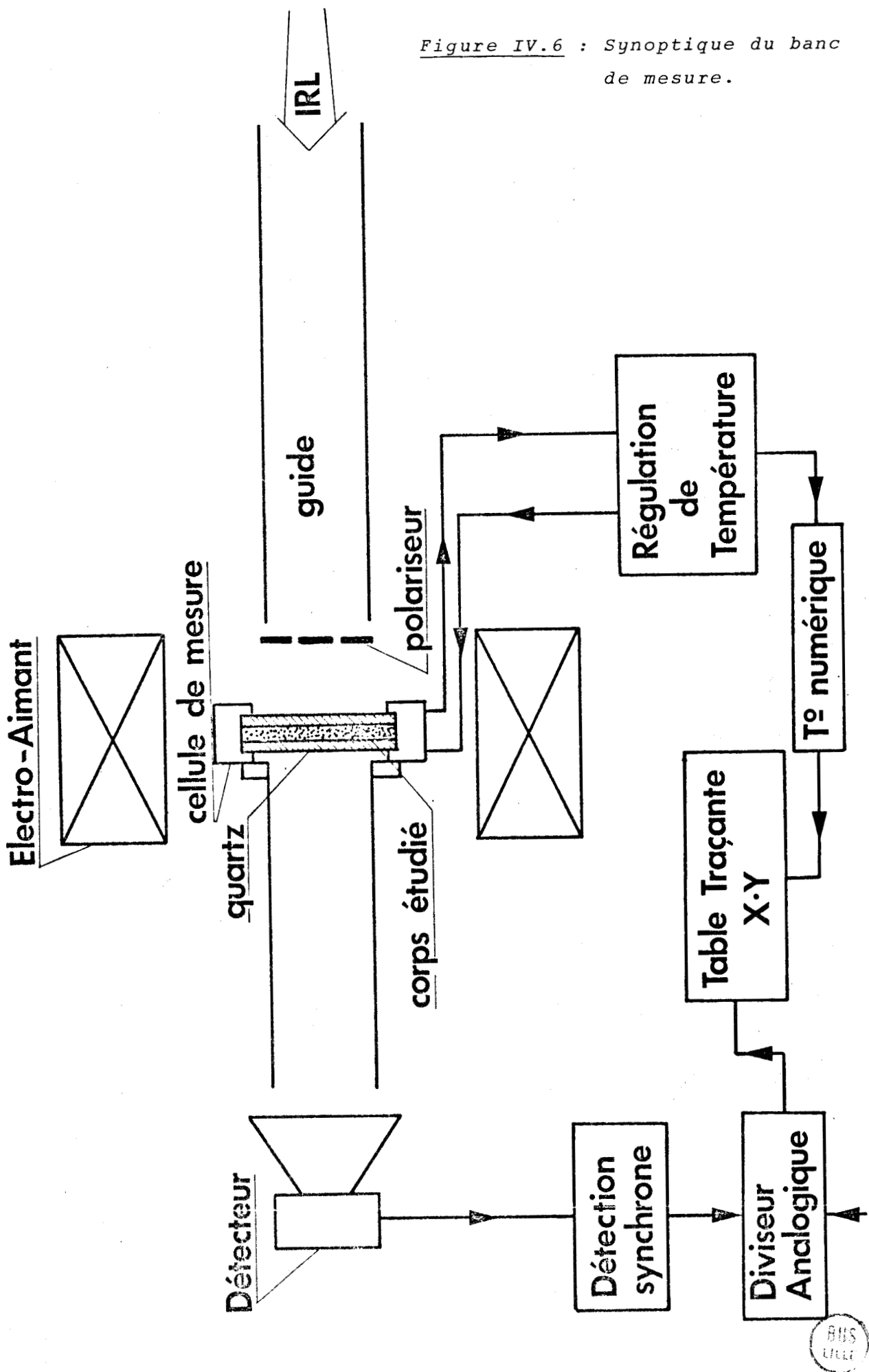
La mise en température de la cellule s'effectue à l'aide de résistances chauffantes, et la température est mesurée à l'aide de thermosondes en platine ; elle est réglée à 0,5°C près.

3° RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les mesures ont été effectuées à 118 μm (raie de CH_3OH) et à 394 μm (raie de HCOOH)

Nous avons au préalable étudié (figure IV.8) l'influence du champ magnétique sur l'orientation du K 21 en phase nématique,

Figure IV.6 : Synoptique du banc de mesure.



2nd Dét. syn.

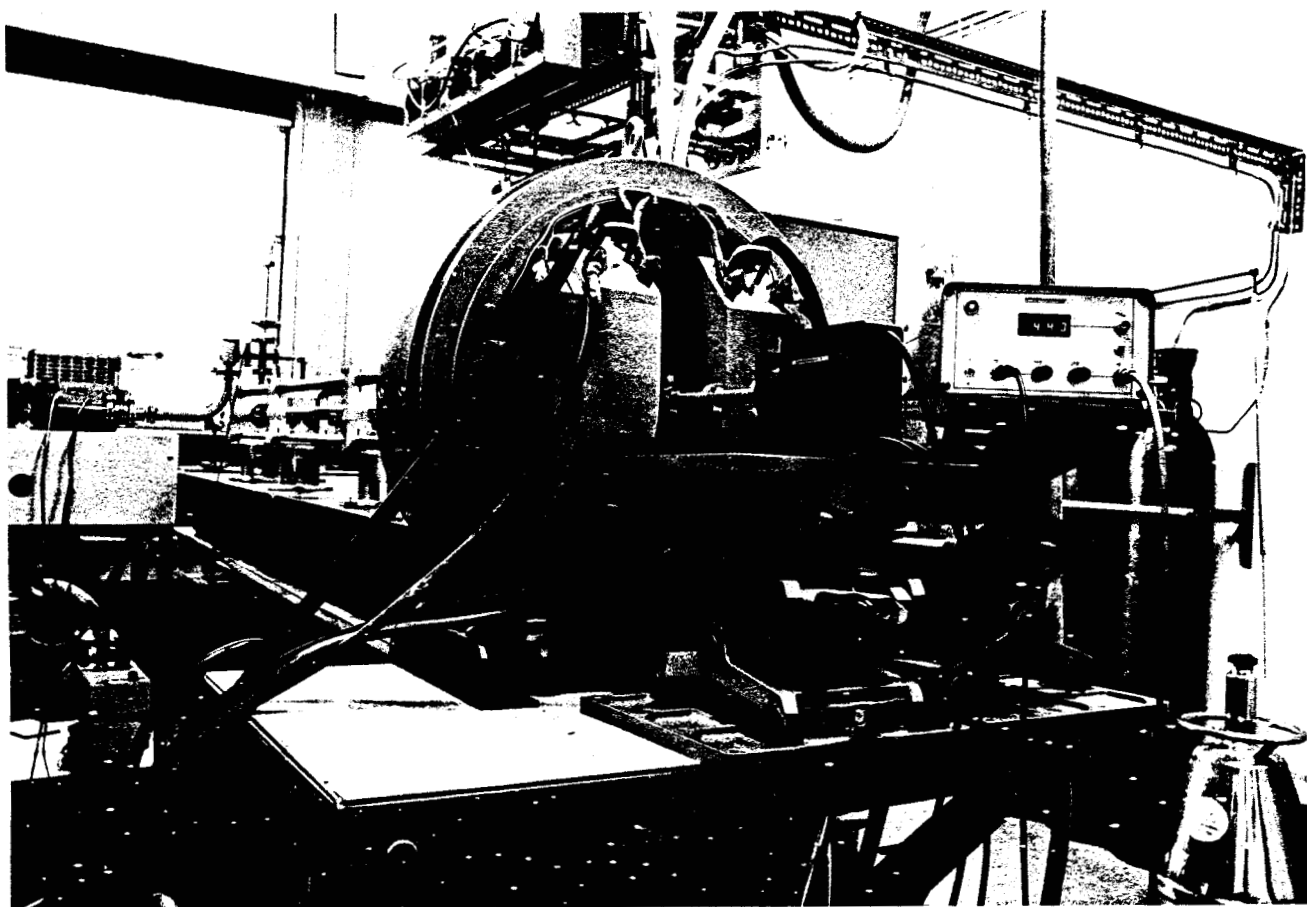


Photo n° 4 : Le banc de mesure.

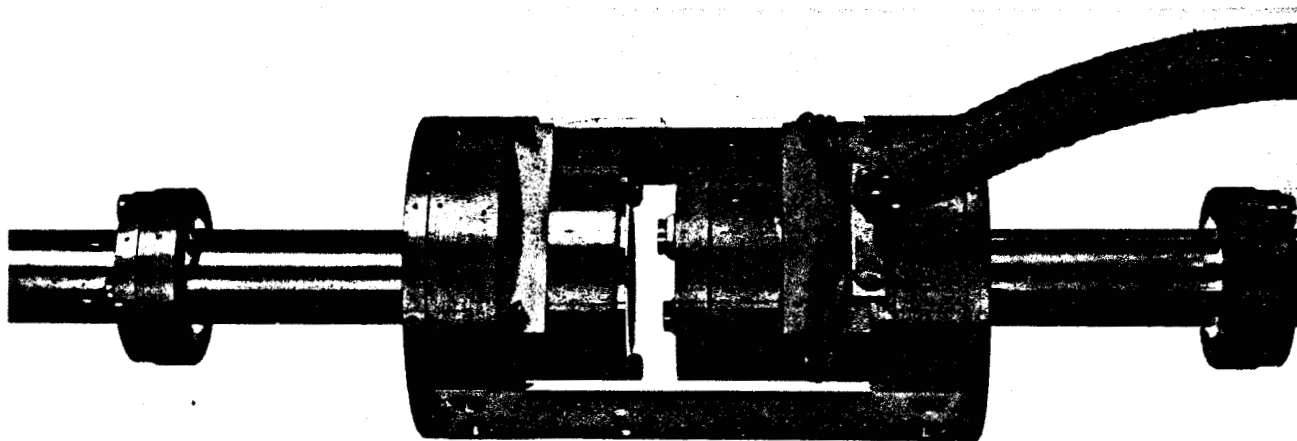



Photo n° 5 : Le système Porte-Cellule.

- ① Réservoir de liquide.
- ② Fenêtre en quartz.
- ③ Cale d'épaisseur munie d'un canal.
- ④ Ouverture de la fenêtre.
- ⑤ Trous pour le remplissage

 Laiton.

 Quartz.

● Joints d'étanchéité.

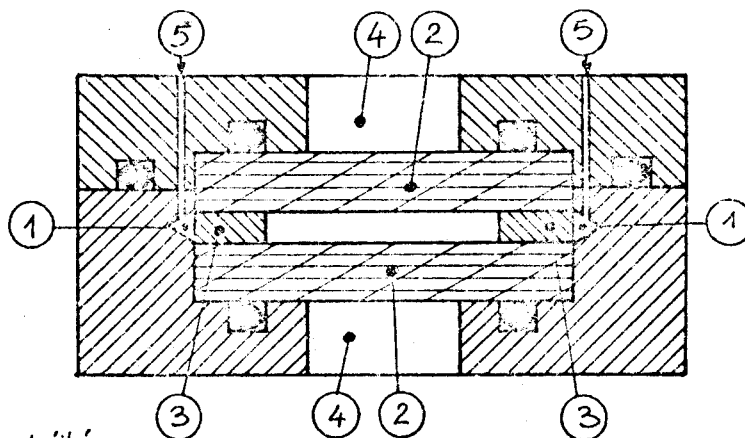


Figure IV-7 : La cellule de mesure.

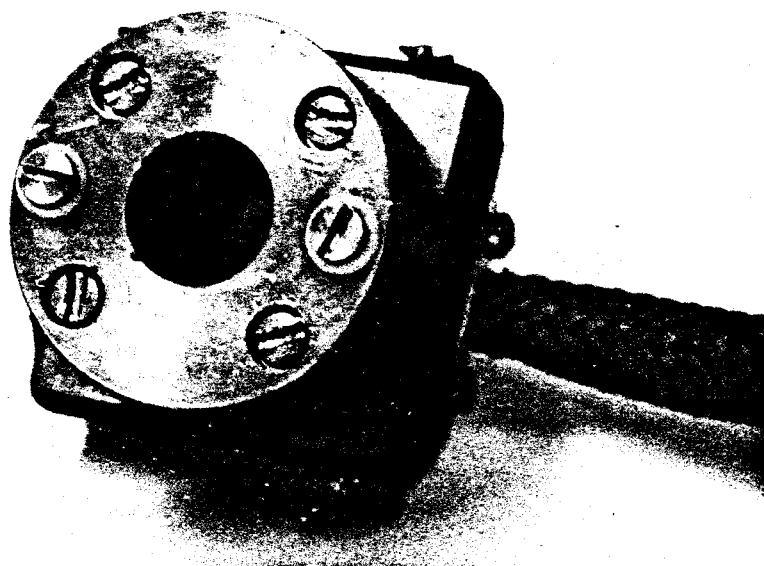
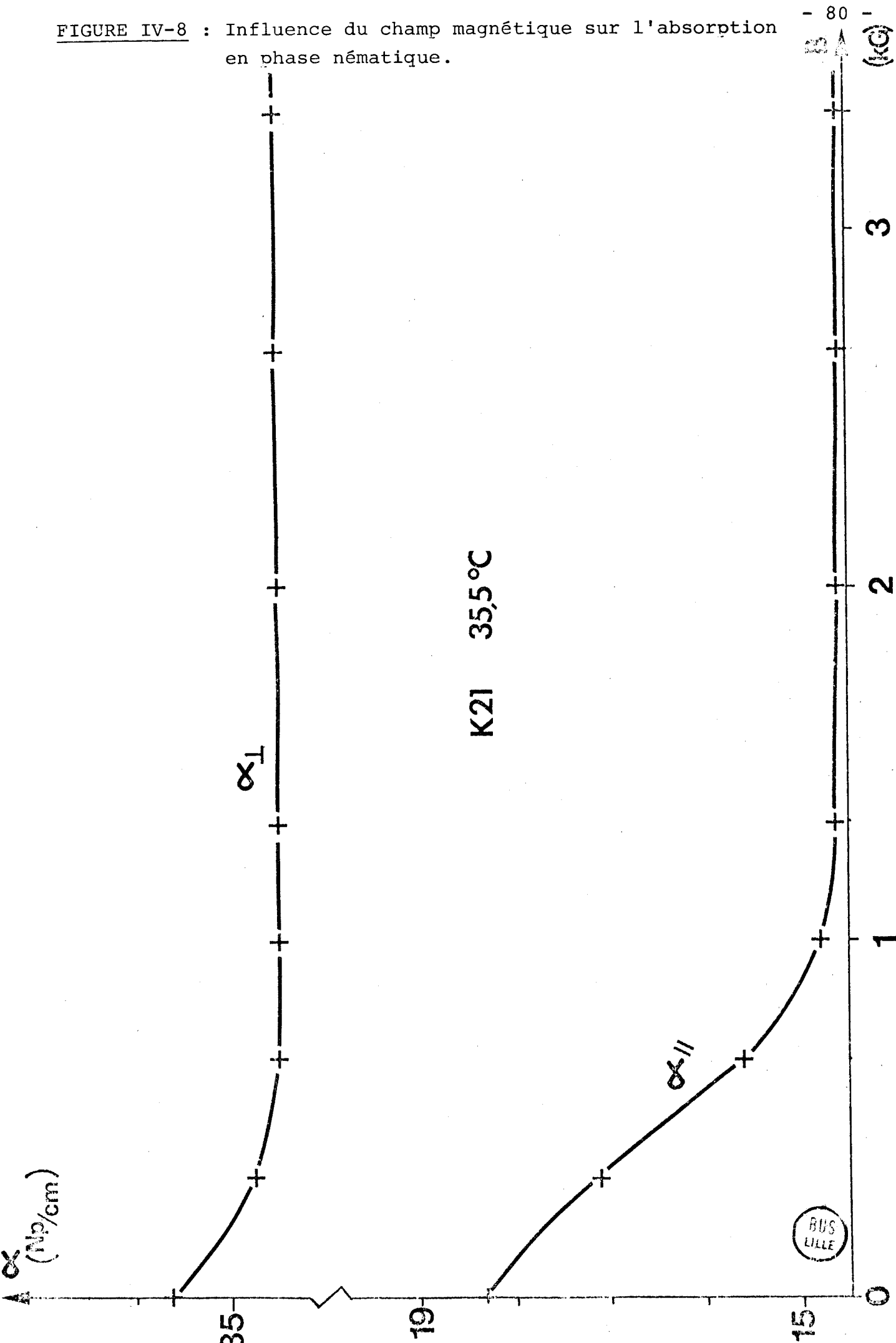


Photo n° 6 : La cellule de mesure.

FIGURE IV-8 : Influence du champ magnétique sur l'absorption en phase nématique.



en mesurant le coefficient d'absorption, en fonction de l'intensité du champ magnétique. On remarque qu'en parallèle*, le coefficient d'absorption $\alpha_{//}$ augmente avec l'intensité du champ magnétique jusqu'à une valeur limite (saturation) pour laquelle on peut considérer que la substance est parfaitement orientée, parallèlement au champ électrique IRL. Par contre, en perpendiculaire, le champ magnétique n'a qu'une très faible influence sur le coefficient α_{\perp} ce qui tend à montrer que les molécules s'orientent spontanément perpendiculairement par rapport aux fenêtres de quartz de la cellule. Par conséquent, on peut considérer qu'au delà de 2 000 Gauss, la substance est parfaitement orientée.

Nous avons relevé les coefficients d'absorption $\alpha_{//}$ et α_{\perp} du K 15 (figure IV.9), K 18 (figure IV.10), K 21 (figure IV.11), K 24 (figure IV.12) et PCH (figure IV.13) en fonction de la température à 118 μm . Ces courbes sont particulièrement intéressantes par le fait d'une part, que l'on remplit parfaitement la condition énoncée dans le "principe de mesure" (absorption importante [13]); et d'autre part, qu'elles vont permettre de tirer des informations intéressantes relatives à l'ordre orientationnel (paramètre d'ordre).

Nous avons ensuite mesuré le coefficient d'absorption du K15 (figure IV.14) et K 21 (figure IV.15) en fonction de la température à 394 μm . Ces courbes montrent une nette différence entre $\alpha_{//}$ et α_{\perp} qui correspond à l'anisotropie orientationnelle de la phase nématique ; ce qui permet de penser que cette anisotropie orientationnelle n'est pas liée à la fréquence du rayonnement incident.

Enfin, pour améliorer la précision aux transitions de phase (smectique - nématique et nématique - isotrope), ces mesures ont été effectuées en dynamique, c'est à dire, en enregistrant la valeur du rapport $P_{\text{det}}/P'_{\text{IRL}}$ en fonction de la température

 * Nous noterons $\alpha_{//}$ l'absorption du matériau quand le champ électrique IRL est parallèle au champ magnétique ; c'est à dire au directeur \vec{n} ; et α_{\perp} dans le cas où le champ électrique IRL est perpendiculaire au directeur \vec{n} .

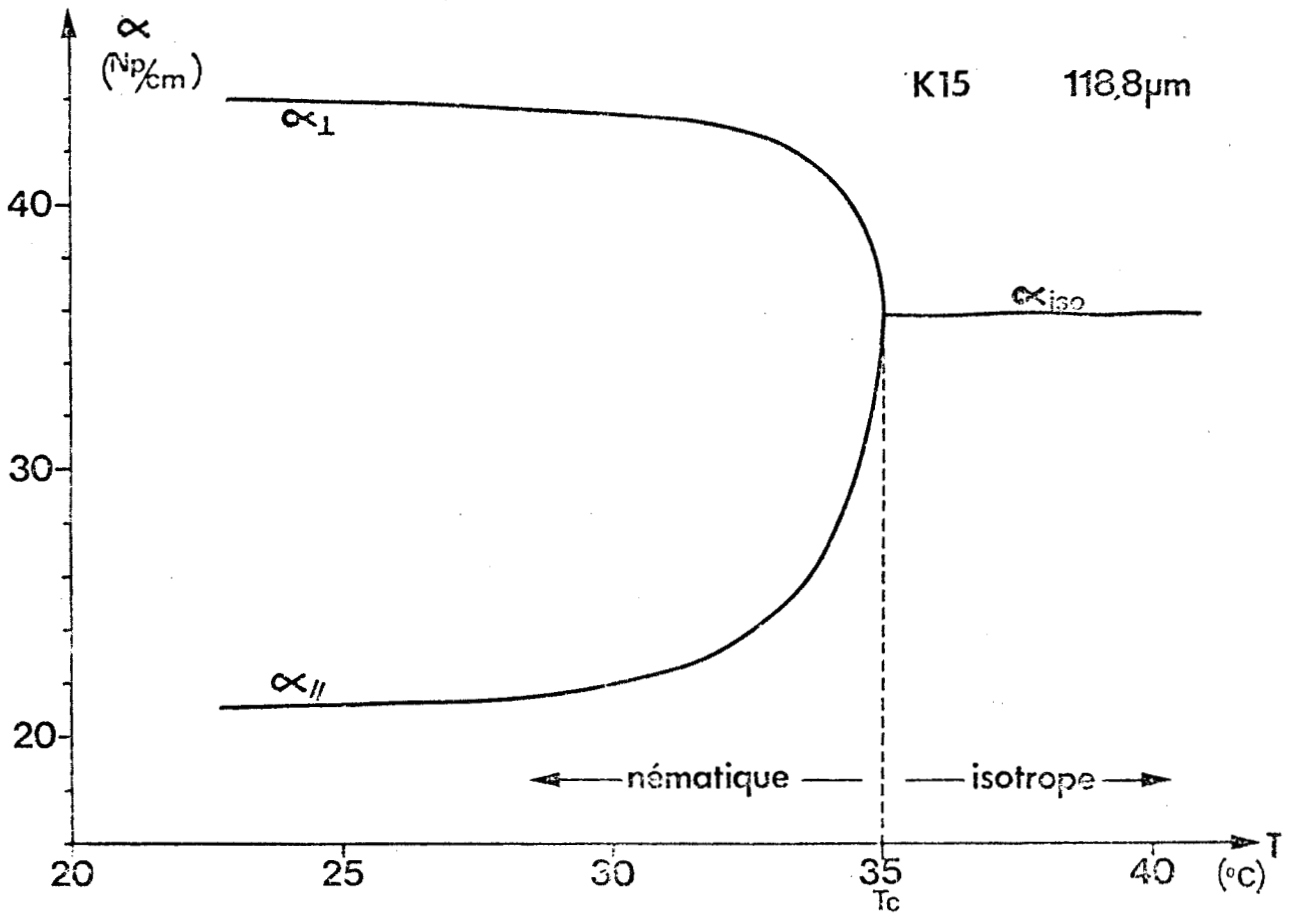
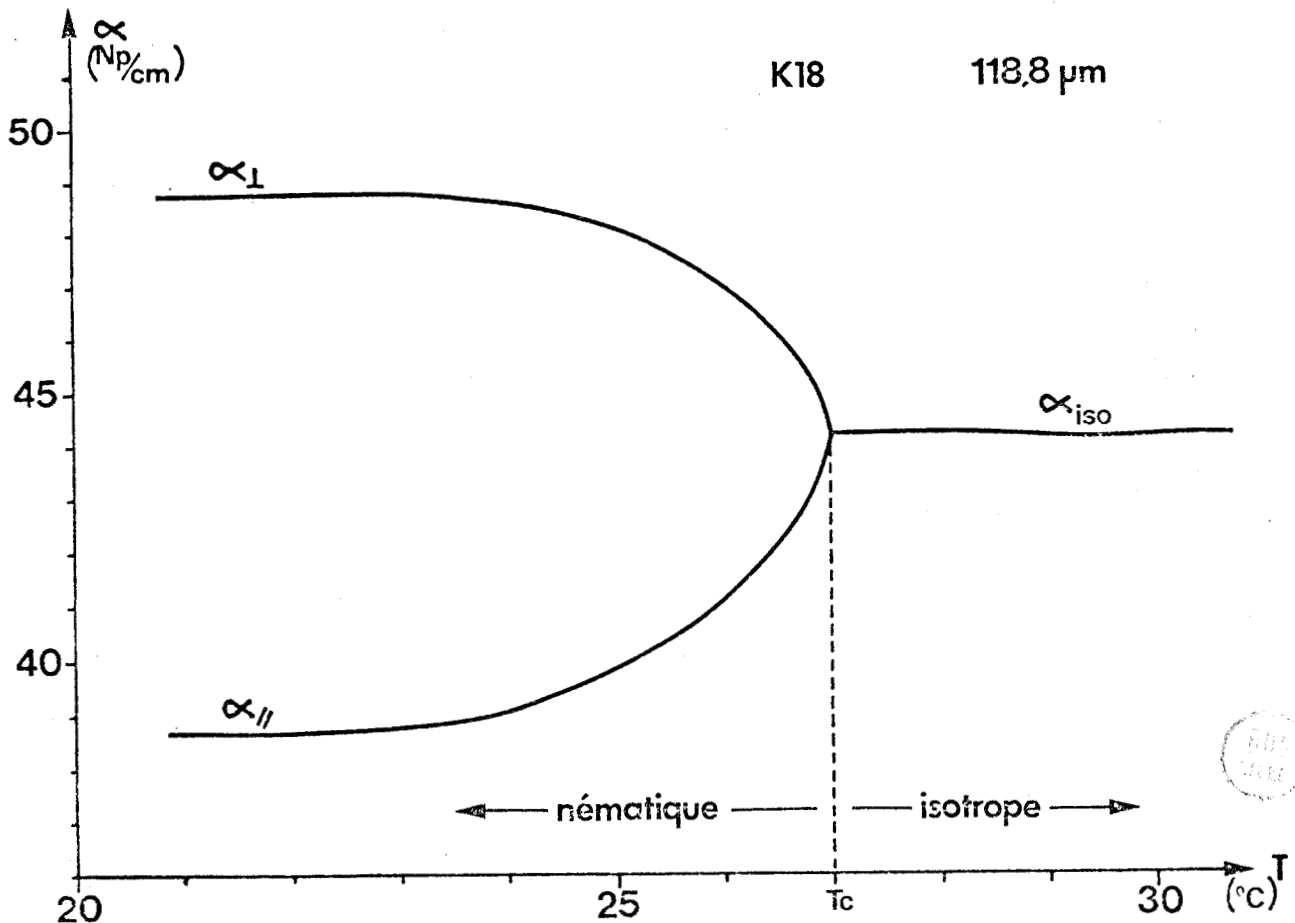


FIGURE IV-9 : Coefficient d'absorption du K15 en fonction de la température ($\lambda = 118,8 \mu\text{m}$).

FIGURE IV-10 : Coefficient d'absorption du K18 en fonction de la température ($\lambda = 118,8 \mu\text{m}$).



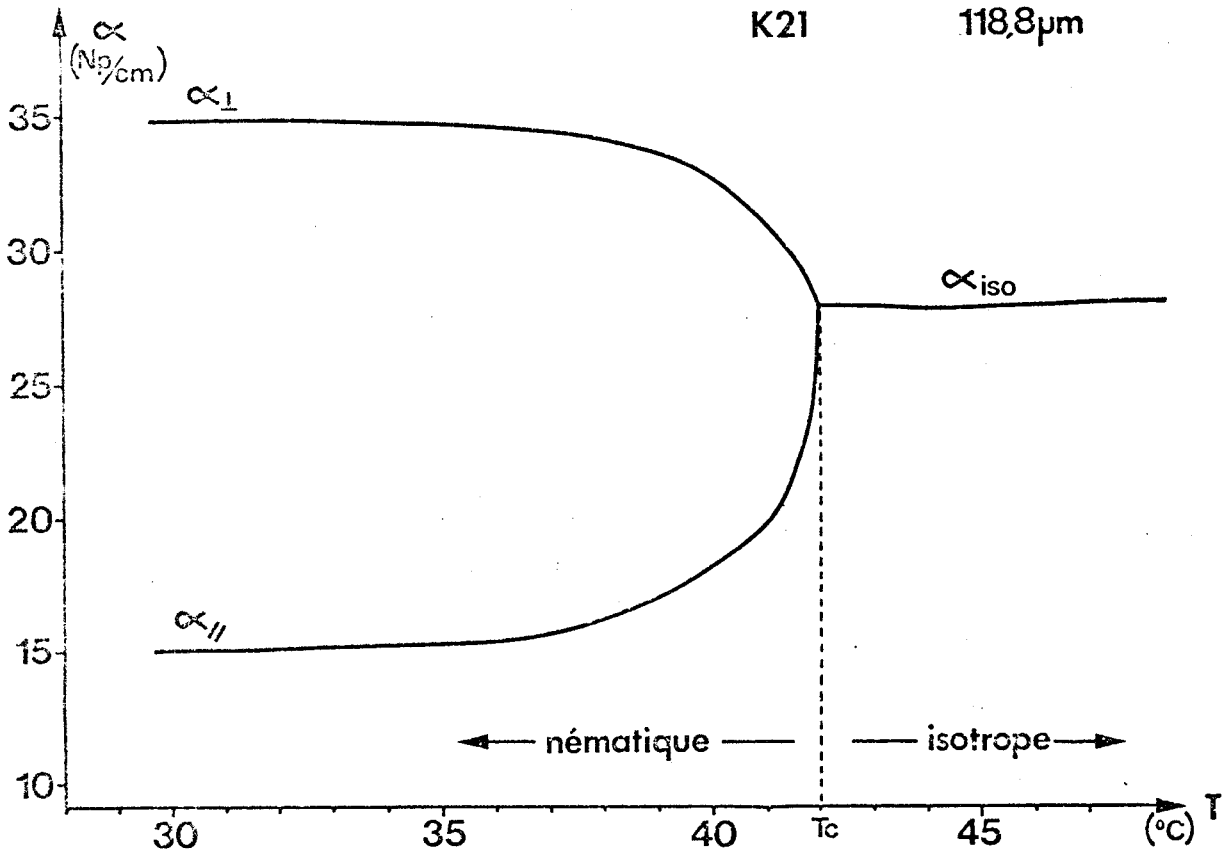
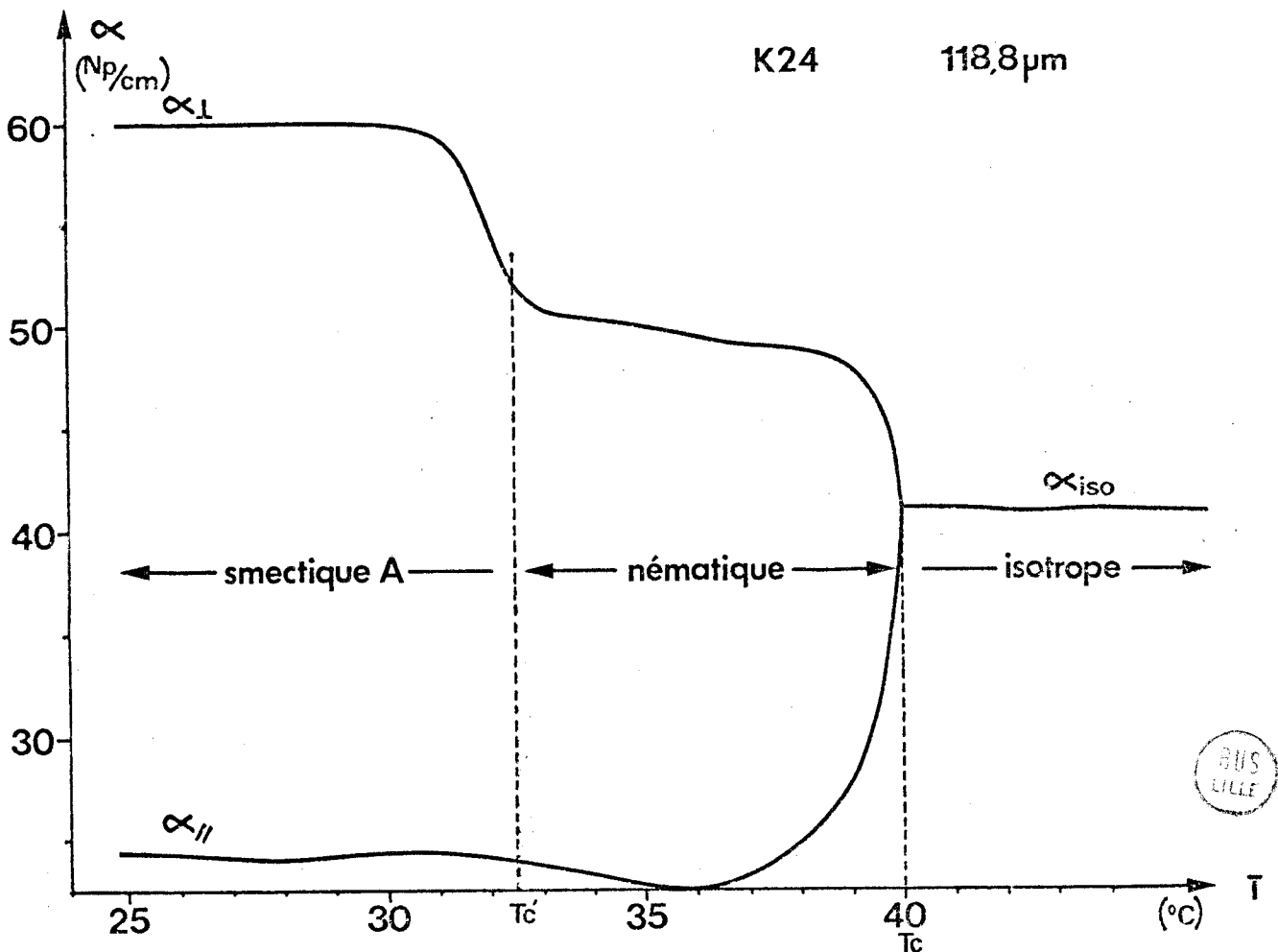


FIGURE IV-11 : Coefficient d'absorption du K21 en fonction de la température ($\lambda = 118,8 \mu\text{m}$).

FIGURE IV-12 : Coefficient d'absorption du K24 en fonction de la température ($\lambda = 118,8 \mu\text{m}$).



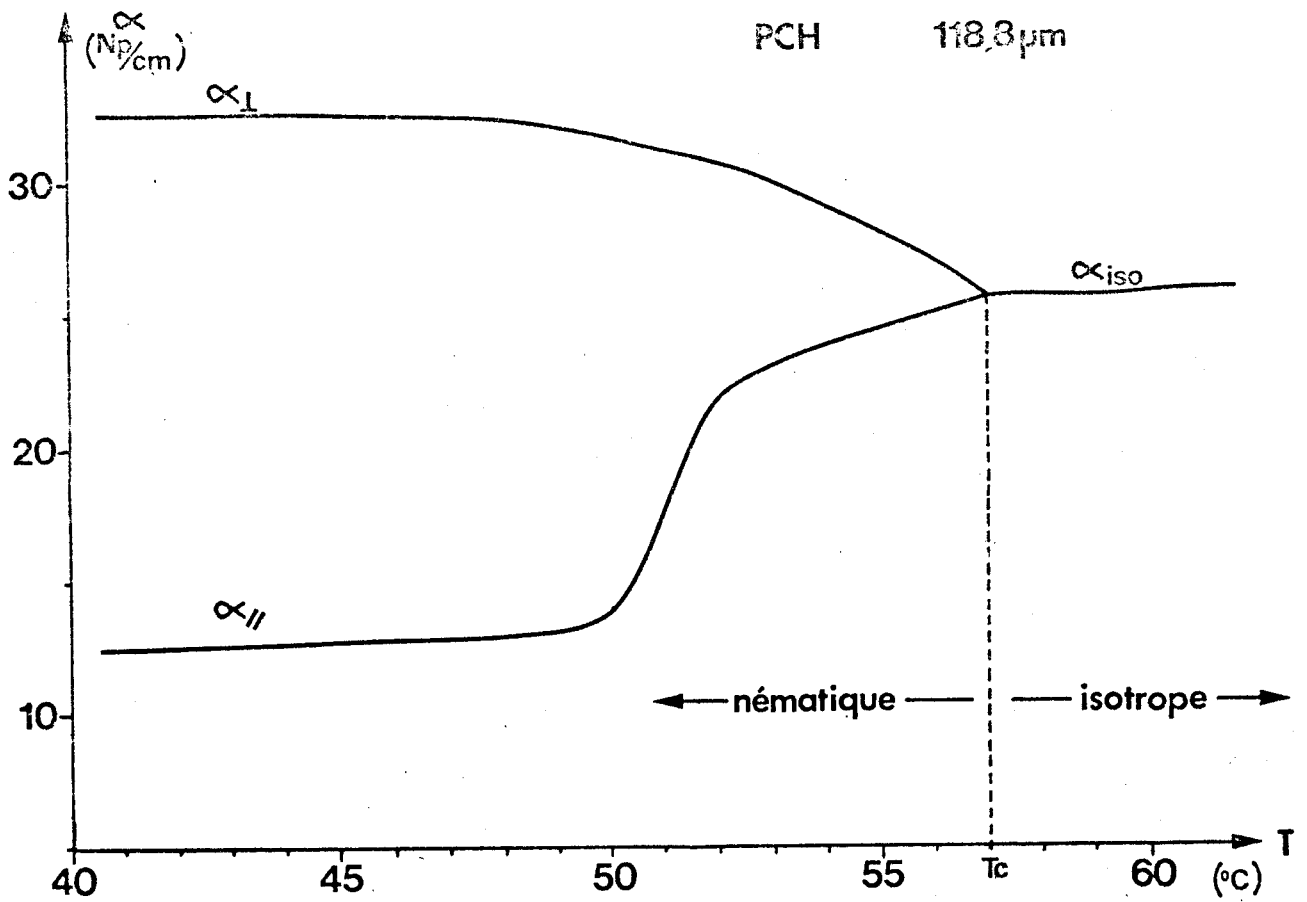


FIGURE IV-13 : Coefficient d'absorption du PCH en fonction de la température ($\lambda = 118,8 \mu\text{m}$).

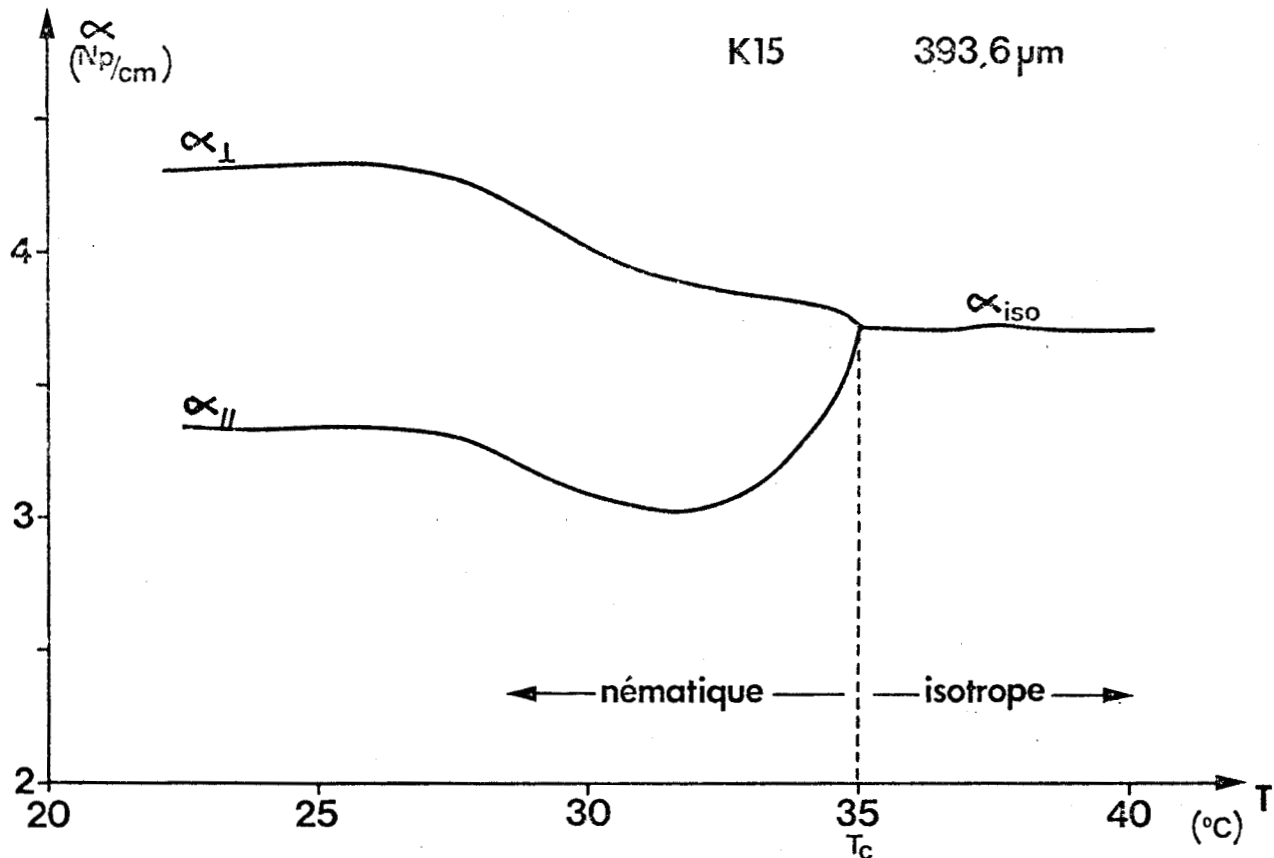
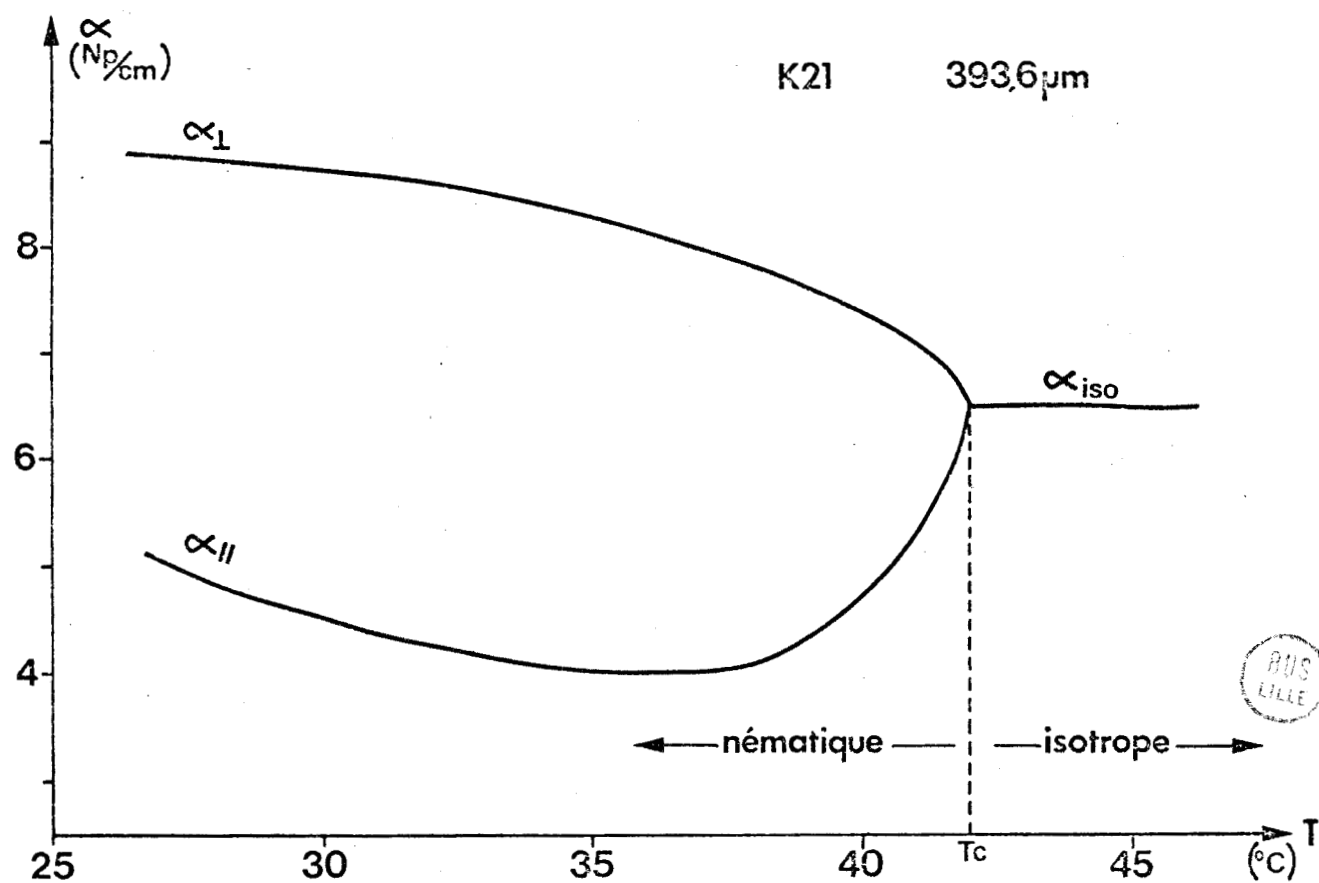


FIGURE IV-14 : Coefficient d'absorption du K15 en fonction de la température ($\lambda = 393,6 \mu m$).

FIGURE IV-15 : Coefficient d'absorption du K21 en fonction de la température ($\lambda = 393,6 \mu m$).



ceci en faisant varier lentement et progressivement celle-ci dans le temps, et selon le cycle décrit à la figure IV.16

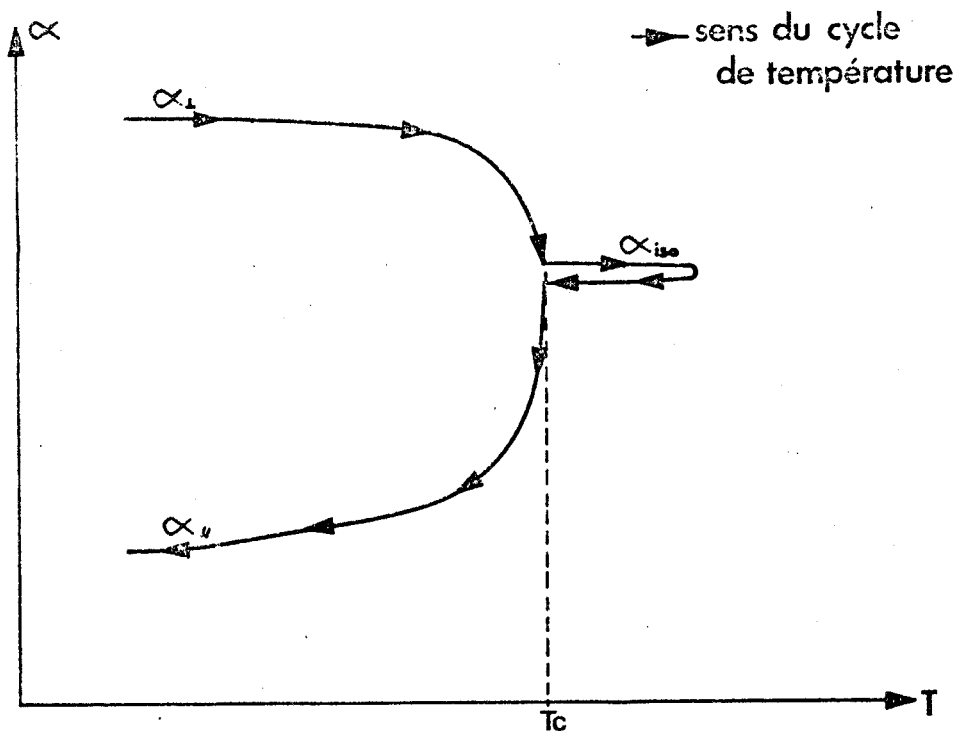


Figure IV.16 : Cycle dynamique de la variation de t° pour les mesures d'absorption

4° INTERPRETATION DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

Des études récentes [12, 16] menées en spectroscopie IRL ont montré que les mécanismes d'absorption en IRL sont essentiellement d'origine intramoléculaire.

L'absorption à $118,8 \mu\text{m}$ est très probablement due à un mode intramoléculaire lié aux vibrations internes des noyaux benzéniques [17] ; si l'on assimile ce mode à une vibration perpendiculaire et qu'on applique au domaine IRL une méthode de détermination du paramètre d'ordre utilisée en spectroscopie IR [14, 18], le paramètre d'ordre S est, en première approximation

relié au coefficient d'absorption d'une substance orientée parallèlement ou perpendiculairement au champ électrique IRL à l'aide des expressions*

$$S_{//} = 1 - \frac{\alpha_{//}}{\alpha_{ISO}} \quad (IV-7)$$

$$S_{\perp} = 2 \left[\frac{\alpha_{\perp}}{\alpha_{ISO}} - 1 \right] \quad (IV-8)$$

$$S_{\frac{//}{\perp}} = \frac{1 - \alpha_{//}/\alpha_{\perp}}{1 + \alpha_{//}/2\alpha_{\perp}} \quad (IV-9)$$

Les paramètres d'ordre obtenus pour le K 15 (figure IV.17), K 21 (figure IV. 18) et K 24 (figure IV.19) sont conformes aux résultats déduits d'autres techniques [8, 9]. Quant au PCH, la courbe du paramètre d'ordre (figure IV.20) est équivalente à tout nématique ; nous ne l'avons pas comparée aux résultats déduits d'autres techniques, aucune autre détermination n'ayant, à notre connaissance, été effectuée. Elle indique, une fois de plus, un ordre au voisinage de la température de clarification plus faible que celui prévu par la théorie de Maier et Saupe [11]. Les écarts entre $S_{//}$, $S_{//\perp}$ et S_{\perp} en particulier au voisinage de la température de clarification, pourraient être dus aux imprécisions dans la mesure du coefficient d'absorption : compte tenu de l'écart moins grand entre α_{\perp} et α_{ISO} , qu'entre $\alpha_{//}$ et α_{ISO} ou $\alpha_{//}$ et α_{\perp} , S_{\perp} devrait être moins précis que $S_{//}$ ou $S_{//\perp}$. Il convient donc, d'affiner encore les mesures du coefficient d'absorption, ce qui fera l'objet d'un travail ultérieur. Il est également possible que des mécanismes d'absorption différents d'une vibration perpendiculaire, par exemple l'absorption dipolaire, viennent entacher d'erreurs et avec des degrés différents, $S_{//}$, S_{\perp} et $S_{//\perp}$. Une étude expérimentale et théorique plus fine, devrait permettre de préciser ce dernier point.

 * chaque courbe α (T) conduit à trois déterminations du paramètre d'ordre, selon que l'on compare $\alpha_{//}$ à α_{ISO} , α_{\perp} à α_{ISO} ou $\alpha_{//}$ à α_{\perp} . Ces trois déterminations (dont deux sont indépendantes) doivent se vérifier entre elles. Nous noterons $S_{//}$, S_{\perp} et $S_{//\perp}$ selon que l'on fait intervenir $\alpha_{//}$, α_{\perp} ou $\alpha_{//}$ et α_{\perp}

K15 118,8 μm

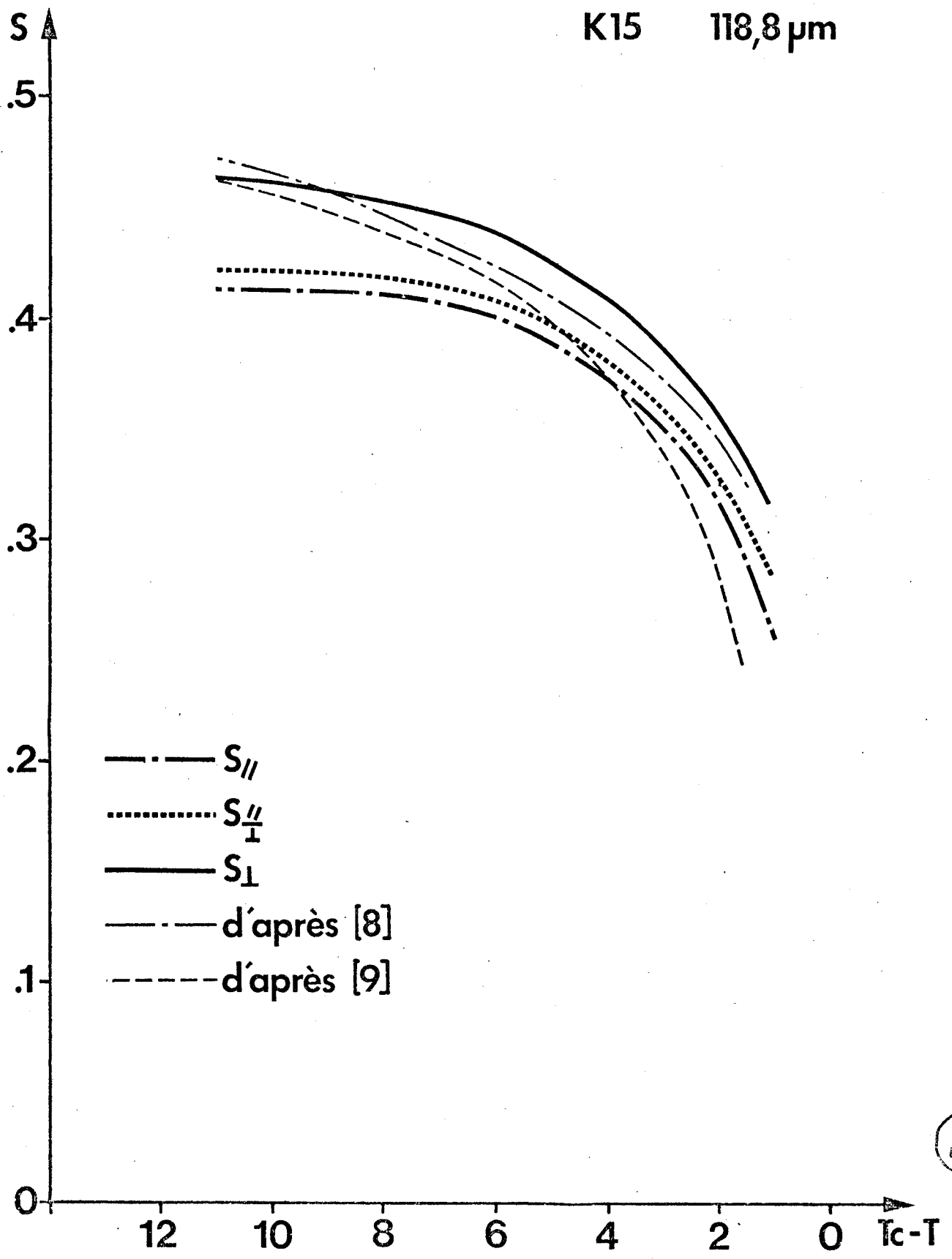


FIGURE IV-17 : Paramètre d'ordre du K15 en fonction de la température.

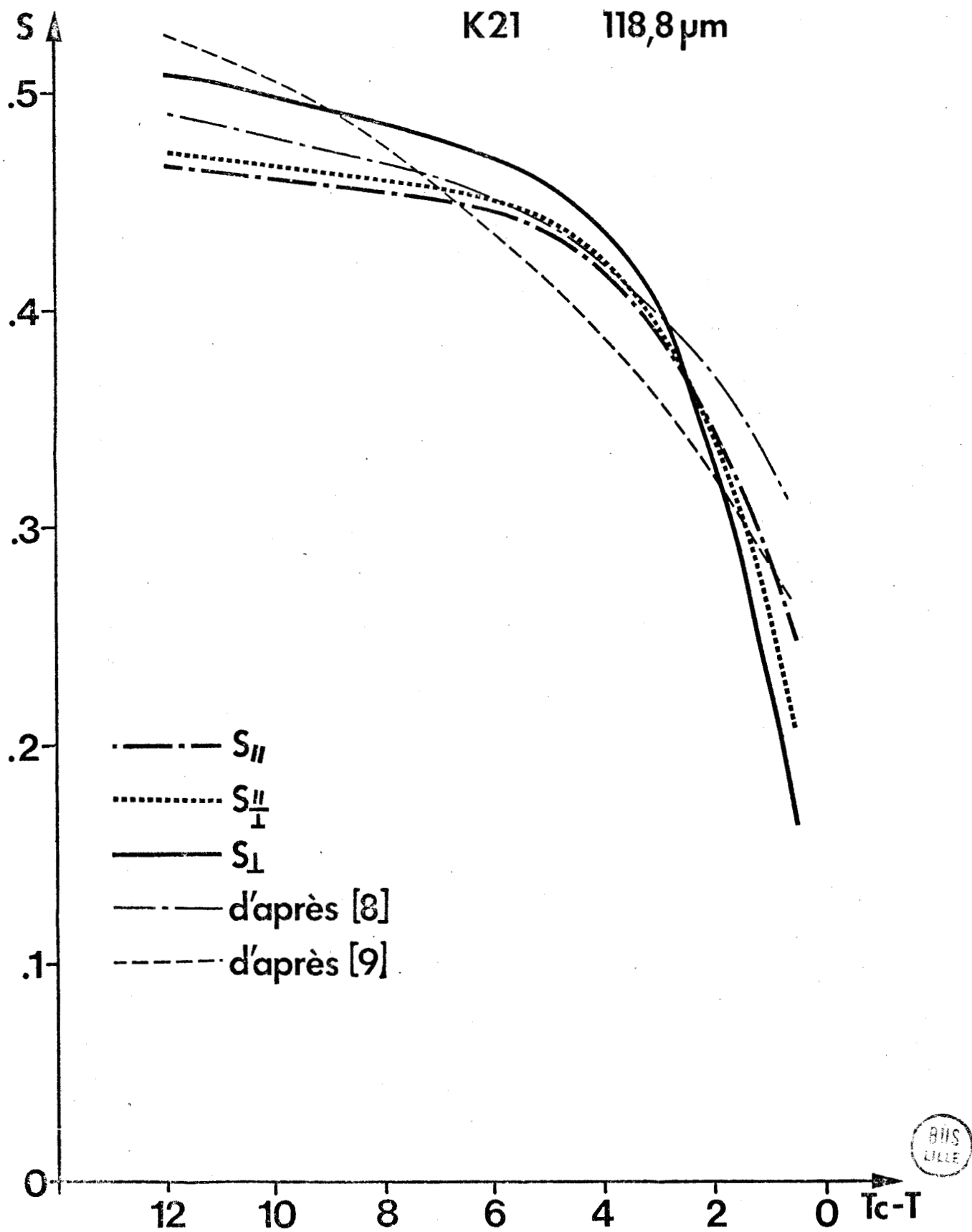


FIGURE IV-18 : Paramètre d'ordre du K21 en fonction de la température.

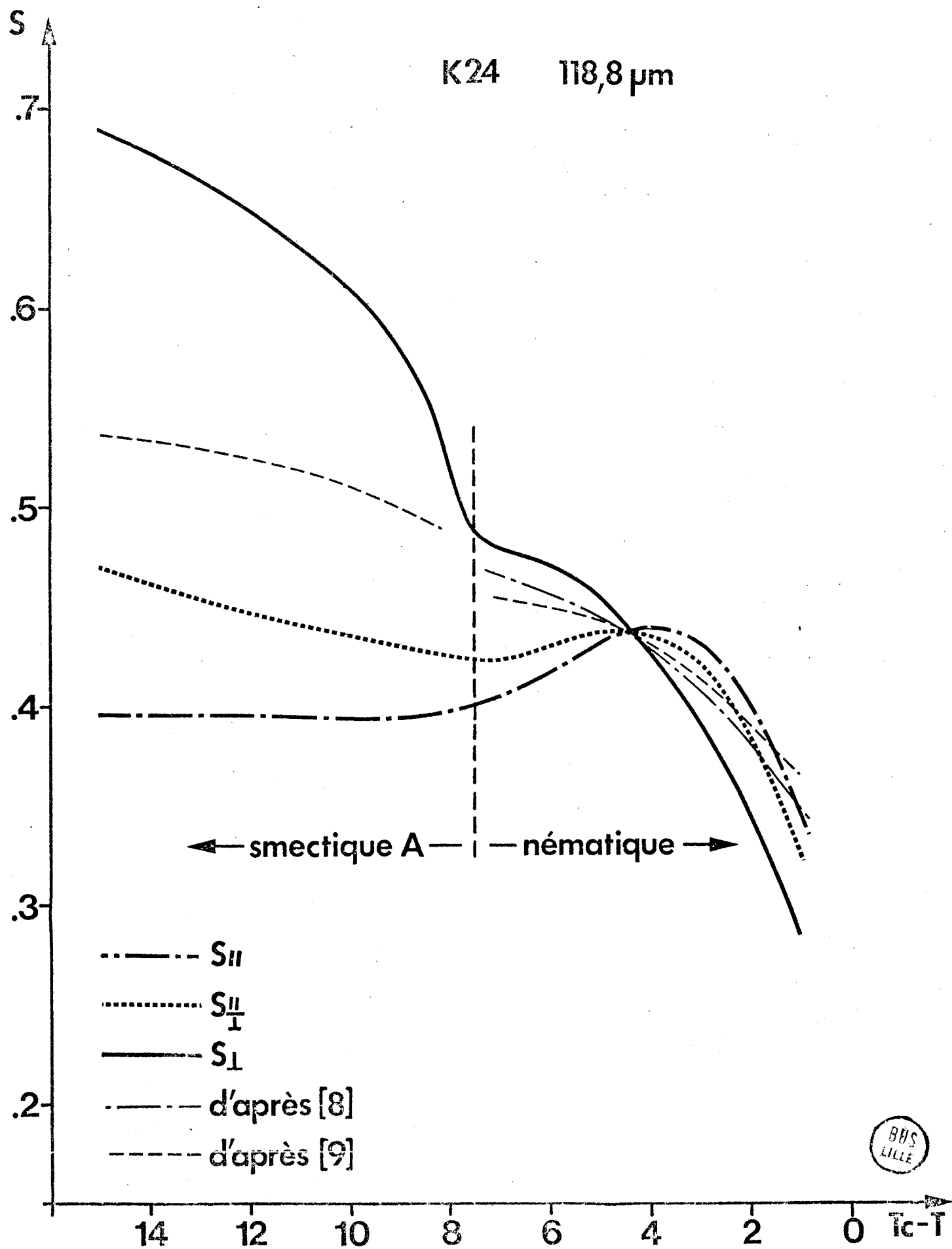


FIGURE IV-19 : Paramètre d'ordre du K24 en fonction de la température.

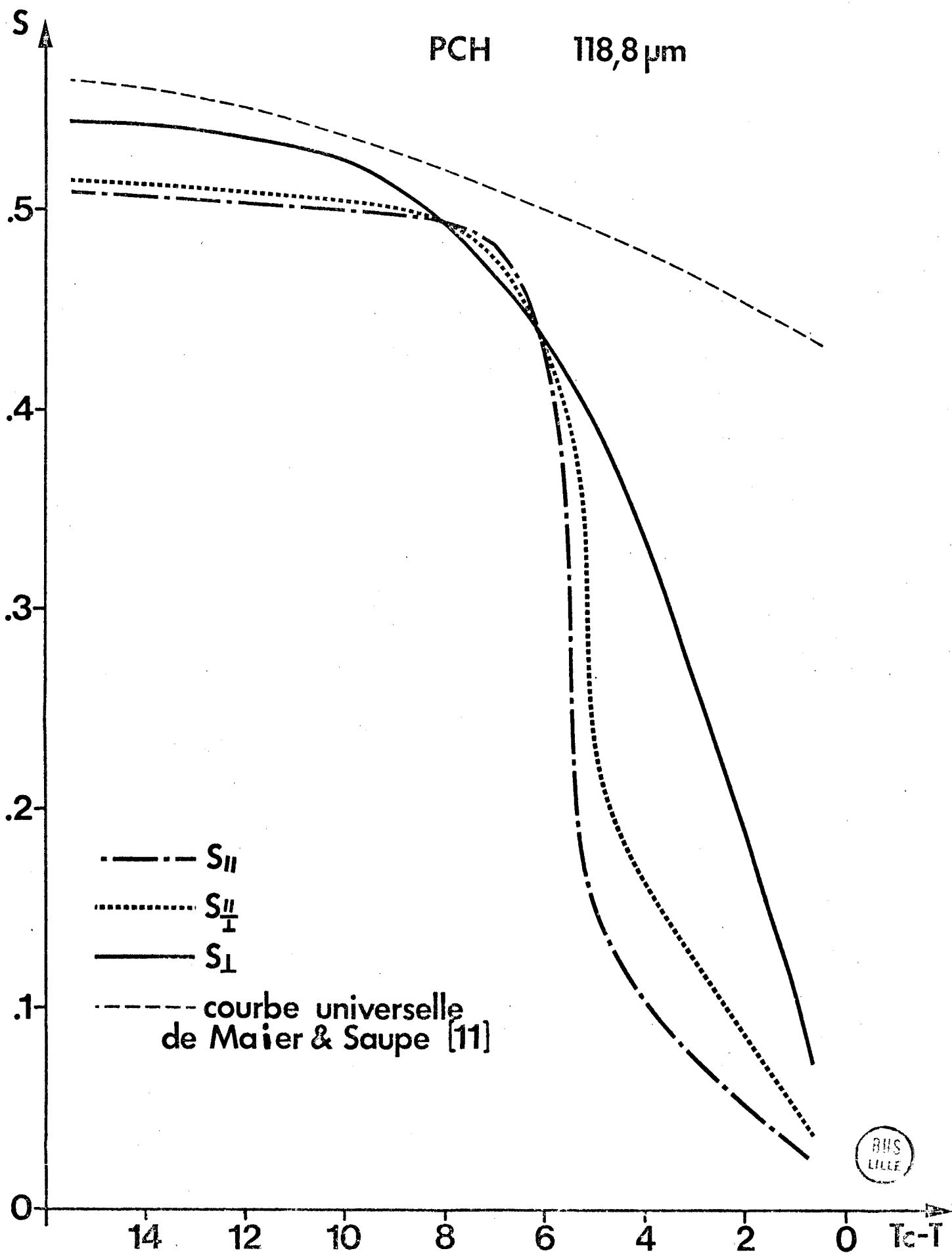


FIGURE IV-20 : Paramètre d'ordre du PCH en fonction de la température.

En ce qui concerne la phase smectique A du K 24 (figure IV.19) nous avons déterminé le paramètre d'ordre orientationnel de la même manière qu'en phase nématique ; l'augmentation du coefficient de transmission parallèle à la transition smectique - nématique (figure IV.12) est sans doute due à une mauvaise orientation parallèle au champ électrique. Par contre, en perpendiculaire S_{\perp} montre un ordre orientationnel plus important en phase smectique A qu'en phase nématique, ce qui est conforme aux résultats obtenus par d'autres auteurs [9], bien que l'augmentation de l'ordre que nous avons observé soit plus accentuée que celle observée par Dunmur [9].

Enfin, nous n'avons pas tenté de tirer le paramètre d'ordre du K 18 car nous avons observé, pour des températures bien inférieures à la température (T_c) de clarification, dans la cellule de mesure, la coexistence de l'état nématique et de l'état liquide isotrope ; ce qui rend peu valable la courbe d'absorption pour ce composé (figure IV.12).

III. CONCLUSION

Nous venons de voir que le laser submillimétrique complété d'un système de mesure d'intensité adéquat (diviseur analogique) permet de déterminer le coefficient d'absorption d'un matériau en IRL avec une précision acceptable.

Il faut néanmoins souligner que :

- les mesures à l'aide du diviseur analogique peuvent être étendues à toutes mesures de transmission pour n'importe quelle substance ou quadripole.

- le principal avantage présenté par l'utilisation d'un laser de ce type réside dans le niveau élevé de la puissance de sortie. Il est ainsi possible d'utiliser le rayonnement IRL à une distance assez importante de la source, sans être obligé de prendre les précautions habituelles (pour éviter l'absorption par la vapeur d'eau par exemple).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. DEPRET, D. DECOSTER
"Sur une méthode de mesure du coefficient d'absorption d'un matériau diélectrique ou semiconducteur utilisant un laser submillimétrique"
Colloque J.N.M., Lille (1979)
- [2] G. FRIEDEL
Ann. Phys., Paris, 18, 273 (1922)
- [3] J. P. PARNEIX
"Etude de la dynamique moléculaire de quelques substances mésomorphes à partir de leurs propriétés diélectriques"
Thèse 3ème Cycle, Lille (1975)
- [4] D. LIPPENS
Thèse de 3ème cycle, Lille (1978)
- [5] S. CHANDRASEKHAR
"Liquid crystals"
Cambridge, Univ. Press (1977)
- [6] P.G. DE GENNES
"The physics of liquid crystals"
Clarendon Press, Oxford (1974)
- [7] L. LIEBERT
"Liquid crystals"
Academic Press (1978)
- [8] P.P. KARAT, N.Y. MADHUSADANA
"Elastic and optical properties of some 4' - n - Alkyl - 4 cyanobiphenyls"
Molec. Cryst. Liq. Crist., Vol 36, pp. 51 - 64 (1978)

- [9] D.A. DUNMUR, M.R. MANTERFIELD, W.H. MILLER and J.K. DUNLEAVY
"The dielectric and optical properties of the homologous series of cyano - Alkyl - Biphenyl Liquid crystals"
Mol. Cryst., Liq. Cryst., vol 45, pp. 127 - 144 (1978)
- [10] W. MAIER, A. SAUPE
"Eine einfache molekulare theorie des nematischen kristallin-flussingen zustandes"
Z naturforsch, 13 a, 564 (1958)
- [11] M. BOUAMRA
"Influence de la structure et de l'environnement moléculaire sur les propriétés spectroscopiques des mésophases en IRL"
D.E.A., Lille (1979)
- [12] D. DECOSTER, J. DEPRET
"Détermination du paramètre d'ordre de quelques composés nématiques à l'aide d'un laser submillimétrique"
Mol. Cryst. Liq. Cryst. (à paraître)
- [13] J.R. FERNANDES, S. VENUGOPALAN
"Infrared spectroscopic study of orientational order and phase tranformations in liquid crystalline CBOOA"
Mol. Cryst. Liq. Cryst., Vol. 35, pp. 113 - 134 (1976)
- [14] D. DECOSTER, J. DEPRET
"Method of dielectric or semiconductor materials caracterisation with the use of an optically pumped cw FIR Laser"
Revue of Scient. Inst. (à paraître)
- [15] G.J. EVANS, M. EVANS
"High and low frequency torsional absorption in nematic K 21"
J.C.S. Fara II, 73, 285 (1977)

[16] G. HERZBERG

"Infrared and Raman spectra"

Van Nostrand Compagny, p. 365 (1966)

[17] A. SAUPE, W. MAIER

"Methoden zur bestimmung des ordnungsgrades nematischer kristallinflüssiger schichten"

Z Naturforsch, 16 a, 816 (1961)

[18] M. VINDEVOGHEL

"Absorption présentée par le silicium dans le domaine des ondes millimétriques et dans l'infrarouge lointain"

Thèse Lille, p. 32, (1973)

CONCLUSION

Nous avons réalisé un laser IRL guidé, optiquement pompé par un laser à CO₂, et nous l'avons utilisé pour des mesures de caractérisation de matériaux diélectriques.

Cette utilisation a nécessité la mise au point d'une méthode de mesure du coefficient d'absorption d'un matériau, qui permet de s'affranchir des instabilités de puissance de la source.

Cette méthode a été illustrée en mesurant le coefficient d'absorption de quelques substances mésogènes en vue d'en déduire leur paramètre d'ordre. C'est à notre connaissance, la première fois qu'une telle source est utilisée pour caractériser des substances orientées.

Néanmoins, la cavité métallique ne donne de bons résultats que dans la partie basse fréquence du domaine submillimétrique, et l'utilisation d'une cavité diélectrique, dont la mise au point est actuellement en cours dans le laboratoire, permettra d'améliorer les performances dans la partie haute fréquence.

Par l'utilisation conjointe des deux cavités, le laboratoire disposera d'une source submillimétrique couvrant tout le domaine entre 50 mm et 2 mm de longueur d'onde et délivrant une puissance bien supérieure à celle des sources plus "classiques" en usage jusqu'à présent.

ANNEXE I

ASSERVISSEMENT DU LASER A CO₂

I. DEFINITION DU PROBLEME

Un asservissement de la longueur du laser à CO₂ a été réalisé en collaboration avec notre laboratoire d'électronique, afin de corriger les dérivés thermiques de la longueur du laser de pompe.

La principale difficulté de cette réalisation provient de la nécessité de conserver l'information relative à la puissance IRL en même temps que l'information concernant le "signal d'erreur" utilisé pour cet asservissement.

En effet, comme le montre la figure A-1, il s'agit d'utiliser simultanément l'asservissement et le système de mesure décrit dans le chapitre IV (Diviseur Analogique) ; la difficulté réside donc dans la séparation des modulations à 12,5 Hz et à 200 Hz, compte tenu du fait que le signal à 200 Hz est d'amplitude beaucoup plus faible que celle à 12,5 Hz.

II. SYNOPTIQUE DU DISPOSITIF REALISE

1° GENERALITES

L'appareil comprend en plus de l'asservissement, une détection synchrone à 12,5 Hz, nécessaire pour l'obtention d'une information relative à la puissance IRL.

Il se décompose en trois parties principales :

- filtre à 200 Hz et Détection synchrone à 200 Hz
- asservissement à 200 Hz
- filtre à 12,5 Hz et Détection synchrone à 12,5 Hz.

La fréquence de 12,5 Hz a été choisie en fonction de la réponse du détecteur pyroélectrique utilisé, tandis que le 200 Hz de l'asservissement a été choisi de façon à s'éloigner le plus possible de la fréquence de 12,5 Hz (afin d'améliorer les filtrages des différentes composantes), tout en restant dans la plage de

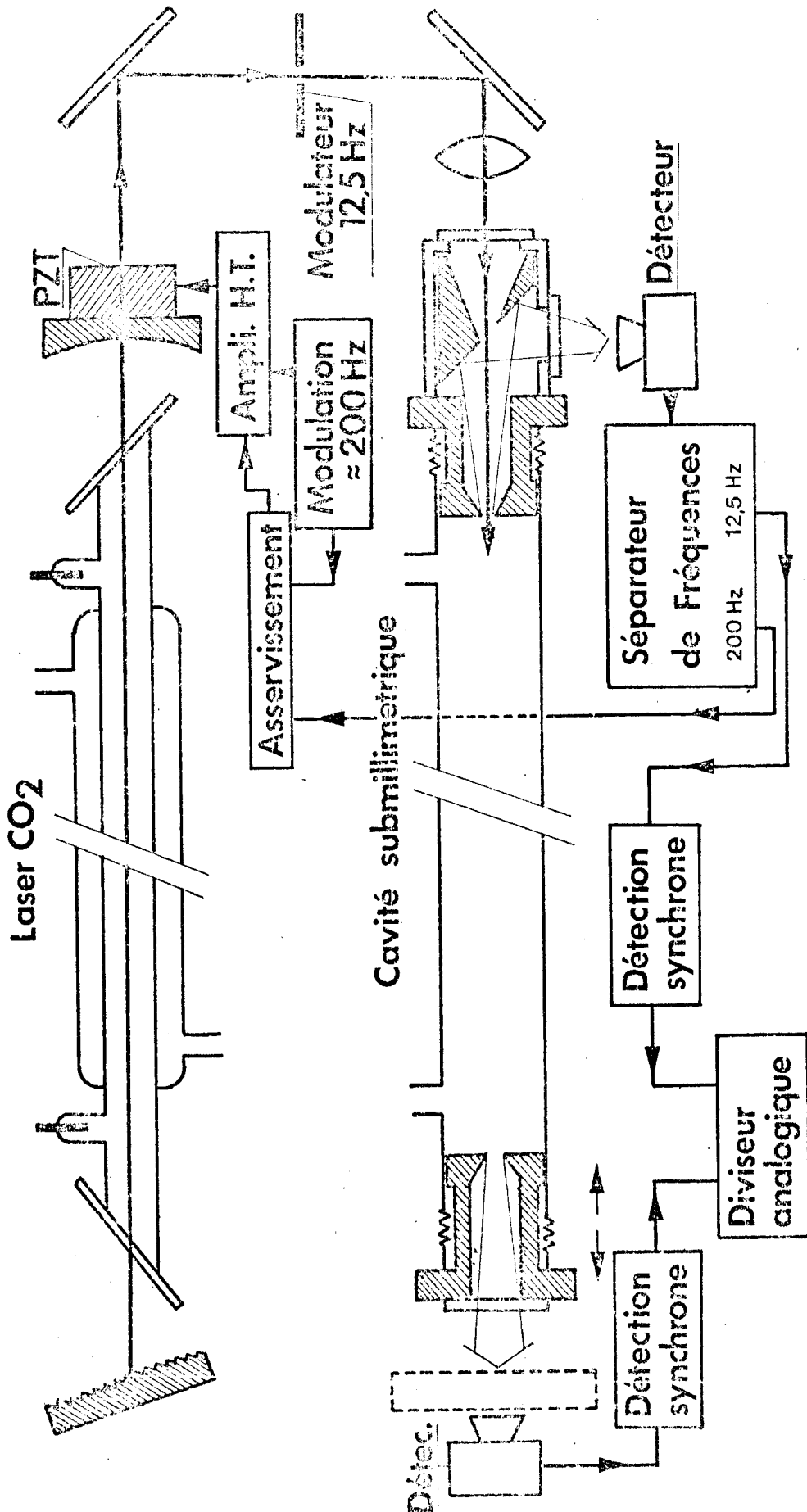


Figure A.1



réponse du détecteur pyroélectrique et des cales piézoélectriques.

2° DESCRIPTION (Fig. A-2)

Le signal IRL est injecté dans un filtre passe-bande centré à 200 Hz de façon à supprimer la composante à 12,5 Hz, et est ensuite envoyé dans la détection synchrone DS₁. Le signal résultant passe dans un intégrateur dont la pente a été optimisée afin d'obtenir la meilleure réponse de l'ensemble. L'amplificateur de gain ± 1 permet de définir le sens de correction de l'asservissement selon la réponse des cales piézoélectriques et du décalge de phase de l'ensemble de l'installation. Le signal recueilli ne comporte par conséquent qu'une composante continue qui est envoyée sur un sommateur en même temps que la polarisation initiale des cales et que la modulation à 200 Hz. C'est cette somme de trois signaux qui est injectée dans l'amplificateur Haute-Tension, commandant les cales piézoélectriques.

Enfin, le signal IRL est également envoyé dans un filtre passe-bande centré à 12,5 Hz et ensuite dans la détection synchrone DS₂ de façon à obtenir une information relative à la puissance IRL, qui sera utilisée comme signal de référence dans le Diviseur Analogique.

III. UTILISATION

La partie Détection Synchrone à 12,5 Hz est d'utilisation classique.

La partie Asservissement nécessite quelques réglages initiaux :

- le commutateur "constante de temps" de l'intégrateur étant en position "Asservissement déconnecté", on règle la longueur de laser à CO₂ par le potentiomètre "Polar initiale" de façon à obtenir le maximum de signal IRL, et on parfait ce maximum en ajustant le déphasage de la détection synchrone (DSI)

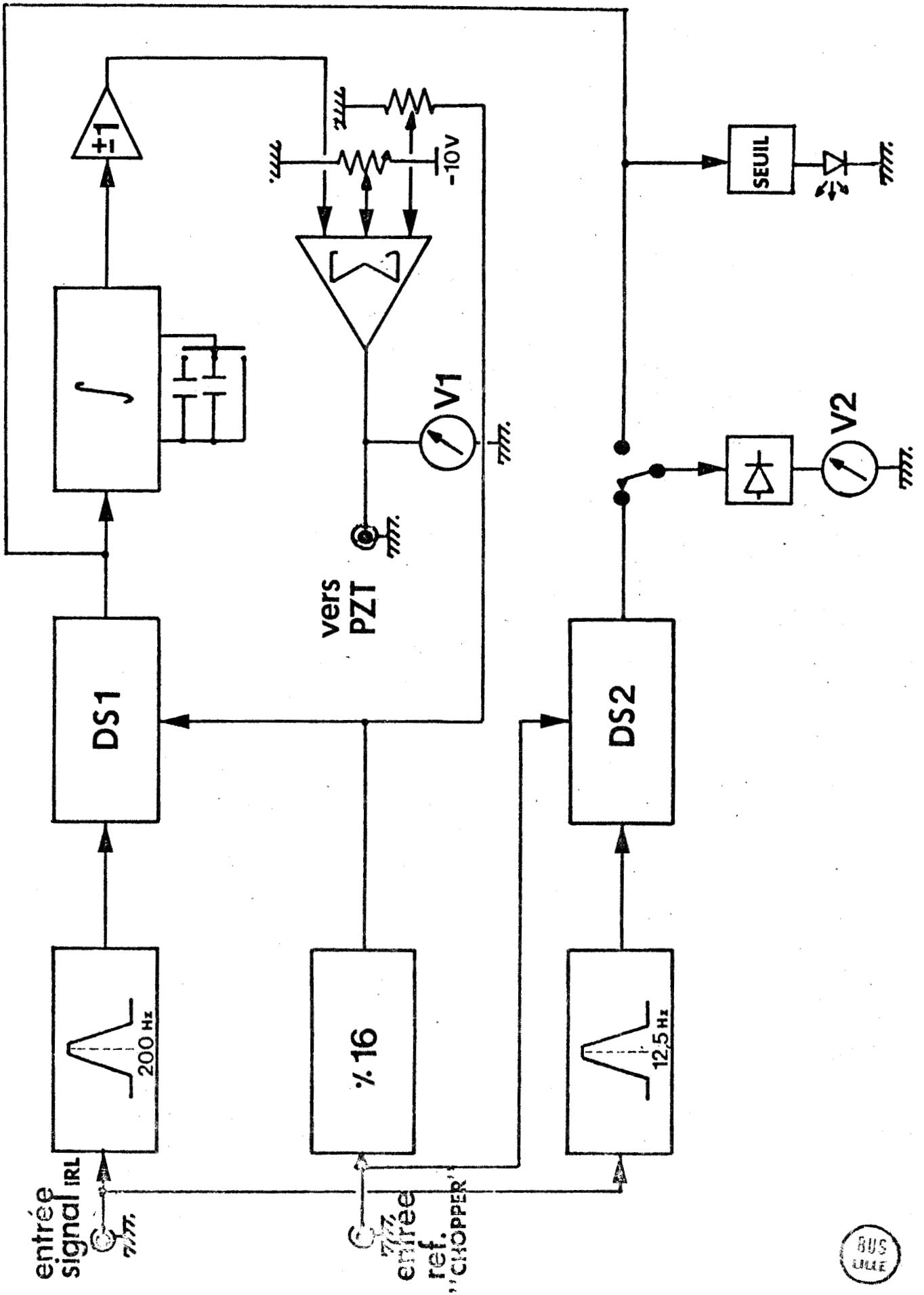


Figure A 2 : Synoptique de l'asservissement



- ceci étant fait, on choisit la constante de temps de l'intégrateur ; deux cas peuvent alors se produire :

* L'asservissement suit et le système est bloqué (la diode LED de "verrouillage" doit alors s'allumer), dans ce cas, la mise au point de l'asservissement est terminée.

* L'asservissement ne suit pas et le système dérive, il suffit de commuter l'inverseur "gain ± 1 " et le système de boucle, on se retrouve alors dans le cas précédent.

Les deux voltmètres permettent d'afficher :

- la tension appliquée sur les cales PZT (V1)
- la tension issue des détections synchrones DS1 ou DS2 (V2).

III. CONCLUSION

L'appareil n'a pu être terminé que tardivement, c'est pourquoi seuls des essais qualitatifs ont pu être effectués. Ils ont néanmoins montré que son utilisation est très simple et qu'il répond parfaitement au but recherché.

ANNEXE II

ORDERED LIST OF OPTICALLY-PUMPED LASER LINES (CONTINUOUS, $\lambda > 9 \mu\text{m}$)
WITH FREQUENCIES

D J E Knight National Physical Laboratory Teddington Middx. U K

ORDERED LIST OF OPTICALLY-PUMPED LASER LINES (continuous, $\lambda > 9 \mu\text{m}$)
WITH FREQUENCIES

D J E Knight National Physical Laboratory Teddington Middx. U K

5th issue March 79 - NPL Report no. Qu 45

Changes since 4rd issue:

new data from the following references (see pp.iii-iv)

on a total of 178 new and 35 amended lines,

the number of lines following each reference in parentheses:

BL2 (1), DH (4), DA3 (1), DW1 (3), DW2 (21), DW3 (12), DW4 (5), ED (7),
GW1 (10), HEN1 (39), HEN2 (34), MO (14), PE2 (69) and ZD (37).

Note: the number of reference listings exceeds the number of new entries because of multiple referencing.



Lines are listed in order of wavelength, with references, power level and full pump-line information. The best known measurements of vacuum wavelength (or frequency) are given, with the (70% confidence level) uncertainty, and the appropriately-rounded frequency* is given at right.

The list is intended as a radiation source list rather than a frequency-standards list, so that improvements in accuracy within the Doppler tuning width are not necessarily shown.

* This is rounded to match the uncertainty of the measurement, being calculated from the wavelength, which is exactly taken from the original reference. Original frequency measurements have been converted to wavelength (and back) using $c = 299792500 \text{ m/s}$.

SUMMARY OF LINES, WITH
 CODES FOR ISOTOPES AND OPTICALLY-PUMPED MOLECULES
 (in alphabetical order of codes)

no.of lines	code	molecule
4	B10T	= (B10)(CL) ₃ , boron trichloride with boron-10 isotope.
4	B11T	= (B11)(CL) ₃ , boron trichloride with boron-11 isotope.
	CO2A	= C(O18) ₂ , CO ₂ WITH O18 ISOTOPE
	CO2B	= (C13)O ₂ , CO ₂ WITH C13 ISOTOPE
	CO2C	= (C13)(O18) ₂ , CO ₂ WITH C13 AND O18 ISOTOPES
	CO2S	= CO ₂ sequence-band line (pump)
16	DF	= C ₂ H ₂ F ₂ , 1,1 DIFLUOROETHYLENE
2	DFE	= C ₂ H ₄ F ₂ , 1,1 DIFLUOROETHANE
12	DFM	= CH ₂ F ₂ , difluormethane
21	DMA	= CH ₃ OD, D1-METHYL ALCOHOL
20	DMC	= CD ₃ (CL), DEUTERATED METHYL CHLORIDE
9	DME	= CD ₃ OD, DEUTERO-METHYL ALCOHOL (D-METHANOL)
7	DMEC	= CD ₂ (CL) ₂ , deuterated methylene chloride (dichloromethane)
32	DMI	= CD ₃ I, DEUTERATED METHYL IODIDE
2	DMIA	= (13C)D ₃ I, methyl iodide with C-13 isotope
2	D2O	= D ₂ O, heavy water
1	EA	= C ₂ H ₅ OH, ETHYL ALCOHOL
4	EC	= C ₂ H ₅ (CL), ETHYL CHLORIDE
16	EF	= CH ₃ CH ₂ F, ETHYL FLUORIDE
44	FA	= HCOOH, FORMIC ACID
64	FAA	= HCOOD, Formic acid isotopic analogue A
20	FAB	= DCOOH, Formic acid isotopic analogue B
57	FAC	= DCOOD, Formic acid isotopic analogue C
6	FA13	= H(C13)OOH, formic acid with C13 isotope
	FO	= H ₂ CO, formaldehyde - see also trioxane (TRI)
2	FOA	= HDCO, formaldehyde isotopic analogue A
5	FOB	= D ₂ CO, formaldehyde isotopic analogue B
110	MA	= CH ₃ OH, METHYL ALCOHOL, METHANOL
9	MAC	= CH ₃ CCH, METHYL ACETYLENE
110	MAD	= CD ₃ OH, D ₃ -METHYL ALCOHOL
19	MAD1	= CH ₂ DOH, isotopic species of methyl alcohol
11	MAD2	= CHD ₂ OH, isotopic species of methyl alcohol
7	MAM	= CH ₃ NH ₂ , METHYLAMINE
40	MA13	= (13C)H ₃ OH, methyl alcohol with C-13 isotope
9	MBA	= CH ₃ (79Br), methyl bromide with 79Br
7	MBB	= CH ₃ (81Br), methyl bromide with 81Br
20	MBR	= CH ₃ Br, methyl bromide with mixed 79Br and 81Br species
20	MC	= CH ₃ (CL), METHYL CHLORIDE
29	MCY	= CH ₃ CN, METHYL CYANIDE (ACETONITRILE)
1	MEC	= CH ₂ (CL) ₂ , METHYLENE CHLORIDE
6	MF	= CH ₃ F, METHYL FLUORIDE
1	MF13	= CH ₃ F, METHYL FLUORIDE WITH CARBON-13 ISOTOPE
21	MI	= CH ₃ I, METHYL IODIDE
7	NH ₃	= NH ₃ , AMMONIA
3	NH3A	= (15N)H ₃ , ammonia with N-15 isotope
29	N ₂ H ₄	= N ₂ H ₄ , HYDRAZINE
13	TRI	= (H ₂ CO) ₃ , trioxane (cyclic trimer of formaldehyde)
45	VB	= C ₂ H ₃ Br, vinyl bromide, with Br ₇₉ , Br ₈₁ mixed 51%, 49%
19	VC	= CH ₂ CH(CL), VINYL CHLORIDE
19	VCY	= CH ₂ CHCN, VINYL CYANIDE

 905 TOTAL

REFERENCES

- BL1 (DMA) = T G Blaney, D J E Knight and E Murray-Lloyd Opt. Commun.,
25, No.2, May 78 pp176-178
BL1 NOTE: 295 & 396 micron line powers from KON2; polarizations
differ from KON2.
- BL2 (MA) = T G Blaney, N R Cross, D J E Knight, G J Edwards and P R Pearce
Mar 79, in preparation
- BE1 (DF, DMA) = B L Bean and S Perkowitz Optics Lett. 1, No.6, Dec77 pp202-4
- CH2 (MF) = CHANG, BRIDGES, OPTICS COMMUN. 1, NO9, APR70, PP423-6
- CH3 (MF, VC, MA) = CHANG ET AL, APP. PHYS. LETT. 17, NO6, 15SEP70, PP249-51
- CH4 (NH3) = CHANG ET AL, APP. PHYS. LETT. 17, NO9, 1NOV70, PP357-8
- CH5 = CHANG ET AL, APP. PHYS. LETT. 19, NO4, 15AUG71, PP103-5
CH5 (NOTE) 150 MICROSEC CHOPPED PUMP -OUTPUT LINES STRONGER
THAN 0.1 MILLIWATT TAKEN AS (POTENTIALLY) CW AND LISTED
- CH6 = CHANG AND MCGEE, IEEE QE-12, NO.1, JAN76 PP62-65
CH6 (NOTE) 150 MICROSEC CHOPPED PUMP (200W) ALL LINES LISTED.
- DA1 = D Dangoisse, A Deldalle, J-P Spingard and J Bellet
C. R. Acad. Sci. 283B Sep76 pp115-118
(note: where DY8 is a 2nd reference it is also a frequency meas.)
- DA2 (FOA, FOB, TRI) = D Dangoisse, A Deldalle, J-P Spingard and J Bellet
IEEE J. Quant. Electron. QE-13, No.9 Sep77 pp730-1
Notes (i) 9.66P32 pump lines in doubt,
(ii) power levels and wavelength accuracy taken as for DE1
- DA3 (FA) = D Dangoisse, E Willemot, A Deldalle and J Bellet Opt. Commun.
28, No1, Jan79 pp111-6 (collation of formic acid assignments)
- DE1 (FA, FA13, (FAA, FAC)) = A Deldalle, D Dangoisse, J-P Spingard and J Bellet
Optics Commun. 22, No.3 Sep77 pp333-6
Notes (i) FA13 480 micron line pump line (10.09R46) is in doubt,
(ii) these authors assign the 693788.5 MHz line to FA
against FAA given by DY8.
- DH (DME, DMC, DMIA) = G Duxbury and H Herman J. Phys. B 11, No5, 1978 pp935-949
- DW1 (NH3A) = E J Danielewicz and C O Weiss IEEE J. Quant. Electron.
QE-14, No4, April 78 pp222-3
Note: this isotopic species was used in the natural abundance
(0.37%) in research grade NH3.
- DW2 (MAD) = E J Danielewicz and C O Weiss IEEE J. Quant. Electron.
QE-14, No7, Jul 78 pp458-459
- DW3 (DFM) = E J Danielewicz and C O Weiss IEEE QE-14, No.10, Oct78 pp705-7
Note: power levels scaled from DW2. with VS now
10mW since 44mW is given here for the 165.9 line.
- DW4 (D20, NH3, MF) = E J Danielewicz and C O Weiss Optics. Commun. 27, No1,
Oct78 pp98-100
- DY1 (DF, VCY, MAM) = DYUBKO ET AL, JETP LETT. 16, NO11, 5DEC72 PP418-9
- DY2 = DYUBKO ET AL, SOV. PHYS. TECH. PHYS. 18, NO8, FEB74, P1121 ONLY
- DY3 (N2H4) = DYUBKO ET AL, ZH. PRIKL. SPEKTROSK (USSR) 20, NO4, APR74, P718-9
DY3 TRANSLATION J. APPL. SPECTROSC. (USA) 20 NO.4 PP546-5
- DY4 (MI, SEE ALSO CH4, GR) = DYUBKO ET AL, OPT, SPECTROSC. 37, NO1, JUL74 P118
- DY5 (FA) = DYUBKO, SVICH, FESENKO SOV. J. QUANT. ELECTRON. 3, NO5, 1974 P446
(DY5 R-branch pump lines in doubt - see DY8)
- DY6 = DYUBKO ET AL ZH, PRIKL, SPEKTROSK, (USSR) 23NO2 AUG75 317-20
DY6 (NOTE) 2E-6 WAVELENGTHS FROM FREQ. 10 UNITS POWER TAKEN
AS APPROX. 1 MILLIWATT. CO2 POWER TAKEN AS 7W (DY5).
- DY7 (MAD) = Dyubko et al, Izv. Vuz. Radiofiz. (USSR) 18, No10, 1975 pp1434-7
- DY8 = S F Dyubko, A V Svich and L D Fesenko Sov. Phys. Tech. Phys. 20,
No.11, pp1536-1538. Trans. of: Zh. Tekh. Fiz. 45, Nov 75 pp2458-61
DY8 note: for identification of active transitions see:
O I Baskakov et al. Sov. J. Quant. Electron. 7, No.4 Apr77 pp445-9

REFERENCES (continued)

- DY9 = S F Dyubko, M N Efimenko, V A Svich and L D Fesenko Sov. J Quant. Electron. 6, No.5, May 76 pp600-601.
 DY8, DY9 NOTE: conventional pump threshold values of "+3", ~2W have been used for all DY results, except for ~4 extreme lines in DY9 given "+3", ~1W.
 DY8,9 NOTE 2: the submillimetre powers are interpolated from the the indications of detector calibration given.
- ED (MAD) = G J Edwards, (NPL Teddington) private communication 15Aug78 (wavelength checks on 7 lines to 0.05%)
- FE1 (NH3) = H R Fetterman, H R Schlossberg and C D Parker Appl. Phys. Lett. 23, No.12 Dec73 pp684-6
 Note: the pumped transitions are stark shifted to the pump frequency and the wavelength accuracy is estimated, not given.
- GR (MI THEORY) = GRANER OPT.COMMUN.14, NO1, MAY75 PP67-9
- HO1 = HODGES ET AL, IEEE QE-9, NO12, DEC73, PP1159-60
- HE1 (MA) = J Heppner, C O Weiss and P Plainchamp Optics Commun. 23, No.3 Dec77 pp381-4 (see footnote p383)
 Note: sign of pump offset from NPL, lambda accuracy estimated as 0.1%
- HEN2 (MA13) = J O Henningsen and J C Petersen Infrared Phys.18, No5+6, Dec78 pp475-479
 Notes (i) 13-C was 90% pure
 (ii) lines given as "particularly strong" taken as 1mW
 (iii) threshold conventionally taken as 10W. (25W pump)
- JEN (EA, MC, EC, MEC) = JENNINGS ET AL, IEEE QE-11, NO8, AUG75 P637
- KAR = Karlov et al. JETP Lett. 8 July 68 pp12-14
- KON (DME) = KON ET AL JAP. J. APPL. PHYS. 14, NO5 1975 PP731-2
- KON2 = KON ET AL JAP. J. APP. PHYS. 14, NO11, 1975 PP1861,2
- KW1 = Kramer and Weiss Appl. Phys. 10 1976 187-188.
- MO (MBA, MBB, MCY) = M V Moskienko and S F Dyubko Radiofizika 21, No7, 1978 pp951-960
- PET (MA) = PETERSEN ET AL, IEEE QE-11, NO10, OCT75 PP838-43
- PE2 (MA, MA13*, MAD) = F R Petersen, D A Jennings, K M Evenson and J O Henningsen (in preparation: HEN2, also private communication from F R P Nov. 1978 and Mar79.)
- RA1 = RADFORD, IEEE QE-11, NO5, MAY75 PP213-4 .WAVELENGTHS FROM CH5, WA
- RA2 = H E Radford, private communication 4 Aug 76.
 New frequency measurements on 41 lines (waveguide laser):- of these, some (Fabry-Perot) lines of wavelength between 0.1 and 0.7 mm are published in:-
 H E Radford, F R Petersen, D A Jennings and J A Mucha IEEE J. Quant. Electron. QE-13 Mar77 pp92-94.
 Power levels are taken from the second reference given, or assumed -2 or -3.
- TA1 (MA) = TANAKA ET AL, JAP. J. APP. PHYS. 13, NO9, 1974 PP1491-2
- TA2 (MA) = TANAKA ET AL, IEEE QE-11, NO10, OCT75, PP853-4
- T3 (NH3, MA, MCY) = A Tanaka, A Tanimoto, N Murata, M Yamanaka and H Yoshinaga Opt. Commun. 22, No.1 Jul77 pp17-21
 (Appears as 2nd/3rd reference, giving improved cw power out and pump threshold).
- WA = WAGNER ET AL, OPT.COMMUN. 8, NO1, MAY73 PP46-47
- WE1 (MA) = C O Weiss, M Grinda and K Siemsen IEEE J. Quant. Electron. QE-13, No.11 Nov77 p892. Notes: (i) pump lines are CO2 sequence lines (CO2S) see Siemsen and Whitford Opt. Commun. 22, No.1 Jul77 pp11-16,
 (ii) uncertainty of wavelength not given but estimated at 1 micron or 0.5 %; formal threshold of 2 W assigned.
- ZD (DMEC, MAD2, MAD1) = G Ziegler and U Durr IEEE J. Quant. Electron. QE-14, No.10, Oct78 p708
 Notes: (i) gas purity about 96%
 (ii) conventional threshold of 2W assigned.

NOTES ON DATA-RECORD FORMAT

THE PAIR OF 8-CHARACTER WORDS "GAS/POWER", "REFERENCE" ON EACH DATA RECORD CAN CONTAIN INFORMATION AS FOLLOWS-

"GAS/POWER" = (LASING GAS SYMBOL FIRST, 1-4 OR 1-5, C IN 5, OR IN 8 FOR LAMBDA CALCULATED FROM FIT, LOG(POWER/MILLIWATT) IN CHARACTERS 6,7 AND CHARACTER 8 CONTAINS L IF A LAMB DIP OCCURS)
* IN CHARACTER 4 INDICATES OPTICALLY-PUMPED LASER AND BRACKETED POWER, () IN 5,8, INDICATES CASCADE OPERATION

LOG(POWER/MILLIWATT) CONVENTION

E.G. +2- IN 6,7,8 OF "GAS/POWER" OR "gas/thresh.", = DECADE IN 6,7 ("+2" = 100), AND -, BLANK, + IN 8 COVER THE COEF. RANGES 0.31-0.69, 0.7-1.4, 1.5-3.0, ABOUT THE MEANS 0.5, 1, 2. CHAR.8 IS SOMETIMES NOT SPECIFIED, THE RANGE THEN BEING 0.32-3.1.

"REFERENCE" = (PAPER(S) IN FORM 2/3 LETTERS + 1 DIGIT FOLLOWED BY A LINE IDENTIFICATION OF 1,2 CHARACTERS AT RIGHT OF FIELD)

OPTICALLY PUMPED LINES -EXTRA INFORMATION IS PROVIDED FOR THE PUMP LINE AS FOLLOWS:- TWO 8-CHARACTER WORDS NAMED "gas/thresh.", "ref.", AND A NUMBER FOR THE PUMP OFFSET "offset" IN MHZ .

"gas/thresh." FORMAT IS THE SAME AS FOR GAS/POWER, WITH THRESHOLD LOG(POWER/MILLIWATT) IN LAST 3.

The polarization of output with respect to the pump is indicated in character 5 of "gas/thresh." as follows:- P,N or E for parallel, normal or either (none).

"ref." CONTAINS WAVELENGTH (MICROMETRE) IN FIRST 5, AN ASSIGNMENT IN LAST 3, EG FOR CO2, 10.09R48, OR _9.3_R08.

Example lines:-

Diagram showing data record format with handwritten annotations. Includes fields for lasing gas code, uncertainty, laser power, entry no., gas, lambda, line, offset, and f (MHz). Annotations explain symbols like * for optically-pumped, () for cascade line, and C for lambda calculated. A specific example line is provided: 391.688700 1.0E -6 FAA* (-1+) DY8 (50) CO2 (N+3+) 10.14R38 765384.6. A second reference RA2CH382 is also shown.

TOTAL LASER LINES = 905
 FREQ.FROM WAVELENGTH (OR V.V.) USING C=2.997925E08 METRE/SEC
 ORDERED LINE LIST

WAVELENGTH $\lambda_{vac.}$ (MICROMETRE)	uncertainty	LASER LINE			pump line		FREQUENCY f MHz
		GAS/POWER	REFERENCE	gas/thresh.	ref.	offset MHz	MHz
2650.00000	5.0E -3	MBB*	MO	CO2	10.49P10		113100.0
1990.757100	2.0E -6	DMC* 0	DY6 7	CO2 P+3+	9.50 P14		150592.2
1965.340000	5.0E -5	MBA* 0	CH6MO 30	CO2 P+4+	10.67P28	0	152540.0
1899.889540	1.0E -6	VB * 0-	DY9 45	CO2 P+3+	10.59P20		157794.7
1886.870000	5.0E -5	MC * 0+	CH6 7	CO2 N+4	9.60 P26	+20	158883.0
1814.370000	2.8E -5	MCY* 0	CH5	CO2 P+4	10.88P46	0	165232.0
1730.833600	1.0E -6	FAA* -1+	DY8 40	CO2 P+3+	10.22R24		173207.0
1720.000000	1.0E -2	EC * -1	JEN 8	CO2 +4	10 R28		174000.0
1614.888050	1.0E -6	VB * -1+	DY9 44	CO2 P+3+	10.65P26		185642.9
1572.640000	6.0E -5	MBA* 0+	CH6MO 21	CO2 P+4-	10.44P4	0	190630.0
1549.505000	2.0E -6	DMI* -1	DY6 31	CO2 P+3+	9.33 R10		193476.3
1541.750710	1.0E -6	FAA* -1+	DY8 17	CO2 P+3+	9.64P30		194449.4
1521.376174	2.5E -6	EF * -2	RA2RA143	CO2 +4-	9.47P10		197053.5
1440.000000	2.0E -2	EF * -3	RA2	CO2 +3+	9.46P08		208000.0
1400.000000	1.0E -2	EC * -1	JEN 7	CO2 +4	10 R38		214000.0
1394.062760	1.0E -6	VB * 0-	DY9 43	CO2 P+3+	10.25R20		215049.5
1383.882310	1.0E -6	VB * -1+	DY9 42	CO2 P+3+	10.63P24		216631.5
1351.780000	8.0E -5	MCY* -2+	CH6 2	CO2 N+5-	9.27 R20	-15	221780.0
1350.000000	1.0E -2	EC * -2	JEN 6	CO2 +4	10 R30		222000.0
1310.380000	8.0E -5	MBA* +1-	CH6MO 19	CO2 N+4	10.37R4	-30	228780.0
1290.000000	5.0E -3	MAD* -1	DY7 49	CO2 P+3+	10.25R20		232000.0
1281.648710	1.0E -6	FAC* -1-	DY8 9	CO2 P+3+	9.71P38		233911.6
1253.738200	2.0E -6	MI * +1	DY6CH6	CO2 P+4-	10.72P32	+25	239118.9
1247.594120	1.0E -6	VB * -1+	DY9 41	CO2 P+3+	10.30R12		240296.5
1239.479800	2.0E -6	DMC* 0	DY6 6	CO2 P+3+	9.49 P12		241869.6
1237.965870	1.0E -6	FAB* -1-	DY8 7	CO2 P+3+	10.22R24		242165.4
1223.658340	2.0E -6	MA * -1	RA2TA1 0	CO2 +3+	9.52P16		244996.9
1221.790000	4.0E -5	MF13* 0	CH5RE1	CO2 P+4	9.66P32	-26	245372.0
1213.362500	1.0E -6	FA * -1	DY8 28	CO2 P+3+	9.62P28		247075.8
1184.000000	2.0E -2	VCY* -3-	RA1 46	CO2 +3+	10.14R38		253000.0
1174.870000	4.3E -5	MAC* 0	CH5	CO2 P+3+	10.86P44	-15	255170.0
1164.830000	9.0E -5	MCY* -1-	CH6 10	CO2 P+4+	9.47 P10	+45	257370.0
1161.676650	1.0E -6	FAA* -1	DY8 37	CO2 P+3+	10.25R20		258068.8
1157.500000	2.0E -3	FAC* -2+	DY8 40	CO2 P+3+	10.48P08		259000.0
1157.318140	1.0E -6	FAA* -1-	DY8 51	CO2 N+3+	10.14R38		259040.7
1156.000000	2.0E -2	VCY* -4-	RA1 45	CO2 +4-	10.65P26		259000.0
1146.000000	5.0E -3	MAD* -1	DY7 35	CO2 P+3+	9.59 P24		262000.0
1100.000000	5.0E -3	MAD* -1+	DY7 26	CO2 P+3+	9.49 P12		273000.0
1099.544200	2.0E -6	DMI* -1	DY6 47	CO2 P+3+	10.61P22		272651.6
1097.110000	9.0E -5	MAC* 0-	CH6 4	CO2 P+4	9.46 P8	-20	273260.0
1086.890000	9.0E -5	MCY* -1+	CH6 17	CO2 N+4	9.73 P40	+40	275830.0
1070.230740	1.0E -6	FAC* -2-	DY8 4	CO2 P+3+	9.49P12		280119.5
1069.000000	2.0E -2	EF * -3+	RA1 26	CO2 +3+	9.33R10		280000.0
1063.290000	9.0E -5	MI * +1-	CH6 18	CO2 P+4+	10.78P38	+5	281950.0
1047.578660	1.0E -6	FAB* 0-	DY8 2	CO2 N+3+	10.30R12		286176.6
1041.000000	2.0E -2	VC * -3+	RA1 61	CO2 +4-	10.15R36		288000.0
1030.378362	1.0E -6	FA13* -1-	DE1 6	CO2 +3+	9.22R30		290953.8
1020.000000	3.0E -2	DF * -1	HO1 9	CO2 +3	10.53P14		294000.0
1016.330000	1.0E -4	MCY* -1-	CH6 9	CO2 P+4-	9.46 P8	-40	294980.0
1014.890000	1.0E -4	MCY* -2+	CH6 4	CO2 N+4+	9.31 R14	-20	295390.0
1009.409490	1.0E -6	FAC* 0	DY8 18	CO2 P+3+	10.26R18		296997.9
1007.000000	2.0E -3	N2H4* -1	DY3 26	CO2 N	10.61P22		297700.0



1005.347700	2.0E -6	DMI*	DY6	50	CO2 P+3+	10.74P34		298197.8
1005.230144	1.7E -6	EF *	-2 RA2RA	142	CO2 +3+	9.62P28		298232.7
998.514180	1.0E -6	FAC*	-1+ DY8	6	CO2 P+3+	9.49P12		300238.6
995.000000	2.0E -2	VC *	-3+ RA1	60	CO2 +3+	10.21R26		301000.0
992.000000	5.0E -3	MF *	0 DW4	5	CO2SN+3	9.54P15	+30	302000.0
990.630410	1.0E -6	VB *	-1- DY9	40	CO2 P+3	10.37R04		302628.0
990.510000	1.0E -4	MBR*	0 CH6	23	CO2 P+5-	10.49P10	0	302660.0
990.000000	2.0E -3	DF *	-1 DY1	9	CO2 P	10.61P22		302800.0
989.190560	1.0E -6	VB *	0- DY9	39	CO2 N+3+	10.55P16		303068.5
986.312680	1.0E -6	FAA*	0- DY8	46	CO2 P+3+	10.17R32		303952.8
985.858920	1.0E -6	VB *	-1 DY9	38	CO2 N+3	10.38R02		304092.7
981.709500	2.0E -6	DMI*	DY6	48	CO2 P+3+	10.61P22		305378.0
971.806530	1.0E -6	FAB*	-1- DY8	8	CO2 P+3+	10.19R28		308489.9
968.000000	5.0E -3	MAD*	-1 DY7	9	CO2 P+3+	9.27 R20		310000.0
964.000000	5.0E -3	MI *	-1 DY6	21	CO2 P+3+	10.61P22		311000.0
963.487470	1.0E -6	VB *	+1- DY9	37	CO2 N+3+	10.49P10		311153.5
958.250000	1.0E -4	MC *	0- CH6	8	CO2 P+4+	9.71 P38	-50	312850.0
953.880100	2.0E -6	DMI*	0 DY6	26	CO2 P+3+	9.23 R28		314287.4
948.924852	1.0E -6	TRI*	-1- DA2	20	CO2 +3	9.25R24		315928.6
943.970000	1.1E -4	MC *	+1 CH6JEN	5	CO2 P+3+	9.32 R12	-30	317590.0
940.000000	2.0E -2	VCY*	-4 RA1	44	CO2 +4-	10.68P28		319000.0
936.602480	1.0E -6	FAC*	-1- DY8	50	CO2 P+3+	10.65P26		320085.1
936.159100	1.0E -6	VB *	-1+ DY9	36	CO2 N+3+	10.17P32		320236.7
935.009590	1.0E -6	FAC*	0 DY8	8	CO2 P+3+	9.52P16		320630.4
935.000000	2.0E -2	VC *	-3- RA1	59	CO2 +3	10.89P46		321000.0
934.223180	1.0E -6	VB *	-1 DY9	35	CO2 P+3+	9.62P28		320900.3
933.000000	2.0E -2	FA *	-3 RA2		CO2 +3	10.29R14		321000.0
927.981510	1.0E -6	FAC*	-1 DY8	48	CO2 P+3+	10.59P20		323058.7
926.208840	1.0E -6	FAA*	+1 DY8	34	CO2 N+3+	10.29R14		323677.0
925.520000	1.1E -4	MBA*	+1 CH6MO	8	CO2 P+4-	10.09R46	-35	323920.0
925.000000	2.0E -2	FA *	-3 RA2		CO2 +3	10.17R32		324000.0
919.935670	1.0E -6	FAA*	+1 DY8	45	CO2 P+3+	10.17R32		325884.2
918.610200	2.0E -6	DMI*	+1 DY6	25	CO2 P+3+	9.23 R28		326354.4
910.000000	2.0E -2	VCY*	-4 RA1	43	CO2 +4	10.30R12		329000.0
900.133970	1.0E -6	VB *	-1 DY9	34	CO2 N+3+	10.26R18		333053.2
900.000000	1.0E -2	EC *	-1 JEN	5	CO2 +4	10 R30		333000.0
895.000000	5.0E -3	DMI*	DY6	49	CO2 P+3+	10.70P30		335000.0
891.000000	5.0E -3	TRI*	-1- DA2	19	CO2 +3	9.27R20		336000.0
890.100000	2.0E -3	DF *	-1 DY1	8	CO2 P	10.61P22		336800.0
890.000000	5.0E -3	TRI*	-1- DA2	18	CO2 +3	9.24R26		337000.0
890.000000	2.0E -3	DF *	-1 DY1	7	CO2 P	10.61P22		336800.0
884.000000	3.0E -2	DF *	0 HO1	7	CO2 +3	10.51P12		340000.0
883.598200	2.0E -6	DMC*	0 DY6	11	CO2 P+3+	9.68 P34		339286.0
877.548220	1.0E -6	FAC*	0+ DY8	49	CO2 P+3+	10.65P26		341625.1
871.585090	5.0E -7	MAD*	+1- PE2DY7		CO2 P+3+	10.26R18		343962.4
870.800000	1.1E -4	MC *	0 CH6	11	CO2 P+4-	9.86 P52	+30	344270.0
869.000000	5.0E -3	DME*	-1 DH	2	CO2 +3+	10.26R18	-20	345000.0
854.410000	1.2E -4	MCY*	-1 CH6	11	CO2 P+4+	9.52 P16	-10	350880.0
853.438120	1.0E -6	VB *	-1+ DY9	33	CO2 N+3+	10.49P10		351276.2
851.900000	1.2E -4	EF *	-3+ RA1/WA		CO2 +3+	9.64P30		351910.0
843.236970	1.0E -6	FAC*	-2 DY8	5	CO2 P+3+	9.49P12		355525.8
835.000000	2.0E -3	FAC*	-1- DY8	22	CO2 P+3+	10.25R20		359000.0
831.130000	1.2E -4	MBB*	+1- CH6MO	31	CO2 P+4+	10.67P28	+10	360700.0
829.000000	5.0E -3	DMEC*	0- ZD	7	CO2 +3+	10.46P06		362000.0
828.000000	2.0E -2	VCY*	-4 RA1	42	CO2 +4-	10.26R18		362000.0
828.000000	2.0E -2	VC *	-3+ RA1	58	CO2 +3+	9.59P24		362000.0
826.944440	1.0E -6	VE *	-2+ DY9	32	CO2 N+3+	10.61P22		362530.4
825.900000	2.0E -3	FAA*	-1 DY8	10	CO2 P+3+	9.49P12		363000.0
819.100000	2.0E -3	FAA*	-3+ DY8	65	CO2 P+3+	10.76P36		366000.0
815.000000	5.0E -3	TRI*	-1- DA2	17	CO2 +3	9.66P32		368000.0
813.757290	1.0E -6	FAA*	-1- DY8	9	CO2 P+3+	9.49P12		368405.3



812.400000	2.0E -3	FAC* -1+	DY8	37	CO2 P+3+	10.44P04	369000.0
806.000000	5.0E -3	DMIA* 0	DH	4	CO2 +3	10.51P12	372000.0
802.400000	2.0E -3	N2H4*-1	DY3	25	CO2 P	10.22R24	373600.0
795.200000	2.0E -3	FAC* -2+	DY8	36	CO2 P+3+	10.44P04	377000.0
795.000000	2.0E -3	N2H4*-1	DY3	24	CO2 N	10.72P32	377100.0
793.000000	2.0E -2	VCY* -4	RA1	41	CO2 +4-	10.13R40	378000.0
792.000000	5.0E -3	DMC* 0+	DH	1	CO2 +3	9.62P28	-35 379000.0
789.839690	1.0E -6	FA * -1	DY8	20	CO2 P+3+	9.19R36	379561.2
789.420400	1.0E -6	FAC* 0+	DY8	21	CO2 P+3+	10.25R20	379762.8
788.919327	1.0E -6	FA13*-1+	DE1	5	CO2 +3+	9.49P12	380004.0
788.481700	2.0E -6	DMI*	DY6	45	CO2 P+3+	10.51P12	380214.9
786.942050	1.0E -6	FA * -1+	DY8	18	CO2 P+3+	9.21R32	380958.8
786.161790	1.0E -6	FA * -1-	DE1RA1		CO2 +3-	9.17R40	381336.9
784.268250	1.0E -6	VB * -1-	DY9	31	CO2 P+3+	10.63P24	382257.6
780.133070	1.0E -6	VB * -1+	DY9	30	CO2 P+3+	10.29P14	384283.8
779.874520	1.0E -6	FAC* -1-	DY8	51	CO2 P+3+	10.65P26	384411.2
775.000000	2.0E -2	VCY* -4	RA1	40	CO2 +3+	10.12R42	387000.0
774.000000	5.0E -3	MAD* -2	DY7	38	CO2 P+3+	9.64 P30	387000.0
767.000000	2.0E -2	DF * -3	RA2		CO2 +3+	10.49P10	391000.0
764.100000	5.0E -3	DF * -1+	BE1	1	CO2 N+3+	10.49P10	392000.0
761.761800	1.0E -6	FAC* -1	DY8	42	CO2 N+3+	10.49P10	393551.5
761.000000	2.0E -2	FA * -3-	RA1	10	CO2 +3+	9.25R24	394000.0
760.000000	5.0E -3	MAD* -1	DY7	63	CO2 P+3+	10.57P18	394000.0
752.748560	1.0E -6	FAB* 0	DY8	10	CO2 P+3+	10.16R34	398263.8
752.680897	1.0E -6	FOB* -1-	DA2	5	CO2 +3	9.21R32	398299.6
750.000000	5.0E -3	TRI* -1-	DA2	16	CO2 +3	10.57P18	400000.0
750.000000	2.0E -2	MCY* -3	RA2		CO2 +3+	9.52P16	400000.0
749.360000	1.3E -4	MBA*()	CH6MO15A		CO2 N+4	10.29R14	-15 400060.0
749.290000	1.3E -4	MBA* 0+	CH6MO	24	CO2 N+4	10.53P14	+5 400100.0
745.000000	5.0E -3	DMI*	DY6	43	CO2 P+3+	10.48P8	402000.0
745.000000	5.0E -3	MAD* -1-	DY7	13	CO2 P+3+	9.24 R26	402000.0
744.050426	2.0E -6	FA * -1+	DA1DY8	9	CO2 P+3	9.25R24	402919.6
742.572357	2.0E -6	FA * 0-	DA1DY8	8	CO2 P+2+	9.17R40	403721.6
741.620000	1.3E -4	MCY* -1+	CH6	6	CO2 N+4-	9.34 R8	+35 404240.0
741.114990	1.0E -6	VB * -2+	DY9	29	CO2 P+3+	10.59P20	404515.5
738.000000	2.0E -2	VCY* -4-	RA1	39	CO2 +4-	10.55P16	406000.0
736.600000	2.0E -3	FAC* -2+	DY8	35	CO2 P+3+	10.44P04	407000.0
735.129800	2.0E -6	DMC* -1	DY6	4	CO2 N+3+	9.44 P6	407808.9
734.262500	2.0E -6	DMI* 0	DY6	35	CO2 P+3+	9.57 P22	408290.6
734.161682	1.2E -6	N2H4*-2	RA2	26	CO2 +3	10.14R38	408346.7
733.574063	1.0E -6	FOB* -1-	DA2	4	CO2 +3	9.66P32	408673.8
733.000000	2.0E -3	FAA* -1	DY8	49	CO2 P+3+	10.15R36	409000.0
730.323500	2.0E -6	DMI* 0	DY6	24	CO2 P+3+	9.23 R28	410492.7
727.949240	1.0E -6	FAA* -1+	DY8	53	CO2 P+3+	10.11R42	411831.6
726.920370	1.0E -6	FAC* 0-	DY8	41	CO2 N+3+	10.49P10	412414.5
724.139970	1.0E -6	VB * -1+	DY9	28	CO2 P+3+	10.53P14	413998.0
722.000000	2.0E -2	VCY* -4-	RA1	38	CO2 +4-	10.84P42	415000.0
722.000000	5.0E -3	MAD* -1-	DY7	65	CO2 N+3+	10.59P20	415000.0
721.000000	2.0E -3	N2H4*-1	DY3	23	CO2 P	10.51P12	415800.0
719.300000	1.4E -4	MI * 0-	CH6	13	CO2 P+4+	10.61P22	+25 416780.0
715.400000	1.4E -4	MBA* 0+	CH6MO	15	CO2 N+4	10.29R14	-15 419060.0
713.720000	7.0E -5	MCY* 0	CH5		CO2 P+4	10.72P32	-40 420040.0
713.105730	1.0E -6	FAB* 0+	DY8	9	CO2 P+3+	10.16R34	420404.0
712.000000	5.0E -3	TRI* -1-	DA2	15	CO2 +3	9.21R32	421000.0
712.000000	2.0E -3	VB * -2-	DY9	27	CO2 P+3+	10.32R10	421100.0
711.000000	5.0E -3	MAD* -1	DY7	24	CO2 P+3+	9.46 P8	422000.0
710.400000	2.0E -3	FAB* -2	DY8	13	CO2 N+3+	10.46P06	422000.0
707.221080	1.0E -6	VB * -1-	DY9	26	CO2 P+3+	10.22R24	423902.1
707.000000	2.0E -2	VC * -2	RA1	57	CO2 +4-	9.54P18	424000.0
705.400000	2.0E -3	FA * -1	DY8	2	CO2 P+3+	9.35R06	425000.0
704.530000	1.4E -4	MCY* -1	CH6	1	CO2 P+4	9.20 R34	-15 425520.0



703.000000	5.0E -3	MAD*	0	DY7	61	C02	N+3+	10.15R36		426000.0
702.000000	5.0E -3	MAD*	0-	DY7	34	C02	P+3+	9.59 P24		427000.0
699.422690	1.2E -6	MA *	-1	PET/CH3		C02	N	9.68P34		428628.5
699.000000	2.0E -2	VC *	-3-	RA1	56	C02	+4-	9.57P22		429000.0
698.555500	2.0E -6	DMC*	0	DY6	3	C02	N+3+	9.44 P6		429160.6
697.455270	1.0E -6	FAB*	-1+	DY8	12	C02	P+3+	10.15R36		429837.6
696.000000	5.0E -3	TRI*	-1-	DA2	14	C02	+3	9.29R16		431000.0
695.672060	1.0E -6	FAA*	0-	DY8	48	C02	P+3+	10.15R36		430939.4
695.000000	2.0E -3	MA *		HEN1		C02	P+4	10.27R16	0	431400.0
695.000000	5.0E -3	MAD*	0	DY7	25	C02	P+3+	9.47 P10		431000.0
694.170000	3.0E -4	MA *		HEN1		C02	P+4	9.59P24	0	431900.0
694.000000	4.0E -3	MA *	-2	TA2	4	C02	+3+	10.27R16		432000.0
693.139730	1.0E -6	VB *	0	DY9	25	C02	P+3+	10.27R16		432513.8
692.400000	2.0E -3	FAA*	-1-	DY8	32	C02	N+3+	10.30R12		433000.0
691.119300	2.0E -6	DMI*	-1	DY6	29	C02	P+3+	9.27 R20		433778.2
690.000000	5.0E -3	DMIA*	+1-	DH	3	C02	+3	10.49P10		434000.0
689.998230	1.0E -6	FAA*	0+	DY8	42	C02	P+3+	10.21R26		434483.0
685.000000	5.0E -3	MAD*	-1	DY7	58	C02	P+3+	10.16R34		438000.0
680.541540	1.0E -6	VB *	0+	DY9	24	C02	P+3+	10.27R16		440520.5
680.000000	5.0E -3	MAD*	-2+	DY7	21	C02	P+3+	9.44 P6		441000.0
680.000000	5.0E -3	TRI*	-1-	DA2	13	C02	+3	10.74P34		441000.0
675.290000	1.5E -4	MAC*	0-	CH6	7	C02	P+4+	9.73 P40	0	443950.0
670.990000	1.5E -4	MI *	0	CH6	15	C02	P+4+	10.67P28	+20	446790.0
670.114400	2.0E -6	DMI*		DY6	42	C02	P+3+	10.33R8		447375.1
670.094100	2.0E -6	DMI*		DY6	41	C02	P+3+	10.33R8		447388.7
669.530892	1.5E -6	FA *	-1+	DA1DY8	7	C02	P+3	9.22R30		447765.0
667.700000	2.0E -3	FAA*	-1	DY8	7	C02	P+3+	9.17R40		449000.0
667.232300	2.0E -6	DMI*		DY6	44	C02	P+3+	10.49P10		449307.5
666.200000	2.0E -3	FAC*	-1	DY8	53	C02	P+3+	10.70P30		450000.0
662.815621	2.2E -6	DF *	-1	RA2DY147		C02	P+3+	10.63P24		452301.5
660.700000	1.5E -4	MBR*	+1+	CH6	13	C02	N+4	10.25R20	+25	453750.0
660.582300	2.0E -6	DMI*		DY6	54	C02	P+3+	10.88P46		453830.7
660.300000	2.0E -3	FAA*	-1-	DY8	31	C02	N+3+	10.30R12		454000.0
660.000000	2.0E -2	EF *	-3	RA2		C02	+4-	9.29R16		454000.0
658.530000	1.5E -4	MBB*	+1-	CH6MO	5	C02	P+4	9.90P56	0	455250.0
657.400000	2.0E -3	FAA*	-1-	DY8	14	C02	P+3+	9.57P22		456000.0
652.680000	1.5E -4	MCY*	-1+	CH6RA115		C02	P+4+	9.64 P30	-15	459330.0
649.425550	1.0E -6	VB *	0+	DY9	23	C02	P+3+	10.57P18		461627.2
648.000000	5.0E -3	MAD*	0	DY7	43	C02	P+3+	10.33R8		463000.0
647.890000	7.7E -5	MAC*	+1	CH5		C02	P	10.53P14	0	462720.0
647.348580	1.0E -6	FAB*	-2+	DY8	11	C02	P+3+	10.18R30		463108.3
646.000000	2.0E -3	VB *	-2+	DY9	22	C02	N+3+	10.21R26		464100.0
646.000000	5.0E -3	MAD*	0	DY7	60	C02	N+3+	10.15R36		464000.0
644.700000	2.0E -3	FAC*	-1-	DY8	26	C02	X+3+	10.22R24		465000.0
644.000000	5.0E -3	DMI*		DY6	46	C02	N+3+	10.55P16		466000.0
640.000000	5.0E -3	DMI*		DY6	40	C02	N+3+	10.26R18		468000.0
639.730000	1.6E -4	MI *	-1+	CH6	5	C02	P+4+	9.44 P6	+20	468620.0
639.128250	1.0E -6	FAB*	0	DY8	14	C02	N+3+	10.48P08		469064.7
638.000000	2.0E -2	VC *	-3+	RA1	55	C02	+3+	10.46P06		470000.0
635.354840	1.0E -6	VB *	0	DY9	21	C02	N+3+	10.21R26		471850.5
634.471007	2.1E -6	VC *	0	RA2CH337		C02	P+3-	9.55P20		472507.8
632.000000	1.6E -4	MBR*	-2+	CH6	27	C02	N+4	10.61P22	0	474360.0
631.930000	1.6E -4	MBR*	-3+	CH6	25	C02	P+5-	10.55P16	+20	474410.0
631.000000	5.0E -3	DMEC*	0-	ZD	6	C02	+3+	10.26R18		475000.0
631.000000	2.0E -2	VCY*	-4	RA1	37	C02	+4-	10.35R06		475000.0
630.166210	1.0E -6	FAA*	0-	DY8	29	C02	N+3+	10.32R10		475735.6
629.844300	5.0E -7	MA13*		HEN2PE2		C02	P+4	9.49P12	+25	475978.7
624.095870	1.0E -6	VB *	0-	DY9	20	C02	P+3+	10.26R18		480362.9
623.000000	2.0E -2	VCY*	-4	RA1	36	C02	+4	10.30R12		481000.0
620.400000	1.6E -4	EF *	-3	RA1/WA		C02	+3+	9.57P22		483220.0
619.000000	5.0E -3	TRI*	-1-	DA2	12	C02	+3	10.23R22		484000.0



618.446250	1.0E -6	VB *	-1	DY9	19	CO2	P+3+	10.18R30		484751.1
616.000000	5.0E -3	MAD1*	0+	ZD	37	CO2	+3+	9.60P26		487000.0
614.920000	3.0E -4	MA *		HEN1		CO2	P+4	9.59P24	0	487500.0
614.109900	2.0E -6	DMI*	+1	DY6	39	CO2	P+3+	10.23R22		488174.0
603.060000	3.0E -4	MA *	-1	HEN1DY2		CO2	P	9.59P24	0	497100.0
601.897369	2.0E -6	VC *	-2+	RA2RA136		CO2	+3	10.79P38		498079.1
599.549900	2.0E -6	DMI*	+1	DY6	38	CO2	P+3+	10.23R22		500029.0
599.000000	5.0E -3	MAD*	-1	DY7	46	CO2	P+3+	10.27R16		500000.0
594.728680	1.0E -6	VB *	-1-	DY9	18	CO2	N+3+	10.72P32		504082.8
593.600000	2.0E -3	FAA*	-1	DY8	5	CO2	N+3+	9.22R30		505000.0
593.505838	2.0E -6	EF *	-2	RA2RA141		CO2	+3	9.69P36		505121.0
592.500000	2.0E -3	FAC*	-1+	DY8	46	CO2	N+3+	10.57P18		506000.0
591.615820	1.0E -6	FAC*	0	DY8	28	CO2	P+3+	10.21R26		506735.1
590.100000	2.0E -3	FAA*	-1	DY8	57	CO2	P+3+	10.53P14		508000.0
586.600000	2.0E -3	VCY*	-1	DY1	10	CO2	P	10.59P20		511000.0
585.720000	1.7E -4	MBB*	+1-	CH6MO	4	CO2	P+4-	9.73 P40	+25	511840.0
584.000000	2.0E -3	VCY*	-1	DY1	11	CO2	N	10.51P12		513000.0
583.870000	1.7E -4	MI *	-1	CH6	3	CO2	P+4-	9.42 P4	0	513460.0
583.770000	1.7E -4	MAC*	-2-	CH6	6	CO2	P+4	9.55 P20	-15	513550.0
583.000000	5.0E -3	MAD*	0	DY7	10	CO2	P+3+	9.26 R22		514000.0
582.553690	1.0E -6	FAA*	-1+	DY8	13	CO2	N+3+	9.54P18		514617.8
580.801080	1.0E -6	FA *	0	DY8	30	CO2	N+3+	9.71P38		516170.7
580.387297	1.0E -6	FA *	-1-	DE1		CO2	+3+	9.26R22		516538.7
578.900000	1.7E -4	MI *	0	CH6	8	CO2	P+5-	10.16R34	-30	517870.0
578.000000	2.0E -2	VCY*	-3	RA1	35	CO2	+3+	10.29R14		520000.0
576.170000	1.7E -4	MI *	0+	CH6	11	CO2	P+ +	10.55P16	-30	520320.0
574.400000	2.0E -3	VCY*	-1	DY1	12	CO2	N	10.27R16		522000.0
570.568730	9.6E -7	MA *	0+	PET/CH3		CO2	P	9.52P16		525427.5
569.477400	2.0E -6	DMI*		DY6	52	CO2	P+3+	10.76P36		526434.0
568.810000	1.8E -4	MC *	-2+	CH6	14	CO2	P+5-	10.21R26	+5	527050.0
568.000000	3.0E -2	DF *	-1	HO1	10	CO2	+3	10.63P24		530000.0
567.945978	1.9E -6	VC *	-2	RA2RA135		CO2	+3	10.55P16		527854.0
567.868410	1.0E -6	FAC*	+1-	DY8	27	CO2	P+3+	10.21R26		527926.0
567.106580	1.0E -6	FAA*	0	DY8	56	CO2	P+3+	10.53P14		528635.2
566.440000	1.8E -4	MAC*	0-	CH6	5	CO2	P+5-	9.54 P18	+25	529260.0
564.680000	1.8E -4	MBB*()		CH6MO32A		CO2	+3+	10.79P38	-5	530910.0
561.410000	1.8E -4	MCY*	-1+	CH6	7	CO2	P+4+	9.34 R8	+40	534000.0
561.293970	1.0E -6	FAC*	0+	DY8	47	CO2	N+3+	10.59P20		534109.6
556.875600	2.0E -6	DMI*		DY6	51	CO2	P+3+	10.76P36		538347.0
554.365310	3.7E -6	DF *	0	RA2DY146		CO2	N+3+	10.53P14		540785.0
554.000000	5.0E -3	MAD*	0-	DY7	17	CO2	P+3+	9.21 R32		541000.0
553.696310	1.0E -6	VB *	-1+	DY9	17	CO2	N+3	10.81P40		541438.5
553.000000	5.0E -3	MAD*	0+	DY7	42	CO2	P+3+	10.33R8		542000.0
553.000000	5.0E -3	MAD*	+1-	DY7	5	CO2	P+3+	9.31 R14		542000.0
551.000000	5.0E -3	MAD*	-1+	DY7	33	CO2	N+3+	9.57 P22		544000.0
550.000000	2.0E -3	VCY*	-1	DY1	13	CO2	P	10.53P14		545000.0
545.390000	1.8E -4	MBR*	+1	CH6	10	CO2	P+4-	10.17R32	+20	549680.0
545.210000	1.8E -4	MBB*	+1	CH6MO	32	CO2	P+3+	10.79P38	-5	549870.0
542.990000	1.8E -4	MI *	-3+	CH6	14	CO2	P+4	10.65P26	+10	552110.0
540.000000	5.0E -3	DMI*	-1	DY6	32	CO2	N+3+	9.35 R6		555000.0
538.000000	2.0E -2	VC *	-4	RA1	52	CO2	+4-	10.37R04		560000.0
534.800000	2.0E -3	FA *	-1+	DY5	18	CO2	+3+	9.2 R24		561000.0
534.500000	2.0E -3	FA *	-2+	DY5	17	CO2	+3+	9.54P18		561000.0
533.700710	1.0E -6	FA *	0	DY8	16	CO2	P+3+	9.23R28		561724.0
533.678390	1.0E -6	FA *	0	DY8	25	CO2	P+3+	9.52P16		561747.5
533.655113	9.0E -6	N2H4*	0	RA2DY325		CO2	N	10.33R08		561772.0
533.000000	3.0E -2	DFE*	-1	HO1	12	CO2	+3	10.59P20		560000.0
532.000000	2.0E -2	VC *	-3	RA1	51	CO2	+4-	9.52P16		560000.0
531.080000	1.9E -4	MAC*	-2-	CH6	3	CO2	P+4	9.44 P6	0	564500.0
531.060000	1.9E -4	MBR*	+1-	CH6	28	CO2	P+4+	10.63P24	-5	564500.0
530.600000	2.0E -3	FAA*	-2+	DY8	23	CO2	P+3+	9.73P40		565000.0



529.280000	1.9E -4	MI * +1-	CH6	17	C02 P+4+	10.76P36	0	566400.0
528.496600	1.0E -6	VB * -1+	DY9	16	C02 N+3	10.13R40		567255.3
527.873029	1.8E -6	N2H4*-2	RA2	24	C02 +3	9.49P12		567925.0
527.214660	1.0E -6	FAC* 0+	DY8	56	C02 P+3+	10.74P34		568634.6
526.485720	1.0E -6	FAC* 0+	DY8	55	C02 P+3+	10.74P34		569421.9
525.320000	1.9E -4	MI * -1	CH6	4	C02 P+4-	9.42 P4	-25	570700.0
523.406200	2.0E -6	DMI*	DY6	53	C02 P+3+	10.79P38		572772.0
523.000000	2.0E -2	DF * -2	RA1	8	C02 +4-	10.55P16		570000.0
520.000000	5.0E -3	DMEC* 0-	ZD	5	C02 +3+	10.30R12		577000.0
519.303300	2.0E -6	DMC* 0	DY6	13	C02 P+3+	9.69 P36		577298.0
519.075281	2.6E -6	EF * -2	RA2RA1	40	C02 +3+	9.37R04		577551.0
519.000000	2.0E -2	VC * -3-	RA1	50	C02 +4-	10.74P34		580000.0
518.000000	5.0E -3	MAD2* 0-	ZD	18	C02 +3+	9.64P30		579000.0
517.330000	1.9E -4	MI * 0-	CH6	10	C02 P+5-	10.53P14	+30	579500.0
517.000000	5.0E -3	MAD* -1	DY7	70	C02 P+3+	10.84P42		580000.0
516.770000	1.9E -4	MAC* -2-	CH6	2	C02 P+4+	9.32 R12	+35	580100.0
515.169620	1.0E -6	FA * 0	DY8	24	C02 N+3+	9.52P16		581929.7
514.950780	1.0E -6	FAC* 0+	DY8	54	C02 P+3+	10.74P34		582177.0
513.015750	1.0E -6	FA * +1-	DY8	15	C02 P+3+	9.23R28		584372.9
513.002316	1.5E -6	FA * 0	DA1DY8	6	C02 P+3-	9.23R28		584388.2
512.000000	5.0E -3	TRI* -1-	DA2	11	C02 +3	10.81P40		586000.0
511.900000	2.0E -4	MC * -1-	CH6	12	C02 N+4-	10.07R52	0	585600.0
511.500000	5.0E -3	DFM* -2	DW3	1	C02 N+3+	9.23R28		586000.0
510.160000	2.0E -4	MCY*(-1)	CH6	8A	C02 N+4-	9.44 P6	-10	587600.0
508.791210	1.0E -6	FAC* 0	DY8	39	C02 N+3+	10.48P08		589225.0
508.480000	2.0E -4	MBR* 0+	CH6	9	C02 P+4-	10.11R42	+30	589600.0
508.370000	2.0E -4	MI * +1	CH6	7	C02 P+4	9.68 P34	0	589700.0
508.100000	2.0E -3	FAC* -2	DY8	30	C02 P+3+	10.19R28		590000.0
508.000000	5.0E -3	MAD* -1	DY7	23	C02 P+3+	9.46 P8		590000.0
507.584067	1.7E -6	VC * 0	RA2CH3	334	C02 N+3+	10.61P22		590626.0
506.000000	2.0E -3	VB * -1	DY9	15	C02 P+3	10.14R38		592000.0
503.000000	2.0E -2	VCY* -4-	RA1	34	C02 +4	9.32R12		600000.0
502.262415	1.7E -6	EF * -2	RA2RA1	139	C02 +3	9.25R24		596884.0
498.000000	2.0E -3	FAA* -1-	DY8	24	C02 P+3+	9.77P44		602000.0
498.000000	2.0E -3	DMA* -1	DY2	32	C02 P	9.66P32		602000.0
498.000000	5.0E -3	MAD* -1	DW2	16	C02 P+3+	10.16R34		602000.0
496.101009	8.0E -7	MF * 0+	KW1CH5	6	C02 N+3-	9.55P20	+44	604297.3
496.072000	5.0E -6	MF * 0	CH2,3	2	C02 N	9.55P20	-50	604333.0
495.000000	6.0E -3	MA * -2	TA2	2	C02 +3+	10.37R04		606000.0
495.000000	5.0E -3	MAD* 0-	DY7	47	C02 P+3+	10.26R18		606000.0
494.646122	1.6E -6	MCY* +1-	RA2,1CH6		C02 N+3	9.44P06	-10	606074.7
493.156260	1.0E -6	FAA* -1+	DY8	52	C02 P+3+	10.13R40		607905.7
491.890660	1.0E -6	FAC* 0	DY8	38	C02 N+3+	10.48P08		609469.8
490.391000	2.0E -6	DMI* +1	DY6	28	C02 P+3+	9.26 R22		611334.0
490.083010	1.0E -6	VB * 0-	DY9	14	C02 P+3+	10.55P16		611717.8
489.000000	2.0E -2	VCY* -4-	RA1	33	C02 +4-	10.48P08		610000.0
487.226100	2.0E -6	DMI* 0	DY6	33	C02 P+3+	9.47 P10		615305.0
487.000000	2.0E -2	VC * -4-	RA1	49	C02 +4-	9.47P10		620000.0
486.100000	2.0E -3	MA * +1-	WE1	4	CO2S +3+	9.68P31		617000.0
486.000000	2.0E -2	EF * -2-	RA1	19	C02 +3+	9.25R24		620000.0
483.500000	2.0E -3	N2H4* 0	DY3	21	C02 P	9.55P20		620000.0
483.000000	5.0E -3	MAD2* -1+	ZD	17	C02 +3+	9.44P06		621000.0
483.000000	5.0E -3	MAD* -1	DY7	68	C02 P+3+	10.65P26		621000.0
483.000000	5.0E -3	MAD* 0-	DY7	11	C02 P+3+	9.26 R22		621000.0
482.961570	1.0E -6	VB * -1+	DY9	13	C02 N+3+	10.65P26		620737.8
480.310200	2.0E -6	DMC* 0	DY6	12	C02 N+3+	9.69 P36		624164.0
480.010000	2.1E -4	MCY*(-1)	CH6	3B	C02 N+4-	9.29 R16	0	624600.0
480.000000	5.0E -3	MAD* -2+	DY7	29	C02 N+3+	9.52 P16		625000.0
480.000000	5.0E -3	FA13* -1-	DE1	4	C02 +3+	10.09R46		625000.0
479.904040	1.0E -6	FAB* 0	DY8	16	C02 P+3+	10.53P14		624692.6
478.900000	2.0E -3	FAC* -2+	DY8	10	C02 P+3+	10.37R04		626000.0



477.870000	2.1E -4	MI * -2+	CH6	6	C02 P+5-	9.60 P26	+10	627400.0
477.400000	2.0E -3	FAA* -2+	DY8	11	C02 P+3+	9.50P14		628000.0
472.900000	2.0E -3	FAA* -1	DY8	6	C02 N+3+	9.18R38		634000.0
472.100000	2.0E -3	FAA* 0	DY8	59	C02 P+3+	10.55P16		635000.0
472.000000	5.0E -3	MAD* -2+	DY7	7	C02 P+3+	9.29 R16		635000.0
469.200000	2.0E -3	FAC* -1	DY8	43	C02 N+3+	10.51P12		639000.0
469.023350	7.8E -7	MA * -1+	PET/RA1		C02 +3	10.14R38		639184.6
469.000000	5.0E -3	DMEC*-1+	ZD	4	C02 +3+	10.37R04		639000.0
468.000000	5.0E -3	MAD1* 0-	ZD	36	C02 +3+	9.60P26		641000.0
466.546180	1.0E -6	FAB* 0-	DY8	15	C02 N+3+	10.53P14		642578.4
466.250000	2.1E -4	MCY*(0-)	CH6	3A	C02 N+4-	9.29 R16	0	643000.0
464.756800	2.0E -6	DMC* +1	DY6	17	C02 P+3+	10.25R20		645052.0
464.300000	2.0E -3	DF * -1	DY1	4	C02 P	10.25R20		646000.0
461.384800	5.0E -7	MA13* 0+	HEN2PE2		C02 N+4	9.49P12	-20	649766.7
461.261100	1.0E -6	FAA* +1	DY8	58	C02 P+3+	10.55P16		649941.0
461.200000	2.2E -4	MC * -2+	CH6	1	C02 N+3+	9.17 R42	-25	650000.0
461.071901	1.5E -6	N2H4*-1	RA2DY323		C02 N+3	10.55P16		650207.7
460.562000	2.0E -6	DMI* +1	DY6	30	C02 N+3+	9.32 R12		650928.0
460.000000	5.0E -3	TRI* -1-	DA2	10	C02 +3	9.27R22		652000.0
459.180000	2.2E -4	MI * -1+	CH6	9	C02 N+5-	10.47P8	0	652900.0
458.522975	1.5E -6	FA * 0-	DA1DY8	5	C02 N+3-	9.18R38		653822.2
458.000000	3.0E -2	DFE* -1	HO1	11	C02 +3	10.59P20		650000.0
458.000000	2.0E -3	DF * -1	DY1	3	C02 P	10.70P30		655000.0
457.341050	1.0E -6	FAC* -1+	DY8	52	C02 P+3+	10.70P30		655511.9
457.250000	2.2E -4	MI *()	CH6	12A	C02 P+3	10.57P18	0	655600.0
455.000000	5.0E -3	MAD* -1+	DY7	30	C02 P+3+	9.54 P18		659000.0
453.397496	1.5E -6	MCY* 0	RA2,1CH6		C02 N+3+	9.29R16	0	661213.4
452.200000	2.0E -3	FAC* -1	DY8	13	C02 P+3+	10.32R10		663000.0
452.000000	2.0E -2	EF * -3	RA2		C02 +3+	9.26R22		660000.0
450.979970	1.0E -6	FAA* 0-	DY8	55	C02 N+3+	10.51P12		664757.9
450.100000	2.0E -3	FAA* -1	DY8	41	C02 N+3+	10.21R26		666000.0
449.799800	2.0E -6	DMC* +1	DY6	18	C02 P+3+	10.25R20		666502.0
448.533597	1.0E -6	FA13*-1+	DE1	3	C02 +3+	9.26R22		668383.6
447.142200	2.0E -6	MI * +1+	DY6CH6		C02 P+3	10.57P18	0	670463.0
446.873090	1.0E -6	FA * -1+	DY8	5	C02 P+3+	9.29R16		670867.2
446.800000	2.0E -3	FAA* -3+	DY8	16	C02 P+3+	9.62P28		671000.0
446.505501	7.0E -7	FA * -1	RA2DY5	8	C02 +3+	9.26R22		671419.5
445.899630	1.0E -6	FA * -1+	DY8	10	C02 P+3+	9.27R20		672331.8
445.000000	2.0E -2	VC * -3	RA1	48	C02 +4-	10.26R18		670000.0
445.000000	2.0E -3	VB * -1+	DY9	12	C02 N+3+	10.61P22		674000.0
444.800000	2.0E -3	FA * -1+	DY8	34	C02 N+3+	10.53P14		674000.0
444.386300	2.0E -6	DMI* +1	DY6	23	C02 N+3+	9.21 R32		674621.0
443.500000	2.0E -3	VB * -1+	DY9	11	C02 N+3+	10.63P24		676000.0
443.264600	2.0E -6	DMC* +1	DY6	5	C02 P+3+	9.47 P10		676329.0
442.800000	2.0E -3	FAC* -1-	DY8	44	C02 N+3+	10.53P14		677000.0
442.167850	1.5E -6	VC * -2	RA2	33	C02 +3	10.55P16		678006.0
441.150000	2.3E -4	MCY*(-1)	CH6	3C	C02 N+4-	9.29 R16	0	679600.0
438.506930	1.0E -6	VB * -1+	DY9	10	C02 P+3+	10.67P28		683666.5
437.451100	1.0E -6	FA * -1+	DY8	23	C02 N+3+	9.52P16		685316.6
435.771895	7.0E -7	N2H4* 0	RA2DY322		C02 N+3+	10.63P24		687957.4
435.000000	5.0E -3	MAD* -3	GW1		C02 N+3+	9.62P28		689000.0
433.235360	1.0E -6	FAB* 0-	DY8	3	C02 N+3+	10.29R14		691985.3
433.200000	2.0E -3	FAA* -2+	DY8	36	C02 P+3+	10.27R16		692000.0
433.200000	2.0E -3	FAB* -2+	DY8	17	C02 P+3+	10.55P16		692000.0
433.103700	2.0E -6	DMI* -1	DY6	37	C02 P+3+	9.62 P28		692196.0
433.000000	5.0E -3	TRI* -1-	DA2	9	C02 +3	10.86P44		692000.0
432.666570	1.0E -6	FA * 0+	DY8	9	C02 P+3+	9.27R20		692895.0
432.631350	3.0E -7	FA * 0+	KW1DY8	1	C02 P+3	9.27R20		692951.4
432.400000	5.0E -3	DFM* -1	DW3	12	C02 N+3+	9.35R06		693000.0
432.109420	1.0E -6	FA * 0	DA3DY8		C02 P+3+	9.26R22		693788.4
430.550000	1.2E -4	MCY* -1	CH5		C02 P+4	10.57P18	-15	696300.0



430.438070	1.0E -6	FAA*	0	DY8	54	CO2 P+3+	10.46P06		696482.3
429.689850	1.0E -6	FAA*	0	DY8	60	CO2 P+3+	10.63P24		697695.1
428.870000	2.3E -4	MAC*	-2	CH6	1	CO2 P+4	9.18 R38	+35	699000.0
427.040000	2.3E -4	MCY*	-2+	CH6	14	CO2 N+4	9.60 P26	+15	702000.0
427.000000	2.0E -3	VB *	-2-	DY9	9	CO2 P+3+	10.22R24		702000.0
426.000000	5.0E -3	MAD2*	0-	ZD	16	CO2 +3+	10.14R38		704000.0
425.200000	2.0E -3	FAC*	0-	DY8	45	CO2 N+3+	10.57P18		705000.0
424.000000	2.0E -2	VC *	-3+	RA1	47	CO2 +4-	10.20R28		710000.0
424.000000	2.0E -3	VB *	-1+	DY9	8	CO2 P+3+	10.59P20		707000.0
422.780000	2.4E -4	MBR*	-2	CH6	12	CO2 P+5-	10.21R26	+50	709100.0
422.000000	5.0E -3	MAD*	0-	DY7	32	CO2 P+3+	9.55 P20		710000.0
421.000000	5.0E -3	MAD*	0-	DY7	55	CO2 N+3+	10.17R32		712000.0
420.391110	1.0E -6	FA *	-1+	DY8	3	CO2 P+3+	9.34R08		713127.6
419.000000	2.0E -3	VB *	-2+	DY9	7	CO2 P+3+	10.17R32		715000.0
418.711860	5.0E -7	MAD*	+1-	PE2DY7		CO2 N+3+	10.15R36		715987.6
418.612935	1.0E -6	FA *	0+	DA1DY8	3	CO2 P+3-	9.26R22		716156.8
418.310000	2.4E -4	MBR*	0-	CH6	29	CO2 P+4+	10.65P26	+10	716700.0
418.100000	2.0E -3	FA *	-1-	DY8	12	CO2 P+3+	9.25R24		717000.0
417.800000	1.2E -4	MA *	(0)	CH3	17	CO2 N	9.69P36		717550.0
417.100000	5.0E -3	DMA*	-1+	BE1	2	CO2 N+3+	9.44P06		719000.0
417.000000	2.0E -3	FAA*	0	DY8	4	CO2 P+3+	9.26R22		719000.0
417.000000	5.0E -3	DFM*	-2	DW3	9	CO2 P+3+	9.32R12		719000.0
416.522400	1.0E -6	MA *	-2	HEN1TA2		CO2 +3	9.50 P14	-15	719751.2
416.000000	2.0E -3	VB *	-1	DY9	6	CO2 N+3+	10.23R22		721000.0
415.200000	2.0E -3	FAC*	-1	DY8	17	CO2 P+3+	10.29P14		722000.0
414.980000	2.4E -4	MBA*	+1+	CH6MO	20	CO2 P+4	10.38R2	+45	722400.0
414.100000	2.0E -3	FAC*	-1+	DY8	57	CO2 P+3+	10.86P44		724000.0
412.000000	5.0E -3	MAD*	-1	DY7	44	CO2 P+3+	10.30R12		728000.0
411.200000	2.0E -3	FAA*	-1	DY8	22	CO2 P+3+	9.73P40		729000.0
411.000000	2.0E -3	VB *	-2+	DY9	5	CO2 P+3+	10.21R26		729000.0
410.000000	5.0E -3	MAD*	-1+	DY7	40	CO2 P+3+	9.66 P32		731000.0
409.000000	5.0E -3	MAD*	-1-	DY7	18	CO2 N+3+	9.20 R34		733000.0
407.720000	2.5E -4	MBR*	-2	CH6	2	CO2 P+5-	9.62 P28	-40	735300.0
407.293784	1.4E -6	DF *	-1	RA2HO145		CO2 P+3+	10.53P14		736060.0
407.000000	5.0E -3	MAD*	-1+	DY7	20	CO2 P+3+	9.16 R44		737000.0
406.000000	2.0E -2	DME*	OL	KON	5	CO2 N+3	10.30R12		740000.0
405.584846	9.5E -7	FA *	0	RA2DY8	5	CO2 P+3-	9.28R18		739161.0
405.504475	1.4E -6	EF *	-2	RA2RA138		CO2 +3	9.22R30		739308.0
405.000000	2.0E -3	FA *	-1+	DY5,8	8	CO2 P+3+	9.60P26		740000.0
404.000000	2.5E -3	EF *	-3-	RA1/WA		CO2 +4-	9.68P34		742000.0
404.000000	2.0E -3	FA *	-1+	DY8	33	CO2 N+3+	10.11R42		742000.0
398.100000	2.0E -3	FAA*	-1-	DY8	39	CO2 P+3+	10.23R22		753000.0
398.000000	5.0E -3	MAD*	0-	DY7	52	CO2 P+3+	10.19R28		753000.0
397.100000	2.0E -3	FAC*	0-	DY8	23	CO2 P+3+	10.23R22		755000.0
396.000000	2.0E -3	FAC*	0	DY8	20	CO2 P+3+	10.25R20		757000.0
396.000000	2.0E -3	VB *	-2+	DY9	4	CO2 P+3+	9.68P34		757000.0
396.000000	1.0E -2	EA *	-2	JEN	1	CO2 +4	9 P32		757000.0
396.000000	5.0E -3	MAD1*	-1-	ZD	35	CO2 +3+	9.54P18		757000.0
395.712440	1.0E -6	FAA*	0+	DY8	30	CO2 N+3+	10.30R12		757601.9
395.148830	1.0E -6	FAC*	0	DY8	12	CO2 P+3+	10.32R10		758682.5
395.000000	2.0E -3	FAA*	-1	DY8	8	CO2 P+3+	9.47P10		759000.0
395.000000	2.0E -3	FAA*	-1	DY8	12	CO2 P+3+	9.52P16		759000.0
394.200000	2.0E -3	FA *	0+	DY5	7	CO2 +3+	9.29R16		761000.0
393.631131	4.0E -7	FA *	0+	KW1DA1	2	CO2 P+3	9.28R18		761607.7
392.900000	2.0E -3	FAA*	-1+	DY8	2	CO2 P+3+	9.29R16		763000.0
392.480000	2.5E -4	MI *	-2+	CH6	2	CO2 P+4+	9.30 R14	+5	763800.0
392.068791	6.6E -7	MA *	+1-	PETCH3T3		CO2 N+2+	9.69P36		764642.6
391.688700	1.0E -6	FAA*	-1+	DY8	50	CO2 N+3+	10.14R38		765384.6
390.530000	2.6E -4	MI *	0+	CH6	19	CO2 P+4	10.84P42	+25	767700.0
390.100000	2.0E -3	MA *	0-	WE1	5	CO2S +3+	9.52P13		769000.0
390.000000	5.0E -3	DMI*	-2	DY6	36	CO2 P+3+	9.60 P26		769000.0



389.907030	1.0E -6	FAC*	0	DY8	14	C02 P+3+	10.30R12		768882.0
388.390000	2.6E -4	MCY*	-2-	CH6	13	C02 P+5-	9.57 P22	+30	771900.0
387.800000	2.0E -3	FAA*	-1+	DY8	25	C02 N+3+	10.37R04		773000.0
387.310000	2.6E -4	MCY*	0-	CH6RA1	5	C02 N+4	9.32 R12	+15	774000.0
386.410000	2.6E -4	MCY*	-3+	CH6	18	C02 P+4+	9.79 P46	-15	775800.0
386.200000	3.0E -4	MA *		HEN1		C02 N+4	9.50P14	-15	776300.0
386.000000	5.0E -3	MAD*	0-	DY7	28	C02 N+3+	9.52 P16		777000.0
385.909273	1.3E -6	VC *	0-	RA2CH3	332	C02 N+3	10.61P22		776847.0
385.000000	5.0E -3	MAD*	-2	DY7	37	C02 N+3+	9.64 P30		779000.0
384.000000	5.0E -3	TRI*	-1-	DA2	8	C02	+3 9.22R30		781000.0
383.284600	2.0E -6	DMC*	+1	DY6	2	C02 P+3+	9.20 R34		782167.0
380.565420	1.0E -6	FAC*	+1	DY8	15	C02 P+3+	10.30R12		787755.5
380.020000	2.6E -4	MBR*	+1-	CH6	14	C02 N+4	10.26R18	+50	788900.0
378.570000	2.6E -4	MC *	-1+	CH6	3	C02 N+4+	9.29 R16	+50	791900.0
377.450000	2.6E -4	MI *	+1-	CH6DY4	1	C02 P+4	9.29 R16	+5	794300.0
375.544948	1.3E -6	DF *	0	RA2DY144		C02 P+3+	10.51P12		798287.0
375.000000	5.0E -3	NH3A*	-2	DW1	3	C02 P+3	10.11R42		799000.0
374.000000	5.0E -3	MAD1*	0-	ZD	34	C02	+3+ 10.88P46		802000.0
373.800000	2.0E -3	FAA*	-2	DY8	18	C02 P+3+	9.68P34		802000.0
373.000000	2.0E -3	N2H4*	-1	DY3	18	C02 N	10.30R12		804000.0
372.870000	1.3E -4	MCY*	-1+	RA1CH5T3		C02	+3 10.59P20	-30	804000.0
372.680000	1.3E -4	MF *	+1	CH5		C02 P+3	9.84P50	-50	804400.0
372.500000	2.0E -3	N2H4*	-2	DY3	17	C02 N	10.57P18		805000.0
372.000000	2.0E -3	FAA*	-1-	DY8	47	C02 N+3+	10.15R36		806000.0
372.000000	2.0E -3	FAA*	-1	DY8	61	C02 P+3+	10.65P26		806000.0
370.000000	2.0E -3	VB *	-2	DY9	3	C02 P+3+	10.67P28		810000.0
370.000000	5.0E -3	MAD*	0+	DY7	14	C02 P+3+	9.24 R26		810000.0
370.000000	5.0E -3	MAD*	-1+	DY7	36	C02 P+3+	9.62 P28		810000.0
369.967810	1.0E -6	FAA*	0	DY8	43	C02 P+3+	10.19R28		810320.5
369.113762	6.2E -7	MA *	+0+	PET/CH3		C02 P	9.52P16		812195.4
368.861889	6.2E -6	N2H4*	-1	RA2DY321		C02 N	9.28R18		812750.0
366.900000	2.0E -3	FAC*	-1	DY8	1	C02 P+3+	9.37R04		817000.0
365.200000	2.0E -3	FAB*	-2+	DY8	1	C02 P+3+	10.30R12		821000.0
363.000000	5.0E -3	MAD2*	0+	ZD	15	C02	+3+ 10.27R16		826000.0
363.000000	5.0E -3	MAD1*	-1+	ZD	33	C02	+3+ 10.27R16		826000.0
362.100000	2.0E -3	FAB*	-1	DY8	18	C02 P+3+	10.59P20		828000.0
361.200000	2.0E -3	FAA*	0-	DY8	21	C02 P+3+	9.71P38		830000.0
359.900000	2.0E -3	FA *	-1	DY8	19	C02 P+3+	9.20R34		833000.0
358.920000	3.0E -4	MA13*		HEN2		C02 N+4	9.73P40	+35	835300.0
358.200000	2.0E -3	FAA*	-2-	DY8	35	C02 P+3+	10.27R16		837000.0
356.000000	2.0E -3	VB *	-1-	DY9	2	C02 N+3+	10.25R20		842000.0
356.000000	2.0E -3	FAA*	-1+	DY8	63	C02 P+3+	10.70P30		842000.0
355.200000	2.0E -3	FAA*	-1+	DY8	20	C02 P+3+	9.71P38		844000.0
355.000000	5.0E -3	MAD2*	0-	ZD	14	C02	+3+ 10.57P18		844000.0
353.100000	2.0E -3	FAA*	0-	DY8	62	C02 P+3+	10.67P28		849000.0
353.100000	2.0E -3	FAA*	0+	DY8	26	C02 P+3+	10.35R06		849000.0
353.000000	5.0E -3	MAD*	-1+	DY7	1	C02 P+3+	9.35(R6)		849000.0
352.750000	2.8E -4	MBR*	0+	CH6	1	C02 N+4+	9.54 P18	+25	849900.0
352.500000	2.0E -3	DMA*	-1	DY2	31	C02 N	9.64P30		850000.0
352.000000	5.0E -3	MAD*	0	DY7	4	C02 P+3+	9.31 R14		852000.0
352.000000	5.0E -3	MAD*	-1	DY7	15	C02 P+3+	9.23 R28		852000.0
351.900000	2.0E -3	FAC*	0	DY8	16	C02 P+3+	10.29R14		852000.0
351.900000	2.0E -3	FAA*	-1+	DY8	38	C02 P+3+	10.23R22		852000.0
351.000000	2.0E -3	FAA*	-1	DY8	19	C02 P+3+	9.59P36		854000.0
351.000000	5.0E -3	MAD*	-1	DY7	54	C02 N+3+	10.18R30		854000.0
350.200000	2.0E -3	FAC*	0	DY8	34	C02 P+3+	10.13R40		856000.0
350.000000	5.0E -3	MAD*	0-	DY7	39	C02 P+3+	9.66 P32		857000.0
349.340000	2.9E -4	MC *	+1	CH6JEN15		C02 P+3+	10.26R18	-5	858200.0
347.000000	2.0E -3	FAA*	-1	DY8	27	C02 N+3+	10.33R08		864000.0
346.500000	2.0E -3	MA *	-2+	DY2	21	C02 P	9.57P22		865000.0
346.320000	2.9E -4	MCY*	0-	CH6	12	C02 P+4	9.52 P16	-10	865700.0



346.000000	5.0E -3	MAD* -1	GW1		CO2 P+3+	9.31R14		866000.0
346.000000	5.0E -3	MAD2*-1+	ZD 13		CO2 +3+	9.55P20		866000.0
342.000000	5.0E -3	DMEC* 0-	ZD 3		CO2 +3+	10.55P16		877000.0
341.800000	2.0E -3	FAB* -1	DY8 4		CO2 N+3+	10.27R16		877000.0
339.900000	2.0E -3	FAA* -1+	DY8 15		CO2 P+3+	9.62P28		882000.0
339.000000	2.0E -2	DME* OL	KON 8		CO2 N+3	10.37R04		880000.0
338.963800	5.0E -7	MA13*	HEN2PE2		CO2 P+4	9.57P22	+15	884438.1
336.700000	3.0E -4	EF * -3+	RA1/WA		CO2 +4-	9.29R16		890400.0
336.300000	2.0E -3	FA * -1+	DY5,8 5		CO2 P+3+	9.31R14		891000.0
336.000000	5.0E -3	MAD* -2+	DY7 16		CO2 N+3+	9.21 R32		892000.0
336.000000	5.0E -3	MAD* -1	DY7 53		CO2 P+3+	10.18R30		892000.0
336.000000	2.0E -3	N2H4*-1	DY3 15		CO2 N	10.63P24		892000.0
335.708770	1.0E -6	FAC* 0-	DY8 2		CO2 P+3+	9.34R08		893013.6
333.960000	3.0E -4	MC * +2-	CH6 9		CO2 N+3	9.75 P42	+40	897700.0
333.150000	3.0E -4	MBR* -2	CH6 22		CO2 P+5-	10.48P8	+35	899900.0
332.860000	3.0E -4	MBR* 0-	CH6 18		CO2 N+4	10.35R6	0	900700.0
332.603430	5.0E -7	MA13*	PE2		CO2	10.27R16		901351.2
331.669450	1.1E -6	N2H4*-1	RA2DY320		CO2 N+3+	9.49P12		903889.4
331.500000	2.0E -3	N2H4*-2	DY3 13		CO2 P	9.64P30		904000.0
330.000000	5.0E -3	DMA* -1+	BE1 3		CO2 N+3+	9.37R04		908000.0
328.457040	1.0E -6	FAB* 0	DY8 19		CO2 P+3+	10.61P22		912729.7
327.000000	2.0E -3	N2H4*-1	DY3 12		CO2 P	9.26R22		917000.0
326.100000	5.0E -3	DFM* -2	DW3 6		CO2 N+3+	9.31R14		919000.0
325.900000	2.0E -3	FAA* -1-	DY8 44		CO2 P+3+	10.18R30		920000.0
325.200000	2.0E -3	FAC* -2+	DY8 29		CO2 P+3+	10.19R28		922000.0
325.170000	3.0E -4	MA13*	HEN2		CO2 P+4	9.69P36	-20	922000.0
324.100000	2.0E -3	FAA* -1-	DY8 28		CO2 P+3+	10.32R10		925000.0
323.050000	2.0E -3	FAC* 0-	DY8 31		CO2 P+3+	10.18R30		928000.0
322.000000	5.0E -3	MAD1* 0-	ZD 32		CO2 +3+	9.49P12		931000.0
321.000000	5.0E -3	MAD* -1-	DY7 6		CO2 N+3+	9.29 R16		934000.0
320.000000	2.0E -3	DMA* -1	DY2 30		CO2 P	9.64P30		937000.0
319.900000	2.0E -3	FA * -2+	DY8 32		CO2 P+3+	10.22R24		937000.0
318.000000	5.0E -3	DMC* -1	DY6 19		CO2 P+3+	10.19R28		943000.0
314.846905	1.6E -6	MAM* -2+	RA2RA131		CO2 +3	9.37R04		952185.0
313.000000	5.0E -3	FA13*-1-	DE1 2		CO2 +3+	9.44P06		958000.0
312.000000	2.0E -2	DME*	KON 7		CO2 N+3	10.32R10		960000.0
312.000000	2.0E -3	FAB* -1	DY8 6		CO2 P+3+	10.22R24		961000.0
311.210000	3.2E -4	MBR* 0-	CH6 7		CO2 N+3+	10.08R50	+50	963300.0
311.200000	3.2E -4	MBE* 0	CH6MO 33		CO2 N+4-	10.81P40	+45	963300.0
311.200000	2.0E -3	MA * -1+	DY2 20		CO2 N	9.59P24		963000.0
311.100000	3.2E -4	MBR* 0	CH6 26		CO2 P+4	10.59P20	+10	963700.0
311.074746	1.0E -6	N2H4* 0	RA2DY319		CO2 P+3	9.55P20		963731.4
311.070000	3.2E -4	MBR* -2+	CH6 16		CO2 N+4	10.30R12	+30	963700.0
311.000000	2.0E -3	FA * 0-	DY5,8 4		CO2 P+3+	10.23R22		964000.0
310.000000	2.0E -3	FAC* 0+	DY8 25		CO2 P+3+	10.22R24		967000.0
310.000000	5.0E -3	MAD* 0-	DY7 51		CO2 N+3+	10.19R28		967000.0
309.000000	5.0E -3	MAD* -1-	DY7 64		CO2 P+3+	10.59P20		970000.0
308.000000	5.0E -3	MAD1* 0-	ZD 31		CO2 +3+	9.50P14		973000.0
307.780000	3.0E -4	MA13* 0-	HEN2PE2		CO2 P+4	9.57P22	-15	974000.0
307.650000	3.2E -4	MC * 0-	CH6 19		CO2 P+3+	10.97P19	-50	974500.0
305.726156	1.0E -7	DMA* +1	BL1KON2		CO2 P+3+	9.34 R8		980591.6
304.083210	1.0E -6	FAC* +1-	DY8 24		CO2 P+3+	10.22R24		985889.7
304.050000	2.0E -3	FAA* -1-	DY8 1		CO2 P+3+	9.35R06		986000.0
302.278164	1.0E -6	FA * +1-	DA1DY8 1		CO2 P+3-	9.37R04		991776.9
301.994300	5.0E -7	MA *	HEN1PE2		CO2 +4	9.50P14	-15	992709.1
301.275438	1.5E -6	N2H4* 0	RA2DY318		CO2 P+3	10.30R12		995078.0
301.000000	5.0E -3	DMI* 0	DY6 27		CO2 P+3+	9.24 R26		996000.0
299.000000	2.0E -2	DME* OL	KON 2		CO2 N+3	10.22R24		1000000.0
299.000000	5.0E -3	MAD* -2+	DY7 2		CO2 P+3+	9.35 R6		1003000.0
298.000000	2.0E -3	FAC* -1+	DY8 11		CO2 P+3+	10.35R06		1006000.0
297.000000	5.0E -3	MAD* -1	DY7 8		CO2 N+3+	9.28 R18		1009000.0



297.000000	5.0E -3	MAD*	0-	DY7	57	CO2	P+3+	10.16R34		1009000.0
296.000000	5.0E -3	MAD1*	0-	ZD	30	CO2	+3+	9.47P10		1013000.0
295.000000	5.0E -3	MAD1*	0+	ZD	29	CO2	+3+	10.74R34		1016000.0
294.811019	1.0E -7	DMA*	+1	BL1KON2		CO2	P+3+	9.34 R8		1016897.2
294.280000	3.4E -4	MBR*	0	CH6	11	CO2	P+4+	10.19R28	-40	1018700.0
293.780000	3.0E -4	MA *	-2+	HEN1RA1		CO2	+4-	P+4-10.3	2R10	1020500.0
293.648000	2.0E -6	DMC*	+1	DY6	9	CO2	N+3+	9.59 P24		1020925.0
292.500000	1.7E -4	MA *	-1	CH3	11	CO2	N	9.68P34		1024900.0
292.200000	1.7E -4	MA *	-1	CH3	20	CO2	P	9.71P38		1026000.0
291.900000	2.0E -3	FAA*	0-	DY8	64	CO2	P+3+	10.72P32		1027000.0
291.610000	3.0E -4	MA13*		HEN2		CO2	P+4	9.69P36	-20	1028100.0
290.620000	3.0E -4	MA *		HEN1		CO2	N+4	9.49P12	-5	1031600.0
290.200000	5.0E -3	NH3*	-1-	DW4	3	CO2SN+3		9.56P17	-130	1033000.0
290.000000	5.0E -3	MAD*	-1	DW2	21	CO2	N+3+	10.57P18		1034000.0
288.500000	2.0E -3	DF *	-1	DY1	1	CO2	P	10.51P12		1039000.0
288.000000	2.0E -2	MAM*	-2	RA1	13	CO2	+3+	9.37R04		1040000.0
288.000000	5.0E -3	DMC*	-1	DY6	8	CO2	P+3+	9.52 P16		1041000.0
288.000000	5.0E -3	DMC*	-1	DY6	16	CO2	P+3+	10.26R18		1041000.0
287.307690	5.0E -7	MAD*	+1-	PE2DY7		CO2	P+3+	10.57P18		1043454.5
286.880000	3.5E -4	MCY*(-1)		CH6	19A	CO2	P+3+	9.84 P50	+50	1045000.0
286.790000	3.5E -4	MC *	-1+	CH6	13	CO2	N+4+	10.16R34	-35	1045300.0
286.724190	5.0E -7	MAD*	0+	PE2DY7		CO2	P+3+	10.63P24		1045578.0
286.197460	5.0E -7	MAD*	-1+	PE2DY7		CO2	P+3+	9.73P40		1047502.3
286.000000	1.0E -2	MA *	0	TA2	9	CO2	+3-	10.09R48		1050000.0
283.100000	2.0E -3	FAC*	-1+	DY8	3	CO2	P+3+	9.29R16		1059000.0
283.000000	2.0E -3	VB *	-1-	DY9	1	CO2	P+3+	10.25R20		1059000.0
281.980000	3.5E -4	MCY*	0-	CH6	19	CO2	P+3+	9.84 P50	+50	1063200.0
281.670000	3.6E -4	MC *()		CH6	4A	CO2	P+4-	9.31 R14	+45	1064300.0
281.500000	2.0E -3	MA *	-1	DY2	19	CO2	P	9.2 R		1065000.0
281.180000	3.5E -4	MCY*	-2+	CH6	16	CO2	N+4	9.68 P34	-20	1066200.0
280.960000	3.0E -4	MA *		HEN1		CO2	P+4	9.28R18	+5	1067000.0
280.239780	5.0E -7	MA13*		PE2		CO2		10.27R16		1069771.4
280.218300	5.0E -7	MA13*		PE2		CO2		10.27R16		1069853.4
279.810000	3.6E -4	MBR*	-2	CH6	6	CO2	P+4	10.07R52	0	1071400.0
279.400000	2.0E -3	DMA*	-1	DY2	29	CO2	N	9.66P32		1073000.0
279.000000	5.0E -3	FOB*	-1-	DA2	3	CO2	+3	10.48P08		1075000.0
278.800000	1.8E -4	MA *	-1	CH3	21	CO2	P	9.71P38		1075300.0
278.500000	2.0E -3	FA *	-1+	DY5,8	2	CO2	P+3+	9.64P30		1076000.0
278.000000	5.0E -3	MAD*	-1	DY7	50	CO2	P+3+	10.22R24		1078000.0
277.000000	5.0E -3	MAD*	-1	DY7	12	CO2	P+3+	9.24 R26		1082000.0
276.715760	5.0E -7	MAD*	0	PE2DY7		CO2	P+3+	10.67P28		1083395.1
276.050000	2.0E -3	FAC*	0-	DY8	7	CO2	P+3+	9.52P16		1086000.0
275.090000	3.6E -4	MC *	-1-	CH6	2	CO2	P+4-	9.19 R36	+10	1089800.0
275.000000	3.6E -4	MC *	0+	CH6	4	CO2	P+4-	9.31 R14	+45	1090200.0
274.000000	1.0E -2	MA *	-1-	TA2	8	CO2	+4	10.10R46		1090000.0
272.000000	5.0E -3	MAD1*	0-	ZD	28	CO2	+3+	9.25R24		1102000.0
272.000000	2.0E -3	FAB*	-1+	DY8	20	CO2	P+3+	10.70P30		1102000.0
272.000000	5.0E -3	DMI*	-1	DY6	34	CO2	N+3+	9.49 P12		1102000.0
271.500000	2.0E -3	N2H4*-2		DY3	9	CO2	P	10.57P18		1104000.0
271.290000	3.7E -4	MC *	0-	CH6	17	CO2	N+4	10.59P20	-35	1105100.0
270.600000	2.0E -3	VCY*	-1	DY1	14	CO2	N	10.63P24		1108000.0
268.572200	5.0E -7	MA13*	0-	HEN2PE2		CO2	P+4	10.27R16	+20	1116245.5
268.000000	5.0E -3	MAD*	-1	DY7	27	CO2	P+3+	9.50 P14		1119000.0
267.443200	5.0E -7	MA *		HEN1PE2		CO2	N+4	10.16R34	-10	1120957.6
267.000000	5.0E -3	MAD*	-1	DY7	45	CO2	P+3+	10.29R14		1123000.0
266.100000	2.0E -3	FAC*	-1+	DY8	32	CO2	P+3+	10.17R32		1127000.0
266.000000	5.0E -3	MAD*	-1+	DY7	31	CO2	P+3+	9.55 P20		1127000.0
265.100000	2.0E -3	FAB*	-2	DY8	5	CO2	N+3+	10.25R20		1131000.0
265.000000	2.0E -3	N2H4*-2		DY3	8	CO2	P	10.19R28		1131000.0
265.000000	5.0E -3	MAD*	0-	DY7	56	CO2	P+3+	10.16R34		1131000.0
264.801474	9.0E -7	N2H4*	0	RA2DY317		CO2	P+3	10.25R20		1132141.0



264.700000	3.8E -4	EF * -2	RA1/WA			C02 +3+	9.54P18		1132600.0
264.600000	2.0E -4	MA * 0	CH3	5		C02 P	9.68P34		1133000.0
264.050000	3.8E -4	MBA* +1-	CH6MO	17		C02 P+4+	10.32R10	+10	1135400.0
263.700000	2.0E -4	MA * 0	CH3	6		C02 P	9.68P34		1136900.0
263.400000	2.0E -4	NH3* 0-	CH4T3	1		N20 P+2-	10.78P13		1138200.0
262.000000	2.0E -3	N2H4*-2	DY3	6		C02 N	10.67P28		1144000.0
261.030000	3.8E -4	MC * -1-	CH6	18		C02 P+4+	10.74P34	-20	1148500.0
260.000000	5.0E -3	MAD2* 0+	ZD	12		C02 +3+	10.25R20		1153000.0
260.000000	5.0E -3	FA13*-1-	DE1	1		C02 +3+	9.52P16		1153000.0
258.435620	5.0E -7	MAD* 0	PE2DY7			C02 P+3+	10.61P22		1160027.8
258.000000	1.0E -2	MEC* -1	JEN	9		C02 +4	10.65P26		1160000.0
255.000000	2.0E -2	DME*	KON	1		C02 N+3	10.15R36		1180000.0
254.500000	2.0E -3	FA * -1+	DY5,8	1		C02 P+3+	9.55P20		1178000.0
254.100000	2.0E -4	MA * 0	CH3	7		C02 P	9.68P34		1179800.0
254.000000	5.0E -3	DMEC*-1+	ZD	2		C02 +3+	10.15R36		1180000.0
253.719610	5.0E -7	MAD* 0-	PE2DW2			C02 N+3+	10.15R36		1181589.8
253.600000	2.0E -4	MA * 0-	CH3	8		C02 P	9.68P34		1182100.0
251.910000	2.0E -4	MF * -1	CH5			C02 P+4-	10.16R34	+25	1190100.0
251.500000	2.0E -3	MA * -1	DY2	18		C02 P	9.2 R		1192000.0
251.432420	5.0E -7	MA *	PE2HEN1			C02 E+4	9.28R18	+5	1192338.3
251.300000	2.0E -3	MAM*	DY1	15		C02 P	9.59P24		1193000.0
251.139854	4.0E -7	MA * 0-	PET/RA1			C02 +3-	10.14R38		1193727.3
251.000000	1.2E -2	MA * -2	TA2	7		C02 +4-	10.11R44		1190000.0
250.781327	4.0E -7	MA * -1+	PET/RA1			C02 +4-	10.16R34		1195433.9
250.500000	2.0E -3	N2H4*-1	DY3	5		C02 P	9.34R08		1197000.0
250.000000	5.0E -3	MAD1*-1+	ZD	27		C02 +3+	10.74P34		1199000.0
249.000000	5.0E -3	DMEC* 0+	ZD	1		C02 +3+	10.27R16		1204000.0
249.000000	5.0E -3	DMC* -1	DY6	14		C02 N+3+	9.71 P38		1204000.0
246.500000	2.0E -3	N2H4*-1	DY3	4		C02 P	10.46P06		1216000.0
246.000000	5.0E -3	DMC* 0	DY6	15		C02 P+3+	10.29R14		1219000.0
245.040000	4.1E -4	MBR* 0	CH6	3		C02 P+4	9.62 P28	-40	1223400.0
245.000000	5.0E -3	FOB* -1+	DA2	2		C02 +3	9.25R24		1224000.0
245.000000	5.0E -3	DMC* 0	DY6	10		C02 N+3+	9.66 P32		1224000.0
242.500000	2.0E -3	MA * 0	DY2	17		C02 P	9.2 R		1236000.0
242.472720	5.0E -7	MA *	PE2			C02	10.16R34		1236396.8
242.472700	5.0E -7	MA *	HEN1PE2			C02 P+4	10.16R34	-10	1236396.9
241.200000	2.0E -3	FAC* -1	DY8	33		C02 P+3+	10.15R36		1243000.0
240.980000	4.1E -4	MC * 0	CH6	16		C02 P+4	10.49P10	-30	1244100.0
240.000000	2.0E -3	FAA* -1+	DY8	33		C02 N+3+	10.29R14		1249000.0
238.522700	5.0E -7	MA13* 0+	HEN2PE2			C02 P+4	9.49P12	-20	1256872.0
238.300000	5.0E -3	MAD* -2	DW2	25		C02 N+3+	10.63P24		1258000.0
238.000000	5.0E -3	MAD1* 0-	ZD	26		C02 +3+	10.57P18		1260000.0
238.000000	5.0E -3	MAD2* 0+	ZD	11		C02 +3+	10.57P18		1260000.0
237.600000	2.0E -4	MA * 0-	CH3	9		C02 P	9.68P34		1261800.0
237.523000	5.0E -7	MA13*	HEN2PE2			C02 P+4	9.49P12	+25	1262162.0
236.530330	5.0E -7	MA13*	PE2			C02	9.49P10		1267459.0
236.250000	4.2E -4	MC * -1	CH6	6		C02 N+3+	9.38 R2	-10	1269000.0
236.000000	5.0E -3	MAD* -1	GW1			C02 P+3+	9.31R14		1270000.0
235.500000	5.0E -3	DFM* +1	DW3	11		C02 P+3+	9.35R06		1273000.0
234.000000	2.0E -3	N2H4* 0	DY3	2		C02 P	10.16R34		1281000.0
233.915781	8.0E -7	N2H4*-1	RA2DY316			C02 P+2+	10.33R08		1281626.0
233.000000	5.0E -3	FOB* -1-	DA2	1		C02 +3	9.31R14		1287000.0
232.939095	3.9E -7	MA * -1-	PETDY216			C02 P	9.33R10		1286999.5
232.850000	3.0E -4	MA *	HEN1			C02 P+4	9.26R22	+15	1287500.0
232.700000	2.0E -3	MA * -1+	DY2	15		C02 P	9.2 R		1288000.0
232.000000	5.0E -3	MAD* 0-	DY7	19		C02 P+3+	9.20 R34		1292000.0
229.100000	5.0E -3	DMA* 0-	BE1	4		C02 P+3+	9.44P06		1309000.0
229.000000	2.0E -2	DME*	KON	6		C02 N+3	10.32R10		1310000.0
227.150000	4.4E -4	MC * -1	CH6	10		C02 P+4-	9.81 P48	+50	1319800.0
225.600000	2.0E -3	MA * -1	DY2	14		C02 P	9.2 R		1329000.0
224.000000	5.0E -3	DMC* -1	DY6	1		C02 P+3+	9.23 R28		1338000.0



223.500000	2.5E -4	MA *	0	CH3	3	CO2 P	9.52P16		1341400.0
223.000000	5.0E -3	MAD*	-2	GW1		CO2 N+3+	9.46P08		1344000.0
222.000000	5.0E -3	MAD*	-1	DY7	22	CO2 P+3+	9.44 P6		1350000.0
219.900000	5.0E -3	MAD*	-2	DW2	7	CO2 P+3+	10.26R18		1363000.0
218.220000	3.0E -4	MA *		HEN1		CO2 P+4	9.47P10	-20	1373800.0
218.000000	5.0E -3	NH3A*	-3+	DW1	2	CO2SN+3	10.78P35		1375000.0
218.000000	2.0E -3	FAC*	+1-	DY8	19	CO2 P+3+	10.25R20		1375000.0
218.000000	2.0E -3	MAM*		DY1	16	CO2 P	9.59P24		1375000.0
215.372492	1.5E -7	DMA*	-1	BL1KON2		CO2 P+3+	9.31 R14		1391972.1
215.081260	5.0E -7	MAD*		PE2		CO2	10.72P52		1393856.9
214.800000	2.0E -3	MA *	-1	DY2	13	CO2 P	9.57P22		1396000.0
214.350000	3.0E -4	MA *		HEN1		CO2 P+4	9.47P10	-20	1398600.0
211.314790	5.0E -7	MA *		PE2		CO2	9.49P12		1418701.0
211.250000	3.0E -4	MA *		HEN1		CO2 P+4	9.49P12	-5	1419100.0
211.000000	1.4E -2	MA *	0-	TA2	1	CO2 +3+	10.37R04		1420000.0
210.000000	2.0E -3	MA *	-1	DY2	12	CO2 P	9.2 R		1428000.0
209.890000	3.0E -4	MA *		HEN1		CO2 P+4	9.31R14		1428300.0
208.412100	5.0E -7	MA13*		HEN2PE2		CO2 E+4	9.47P10	+25	1438460.1
207.000000	5.0E -3	MAD1*	0-	ZD	25	CO2 +3+	9.50P14		1448000.0
206.900000	3.0E -4	MA *		HEN1		CO2 P+4	9.49P12	-5	1449000.0
203.635800	5.0E -7	MA13*	0+	HEN2PE2		CO2 E+4	10.27R16	+20	1472199.4
202.400000	2.5E -4	MA *	0	CH3	15	CO2 P	9.69P36		1481200.0
201.800000	5.0E -3	DFM*	-1	DW3	10	CO2 P+3+	9.35R06		1486000.0
201.000000	5.0E -3	MAD*	-1	GW1		CO2 P+3+	9.73P40		1492000.0
198.800000	2.5E -4	MA *	0-	CH3	22	CO2 N	9.71P38		1508000.0
198.000000	2.0E -3	MAM*		DY1	17	CO2 P	9.59P24		1514000.0
196.000000	5.0E -3	FOA*	-1-	DA2	7	CO2 +3	9.46P08		1530000.0
195.000000	5.0E -3	FOA*	-1-	DA2	6	CO2 +3	9.24R26		1537000.0
194.010000	3.0E -4	MA *		HEN1		CO2 P+4	9.31R14		1545200.0
193.500000	5.0E -3	DFM*	-2	DW3	8	CO2 P+3+	9.32R12		1549000.0
193.200000	2.5E -4	MA *	-1	CH3	23	CO2 N	9.71P38		1551700.0
192.907232	1.9E -6	N2H4*	0	RA2DY315		CO2 N+3-	10.63P24		1554076.0
192.780000	2.6E -4	MF *	+1	CH5		CO2 P+4-	10.17R32	0	1555100.0
191.900000	5.0E -3	MAD*	-1	DW2	14	CO2 P+3+	10.16R34		1562000.0
191.619630	5.0E -7	MA *		PE2HEN1		CO2 P+4	10.32R10	-15	1564518.7
191.500000	2.0E -3	MA *	-1	DY2	11	CO2 P	9.2 R		1565000.0
190.800000	2.6E -4	MA *	-1	CH3	12	CO2 N	9.68P34		1571200.0
188.423930	5.0E -7	MAD*		PE2		CO2	10.84P42		1591053.2
186.110000	3.0E -4	MA *	-1+	HEN1DY2		CO2 P	9.28R18	+5	1610800.0
185.900000	2.0E -3	MA *	-1+	DY2	9	CO2 P	9.2 R		1613000.0
185.500000	2.6E -4	MA *	-1	CH3	13	CO2 N	9.68P34		1616100.0
184.000000	2.0E -2	DME*	OL	KON	3	CO2 N+3	10.22R24		1630000.0
184.000000	5.0E -3	MAD*	-1+	DY7	3	CO2 N+3+	9.34 R8		1629000.0
182.566320	5.0E -7	MAD*		PE2		CO2	9.31R14		1642101.9
181.926459	3.0E -7	N2H4*	-2	RA2	14	CO2 P+3	10.46P06		1647877.4
180.740540	5.0E -7	MAD*	-2	PE2DW2		CO2 N+3+	10.16R34		1658689.9
180.400000	2.0E -3	MA *	0	DY2	8	CO2 N	9.68P34		1662000.0
180.000000	2.0E -2	MAM*	-4	RA1	12	CO2 +3+	9.79P46		1670000.0
179.727940	5.0E -7	MA *		PE2		CO2	10.37R04		1668035.0
179.000000	5.0E -3	MAD2*	0-	ZD	10	CO2 +3+	10.27R16		1675000.0
179.000000	5.0E -3	MAD*	0-	GW1		CO2 N+3+	9.31R14		1675000.0
179.000000	2.0E -3	DMA*	0-	DY2	28	CO2 N	9.66P32		1675000.0
171.757600	5.0E -7	MA13*	0	HEN2PE2		CO2 N+4	10.26R18	+25	1745439.5
171.300000	5.0E -3	MA *	0-	WE1	2	CO2S +3+	9.59P21		1750000.0
171.000000	5.0E -3	MAD1*	0-	ZD	24	CO2 +3+	9.49P12		1753000.0
170.576394	2.8E -7	MA *	+1	PETDY2T3		CO2 P+2+	9.69P36		1757526.3
168.840000	3.0E -4	MA13*		HEN2		CO2 P+4	9.73P40	+35	1775600.0
168.100000	2.0E -3	DMA*	-1	DY2	27	CO2 N	9.64P30		1783000.0
168.000000	5.0E -3	MAD2*	0-	ZD	9	CO2 +3+	10.14R38		1784000.0
167.587020	5.0E -7	MA *		PE2		CO2	10.13R40		1788876.6
167.000000	5.0E -3	MAD1*	-1+	ZD	23	CO2 +3+	9.54P18		1795000.0



165.900000	5.0E -3	DFM*	+2-	DW3	5	C02	P+3+	9.27R20		1807000.0
165.800000	5.0E -3	DFM*	0	DW3	3	C02	P+3+	9.26R22		1808000.0
165.000000	5.0E -3	MAD2*	0-	ZD	8	C02	+3+	9.28R18		1817000.0
164.783200	1.0E -6	MA *	+1	HEN1DY2		C02	N+3	9.33R10		1819315.0
164.770000	3.0E -4	MA *	-1	HEN1DY2		C02	N	9.59P24	0	1819500.0
164.564230	5.0E -7	MA *		PE2		C02		9.50P14		1821735.5
164.507600	1.0E -6	MA *	-1-	HEN1TA2		C02	+3+	9.50P14		1822363.0
164.300000	3.0E -4	MA *	0	CH3	4	C02	N	9.52P16		1824700.0
164.000000	5.0E -3	MAD1*	-1+	ZD	22	C02	+3+	9.28R18		1828000.0
163.033550	2.8E -7	MA *	0	PET/RA1		C02	+3-	10.14R38		1838839.3
159.400000	2.0E -3	MA *	0	DY2	5	C02	P	9.2 R		1881000.0
159.200000	5.0E -3	MA *	0	WE1	3	C02S	+3+	9.68P31		1883000.0
158.000000	5.0E -3	MAD*	0-	GW1		C02	P+3+	9.23R28		1897000.0
157.928500	5.0E -7	MA13*	0	HEN2PE2		C02	P+4	9.49P12	-20	1898279.9
152.075710	5.0E -7	MA13*		PE2		C02		10.27R16		1971337.2
151.500000	2.0E -3	MA *	0	DY2	4	C02	P	9.2 R		1979000.0
151.480000	1.0E -3	NH3*	0+	FE1	1	C02	+4	10.72P32	950	1979000.0
151.000000	5.0E -3	MAD1*	0-	ZD	21	C02	+3+	10.16R34		1985000.0
149.272300	5.0E -7	MA13*-1		HEN2PE2		C02	N+4	9.57P22	+15	2008360.0
148.590430	5.0E -7	MA13*		PE2		C02		10.27R16		2017576.0
147.970000	3.0E -4	MA13*		HEN2		C02	N+4	9.64P30	-25	2026000.0
147.844712	2.0E -7	MAM*	+1	RA2DY130		C02	N+3+	9.59P24		2027752.6
146.097400	5.0E -7	MA13*		HEN2PE2		C02	N+4	9.47P10	+25	2052004.0
145.661732	1.5E -7	DMA*	-1	BL1KON2		C02	P+3+	9.64P30		2058141.8
144.117890	5.0E -7	MAD*	-1	PE2DW2		C02	P+3+	10.57P18		2080189.0
136.627230	5.0E -7	MAD*		PE2		C02		10.29R14		2194237.0
134.700000	1.0E -2	DMA*	-1+	BE1	5	C02	N+3+	9.44P06		2230000.0
133.119600	1.0E -6	MA *	0	HEN1DY2		C02	P	9.59P24	0	2252054.0
131.562780	5.0E -7	MAD*		PE2		C02		10.17R32		2278703.0
129.549700	1.0E -6	MA *	-1	HEN1KON2		C02	P+3	10.16R34	-10	2314112.0
128.700000	5.0E -3	MAD*	-3	DW2	12	C02	P+3+	10.16R34		2330000.0
128.000000	2.0E -3	DMA*	-1+	DY2	26	C02	N	9.57P22		2342000.0
125.000000	5.0E -3	MAD1*	0+	ZD	20	C02	+3+	10.74P34		2400000.0
123.260000	3.0E -4	MA13*		HEN2		C02	P+4	10.55P16	+40	2432200.0
121.700000	5.0E -3	DFM*	+1	DW3	2	C02	N+3+	9.26R22		2460000.0
121.200000	3.0E -4	MA13*		HEN2		C02	P+4	10.19R28	-5	2473500.0
121.000000	2.4E -2	MA *	-2	TA2	6	C02	+4	10.11R44		2480000.0
118.834107	2.0E -7	MA *	+1+	PETDY2T3		C02	+2+	9.69P36		2522781.6
118.013100	5.0E -7	MA13*	0+	HEN2PE2		C02	N+4	9.57P22	-15	2540332.0
117.959500	5.0E -7	MA *		HEN1PE2		C02	P+4	9.50P14	-15	2541487.0
117.227089	1.9E -7	DMA*	+1+	RA2DY2	2	C02	P+3	9.60P26		2557365.4
117.000000	5.0E -3	DFM*	+1	DW3	4	C02	N+3+	9.27R20		2560000.0
115.823200	5.0E -7	MA13*	0	HEN2PE2		C02	P+4	10.27R16	+20	2588363.0
114.000000	5.0E -2	NH3*C	0+	FE1	3	C02	+4	9.49P12	2480	2600000.0
112.600000	5.0E -3	D20*	+1	DW4	1	C02SN	+3	9.32R17	-39	2660000.0
112.300000	5.0E -3	MAD*	-3	DW2	11	C02	N+3+	10.16R34		2670000.0
111.900000	5.0E -3	NH3A*-3+		DW1	1	C02SN	+3	10.73P31		2680000.0
110.432400	5.0E -7	MA13*	0+	HEN2PE2		C02	E+4	10.26R18	+25	2714715.0
110.000000	1.0E -2	DMA*	-2	KON2	1	C02	N+3	10.11R44		2730000.0
109.000000	5.0E -3	MAD1*	0-	ZD	19	C02	+3+	9.49P12		2750000.0
108.668440	5.0E -7	MAD*		PE2		C02		10.49P10		2758782.0
105.147200	5.0E -7	MA13*	0	HEN2PE2		C02	E+4	10.26R18	+25	2851170.0
103.586300	5.0E -7	MA13*		HEN2PE2		C02	E+4	10.21R26	+40	2894133.0
103.480800	5.0E -7	MA13*	0	HEN2PE2		C02	P+4	9.57P22	+15	2897083.0
103.124641	1.7E -7	DMA*	+1	RA2DY2	1	C02	N+3-	9.64P30		2907088.9
102.600000	5.0E -3	MAD*	-2	DW2	10	C02	N+3+	10.16R34		2920000.0
98.000000	3.0E -2	MA *	-1-	TA2	5	C02	+4	10.13R40		3060000.0
97.518550	5.0E -7	MA *		PE2HEN1		C02	N+4	10.13R40	0	3074210.0
96.522408	1.6E -7	MA *	+1+	PET/DY2		C02	P	9.33R10		3105936.8
95.100000	5.0E -3	DFM*	-2	DW3	7	C02	N+3+	9.32R12		3150000.0
94.500000	5.0E -3	D20*	-1	DW4	2	C02SP	+3	9.32R17	-39	3170000.0



92.690000	3.0E -4	MA *	HEN1			CO2 P+4	10.16R34	-10	3234400.0
92.600000	3.0E -4	MA *	HEN1			CO2 P+4	9.59P24	0	3237500.0
88.200000	1.0E -3	NH3* 0+	FE1	2		CO2 +4	10.35R06	200	3399000.0
87.900000	3.0E -4	MA13*	HEN2			CO2 N+4	9.46P08		3411000.0
87.400000	5.0E -3	NH3* 0	DW4	4		CO2SP+3	9.56P17	-130	3430000.0
86.400000	5.0E -3	MAD* -2	DW2	4		CO2 N+3+	10.27R16		3470000.0
86.111800	5.0E -7	MA13*	HEN2PE2			CO2 P+4	9.47P10	+25	3481433.0
86.000000	2.0E -3	MA * +1	DY2	1		CO2 E	9.2 R		3486000.0
85.790000	3.0E -4	MA13*	HEN2			CO2 N+4	10.19R28	-5	3494000.0
85.600940	5.0E -7	MA *	PE2HEN1			CO2 P+4	9.73P40	-10	3502210.0
85.317300	5.0E -7	MA13* 0	HEN2PE2			CO2 P+4	9.57P22	-15	3513854.0
81.557110	5.0E -7	MAD* -1	PE2DW2			CO2 P+3+	10.27R16		3675860.0
81.500000	6.0E -4	NH3* +2-	CH4T3	2		N20 N+1+	10.78P13		3678000.0
80.600000	5.0E -3	MA * +1	WE1	1		CO2S +3+	9.59P21		3720000.0
80.300000	3.0E -2	MA * -1	HO1	6		CO2 +3	9.68P34		3700000.0
80.000000	2.0E -3	DMA* 0	DY2	23		CO2 N	9.66P32		3747000.0
77.920000	3.0E -4	MA * -1+	HEN1TA2			CO2 P+4-	10.27R16	0	3847000.0
77.489400	5.0E -7	MA13*	HEN2PE2			CO2 P+4	10.21R26	+40	3868819.0
77.405660	5.0E -7	MA *	PE2			CO2	9.28R08		3873005.0
76.100000	5.0E -3	MAD* -1	DW2	27		CO2 P+3+	10.72P32		3940000.0
73.306430	5.0E -7	MA *	PE2HEN1			CO2 P+4	9.73P40	-10	4089580.0
71.000000	5.0E -3	MAD* -1	DW2	2		CO2 P+3+	10.33R08		4220000.0
70.511650	2.0E -7	MA * +2-	BL2PE2			CO2 N	9.68P34	+26	4251673.3
69.700000	3.0E -4	MA *	HEN1			CO2 N+4	10.27R16	0	4301000.0
67.495370	5.0E -7	MA *	PE2			CO2	9.28R18		4441675.0
67.479420	5.0E -7	MAD*	PE2			CO2	10.18R30		4442725.0
65.600000	3.0E -2	MA * 0	HO1	5		CO2 +3	9.68P34		4600000.0
63.096400	5.0E -7	MA13*	HEN2PE2			CO2 P+4	9.49P12	+25	4751341.0
61.613310	5.0E -7	MA *	PE2			CO2	9.28R18		4865710.0
60.173280	5.0E -7	MA *	PE2HEN1			CO2 P+4	9.73P40	-10	4982153.0
60.100000	5.0E -4	MAD* 0	EDGW1			CO2 P+3+	9.20R34		4988000.0
57.000000	1.0E -2	DMA* 0	KON2	5		CO2 N+3	9.34 R8		5260000.0
55.560000	5.0E -4	MAD*	ED			CO2 N+3+	9.23R28		5396000.0
55.370050	5.0E -7	MA *	PE2HEN1			CO2 N+4	9.73P40	-10	5414344.0
53.820000	5.0E -4	MAD* 0	EDGW1			CO2 N+3+	9.20R34		5570000.0
49.800000	5.0E -3	MAD* 0	GW1			CO2 N+3+	9.23R28		6020000.0
46.700000	1.0E -2	DMA* 0-	BE1BL1	6		CO2 +3+	9.34R08		6420000.0
43.697300	5.0E -7	MAD* 0	PE2DW2ED			CO2 P+3+	10.26R18		6860664.0
43.470000	3.0E -4	MA *	HEN1			CO2 P+4	10.16R34	-10	6897000.0
42.310000	1.0E -3	MA * -1	HE1HO1	2		CO2 +3	9.68P34	+38	7086000.0
42.159090	5.0E -7	MA * +1	PE2HEN1			CO2 P+3	9.66P32		7110981.0
41.900000	3.0E -4	MA13*	HEN2			CO2 N+4	10.55P16	-10	7155000.0
41.400000	5.0E -4	MAD* -1	DW2ED	1		CO2 N+3+	10.33R08		7241000.0
41.354880	5.0E -7	MAD* 0	PE2DW2ED			CO2 N+3+	10.26R18		7249265.0
41.250000	5.0E -4	MAD*	ED			CO2 P+3+	10.33R08		7268000.0
41.000000	2.0E -2	DME*	KON	4		CO2 N+3	10.26R18		7300000.0
40.100000	5.0E -3	MAD* -1	DW2	23		CO2 N+3+	10.61P22		7480000.0
39.850000	1.0E -3	MA * 0	HE1HO1	1		CO2 +3	9.68P34	+38	7523000.0
37.600000	5.0E -3	MAD* -1	DW2	9		CO2 P+3+	10.16R34		7970000.0
37.500000	3.0E -2	MA * 0	HO1	2		CO2 +3	9.66P32		8000000.0
34.800000	5.0E -3	MAD* -1	DW2	22		CO2 P+3+	10.61P22		8610000.0
34.790000	3.0E -4	MA13*	HEN2			CO2 P+4	10.23R22		8617000.0
23.000000	5.0E -3	B11T*+2-	KAR	8		CO2 +4			13030000.0
22.400000	5.0E -3	B10T*+1+	KAR	7		CO2 +4			13380000.0
20.600000	5.0E -3	B11T*+2	KAR	6		CO2 +4			14550000.0
20.200000	5.0E -3	B11T*+2	KAR	5		CO2 +4			14840000.0
19.400000	5.0E -3	B10T*+2-	KAR	4		CO2 +4			15450000.0
19.100000	5.0E -3	B10T*+2-	KAR	3		CO2 +4			15700000.0
18.800000	5.0E -3	B11T*+1+	KAR	2		CO2 +4			15950000.0
18.300000	5.0E -3	B10T*+2-	KAR	1		CO2 +4			16380000.0

end

