

**T H E S E** présentée

pour l'obtention

du

**DIPLOME de DOCTEUR de 3e CYCLE**

à

**L'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE**

- Paris 6 -

spécialité : **OPTIQUE**

mention :

par Madame Martine SONNET épouse DIEULIN

Sujet de la thèse :

Application de l'effet optogalvanique  
à l'analyse spectrale de Ba I :  
Mise en évidence des niveaux de Rydberg  
des séries paires  $6sn1$  et  $5dn1$   
et interprétation théorique.

Soutenue le 15 octobre 1981

devant la Commission composée de :

MM. Bernard CAGNAC

Président

Jacques BAUCHE

Examineur

Pierre CAMUS

"

Jean-François DELPECH

"

Claude MORILLON

"

Serge FENEUILLE

Invité



A mon mari et à toute ma famille,  
A vous tous qui avez contribué au  
succès de cette entreprise,

UN GRAND MERCI



TABLE DES MATIERES

<u>Introduction</u> .....	1
<u>Chapitre I</u> - Manifestations de l'effet optogalvanique (OG) .....	5
I.A <u>DESCRIPTION SOMMAIRE : RAPPELS</u> .....	5
A.1 Exemples illustrant le phénomène .....	5
A.2 Généralisation .....	6
Remarque .....	6
A.3 Interprétation .....	7
3.a Régime continu d'une décharge électrique .....	7
$\alpha$ . Caractéristique statique d'une décharge électrique dans les gaz basse pression ....	7
$\beta$ . Aspects de la décharge luminescente en régime disruptif .....	9
3.b Interaction optique résonnante avec le plasma	10
I.B <u>PROPRIETES</u> .....	11
B.1 Polarité et intensités de l'effet optogalvanique	11
1.a Choix de la transition optique .....	12
1.b Influence des conditions expérimentales .....	13
B.2 Caractéristiques de la détection de l'effet optogalvanique .....	14
B.3 Réponse impulsionnelle de la décharge à l'excitation optique .....	16
I.C <u>APPLICATIONS</u> .....	17

C.1 Etude des plasmas .....	17
C.2 Séparation isotopique .....	18
C.3 Stabilisation en fréquence d'un laser à courant continu .....	18
C.4 Spectroscopie optogalvanique .....	18
4.a Spectroscopie résolue en temps .....	19
4.b Spectroscopie de position .....	19
4.c Spectroscopie sans effet Doppler .....	22
<u>REFERENCES DU CHAPITRE I</u> .....	
<u>Annexe</u> .....	26
<u>REFERENCES DE L'ANNEXE</u> .....	30
<u>Chapitre II</u> - Etude des niveaux très excités du baryum neutre : spectroscopie laser à moyenne résolution et détection optogalvanique .....	31
<u>II.A CHOIX DE LA METHODE EXPERIMENTALE</u> .....	31
A.1 Etude des niveaux de Rydberg .....	31
1.a Propriétés caractéristiques .....	31
1.b Méthodes de détection usuelles .....	33
1.c Méthode de détection utilisant l'effet OG .....	35
A.2 Etude des niveaux très excités de l'atome de baryum .....	35
2.a Structure électronique de l'atome .....	35
2.b Nouveaux domaines d'exploration de niveaux très excités .....	36
<u>II.B REALISATION DE L'EXPERIENCE DE SPECTROSCOPIE LASER A MOYENNE RESOLUTION UTILISANT LA DETECTION OG</u> .....	37
B.1 Principe du processus d'excitation des atomes neutres de baryum .....	37
1.a Détection des résonances optiques par effet OG .....	38
1.b Caractéristiques des niveaux observés .....	38

B.2 Dispositif expérimental et mise au point de la déttection OG .....	40
2.a Source optique .....	41
2.b Production des atomes de baryum dans une décharge électrique continue .....	44
b.α L'enceinte à décharge	
- la cathode creuse .....	44
- la cellule caloduc .....	45
b.β Comparaison du fonctionnement de la décharge	
- le mélange gazeux .....	47
- la stabilisation du régime continu de la décharge .....	48
- les fluctuations de tension en régime disruptif .....	49
b.γ Durée de vie de la décharge en cellule caloduc .....	50
2.c Traitement du signal .....	51
c.α Obtention du signal OG .....	51
c.β Allure du signal OG .....	52
c.γ Détection d'amplitude	
- acquisition d'un point de mesure .....	54
- optimisation des paramètres expérimentaux .....	56
c.δ Caractéristiques de l'électronique de mesure	
- dynamique .....	57
- bande-passante .....	58
- détection de pics négatifs .....	58
B.3 Exploitation de la détection optogalvanique .....	59
3.a Nature des transitions optiques détectées ....	59
a.α En cathode creuse .....	59
a.β En cellule caloduc	
- transitions attendues .....	60

- transitions observées et identifiées ....	61
3.b Influence de l'intensité laser .....	63
3.c Effet Stark .....	
3.d Comparaison avec la diode thermoionique .....	65
d.α Conception du montage .....	66
d.β Nature des transitions détectées .....	66
d.γ Propriétés de la détection non optique	
- principe .....	67
- amplification interne .....	67
- sensibilité .....	68
- réponse en fréquence .....	69
- dynamique .....	70
II.C <u>REALISATION DES SPECTRES OPTOGALVANQUES</u> .....	70
C.1 Enregistrement .....	70
1.a Domaine spectral exploré .....	70
1.b Calibration des spectres .....	72
C.2 Tests d'identification des raies .....	72
C.3 Qualité des enregistrements .....	73
3.a Intensité des raies .....	73
3.b Largeur et profil des raies .....	74
3.c Bruit .....	75
<u>REFERENCES DU CHAPITRE II</u> .....	77

### Chapitre III - Résultats expérimentaux et interprétation

des niveaux .....	79
III.A <u>ACQUISITION DES DONNEES</u> .....	79
A.1 Mesure du nombre d'ondes de la transition .....	79
A.2 Incertitudes de mesure .....	81
2.a Causes d'incertitude .....	81
2.b Précision des résultats .....	83
A.3 Présentation des Tableaux I à V .....	83



III.B	<u>IDENTIFICATION DES NIVEAUX TRES EXCITES</u> .....	86
B.1	Caractéristiques des niveaux (III) .....	86
B.2	Etude paramétrique d'une configuration isolée $n\ell n'\ell'$ .....	87
B.3	Théorie du défaut quantique .....	89
3.a	A une voie .....	89
3.b	A plusieurs voies (M.Q.D.T.) .....	89
III.C	<u>RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATION THEORIQUE</u> .....	91
C.1	Spectre discret .....	92
1.a	Mélange de configuration ( $5d7d + 6sn\ell$ ) .....	92
1.b	Présentation des Tableaux VI à X .....	93
1.c	Etude des séries de Rydberg $6sn\ell$ .....	94
C.2	Etude des configurations paires $5dn\ell$ .....	98
2.a	Configurations basses $5dnd$ et $5dns$ .....	99
a. $\alpha$	Les niveaux d'énergie .....	99
a. $\beta$	Etude paramétrique des configurations $5dnd$ .....	103
2.b	Séries de Rydberg $5dn\ell$ .....	106
	<u>Conclusion</u> .....	111
	<u>Tableaux</u> .....	115
	I à V : Données expérimentales des transitions observées sur le faisceau n° 2 et leurs identifications .....	115
	VI à X : Classification des niveaux pairs observés à l'aide de la détection OG en dessous de la première limite d'ionisation .....	117
	XI à XIV : Classification des niveaux appartenant aux confi- gurations basses de $5dnd$ et de $5dns$ , observés à l'aide de la détection OG .....	139
	XV à XIX : Etude paramétrique des configurations basses de $5dnd$ ( $n = 6, 7, 8$ et $9$ ) .....	147
	XX à XXI : Listes des séries de Rydberg paires $5dn\ell$ obser- vées à l'aide de la détection OG .....	153







## INTRODUCTION

Présentant un potentiel de première ionisation très bas (5,2 eV), le baryum se prête à l'étude des niveaux très excités de l'atome neutre, pour laquelle de nombreuses expériences ont déjà été réalisées au Laboratoire Aimé Cotton. Dans une vapeur thermique, le mode d'excitation ne peut se faire qu'à partir du niveau fondamental  $6s^2 \ ^1S_0$ . A l'aide de sources laser, les transitions atomiques par absorption d'un ou de deux photons optiques conduisent alors aux niveaux de Rydberg qui appartiennent exclusivement aux séries  $6snl$ , aboutissant à la première limite  $6s$ .

L'interprétation des niveaux pairs  $J=0$  et  $J=2$  des séries  $6sns$  et  $6snd$  utilise la théorie du défaut quantique à plusieurs voies [1]. Certaines perturbations s'expliquent alors par une interaction avec les niveaux de valence appartenant à la configuration  $5d7d$ , dont seulement trois avaient été observés jusqu'à présent. Une connaissance plus approfondie des niveaux de  $5d7d$  est donc nécessaire pour mieux apprécier les propriétés des atomes excités sur les niveaux de Rydberg des séries paires  $6snl$  de  $J$  compris entre 0 et 5.

Dans une décharge électrique contenant des atomes neutres de baryum, les niveaux métastables de  $5d6s$  sont suffisamment peuplés pour permettre, avec un processus d'excitation optique à deux étages par l'intermédiaire des niveaux  $5d6p$ , d'atteindre les niveaux appartenant aux

configurations paires  $5dnl$ , dont les séries convergent vers les deux premiers niveaux excités  $5d$  de l'ion  $Ba^+$ .

L'effet optogalvanique lié aux propriétés de conduction de la décharge dans le plasma est propice à la détection des atomes excités sur les niveaux de Rydberg du fait de leur grande facilité à produire des particules chargées dans des processus collisionnels.

Observé dès 1928 par F. M. PENNING [2] dans une décharge de gaz rare, l'effet optogalvanique ne connaît pas de véritables applications avant ces cinq dernières années, période pendant laquelle l'utilisation des lasers à colorant s'est considérablement développée. Depuis, dans le domaine de la spectroscopie, les expérimentateurs se voient dotés d'une nouvelle méthode de détection électrique de résonances optiques : la "détection optogalvanique", consistant à mettre en évidence les modifications dans la conduction d'un plasma lorsqu'on réalise une interaction résonnante pour un de ses éléments (Chapitre I).

Ce mode de détection est donc particulièrement bien adapté dans le cas du baryum car il permet à la fois de peupler les niveaux métastables de  $5d6s$  et de détecter les niveaux de Rydberg excités sélectivement.

Nous avons entrepris de réaliser une expérience de spectroscopie laser à moyenne résolution combinée à une détection optogalvanique dans une décharge électrique contenant des atomes neutres de baryum. Deux phases essentielles ont composé le présent travail :

- dans un premier temps, il nous a fallu nous initier au fonctionnement des décharges électriques continues pour mettre au point ensuite le dispositif de la détection optogalvanique des transitions atomiques de  $Ba I$  produites par une excitation laser en impulsions. Les enceintes à décharge utilisées ont été la cathode creuse, puis la cellule "heat-pipe" (Chapitre II) ;

- la seconde phase concerne les résultats expérimentaux et leur exploitation (Chapitre III). Cette expérience constitue une application de l'effet optogalvanique qui n'avait jamais connu auparavant un tel développement dans le domaine de la spectroscopie.

[1] M. AYMAR, P. CAMUS, M. DIEULIN et C. MORILLON, Phys. Rev. A 18, 2173-2183 (1978).

M. AYMAR et O. ROBAUX, J. Phys. B 12, 531-546 (1979).

[2] F. M. PENNING, Physica 8, 137 (1928).









## Chapitre I

### Manifestations de l'effet optogalvanique (OG)

#### I.A - DESCRIPTION SOMMAIRE : RAPPELS.

##### I.A.1 Exemples illustrant le phénomène.

La première expérience illustrant l'effet optogalvanique est signalée par F. M. PENNING et date de 1928 [0]. Plus récemment, en 1953, MEISSNER et MILLER [1] rapportent leurs observations dans une expérience utilisant deux tubes à décharge d'un même gaz rare à basse pression. Ils mettent en évidence des variations de tension produites aux bornes d'un premier tube lorsque la colonne positive de la décharge est illuminée par l'émission du second tube.

De même, lorsque l'oscillation laser prend naissance dans un tube à décharge (laser He-Ne, laser à  $\text{CO}_2$ ), on peut observer des modifications dans le fonctionnement (courant, tension) du tube [2]. Ces perturbations sont parfois d'une telle importance que l'on risque l'extinction du tube laser [7].

En 1976, GREEN et ses collaborateurs [3] étendent et précisent les conditions d'observation de l'effet optogalvanique ainsi que les applications pratiques réalisées dans différents domaines. En particulier, ils

détectent l'interaction résonnante de lumière provenant d'un laser continu, avec une décharge d'espèces non volatiles, en suivant les variations de tension produites aux bornes d'une cathode creuse, lorsque la fréquence du faisceau laser est accordée sur une transition optique d'un élément de la décharge.

### I.A.2 Généralisation.

L'effet optogalvanique (noté "effet OG") résulte d'une interaction optique résonnante avec le plasma contenu dans une décharge et se traduit par des perturbations dans le régime de fonctionnement de la décharge.

Un schéma simplifié du montage expérimental qui permet d'observer ce phénomène, pour une décharge électrique continue, est donné par la Figure 1. Une lampe spectrale, un tube à décharge ou un laser constituent les différentes sources optiques utilisables. L'excitation optique est soit continue [1,3], continue modulée [5], soit pulsée [3,4]. L'effet OG a été mis en évidence avec différents types de décharges : décharges électriques continues (tubes ou cathodes creuses), décharges haute-fréquence [12], mais également avec les flammes [9,17].

Pour une décharge électrique continue, la détection consiste à suivre les modifications introduites dans les caractéristiques courant - tension de la décharge. Les expérimentateurs, pour la plupart, enregistrent les variations de tension aux bornes de la décharge comme l'explique la Figure 1, mais il est également possible de s'intéresser aux variations de courant.

Remarque : Dans la suite de ce chapitre, nous limiterons par souci de clarté notre description de l'effet OG à sa manifestation dans une décharge électrique continue.

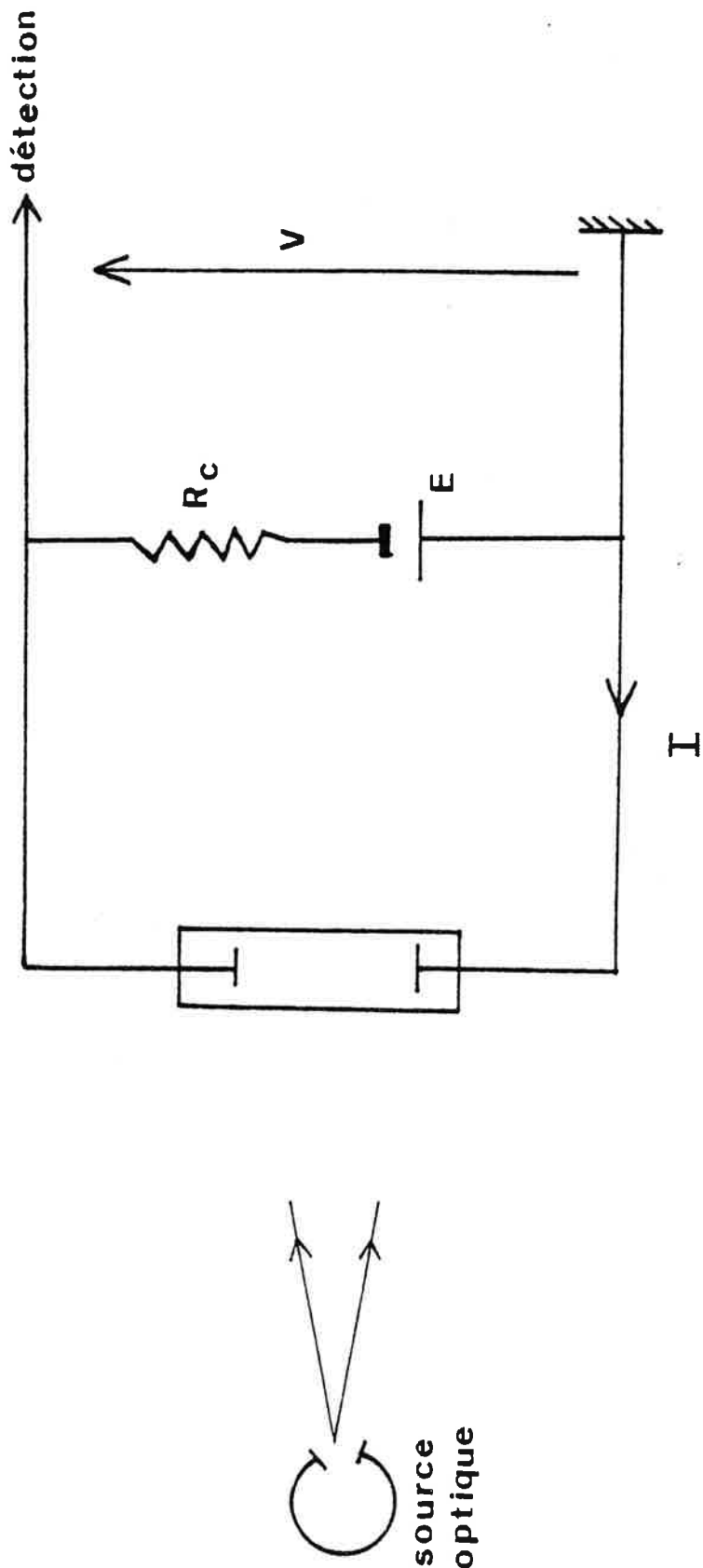


Figure 1

Schéma du montage expérimental permettant la détection de l'effet optogalvanique (OG) pour une décharge électrique continue.



### I.A.3 Interprétation.

#### I.A.3.a Régime continu d'une décharge électrique.

Le régime continu est déterminé par le passage d'un courant constant au travers de la décharge en fonctionnement et le maintien d'une différence de potentiel également constante à ses bornes. Ces deux données constituent un point de fonctionnement de la caractéristique statique courant-tension de la décharge électrique (§.I.A.3.a.α).

En fait, le régime continu traduit l'équilibre dynamique d'une décharge électrique avec le milieu ambiant et le générateur qui excite continuellement la décharge. Dans le cas du régime disruptif de la décharge luminescente, c'est un régime permanent qui résulte de la stabilisation de nombreux phénomènes couplés, principalement des processus radiatifs et collisionnels électroniques, où interviennent les atomes ou molécules présents dans la décharge. Le plasma se compose d'une assemblée d'électrons libres et d'éléments, neutres ou à l'état d'ions, répartis sur les niveaux d'énergie excités par la décharge. Lorsque le régime permanent est atteint, cette répartition de population entre les divers niveaux excités est stationnaire en tout point de la décharge, ce qui conduit à la fois à un taux global de création d'ions et à une densité des porteurs de charge constants dans la décharge. Le milieu présente alors une impédance interne constante, fixée par les conditions expérimentales : constitution du milieu (composition, pression, température), géométrie de l'enceinte à décharge, quantité d'énergie électrique délivrée dans le circuit où est branchée la décharge.

#### I.A.3.a.α Caractéristique statique d'une décharge électrique dans les gaz basse pression.

Elle est obtenue lorsqu'on réalise l'expérience suivante. Un tube à décharge cylindrique est branché en série avec une résistance stabilisante  $R_C$  aux bornes d'un générateur de tension continue. Si on augmente la

tension  $E$  délivrée par l'alimentation, le courant  $I$  et la différence de potentiel  $V$  aux bornes de la décharge vont varier de sorte que le point figuratif  $(V,I)$  du fonctionnement atteint décrive la courbe reproduite Figure 2, à partir du point  $O$ .

Pour une tension d'alimentation donnée et une résistance stabilisatrice choisie, le point de fonctionnement est déterminé par l'intersection de la caractéristique statique avec la droite de charge d'équation :

$$V = E - R_C I .$$

La courbe de la caractéristique présente des portions d'allure différente déterminant des domaines de fonctionnement de la décharge pour lesquels des phénomènes distincts sont mis en jeu.

La première partie, portion  $OD$ , traduit le régime où la conduction est contrôlée par le mécanisme primaire de création spontanée de paires électron-ion positif dans l'atmosphère de la décharge. L'ionisation est produite par l'action combinée du champ électrique, des rayons cosmiques ou toute autre cause d'ionisation extérieure au tube. Le passage du courant  $I$  traduit le déplacement des porteurs de charge : les électrons se dirigent vers l'anode, les cations vers la cathode. Au fur et à mesure que croît la tension  $V$ , l'énergie cinétique des particules chargées augmente :

- partie A-B : toutes les particules chargées sont recueillies aux électrodes, c'est la saturation.
- en B : l'énergie cinétique des électrons est suffisante pour provoquer l'ionisation par choc des particules neutres.
- en C : l'émission secondaire d'électrons se produit par bombardement des particules chargées sur les électrodes ; la seule contribution supplémentaire, en ce qui concerne la conduction de la décharge, provient des électrons réémis à la cathode qui sont attirés par l'anode.



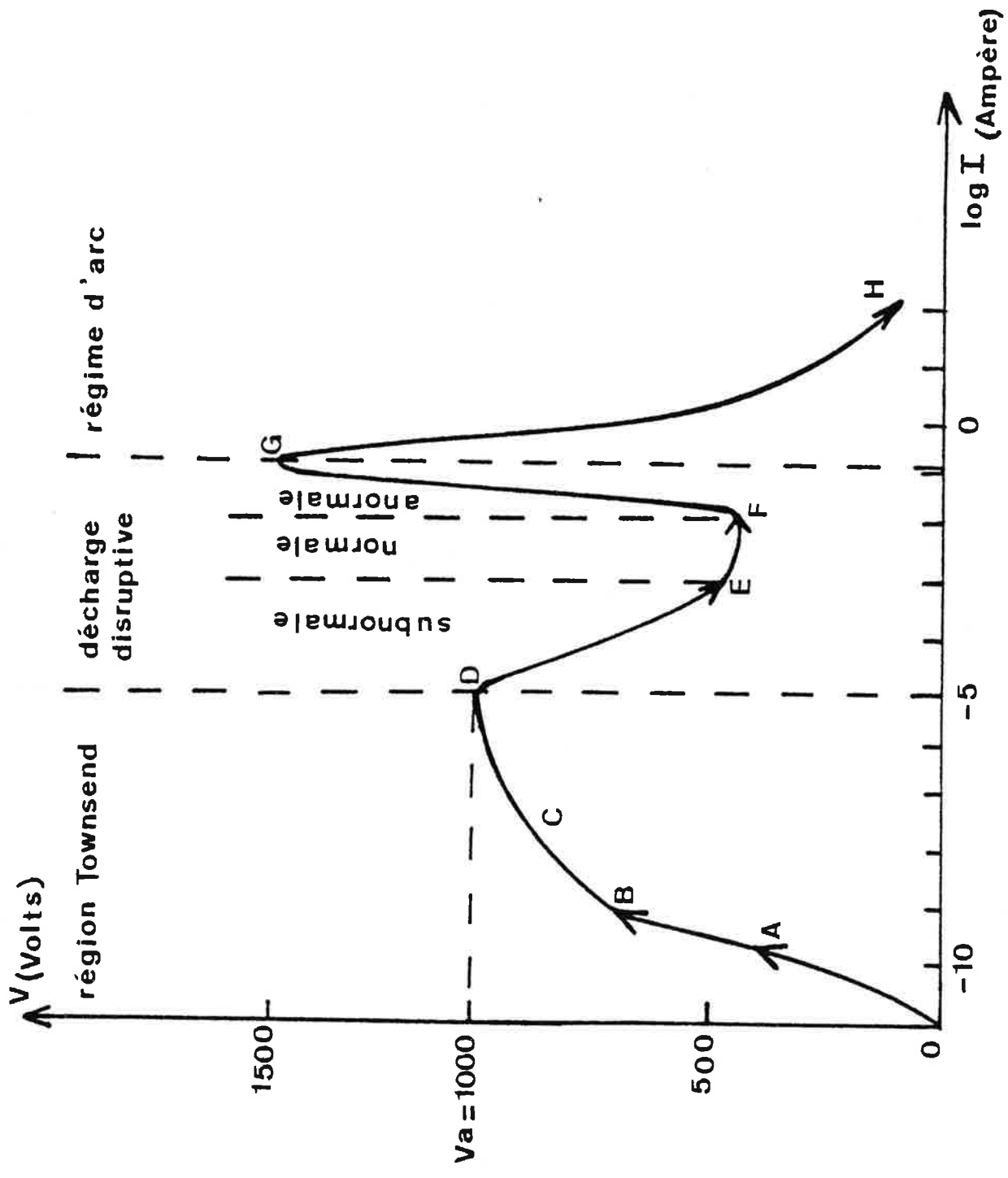


Figure 2 - Caractéristique statique d'une décharge électrique produite dans un tube cylindrique.



Au point D, la différence de potentiel aux bornes du tube atteint la tension d'allumage  $V_a$  de la décharge : le régime disruptif apparaît. Il résulte de l'avalanche d'électrons engendrés par les processus d'ionisation par collision et d'émission secondaire à la cathode, indépendamment de la cause d'ionisation primaire qui les a induits. La décharge disruptive se comporte comme un milieu de faible impédance. Pour protéger les appareils contre les dommages que peuvent occasionner le passage de forts courants, il est nécessaire de limiter le débit de particules chargées dans le circuit électrique : c'est la raison d'être de la résistance stabilisatrice  $R_c$  :

- partie D-E: zone d'instabilité (ou régime subnormal), caractérisée par une résistance dynamique  $\rho = \frac{dV}{dI}$  négative.
- partie E-F : régime normal.
- partie F-G : régime anormal.

L'émission secondaire est le processus prépondérant au début du régime disruptif, tandis que dans le mode anormal les collisions ionisantes jouent un rôle dominant pour l'accroissement des porteurs de charge [5].

La dissipation de l'énergie électrique augmente continuellement avec la tension  $V$ , produisant un échauffement toujours plus important des électrodes. Arrivé au point G, l'échauffement est tel que l'émission thermoionique commence ; cette émission engendre une nouvelle disruption, c'est le régime d'arc. Le courant  $I$  augmente beaucoup pendant que la différence de potentiel aux bornes du tube chute à nouveau et d'une façon énorme.

#### I.A.3.a.β Aspect de la décharge lumineuse en régime disruptif.

L'effet OG se manifeste pour une décharge électrique en régime disruptif. Dans ce mode, le tube est allumé par l'étincelle qui a jailli au moment où la tension du tube a atteint le potentiel explosif  $V_a$ . L'illumination de l'atmosphère gazeuse entre les électrodes est représentée à

la Figure 3 pour le régime normal de la décharge disruptive. On y observe plusieurs régions qui se distinguent par la couleur et la luminescence de la lumière qu'elles émettent de façon stationnaire. Les graphes reproduits sous le dessin de la décharge renseignent sur les variations des grandeurs électriques le long du tube, variations correspondant aux différentes zones éclairées. Nous remarquons en particulier que la principale chute de potentiel se produit à proximité de la cathode : c'est la chute cathodique  $V_c$ .

La colonne positive est la source essentielle de lumière. Elle s'étend sur la majeure partie du tube pour des pressions de quelques millimètres de mercure et se rétracte si la pression diminue. Pour une même pression, la longueur de la colonne positive suit les variations de la distance inter-électrodes. Dans ce domaine, la charge d'espace est partout nulle : le champ électrique est pratiquement uniforme. Les parois du tube utilisé jouent un rôle fondamental dans l'établissement de cette région de la décharge. Le champ électrique est d'autant plus grand que le tube est étroit. Si les parois au contraire s'éloignent de l'espace interélectrodes, tout en maintenant la même pression, la colonne positive disparaît au-delà d'une certaine section du tube. L'équilibre dynamique qui règne dans le volume de la colonne positive est décrit par le modèle de Schottky (voir Annexe).

#### I.A.3.b Interaction optique résonnant avec le plasma.

Toute perturbation dans la distribution des densités des espèces excitées sur les différents niveaux d'énergie se répercute sur les processus ionisants. C'est ce qui se produit pour l'effet OG, où un rayonnement lumineux de fréquence appropriée induit une transition optique pour une espèce présente dans le plasma. L'interaction résonnante provoque initialement l'absorption de photons d'un niveau bas vers un niveau haut localisé dans le spectre discret (transition non ionisante) ou dans le continuum (photoionisation directe [4]). Par le couplage entre les différents niveaux d'énergie (Figure 4), il s'ensuit des réarrangements collisionnels ou radiatifs multiples détruisant l'équilibre dynamique qui caractérisait le régime continu avant perturbation. Suivant l'influence respective des niveaux

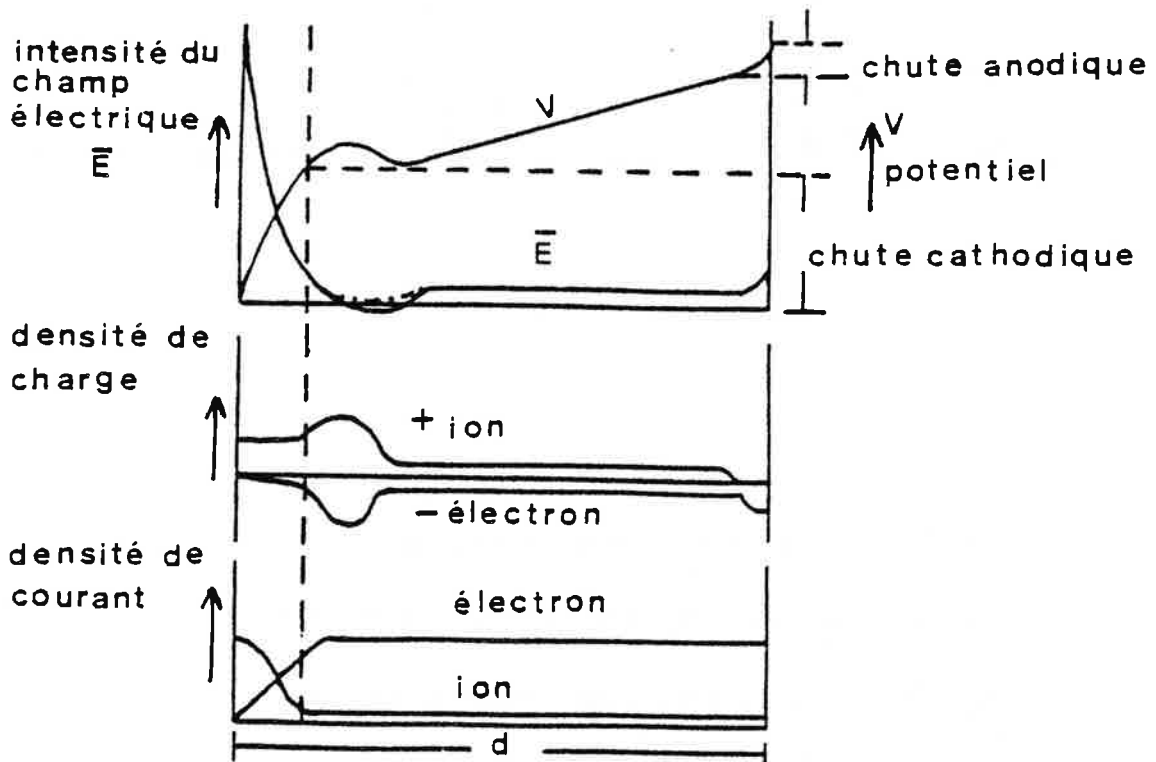
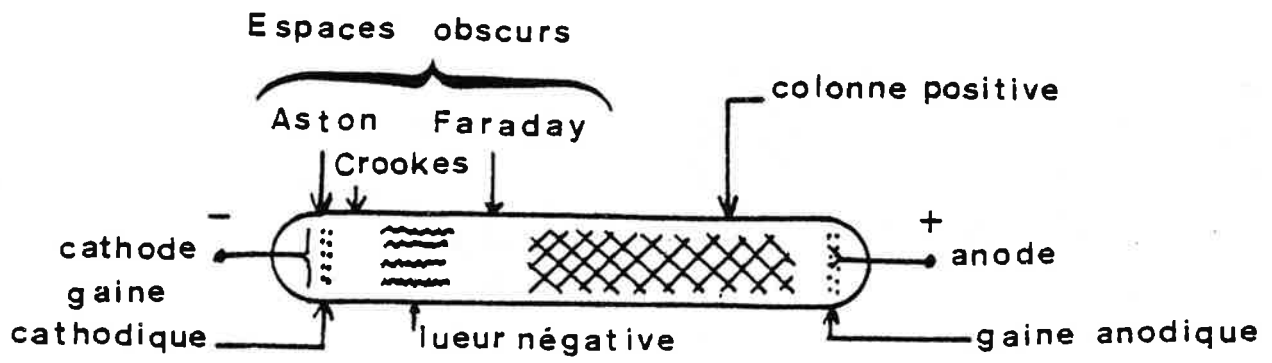
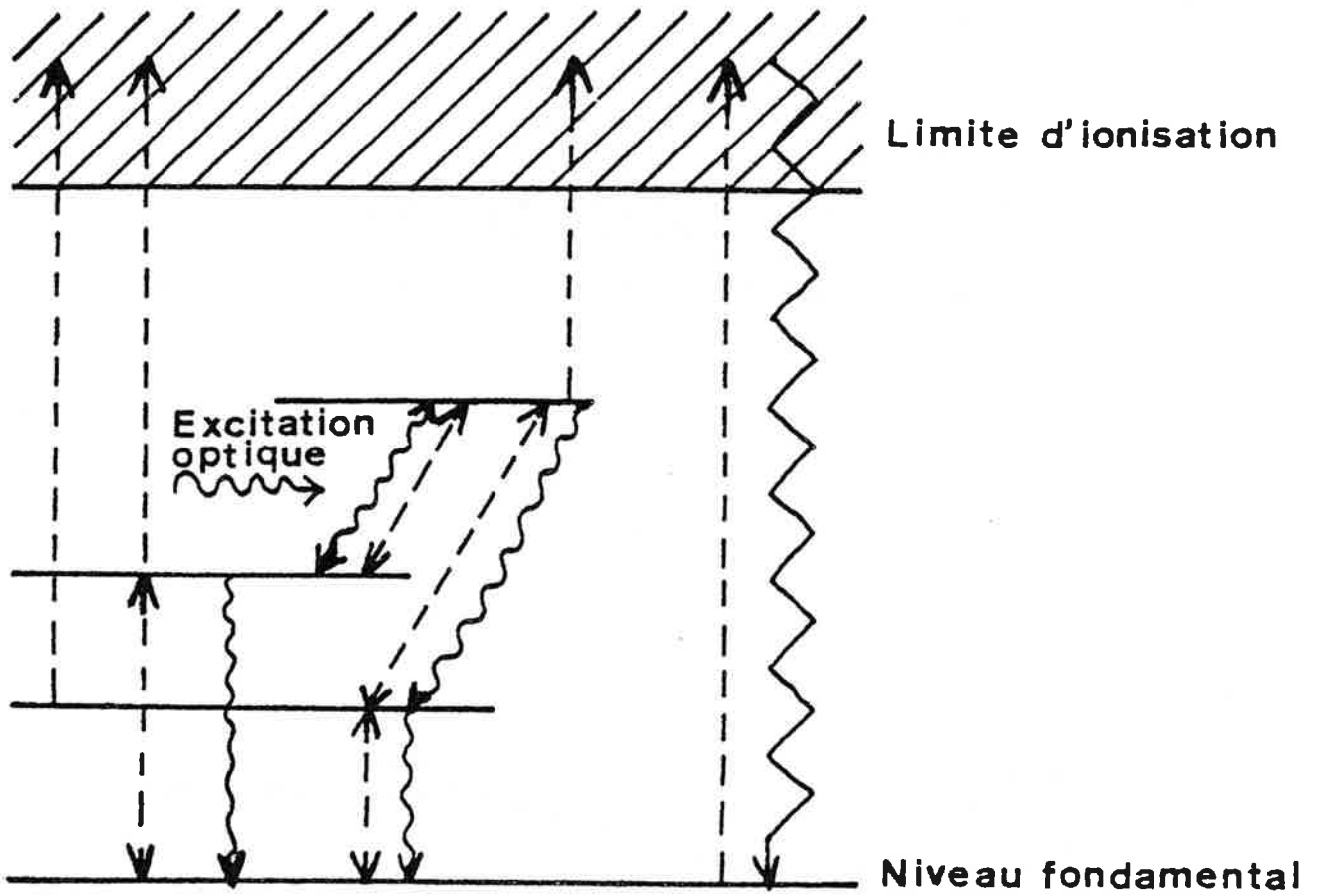


Figure 3 - Aspects de la décharge lumineuse en régime disruptif pour un tube cylindrique.

Fig. 3a - Illumination le long du tube.

Fig. 3b - Variations de grandeurs électriques.



- ~~~~~> transition optique
- > collisions électroniques
- ~~~~~> diffusion ambipolaire

Figure 4

Processus de transfert de population couplés à une excitation optique résonnante dans une décharge électrique.

sollicités, le taux de production d'ions est plus ou moins affecté, modifiant plus ou moins la conductivité électrique de la décharge. Le phénomène perturbateur est alors détecté en contrôlant les variations d'impédance de la décharge, qui peuvent être soit positives, soit négatives.

Lorsque l'excitation optique est continue, le fonctionnement de la décharge atteint un autre régime permanent. Ce régime traduit un nouvel équilibre dynamique, dû à la présence du rayonnement dont l'interaction résonnante avec le plasma se superpose aux interactions précédemment évoquées. Nous obtenons alors un point de fonctionnement situé sur une autre caractéristique statique de la décharge électrique. La détection consiste à mesurer la nouvelle valeur obtenue pour l'impédance interne.

Dans le cas d'une excitation optique intense et brève, on provoque une perturbation quasi-instantanée du régime qui rompt l'équilibre dynamique de la décharge. Les phénomènes qui en résultent tentent de ramener la décharge à son premier point de fonctionnement. En mettant en évidence le régime transitoire par lequel la décharge perturbée revient à son régime permanent initial, nous réalisons la détection de l'interaction résonnante produite dans le plasma.

## I.B - PROPRIETES.

### I.B.1 Polarité et intensité de l'effet OG.

Les processus consécutifs à la perturbation du régime de la décharge sont en général trop complexes (voir Figure 4) pour qu'on puisse, a priori, estimer, et le signe, et l'amplitude de la variation d'impédance provoquée dans l'effet OG. Chacun de ces processus pouvant contribuer à modifier la conduction du plasma dans un sens ou dans l'autre, l'effet résultant produit des signaux OG positifs ou négatifs.

D. M. PEPPER [18] tente une approche pour évaluer l'effet OG produit dans une décharge luminescente par une excitation optique continue. Il considère le couplage des processus optiques et collisionnels réduits à un système à trois niveaux (le fondamental et un niveau excité de l'atome neutre, le fondamental de l'atome une fois ionisé). La résolution des équations établies dans le formalisme de Schottky (cf. Annexe) compte-tenu des contraintes imposées pour le fonctionnement de la décharge, ne peut se faire que par itération sur ordinateur. Un tel traitement reste cependant insuffisant pour rendre compte de tous les phénomènes observés.

G. EREZ et coll. [21] présentent une théorie phénoménologique simplifiée qui permet de prédire qualitativement les caractéristiques du signal OG produit par une excitation optique continue ou pulsée.

#### I.B.1.a Choix de la transition optique.

La configuration des niveaux permet dans certains cas particuliers de comprendre le signe et l'intensité du signal OG produit :

- L'absorption d'une radiation monochromatique conduit à peupler un niveau d'énergie très excité à partir duquel une ionisation collisionnelle se produit très facilement. La conductivité du plasma va augmenter et l'apport extérieur de l'énergie électrique nécessaire pour maintenir la décharge en fonctionnement va diminuer. Dans une expérience où le courant est maintenu constant, on observera une chute de tension aux bornes de la décharge.
- Un autre exemple est celui pour lequel l'interaction optique provoque le dépeuplement d'un niveau d'énergie d'où les processus d'ionisation par collisions électroniques étaient très importants. (Par exemple : un niveau métastable en raison de la longue durée de vie radiative qu'il présente). Dans les mêmes conditions expérimentales (à courant constant), la réponse de la décharge se traduira par une augmentation de la tension à ses bornes.
- La photoionisation directe à partir d'un niveau excité provoque la création immédiate de porteurs de charge supplémentaires dans le plasma : la conduction du milieu ne peut que croître [4].



A l'exception des transitions faisant intervenir des métastables, la détection doit être d'autant meilleure que les niveaux sont très excités (niveaux de Rydberg), proches d'une limite d'ionisation ou dans le continuum (niveaux autoionisés).

#### I.B.1.b Influence des conditions expérimentales.

Les paramètres : pression et température du gaz ou de la vapeur, caractéristiques électriques du régime continu, contrôlent l'état initial du régime de la décharge. Ils interviennent (au même titre que le choix de la transition impliquée dans le phénomène OG) pour le bilan des processus en compétition [6,7,11]. Ainsi, BRIDGES [7] a observé l'inversion du signal OG (variation de tension) par modification du courant de décharge dans un tube à néon et ce, pour plusieurs transitions optiques du néon.

L'effet OG est d'autant plus intense que l'on augmente la puissance lumineuse excitatrice. Pour les plus fortes puissances, les expérimentateurs cités en réf. [7,11] observent la saturation du signal OG lorsque la transition optique se produit entre deux niveaux d'énergie discrets. Cette saturation traduit ici la saturation de la transition optique sollicitée.

Suivant la localisation du volume d'interaction avec la lumière dans la décharge, l'intensité du signal OG varie. Dans un tube à décharge le phénomène est prépondérant si l'interaction se produit dans l'espace obscur de Faraday d'une décharge en régime disruptif [15]. Des effets spatiaux, sur le changement d'impédance induit par laser, ont été mis en évidence par ZALEWSKI et ses collaborateurs [11] dans une cathode creuse. Ces zones de la décharge déterminent un ensemble de mécanismes contribuant différemment au processus global de conduction du milieu.

### I.B.2 Caractéristiques de la détection de l'effet OG.

Les signaux OG les plus forts en général sont observés pour les raies de résonance et celles qui impliquent les transitions issues de niveaux métastables [3]. Les niveaux fondamental et métastables sont en effet les niveaux d'énergie les plus peuplés dans une décharge. En fait, la quasi-totalité des éléments se trouve dans l'état fondamental. Pour les métastables, qui sont peuplés par collisions ou retombées radiatives, il n'existe pas de voie de désexcitation radiative vers le fondamental : ces niveaux constituent un réservoir intéressant de particules dans un état excité et ils interviennent dans la plupart des transitions entre niveaux excités, observées à l'aide de la détection OG.

L'effet OG le plus intense est signalé par BRIDGES [7] : la transition  $6p \rightarrow 8d$  induite pour le césium provoque une chute de tension égale à 30% de la tension continue du fonctionnement initial du tube à décharge.

Pour une interaction optique résonnante plus importante, la décharge doit pouvoir produire un signal encore plus intense. Cependant la détection des grands signaux OG présente une limitation pratique : lorsque la perturbation induite ramène le point de fonctionnement de la décharge dans une zone de déstabilisation, ou la décharge risque de s'éteindre, ou un régime oscillant s'établit.

Pour les plus petits signaux, la sensibilité de la détection de l'effet OG est limitée par le bruit propre dû au fonctionnement de la décharge lumineuse :

- en régime subnormal, la conduction provient du processus dominant d'émission secondaire d'électrons par le bombardement d'ions positifs sur la cathode. Pour un gaz à la pression  $P$  et à la température  $T$ , KOPEIKA et ROSENBAUM [5] rappellent qu'un tel régime présente un spectre de bruit dont le maximum est centré sur la fréquence  $f_1$  :

$$\bar{r}_i = \frac{\mu_i P_0}{b} \frac{T}{T_0} \frac{\bar{E}}{P}$$

avec  $\mu_i$  : mobilité de l'ion  
 $P_0 = 1$  Torr ,  $T_0 = 273^\circ\text{K}$   
 $b$  : distance moyenne séparant les électrodes  
 $\bar{E}$  : valeur moyenne du champ électrique continu qui règne entre les électrodes.

- en régime anormal par contre, la multiplication des porteurs de charge résulte essentiellement des processus de collisions ionisantes en chaîne. Les fluctuations aléatoires du taux d'arrivée des électrons à l'anode déterminent le bruit détecté similaire à un bruit thermique. KOPEIKA [13] donne l'expression de l'amplitude des fluctuations de tension produites aux bornes de la décharge :

$$V_n = \left[ 4 \left( \bar{\epsilon} + \frac{2P_{dc}}{Nv} \right) BR_0 \right]^{1/2}$$

avec  $B$  : bande passante du détecteur qui mesure le bruit  $V_n$  ,  
 $R_0$  : résistance équivalente du tube,  
 $\bar{\epsilon} = kT_e$  énergie moyenne des électrons ;  $T_e$  : température électronique,  
 $P_{dc}$  : puissance moyenne dissipée dans le tube,  
 $N$  : nombre total d'électrons libres,  
 $v$  : fréquence de collision élastique.

Dans l'expérience proposée par KING et SCHENCK [9], la présence de magnésium dans une flamme peut être détectée à l'état de traces. La concentration minimale, pour laquelle le rapport signal OG sur bruit vaut 2, est de 0,1 partie par billion. La fréquence du laser pulsé utilisé est alors accordée sur la raie de résonance du magnésium. De ce fait, KING et SCHENCK obtiennent une plage de dynamique de 8 ordres de grandeur, c'est-à-dire que les plus grands signaux OG observés atteignent des intensités  $10^8$  fois plus importantes que le niveau du bruit.

La qualité du rapport signal sur bruit est unanimement observée dans

les enregistrements OG (voir §.I.C.3). KOPEIKA et ROSENBAUM [5] précisent qu'il vaut mieux faire fonctionner un tube à décharge en régime subnormal plutôt qu'en régime anormal pour accroître la sensibilité de la détection des transitions optiques.

### I.B.3 Réponse impulsionnelle de la décharge à l'excitation optique.

Considérons la décharge comme le détecteur d'une interaction optique résonnante avec un élément du plasma. En l'absence d'irradiation, la décharge fonctionne pour un certain régime permanent déterminé par les conditions expérimentales avec lesquelles on opère. Lorsqu'on réalise l'interaction avec une source optique continue, un autre régime permanent s'établit. La détection consiste à mettre en évidence le changement entre deux régimes stables dans le temps.

Une excitation optique intense et très brève agit comme une perturbation quasi-instantanée du régime permanent qui déstabilise la décharge. Le phénomène détecté traduit alors le régime transitoire par lequel la décharge retourne à l'équilibre initial ; c'est la réponse impulsionnelle du détecteur.

Une partie des travaux exposés ici (Chapitre II), de même que les travaux de MIRON et coll. [6], AUSSCHNITT et coll. [4], rapportent l'observation d'un tel régime transitoire. L'excitation optique est produite par un laser pulsé avec une durée de l'impulsion de l'ordre de 10 ns. A la résonance, le retour à l'équilibre de la décharge se manifeste sur un temps de 5  $\mu$ s environ. Dans les mêmes conditions, la réponse de la diode thermoionique est 1000 fois plus lente [23].

EYTAN et KOPEIKA [16] indiquent que le temps de réponse  $\tau$  pour les dispositifs usuels de tubes à décharge est limité du fait que le plasma présente une induction parasite  $L$  et une résistance dynamique  $R$  :

$$\tau = L \times R^{-1} .$$

Dans le but d'atteindre la limite intrinsèque (pour laquelle  $\tau$  reflèterait la rapidité des processus de photoémission et photoionisation), il faudrait miniaturiser les tubes à décharge. Malheureusement la capacité parasite  $C$  interviendrait à son tour pour augmenter le temps de réponse:

$$\tau = R C .$$

La valeur de la résistance stabilisatrice  $R_c$  du circuit électrique doit être choisie la plus petite possible pour réduire au mieux  $\tau$  [16].

## I.C APPLICATIONS.

### I.C.1 Etude des plasmas.

L'étude des plasmas présente un grand intérêt non seulement dans le domaine de la physique fondamentale, mais surtout dans celui de la physique appliquée concernant la fusion contrôlée et la séparation isotopique. La détection du phénomène OG, de par sa résolution spatiale et temporelle, permet de mettre au point des techniques de diagnostic adaptées à l'étude des plasmas faiblement ionisés.

La sensibilité de la détection (§.I.B.2) est exploitée dans la détermination analytique de la présence d'une espèce dans un plasma, même lorsqu'elle s'y trouve à l'état de traces [3,9].

On peut mesurer la densité de population d'un niveau excité dans la décharge avec l'emploi de sources laser de forte puissance (lasers pulsés) et la détection OG. AUSSCHNITT et coll. [4] ont réalisé une telle expérience pour un plasma d'hydrogène et de deutérium. Le signal OG traduit la photoionisation directe par absorption à un photon ou multiphotonique à partir du niveau considéré. Avec les intensités lumineuses employées, la photoionisation est le processus dominant qui conduit au

changement de l'impédance de la décharge : l'amplitude du signal est proportionnelle à la densité d'atomes initialement présents sur le niveau perturbé.

#### I.C.2 Séparation isotopique.

BRIDGES [7] propose une méthode d'enrichissement isotopique : l'excitation sélective d'un isotope doit être réalisée en premier lieu (étude préalable de la finesse spectrale de la source excitatrice, de la largeur des raies d'absorption, de la position relative des niveaux isotopiques), l'ionisation par collision électronique et la séparation par catophorèse doivent achever l'extraction de l'élément considéré hors du plasma. Le signal OG permet ici de contrôler le processus discriminatoire de l'excitation optique. Dans son analyse, D. M. PEPPER [18] discute l'utilisation de l'effet OG pour la séparation isotopique.

#### I.C.3 Stabilisation en fréquence d'un laser à colorant continu.

Au moyen de la détection OG, la stabilisation en fréquence d'un laser à colorant continu peut se réaliser pour un très grand nombre de fréquences optiques [3]. Pour cela, il suffit que le faisceau laser irradiant une décharge présente une fréquence accordée sur la transition entre deux niveaux d'énergie (excités ou non) d'un atome de la décharge et que l'interaction résonnante conduise à un signal OG décelable. Les qualités de sensibilité et de rapidité de la réponse de la décharge dans la détection sont exploitées pour la réalisation de l'asservissement électrique de la fréquence laser sur de nombreuses transitions atomiques.

#### I.C.4 Spectroscopie optogalvanique.

Dans le domaine de la spectroscopie, la détection OG présente les caractéristiques suivantes :

- c'est une détection non optique d'une interaction optique résonnante avec un constituant d'un plasma : le signal délivré est un signal électrique.

- le montage est bien adapté pour étudier les raies d'absorption d'un plasma. L'intérêt et l'originalité de cette étude résident dans le fait que de nombreuses transitions optiques sont issues d'un niveau déjà excité, ce qui laisse entrevoir un vaste domaine d'exploration nouvelle de niveaux excités, en particulier les niveaux de Rydberg proches d'une limite d'ionisation.

- l'effet OG concerne aussi bien des espèces atomiques que des espèces moléculaires, que ces espèces soient ionisées ou non. Les décharges électriques sont des détecteurs sensibles non seulement pour les transitions électromagnétiques dans le domaine visible mais également dans le domaine micrométrique et millimétrique [16].

#### I.C.4.a Spectroscopie résolue en temps.

Les signaux OG produits par une excitation pulsée résonnante permettent d'observer l'évolution dans le temps du régime de la décharge après une brève perturbation. Les expérimentateurs cités en référence [4] et [6] présentent de tels signaux dans leurs articles : l'allure en est dissymétrique et n'est pas semblable pour toutes les transitions optiques opérées dans la décharge. Nous rendons compte au Chapitre II d'observations similaires.

MIRON et coll. [6] ont tenté d'analyser le profil dans le temps du signal OG produit par une impulsion excitatrice : ce profil pourrait rendre compte des processus naissant dans la décharge après la perturbation. La détection OG en régime pulsé permettrait ainsi d'observer d'autres transitions : celles qui introduiraient des processus de retour à l'équilibre de constantes de temps différentes et qu'il serait sûrement impossible de voir en continu si leur contribution au taux d'ionisation global est comparable mais opposée.

#### I.C.4.b Spectroscopie de position.

On réalise un spectre OG lorsqu'on enregistre les variations du

signal OG produites en modifiant, dans un balayage régulier, la fréquence de la source optique excitatrice.

Dans la mesure où le spectre dispose d'une calibration en fréquence ou en longueur d'onde, repérer la position des raies OG permet de déterminer l'énergie des niveaux d'un constituant du plasma. Très peu d'informations peuvent être tirées de l'intensité des raies OG, du fait qu'il est impossible de relier simplement la réponse OG aux grandeurs qui caractérisent la transition initiale induite, en particulier les forces d'oscillateurs.

Pour nous initier à cette nouvelle méthode de détection, nous avons reproduit une partie du spectre OG que JOHNSTON [10] avait réalisé en utilisant une décharge à hélium-néon. Les conditions expérimentales sont les suivantes :

- Tube à décharge :

. rempli d'hélium et de néon :

$$p_{\text{He}} = 6 \times 10^{-2} \text{ Torr} \quad p_{\text{Ne}} = 2,7 \text{ Torr} \quad ;$$

. régime continu obtenu pour un courant de 6 mA et une chute de tension aux bornes de la décharge de l'ordre du kV.

- Excitation pulsée provenant d'un laser à colorant accordable.

Durée de l'impulsion : inférieure à 10 ns.

Des détails supplémentaires quant au traitement du signal OG sont donnés au chapitre suivant.

Le spectre observé en Figure 5 permet de remarquer les points suivants :

- la polarité des raies : le signal OG peut être positif ou négatif.

- la qualité du rapport signal sur bruit pour les raies enregistrées.

Au sommet des raies, l'effet OG produit une variation de tension d'environ 10 V, soit 1% de la tension de fonctionnement du tube à décharge.

Le niveau du bruit, hors résonance, est à peine perceptible. Il traduit



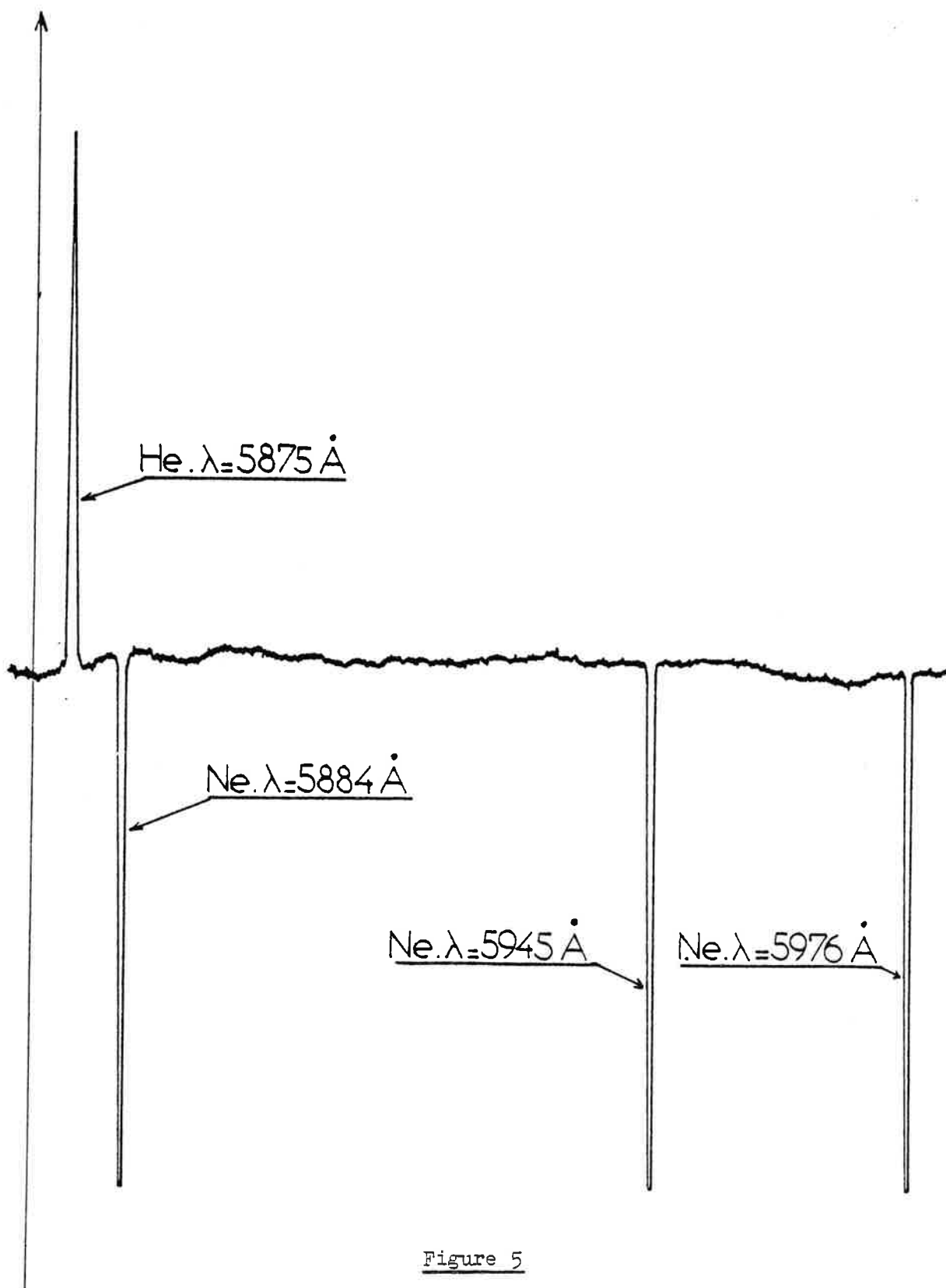


Figure 5  
Spectre optogalvanique d'une décharge hélium-néon.



la sensibilité de la décharge qui délivre un signal dès qu'un effet OG produit à ses bornes une variation de tension de l'ordre de 100 mV.

A ce jour, très peu d'expériences ont été tentées pour réaliser la détection OG d'une transition multiphotonique entre deux niveaux discrets dans une décharge. Nécessitant de fortes densités de puissance lumineuse, ces résonances se produisent en général au niveau de la taille d'un faisceau laser. Cette zone d'interaction est très petite par rapport au volume utile à la conduction de la décharge dans un tube cylindrique usuel et nuit en partie à la sensibilité de la détection de tels processus par effet OG.

Néanmoins, AUSSCHNITT et coll. [4] ont réussi à détecter un processus d'absorption à deux photons, d'énergies différentes, pour la transition optique issue du fondamental vers le premier niveau excité de l'atome d'hydrogène. En fait, le signal OG obtenu rend compte d'un processus d'ionisation supplémentaire à partie du niveau excité. La radiation de l'un des deux lasers pulsés utilisés porte, presque aussitôt qu'ils sont produits, les atomes excités au-delà de la limite d'ionisation. Le volume de la décharge où l'interaction à trois photons est réalisée se limite à  $10^{-3}$  cm<sup>3</sup>, à comparer au volume de la colonne positive qui est de l'ordre de quelques cm<sup>3</sup>. L'intensité du signal observé permet d'estimer la création de plus de  $10^{12}$  paires électron-ion par pulse laser conduisant à une modification de la tension de 4%.

GOLDSMITH et coll. [22] ont été amenés à placer le tube laser à hélium-néon dans la cavité laser elle-même pour pouvoir détecter par effet OG des transitions à deux photons résonnantes à partir d'un niveau excité non métastable du néon. Les transitions intéressées sont ainsi produites en plus grand nombre puisque dans un volume d'interaction où la densité de puissance lumineuse est accrue. Les auteurs prévoient d'optimiser les paramètres du tube à décharge, du mélange gazeux et du circuit électrique pour améliorer le rapport signal sur bruit.

Plus récemment, J. C. WHITE et coll. [24] ont donné un nouvel essor à la détection OG qui leur a permis d'observer des phénomènes de collisions assistées par laser impliquant des atomes très excités. Leur détecteur est un tube à décharge dont les électrodes présentent une disposition particulière (la distance entre les électrodes vaut 1 mm) réduisant alors le volume utile à la conduction de la décharge. La section du faisceau laser à la focalisation couvre une surface égale à quelques  $10^{-3}$  cm<sup>2</sup>. La sensibilité atteinte est très importante : le détecteur OG ainsi conçu peut rendre compte de phénomènes qui affectent dans le niveau fondamental une fraction de la population égale à  $10^{-5}$  pour l'espèce qui domine la conduction de la décharge. Cette détection correspond à un milieu qui présente un coefficient d'absorption égal à  $10^{-8}$  cm<sup>-1</sup>.

#### I.C.4.c Spectroscopie sans effet Doppler.

Lorsque la finesse spectrale de la source optique excitatrice est suffisante, la largeur des raies OG rend compte principalement de la distribution des vitesses des espèces dans la décharge (effet Doppler). D'autres causes d'élargissement peuvent se rencontrer : élargissement par pression, élargissement par puissance ; si le plasma est optiquement épais pour une transition donnée, l'emprisonnement de radiation peut se produire et conduire à une largeur de raie égale à plusieurs fois la largeur Doppler [10].

JOHNSTON [10] a réalisé l'enregistrement OG du profil de raies dans une expérience d'absorption saturée sans effet Doppler et permis d'observer pour la première fois le "Lamb dip" au moyen de la détection OG. Pour la raie d'absorption étudiée du néon ( $\lambda = 5988 \text{ \AA}$ ) le profil présente les caractéristiques suivantes :

- . largeur Doppler  $\Delta\nu_D = 1,9 \text{ Hz}$  ( $\Delta\sigma_D = 63 \text{ mK}$ ).

- . largeur du "Lamb dip" qui en creuse le sommet

$$\Delta\nu_{LD} = 0,4 \text{ GHz} \quad (\Delta\sigma_{LD} = 13 \text{ mK}) .$$

Les expériences de spectroscopie d'absorption à très haute résolution peuvent ainsi se combiner à l'effet OG pour l'étude des déplacements isotopiques ou l'étude de la structure hyperfine des niveaux d'énergie des atomes. Signalons la mise au point de l'expérience de LAWLER et coll. [8] pour observer, à l'aide de la détection OG, une transition entre niveaux hyperfins de  $^3\text{He}$  basée sur une méthode d'excitation optique par deux faisceaux laser intermodulés. (Le principe de cette méthode est expliqué par SOREM et SCHAWLOW [20]). Les deux faisceaux saturants provenant du même laser et se propageant en sens opposé au travers du plasma, sont modulés à des fréquences  $f_1$  et  $f_2$  différentes. En détectant les signaux OG produits à la fréquence  $f_1 + f_2$  (ou  $f_1 - f_2$ ) la composante Doppler est éliminée.

Références du Chapitre I

- [1] F. M. PENNING, *Physica* 8, 137 (1928) ;  
K. W. MEISSNER et W. F. MILLER, *Phys. Rev.* 92, 896-898 (1953).
- [2] J. F. DELPECH, Thèse de Doctorat d'Etat, Orsay (1968).
- [3] R. B. GREEN, R. A. KELLER, G. G. LUTHER, P. K. SCHENCK et J. C. TRAVIS, *Appl. Phys. Lett.* 29, 727-729 (1976).
- [4] C. P. AUSSCHNITT, G. C. BJORKLUND et R. R. FREEMAN, *Appl. Phys. Lett.* 33, 851-853 (1978).
- [5] N. S. KOPEIKA et J. ROSENBAUM, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. PS-4, 51-61 (1976).
- [6] E. MIRON, I. SMILANSKI, J. LIRAN, S. LAVI et G. EREZ, *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-15, 194-196 (1979).
- [7] W. B. BRIDGES, *J. Opt. Soc. Am.* 68, 352-360 (1977).
- [8] J. E. LAWLER, A. L. FERGUSON, J. E. M. GOLDSMITH, D. J. JACKSON et A. L. SCHAWLOW, *Phys. Rev. Lett.* 42, 1046-1049 (1979).
- [9] D. S. KING et P. K. SCHENCK, *Laser Focus* 14, 50-57 (1978).
- [10] T. F. JOHNSTON, Jr., *Laser Focus* 14, 58-63 (1978).
- [11] E. F. ZALEWSKI, R. A. KELLER et R. ENGLEMAN, Jr., *J. Chem. Phys.* 70, 1015-1026 (1979).
- [12] J. P. GRANDIN et X. HUSSON, Colloque E.G.A.S. (Pise, Septembre 1980).
- [13] N. S. KOPEIKA, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. PS-6, 139-157 (1977).
- [14] N. S. KOPEIKA, G. EYTAN et A. P. KUSHELEVSKI, *J. Appl. Phys.* 50, 11-16 (1979)..

- [15] N. S. KOPEIKA, J. ROSENBAUM et R. KASTNER, *Appl. Phys.* 15, 1610-1615 (1976).
- [16] G. EYTAN et N. S. KOPEIKA, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. PS-6, 261-264 (1978).
- [17] J. C. TRAVIS, P. K. SCHENCK, G. C. TURK et W. G. MALLARD, *Anal. Chem.* 51, 1516-1520 (1979).
- [18] D. M. PEPPER, *IEEE J. Quant. Electron.*, vol. QE-14, 971-977 (1978).
- [19] C. E. WEBB, *Inst. Phys. Conf. Ser.* 29, 1-28 (1976).
- [20] M. S. SOREM et A. L. SCHAWLOW, *Opt. Commun.* 5, 148-151 (1972).
- [21] G. EREZ, S. LAVI et E. MIRON, *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-15, 1328-1332 (1979).
- [22] J. E. M. GOLDSMITH, A. I. FERGUSON, J. E. LAWLER et A. L. SCHAWLOW, *Optics Letters* 4, 230-232 (1979).
- [23] M. AYMAR, P. CAMUS, M. DIEULIN et C. MORILLON, *Phys. Rev. A* 18, 2173-2183 (1978).
- [24] J. C. WHITE, R. R. FREEMAN et P. F. LIAO, *Optics Letters* 5, 120-122, (1980).

AnnexeMODELE DE SCHOTTKY

Ce modèle permet de décrire l'équilibre dynamique du plasma contenu dans la colonne positive d'une décharge électrique continue. Il s'applique essentiellement aux cas des décharges usuelles produites dans un tube cylindrique de rayon  $R \approx 1$  à 10 mm, contenant un gaz à faible pression  $p < 20$  Torr et fonctionnant avec des courants  $I_0$  de quelques milli-Ampère à plusieurs Ampère.

Nous limitons ici la description au cas où le plasma est constitué d'une seule espèce atomique.

Sans irradiation externe de la décharge disruptive, les transferts de population entre les niveaux d'énergie sont caractérisés par les coefficients suivants :

$A'_{kj}$  : Probabilité de désexcitation radiative, du niveau  $k$  vers le niveau  $j$ , par émission spontanée ( $A_{kj}$ ) en tenant compte de l'emprisonnement de radiation possible par auto-absorption ( $\gamma$ )

$$A'_{kj} = \gamma A_{kj} \quad . \quad (1)$$

D. M. PEPPER [1] rappelle l'expression du facteur d'emprisonnement de radiation  $\gamma$  pour un tube à décharge cylindrique infini, de rayon  $R$  :

$$\gamma = \frac{1,6}{k_0 R (\pi \text{Log } k_0 R)^{1/2}}$$

avec  $k_0$ , coefficient d'absorption au centre de la raie de la transition résonnante.



$S_{jk}$  : Coefficient décrivant les collisions électroniques inélastiques qui amènent un atome excité du niveau  $j$  vers le niveau  $k$  (C. E. WEBB [2]).

Le taux de transfert au cours d'un tel processus s'écrit, pour l'unité de volume :

$$Z_{jk} = n_e n_j S_{jk}$$

où  $n_e$  et  $n_j$  représentent la densité volumique respective des électrons et des atomes excités dans le niveau  $j$ .

C. E. WEBB [2] donne l'expression des coefficients  $S_{0k}$  et  $S_{k0}$  (dans le cas où un des niveaux est le niveau fondamental) en faisant l'hypothèse que les électrons présentent une distribution Maxwellienne de leur énergie d'agitation thermique  $\epsilon$ , caractérisée par la température électronique  $T_e$  :

$$f(\epsilon) = 2 \left(\frac{\epsilon}{\pi}\right)^{1/2} (k T_e)^{-3/2} \exp\left(-\frac{\epsilon}{k T_e}\right)$$

On peut établir une expression similaire pour tous les coefficients  $S_{jk}$ .

Collision inélastique du premier ordre : les énergies des niveaux sont telles que  $E_k > E_j$  ; l'électron perd une partie de son énergie cinétique au cours du choc :

$$S_{jk} = \left(\frac{2^3}{\pi m}\right)^{1/2} (k T_e)^{-3/2} \int_{\epsilon_{jk}}^{\infty} \epsilon Q_{jk}(\epsilon) \exp\left(-\frac{\epsilon}{k T_e}\right) d\epsilon \quad (2)$$

avec  $m$  : masse de l'électron.

$T_e$  : température électronique.

$Q_{jk}(\epsilon)$  : section efficace d'excitation de l'atome entre les niveaux  $j$  et  $k$ , par collision avec un électron d'énergie d'agitation thermique  $\epsilon$ .

$\epsilon_{jk}$  : énergie qui sépare les niveaux  $j$  et  $k$  ( $\epsilon_{jk} = E_k - E_j$ ).

Lorsque la transition aboutit à l'ionisation directe (i) au-delà de la limite d'ionisation  $I$ , le paramètre qui intervient dans l'expression de  $S_{ji}$  est  $\epsilon_{ji} = I - E_j$ .

Si les niveaux sont suffisamment espacés pour que  $\epsilon_{jk} > \frac{1}{2} k T_e$ , l'expression de  $S_{jk}$  se simplifie :

$$S_{jk} = \left(\frac{2^3}{\pi m}\right)^{\frac{1}{2}} Q_{jk}(\max) \epsilon_{jk}^{\frac{1}{2}} \Phi\left(\frac{\epsilon_{jk}}{k T_e}\right) \exp\left(-\frac{\epsilon_{jk}}{k T_e}\right) \quad (2')$$

où  $\Phi\left(\frac{\epsilon_{jk}}{k T_e}\right)$  est une fonction lente de la variable  $T_e$ , qui tient compte de la forme de la courbe  $Q_{jk}(\epsilon)$ .

Collision inélastique du second ordre ou superélastique :  $E_k < E_j$ , à l'issue de la collision l'électron acquiert de l'énergie cinétique.

$$S_{jk} = \frac{g_j}{g_k} S_{kj} \exp\left(+\frac{\epsilon_{jk}}{k T_e}\right) \quad (3)$$

avec  $g_j$  et  $g_k$ , les ordres de dégénérescence des niveaux  $j$  et  $k$  respectivement.

Dans le cas où  $\epsilon_{jk} > \frac{1}{2} k T_e$ , l'expression (3) devient

$$S_{jk} = \frac{g_j}{g_k} \left(\frac{2^3}{\pi m}\right)^{\frac{1}{2}} Q_{kj}(\max) \epsilon_{jk}^{\frac{1}{2}} \Phi\left(\frac{\epsilon_{jk}}{k T_e}\right) \quad (3')$$

$\boxed{\frac{1}{\tau_{Dj}}}$  : Caractérise la perte par diffusion vers les parois du tube de l'atome excité sur le niveau  $j$ .

Ce mouvement résulte de l'existence d'un gradient de la densité d'atomes suivant un rayon du tube.

Lorsque le régime permanent est atteint, le taux de transfert global est nul par compensation entre les apports et les pertes pour la population d'un niveau excité discret  $j$  quelconque. Dans ce cas, nous pouvons décrire l'état stationnaire par l'équation suivante :

$$\sum_{k > j} A'_{kj} n_k + n_e \sum_{k \neq j} S_{kj} n_k = \left( \sum_{k < j} A'_{jk} + n_e \sum_{k \neq j} S_{jk} + n_e S_{ji} + \frac{1}{\tau_{Dj}} \right) n_j \quad (4)$$

Le modèle de SCHOTTKY [2] suppose que le principal mécanisme de perte d'ions dans la colonne positive est dû à la diffusion ambipolaire : les ions se déplacent radialement vers les parois du tube où ils vont se neutraliser par recombinaison complète avec les électrons présents à cet endroit. Avec de telles hypothèses, les équations (5) et (6) traduisent le régime permanent pour les densités  $n_i$  (ions présents dans le plasma) et  $n_0$  (atomes non excités) pour l'espèce contenue dans la colonne positive.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dn_i}{dt} = 0 = n_e \sum_k n_k S_{ki} + D_a \nabla^2 n_i \end{array} \right. , \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{k \neq 0} A'_{k0} n_k - D_a \nabla^2 n_i = \left( n_e \sum_{k \neq 0} S_{Ok} + n_e S_{Oi} + \frac{1}{\tau_{Dk}} \right) n_0 \end{array} \right. , \quad (6)$$

où  $D_a$  est le coefficient de diffusion ambipolaire.

Les équations (4), (5) et (6) rendent compte du régime stationnaire au sein de la colonne positive dans la mesure où d'autres processus de transferts de population n'interviennent pas : collisions atomiques, absorption du rayonnement du corps noir associé, ..., ce que nous supposons dans cette première approche.

Pour un fonctionnement donné de la décharge disruptive, les paramètres internes (en particulier  $n_e$ ,  $T_e$ , le champ électrique  $\bar{E}$  le long de l'axe du tube) doivent être ajustés de sorte que la colonne positive puisse satisfaire les contraintes suivantes :

- courant de décharge : courant  $I$  qui parcourt le circuit extérieur. Les électrons présentent une mobilité plus importante que celle des ions : ils contribuent essentiellement à la conduction du courant dans le plasma.
- neutralité de la charge électrique :  $n_i = n_e$ .
- taux d'ions créés = taux d'ions perdus
- puissance électrique délivrée = puissance dissipée par la décharge.

Références Annexe.

- [1] D. M. PEPPER, IEEE J. Quantum Electron., vol. QE-14, 971-977 (1978).
- [2] C. E. WEBB, Inst. Phys. Conf. Sc. 29, 1-28 (1976).





## Chapitre II

### Etude des niveaux très excités du Baryum neutre : spectroscopie laser à moyenne résolution et détection optogalvanique.

#### II.A - CHOIX DE LA METHODE EXPERIMENTALE.

##### II.A.1 Etude des niveaux de Rydberg.

###### II.A.1.a Propriétés caractéristiques :

Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes proposé d'étendre l'investigation des niveaux très excités de l'atome neutre de Baryum. Ces niveaux d'énergie  $E_n$  sont appelés niveaux de Rydberg. Ils obéissent à une loi du type :

$$I - E_n = \frac{R}{n^2}$$

avec . R : constante caractéristique de l'atome considéré

$$R = \frac{\mu}{m} R_\infty$$

$R_\infty$  : constante de Rydberg

m : masse vraie de l'électron

$\mu$  = masse réduite de l'électron.

Pour le Baryum :  $R = 109736,88 \text{ cm}^{-1}$ .

.  $E_n$  : énergie du niveau de nombre quantique principal, l'entier n,

$n-n^*$  : défaut quantique du niveau

I : limite d'ionisation de la série de Rydberg  $E_n$   
 $n \rightarrow \infty \quad E_n \rightarrow I$  .

Les faibles valeurs de  $n$  correspondent aux niveaux les plus profonds ou niveaux de valence (en général  $n < 10$  ). Les niveaux les plus excités ( $n > 10$ ) constituent les niveaux de Rydberg.

Tant que le couplage spin-orbite reste faible devant l'interaction électrostatique, un niveau de Rydberg peut être décrit par les nombres quantiques  $L$ ,  $S$  et  $J$ . Dans ces conditions et dans l'approximation du dipôle électrique, les transitions optiques permises sont celles qui obéissent aux règles strictes de sélection : même parité et  $\Delta J = 0, \pm 1$ ,  $0 \not\leftrightarrow 0$  (par contre les règles sur  $L$  et  $S$  ne sont généralement pas vérifiées dans le baryum).

Les atomes excités sur un niveau de Rydberg peuvent être décrits par l'ensemble d'un coeur chargé positivement (noyau + cortège électronique résiduel) et d'un électron externe en interaction avec le coeur et situé en moyenne à une très grande distance du noyau ( $d$  croît comme  $n^2$ ). Pour une même série :

- le coeur est dans un état donné, très proche de celui de l'ion auquel l'atome donne naissance par éjection de l'électron de Rydberg et qui est caractérisé par l'énergie limite  $I$ .
- l'électron périphérique gravite sur des trajectoires d'autant plus éloignées du noyau que l'atome est dans un état plus excité, ce qui accroît la taille de l'atome.

Pour un atome faiblement excité sur un niveau  $E_{n'}$ , la probabilité de transition vers un niveau de Rydberg  $E_n$  est très faible :

$$A_{n'n} = \frac{4}{3} \frac{\omega^3}{\hbar c^3} e^2 |\vec{R}_{n'n}|^2 \propto n^{-3}$$

avec :



- e  $\vec{R}_{n',n}$  : élément de matrice de l'opérateur dipolaire entre les deux états intéressés dans la transition,
- $\omega = 2\pi\nu$  : la transition d'énergie  $h\nu = E_{n'} - E_n$ , se produit en général dans le domaine du visible ou de l'ultra-violet.

En l'absence de perturbation, les atomes de Rydberg sont pratiquement métastables : la durée de vie des états quantiques augmente avec le nombre quantique principal ( $\tau \propto n^3$ ,  $\tau \approx 1$  ms pour  $n \approx 100$ ). Les niveaux de Rydberg présentent donc une largeur naturelle très faible. Par exemple, pour les niveaux  $ns$  du sodium :  $\Delta\nu_n \approx 1$  kHz si  $n \approx 40$ .

Néanmoins la présence d'un électron faiblement lié au cœur et la taille importante des atomes excités dans les niveaux de Rydberg leur confèrent une grande fragilité vis-à-vis des processus d'ionisation dans un champ électrique ou par collisions.

#### II.A.1.b Méthodes de détection usuelles.

La production des atomes dans un état très excité à partir des niveaux profonds et l'observation d'un nombre de niveaux de Rydberg toujours plus important nécessitent une méthode d'excitation à la fois puissante et sélective, ce que l'on obtient avec l'emploi de lasers fonctionnant en impulsions. L'étendue des explorations est réalisée avec les lasers à colorants qui sont accordables en fréquence sur une grande plage du domaine de longueurs d'ondes optiques.

Les méthodes usuelles de spectroscopie laser basées sur une détection optique sont mal adaptées à l'étude des niveaux de Rydberg :

- la durée de vie radiative de ces niveaux est longue, c'est-à-dire que l'intensité de fluorescence émise est très faible, ce qui ajoute aux problèmes déjà rencontrés en spectroscopie de fluorescence, à savoir l'efficacité pour collecter la plus grande partie de lumière de fluorescence et la diffusion parasite du rayonnement excitateur.

- l'atténuation de l'intensité du faisceau laser à la traversée du milieu à étudier rend compte de son absorption par ce milieu. JOHNSTON [1] a pu comparer le spectre d'absorption et le spectre OG obtenus simultanément pour un mélange hélium-néon excité par une décharge électrique : la détection OG présente la meilleure sensibilité. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette observation.
- dans cette expérience à moyenne résolution, l'absorption de lumière lors d'une résonance atomique se produit sur une fraction seulement de la bande spectrale de la raie laser : l'atténuation de l'intensité transmise n'est jamais complète.
- la détection par absorption sur le faisceau laser n'est pas une détection sur fond noir.

Les méthodes basées sur la détection des ions créés à partir des niveaux de Rydberg sont très sensibles dans la détection de ces niveaux.

La méthode d'ionisation par champ électrique sur jet atomique est couramment employée pour observer les niveaux de Rydberg. Pour éviter l'effet Stark, perturbant les niveaux atomiques lorsqu'on applique le champ électrique, il est nécessaire de procéder en deux temps. Deux impulsions successives sont réalisées : la première produit l'excitation optique vers les niveaux à étudier, la seconde l'ionisation de ces niveaux en appliquant alors seulement le champ électrique. L'utilisation d'un jet atomique présente l'avantage de réduire l'effet Doppler et de travailler sur des atomes interagissant faiblement entre eux mais l'inconvénient d'utiliser des milieux peu denses.

Dans une diode thermoionique, la détection des résonances optiques est rendue très sensible avec l'amplification par la charge d'espace. Elle est cependant limitée à l'observation de transitions issues du niveau fondamental de l'atome à étudier [2], qui est souvent le seul niveau suffisamment peuplé dans une vapeur à l'équilibre thermique.

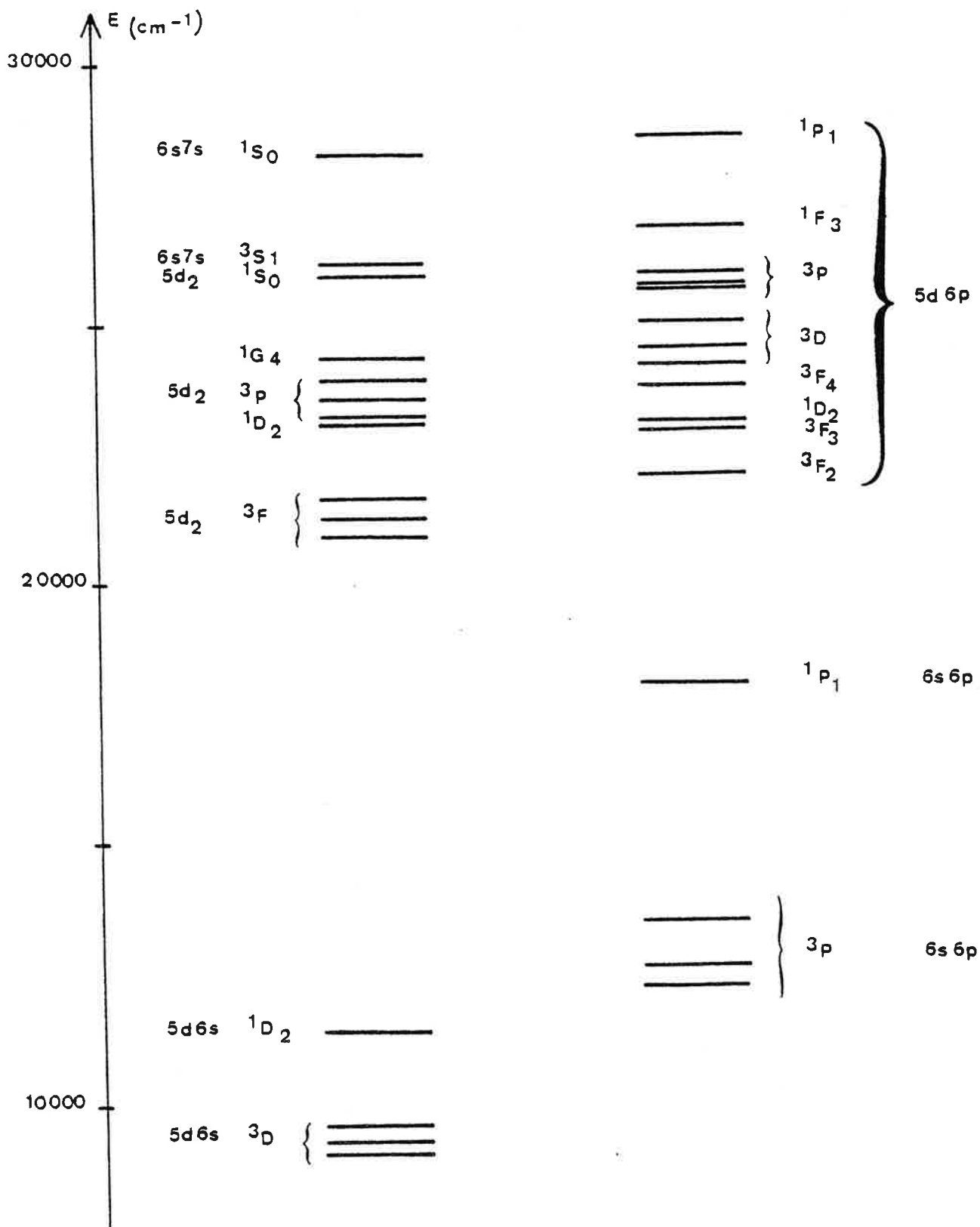


Figure 6

Diagramme d'énergie pour les premiers niveaux excités de l'atome neutre de baryum.



### II.A.1.c Méthode de détection utilisant l'effet OG.

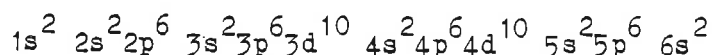
La détection des transitions optiques par effet OG rend compte de la répercussion des processus collisionnels et radiatifs sur le taux d'ionisation global d'une décharge électrique (voir Chapitre I). Cette méthode semble particulièrement adaptée à l'étude des niveaux de Rydberg et présente l'originalité de permettre l'observation de tels niveaux à l'aide de transitions optiques issues de niveaux déjà excités dans le plasma par la décharge.

L'avantage incontestable à utiliser une décharge réside donc dans le fait qu'elle permet simultanément de préparer des particules dans un état excité et de produire, en les détectant par effet OG, les transitions atomiques à partir de cet état, ouvrant la voie à de nouvelles explorations de niveaux d'énergie.

### II.A.2 Etude des niveaux très excités de l'atome de baryum.

#### II.A.2.a Structure électronique de l'atome.

Le baryum est un élément de la famille des alcalino-terreux (colonne II de la classification périodique). L'atome neutre compte 56 électrons qui se répartissent dans les couches électroniques les plus profondes. Toutes les sous-couches sont saturées et la dernière est occupée par deux électrons externes pour donner la configuration fondamentale de Ba I :



qui définit le seul niveau d'énergie : le niveau  $^1S_0$ .

Le diagramme reproduit en Figure 6 montre la répartition des premiers niveaux excités de Ba I. Les configurations des niveaux profonds de l'atome excité sont de deux sortes :

- configurations à un électron excité du type  $6sn\ell$ .
- configurations à deux électrons excités du type  $5dn'\ell'$ ,  $6pn''\ell''$ .

### II.A.2.b Nouveaux domaines d'exploration de niveaux très excités.

Une vaste exploration des niveaux de Rydberg de Ba I a déjà été entreprise au-dessous de la première limite  $6s$ , dans une expérience antérieure pour laquelle nous avons exploité les propriétés de la diode thermoionique [2]. Nous avons ainsi observé des transitions à deux photons à partir du fondamental conduisant vers des niveaux très excités des séries  $6sns$  et  $6snd$  de nombre quantique  $J$  égal à 0 ou à 2 (conformément aux règles de sélection des transitions dipolaires électriques).

Opérant sur une vapeur de baryum en équilibre thermique, nous sommes limités dans la mise en oeuvre d'une expérience d'absorption à partir du seul niveau suffisamment peuplé : le fondamental  $6s^2 \ ^1S_0$ . Pour atteindre un niveau  $J=5$  de même parité que le fondamental, une excitation en échelons ne demanderait pas moins de 6 transitions à un photon. Avec la diode, réaliser une telle expérience est impensable : non seulement le montage expérimental serait compliqué, mais aussi l'exclusivité non garantie et difficilement contrôlable du procédé d'excitation rendrait l'interprétation des spectres très complexe. Toutefois, J. J. WYNNE et coll. [3] ont pu mettre en évidence les niveaux  $J=4$  de la configuration  $6sng$  dans une excitation à partir du fondamental utilisant seulement 3 étages, mais aussi un transfert collisionnel assisté par laser.

L'exploration des niveaux très excités de Ba I peut être poursuivie en procédant de façon plus simple :

- au-delà de la première limite  $6s$  ( $I_0 = 42035,02 \text{ cm}^{-1}$ ), les niveaux autoionisants de faible valeur de  $J$  peuvent être observés dans une expérience d'absorption multiphotonique résonnante ou non à partir du fondamental. Pour se limiter à deux ou trois transitions atomiques, il est nécessaire de doubler en fréquence au moins un des faisceaux laser utilisés. WYNNE et HERMANN [9] ont entrepris une telle expérience pour observer les niveaux autoionisants  $J = 0, 1$  ou  $2$  appartenant aux configurations paires  $5dns$  et  $5dnd$ .

- les niveaux très excités de valeurs supérieures pour  $J$  peuvent être atteints par un processus optique utilisant au plus deux photons ou deux échelons à partir d'un niveau excité préalablement par une voie non optique.

Une décharge électrique continue dans une vapeur de baryum atomique combine précisément l'excitation non optique préliminaire en peuplant les niveaux métastables  $5d6s \ ^1D_2$ ,  $\ ^3D_{1,2,3}$  [10] et la possibilité de détecter les transitions optiques issues de ces niveaux par effet OG. Les qualités liées à la détection OG dans le domaine de la spectroscopie (voir Chapitre I) et la facilité, a priori, de mise au point d'une telle expérience nous ont encouragés à l'entreprendre. Les travaux reportés au Chapitre III constituent une première dans la réalisation d'un spectre atomique excité ainsi que dans la détection de niveaux de Rydberg au moyen de l'effet OG.

## II.B - REALISATION DE L'EXPERIENCE DE SPECTROSCOPIE LASER à MOYENNE RESOLUTION UTILISANT LA DETECTION OPTOGALVANIQUE.

### II.B.1 Principe du processus d'excitation des atomes neutres de baryum.

Dans le but d'atteindre les niveaux d'énergie très excités, c'est-à-dire les niveaux situés au voisinage de la première limite d'ionisation  $6s \ ^2S_{1/2}$  (à  $42035,02 \text{ cm}^{-1}$  du fondamental [5]), il est nécessaire de réaliser deux transitions de fréquence optique à partir des métastables de  $6s5d$  comme à partir du fondamental. On peut envisager un processus d'absorption à deux étages ou à deux photons, absorption issue de ces niveaux pairs qui mène vers des niveaux excités de même parité. Les transitions optiques opérées dans le plasma seront détectées à condition qu'elles engendrent un effet OG suffisant, compte tenu du niveau de bruit, pour donner lieu à un signal électrique à la résonance.

### II.B.1.a Détection des résonances optiques par effet OG.

Pour les deux processus envisagés d'excitation optique, les interactions résonnantes d'une part sollicitent le fondamental ou les métastables, niveaux les mieux peuplés dans la décharge, d'autre part produisent des atomes excités sur les niveaux de Rydberg d'où les processus d'ionisation par collisions électroniques sont renforcés. Néanmoins, il n'est pas garanti que de telles transitions conduisent à produire un effet OG. En effet, les niveaux profonds peuvent intervenir de façon appréciable dans le mécanisme de conduction de la décharge, leur dépeuplement apportant en général une contribution de sens inverse, c'est-à-dire une réduction des processus d'ionisation. Toutefois, les durées de vie de ces deux catégories de niveaux ne sont pas les mêmes. Il est probable que de telles transitions induisent des processus de retour à l'équilibre de la décharge, dont les constantes de temps sont différentes (MIRON et coll. [14]). Elles seraient donc plus aisément détectées avec une excitation optique agissant en impulsion (voir §.I.C.4.a).

Les processus d'absorption à partir du fondamental ne présentent pas de résultat spectroscopique nouveau dans le cadre de notre étude sur le baryum (voir §.II.A.2). Cependant il sera intéressant de rechercher l'aptitude de l'effet OG à détecter dans une décharge les transitions à deux photons à partir du fondamental et de niveaux excités (voir §.II.B.3.a).

### II.B.1.b Caractéristiques des niveaux observés.

La répartition des niveaux d'énergie de Ba I donnée à la Figure 7 permet de comprendre le processus d'excitation choisi à partir des niveaux métastables de  $5d6s$ . Le niveau fondamental de l'atome neutre de baryum est pris comme référence pour les nombres d'ondes des niveaux considérés. Les niveaux impairs de la configuration  $5d6p$ , localisés aux alentours de  $25000 \text{ cm}^{-1}$ , sont des candidats qui remplissent les conditions requises pour être niveaux intermédiaires intervenant dans un processus d'absorption à deux étages à partir des métastables situés vers  $10000 \text{ cm}^{-1}$ . Une



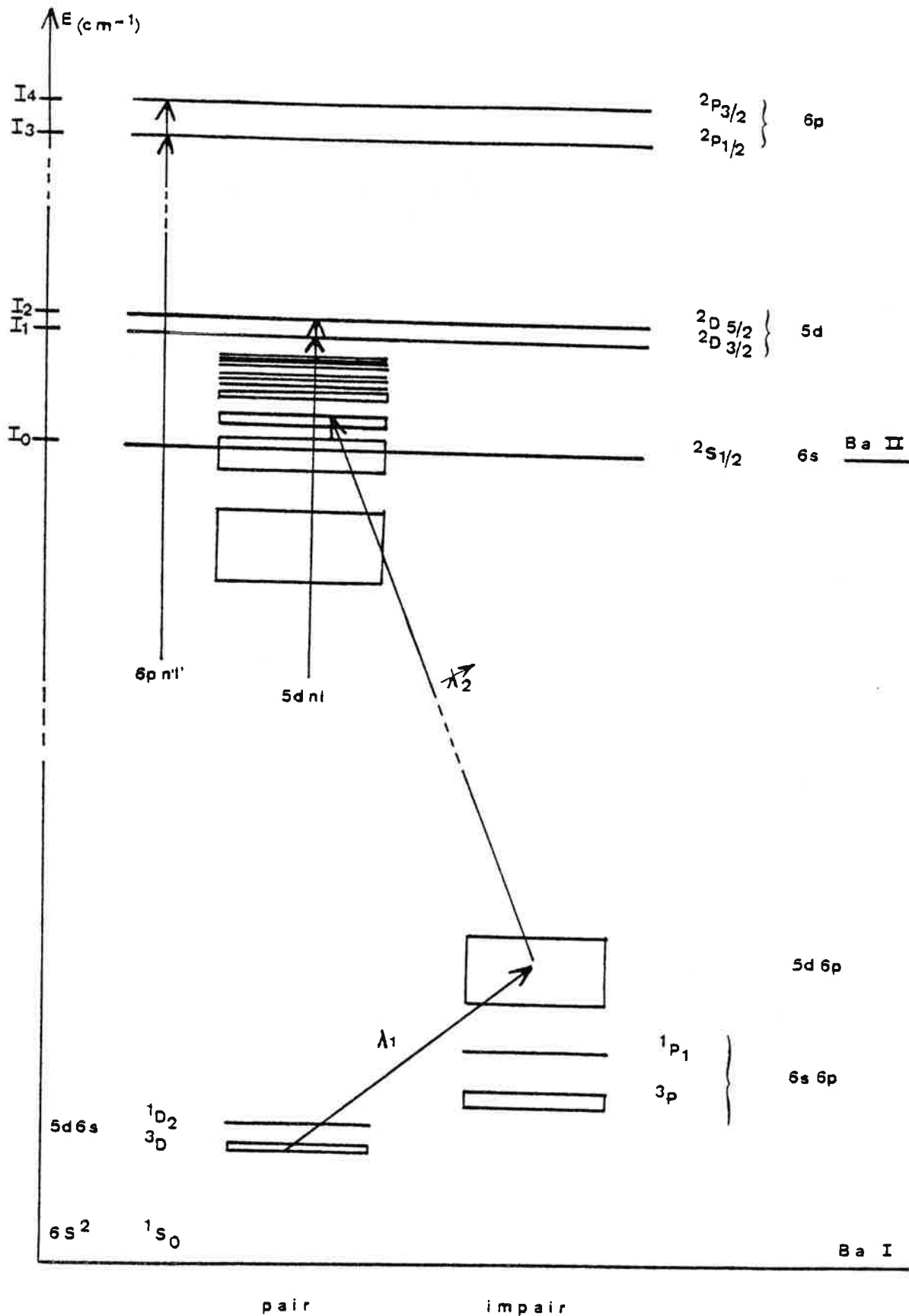


Figure 7 - Processus d'excitation optique à deux échelons à partir des niveaux métastables de  $5d6s$ .



telle excitation permet alors d'atteindre des niveaux d'énergie qui sont situés au voisinage de la première limite d'ionisation et qui présentent les caractéristiques suivantes :

- ces niveaux appartiennent à des configurations paires (même parité que les métastables) comportant deux électrons excités du type  $5dn\ell$  ou  $6pn'\ell'$  .

- leur valeurs de  $J$  sont comprises entre 0 et 5 : la configuration  $5d6p$  contient au total 12 niveaux pour lesquels  $J$  peut prendre toutes les valeurs entre 0 et 4 ; chacun de ces niveaux pouvant être peuplé dans la transition optique du premier étage issue de l'un des 4 niveaux de  $5d6s$  .

- ces niveaux appartiennent au spectre discret, s'ils sont localisés sous la première limite  $I_0$  , ou au spectre autoionisant, au-delà de  $I_0$  . Les séries  $5dn\ell$  convergent vers les limites

$$5d \ ^2D_{3/2} \quad (I_1 = 46908,87 \text{ cm}^{-1} [5])$$

$$\text{et } 5d \ ^2D_{5/2} \quad (I_2 = 47709,84 \text{ cm}^{-1} [5]) \ ;$$

alors que les séries  $6pn'\ell'$  convergent bien plus haut vers les limites

$$6p \ ^2P_{1/2} \quad (I_3 = 62296,68 \text{ cm}^{-1} [6])$$

$$\text{et } 6p \ ^2P_{3/2} \quad (I_4 = 63987,44 \text{ cm}^{-1} [5]) \ .$$

Les transitions atomiques à deux échelons, par l'intermédiaire des niveaux de  $5d6p$  qui sont les plus probables, sont celles qui conduisent aux configurations paires  $5dns$  ,  $5dnd$  ,  $6pnp$  ou  $6pnf$  . Cela correspond aux plus grandes forces d'oscillateurs concernant la transition du second étage. Mises à part les configurations  $5d^2$  et  $6p^2$  qui contiennent 9 et 5 niveaux respectivement, pour chaque valeur de  $n$  , les niveaux de  $5dns$  ,  $5dnd$  ,  $6pnp$  et  $6pnf$  sont respectivement au nombre de 4, 18, 10 et 12. L'observation nouvelle d'une multitude de niveaux très excités étant espérée dans une telle expérience, nous avons limité l'exploration à la recherche des niveaux dont l'énergie était comprise entre  $40000 \text{ cm}^{-1}$  (sous la première limite  $6s$  ) et  $48000 \text{ cm}^{-1}$  (jusqu'aux limites  $5d$  ) environ.

Dans ce domaine d'exploration, de tous les niveaux appartenant aux configurations  $6pnp$  ( $n \geq 6$ ) ou  $6pnf$  ( $n \geq 4$ ), un seul niveau est susceptible d'être observé : c'est le niveau  $6p^2 \ ^1S_0$  (quant à la position duquel subsiste une ambiguïté!). En effet, les quatre autres niveaux appartenant à  $6p^2$  sont situés en dessous de  $39000 \text{ cm}^{-1}$  et le premier niveau de la configuration suivante  $6p7p$  est attendu aux environs de  $50000 \text{ cm}^{-1}$ . Quant à la configuration  $6p4f$ , on peut estimer la position du niveau le plus bas au-delà de la limite  $5d \ ^2D_{5/2}$ . Cette estimation résulte de la comparaison des écarts en énergie qui existent entre les niveaux les plus bas appartenant à chaque couple de configurations suivantes :

$6s6p$	et	$6s4f$
$6p^2$	et	$6p4f$
$5d6p$	et	$5d4f$

Nous discuterons au paragraphe II.B.3.a de la possibilité d'atteindre des niveaux très excités par un processus d'absorption à deux photons à partir d'un niveau métastable de  $5d6s$ .

En conclusion : nous nous sommes fixés comme objectif la mise en évidence des niveaux très excités appartenant aux configurations paires  $5dn\ell$  de l'atome de baryum neutre, dans une expérience d'absorption à deux échelons produite par une excitation laser en impulsion dans une décharge et détectée par effet optogalvanique.

## II.B.2 Dispositif expérimental et mise au point de la détection optogalvanique.

Rappelons que ce travail est une première dans les réalisations nouvelles en spectroscopie de moyenne résolution qui utilise la détection OG mais aussi une excitation laser pulsée des transitions atomiques [4].

La Figure 8 donne le schéma de principe du dispositif expérimental

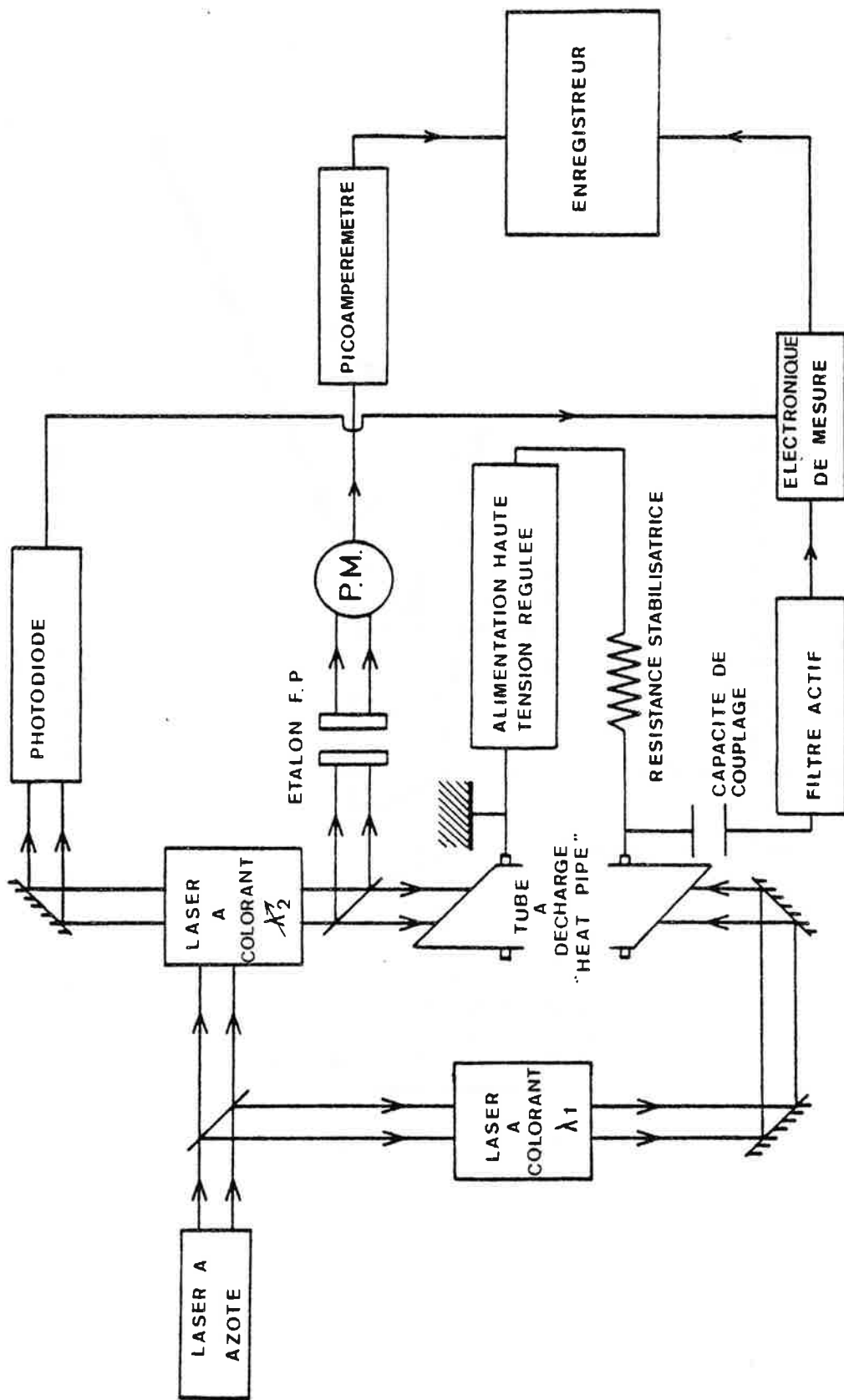


Figure 8 - Dispositif expérimental de la détection optogalvanique.

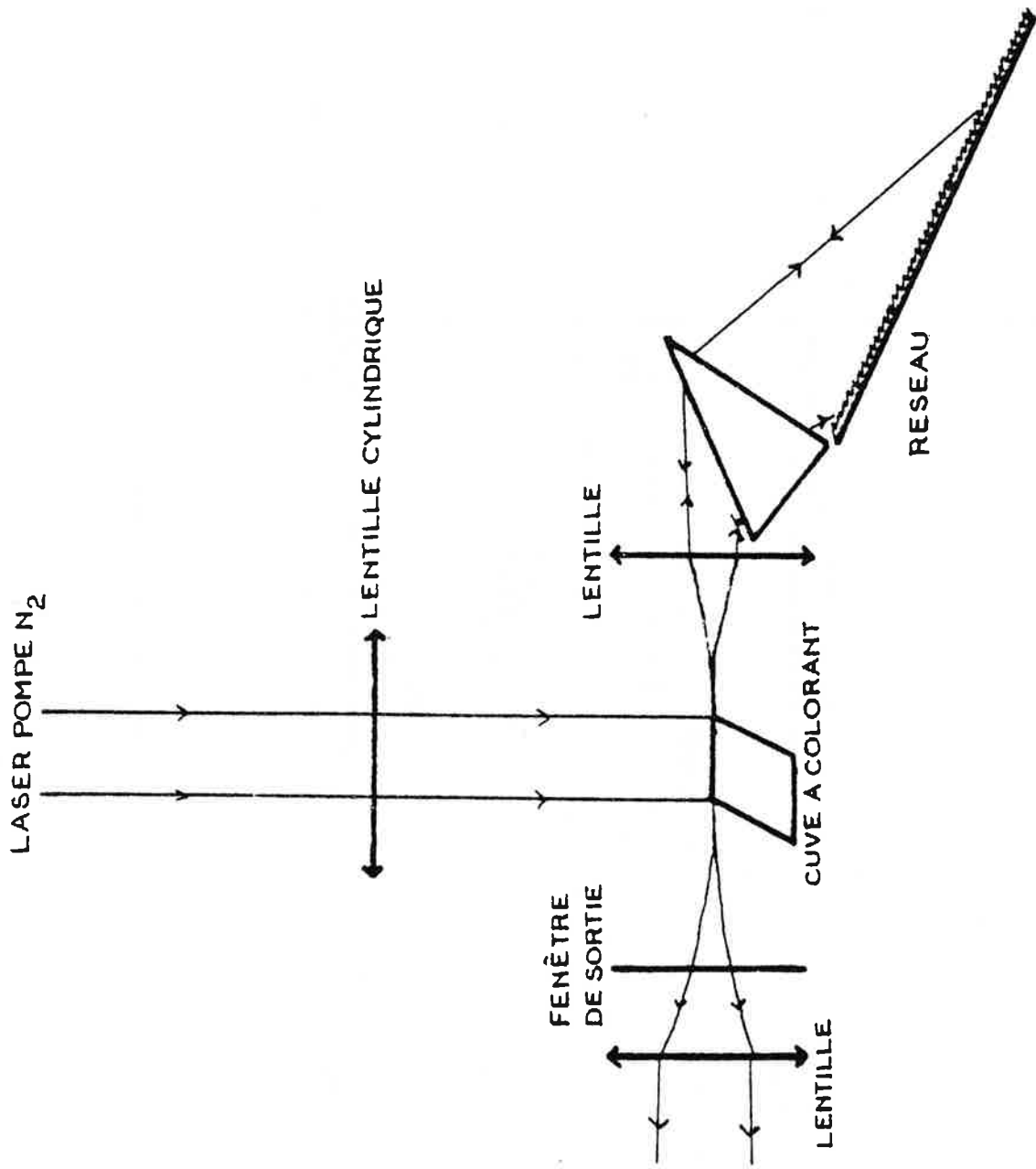


Figure 9 - Schéma de principe des cavités laser utilisées.

ayant permis de réaliser cette expérience d'excitation à deux étages. Les différentes parties qui le composent sont les suivantes :

### II.B.2.a Source optique.

Le pompage des deux cavités laser à colorant est assuré par un laser à azote du type Molelectron UV-1000, dont les caractéristiques sont les suivantes :

- $\lambda$  pompe = 3371 Å ,
- durée d'une impulsion UV = 10 ns ,
- puissance crête à la sortie = 420 kW, obtenue pour une fréquence de répétition des impulsions de 15 Hz.

Pour éviter le parasitage dû aux fortes impulsions électriques qui commandent le fonctionnement du laser Molelectron, l'appareil est isolé du reste de l'expérience, dans une enceinte bétonnée. Un jeu de miroirs et lentille permet de diriger et focaliser le faisceau UV sur les cavités à colorant, si bien que la puissance lumineuse disponible est atténuée d'un facteur 1,2 . Le faisceau est alors divisé spatialement pour pomper simultanément les colorants de chaque cavité.

Ces cavités à colorant sont conçues suivant un même modèle représenté à la Figure 9 et qui a été décrit par ailleurs (P. CAMUS et C. MORILLON [8]). Après traversée d'une lentille cylindrique, le faisceau UV excite de façon homogène la fluorescence d'un colorant sur toute la largeur de la cuve. Le parallélisme et la dilatation unidirectionnelle du faisceau émis d'un point de la cuve sont réalisés par une lentille suivie d'un ensemble anamorphoseur de prismes rectangles isocèles, dans le but d'éclairer le plus grand nombre de traits possible d'un réseau utilisé en montage Littrow. Ce réseau à effet de miroitement constitue le système disperseur de la cavité : il sélectionne la bande spectrale de la plage de fluorescence sur laquelle l'oscillation laser est susceptible de se produire et donc la fréquence optique du faisceau

laser émis par la cavité. A l'autre extrémité, une surface de faible pouvoir réflecteur ferme la cavité, elle assure ainsi la transmission du faisceau laser vers la cellule à baryum.

Le rôle de chacune des deux cavités est bien déterminé. Le faisceau laser de la cavité n° 1 sert à peupler le niveau intermédiaire, dans la transition du premier étage, à partir d'un niveau métastable de la configuration  $5d6s$ . Le rayonnement variable en fréquence de la cavité n° 2 est destiné à l'exploration des niveaux très excités de Ba I, atteints par absorption à partir du niveau intermédiaire. Pendant l'enregistrement d'un spectre optogalvanique, la fréquence  $\nu_1$  du faisceau laser n° 1 est fixe et accordée à la résonance pour la transition du premier étage, tandis qu'on réalise un balayage continu de la fréquence  $\nu_2$ . A cette fin, chaque réseau est monté sur une platine tournante réglée de sorte que l'axe de rotation soit contenu dans le plan du réseau et parallèle aux traits. La platine de la cavité n° 2 est entraînée dans un mouvement de rotation continue par l'intermédiaire d'une vis à pas constant.

Un compromis entre la résolution et la puissance de sortie recherchées pour chaque faisceau laser nous a amenés à construire les deux cavités avec les caractéristiques suivantes et à les utiliser dans les conditions expérimentales reportées dans le tableau ci-après :



Caractéristiques	n° 1 ( $\lambda_1$ fixe)	n° 2 ( $\lambda_2$ variable)
Excitation UV : puissance crête	98 kW	245 kW
Cellule à colorant : largeur de cuve éclairée	1 cm	1 cm
Lentille : distance focale	7,5 cm	15 cm
Train de prismes : nombre de prismes éclairé en incidence	1 rasante	3 (référence [7]) de Brewster
{ gain d'ouverture du faisceau	10	12
Réseau : angle de Blaze	30°	70°
nombre de traits/mm	305	270
largeur éclairée	5 cm	10 cm
numéro de l'ordre utilisé	1 ou 2	12 ou 13
résolution théorique maximale	$3 \times 10^4$	$3,5 \times 10^5$
Fenêtre de sortie :	face plane d'un prisme	miroir sphérique

La puissance lumineuse moyenne délivrée à la sortie de chaque cavité varie en fonction du rendement du colorant utilisé. Les mesures effectuées n'ont pas donné de résultat précis. Néanmoins, la puissance crête laser des faisceaux optiques peut être estimée à quelques dizaines de kW.

La largeur spectrale de la raie laser dépend de la qualité du réglage de la cavité. Une meilleure finesse est recherchée pour le faisceau explorateur ( $\lambda_2$ ), dont la largeur de raie obtenue varie entre 0,2 et  $0,3 \text{ cm}^{-1}$ , correspondant à une résolution expérimentale pour la cavité n° 2. de l'ordre de  $10^5$ . Aucune mesure de la largeur spectrale de la raie laser n'a été entreprise pour la cavité n° 1. Mais on peut l'estimer à une valeur de l'ordre de  $1 \text{ cm}^{-1}$  ( $\sigma_1 \approx 15500 \text{ cm}^{-1}$ ).

## II.B.2.b Production des atomes de baryum dans une décharge électrique continue.

### II.B.2.b.α L'enceinte à décharge.

#### - La cathode creuse.

Dans une expérience préliminaire, nous avons utilisé une cathode creuse dont le schéma est donné à la Figure 10. Le pot cathodique, en acier inoxydable, est recouvert d'un dépôt métallique de baryum. Une cloche en verre traversée par le filament de l'anode, en tungstène, s'emboîte sur le pot cathodique. Un joint d'indium assure l'étanchéité pour le vide et empêche les fuites de gaz lorsque l'enceinte est remplie de néon. Nécessaire à l'établissement de la décharge, le néon est utilisé comme gaz porteur inerte. Il a également pour rôle d'arracher par collision les atomes de baryum hors du métal. Les atomes pulvérisés se retrouvent alors dans le trou de la cathode où ils subissent l'excitation de la décharge. L'enceinte est maintenue à température ambiante : le pot cathodique où se produisent les échauffements est plongé dans un récipient d'eau froide.

La présence de baryum atomique est confirmée en observant à l'aide d'un spectromètre à fentes les raies du baryum, qui composent en partie le spectre d'émission de la décharge. En particulier il est aisé de repérer la raie de résonance à  $5535 \text{ \AA}$  (transition  $6s6p \ ^1P_1^o$  vers  $6s^2 \ ^1S_0$ ) qui est une des plus intenses.

Le montage électrique qui permet d'établir le régime disruptif de la décharge continue se compose simplement d'une alimentation haute tension, réglée en tension  $E$ , aux bornes de laquelle sont branchées en série la cathode creuse et une résistance stabilisatrice  $R_c$ . Le régime continu a été obtenu en opérant dans les conditions suivantes :

- .  $p N_e = 2 \text{ à } 3 \text{ Torr}$  ,
- .  $E = 2,7 \text{ kV}$  ,  $R_c = 50 \text{ k}\Omega$  ,

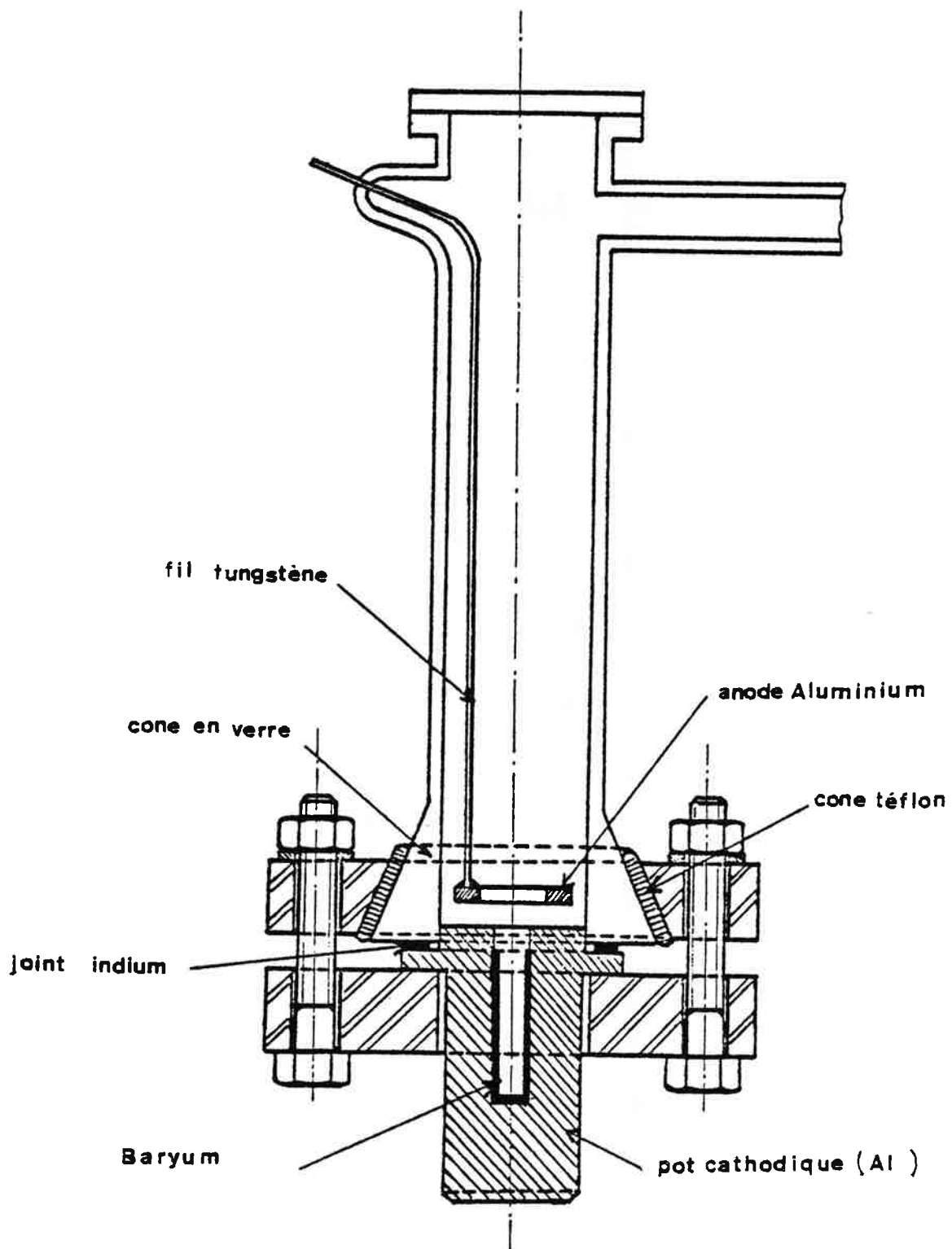


Figure 10 - Cathode creuse.

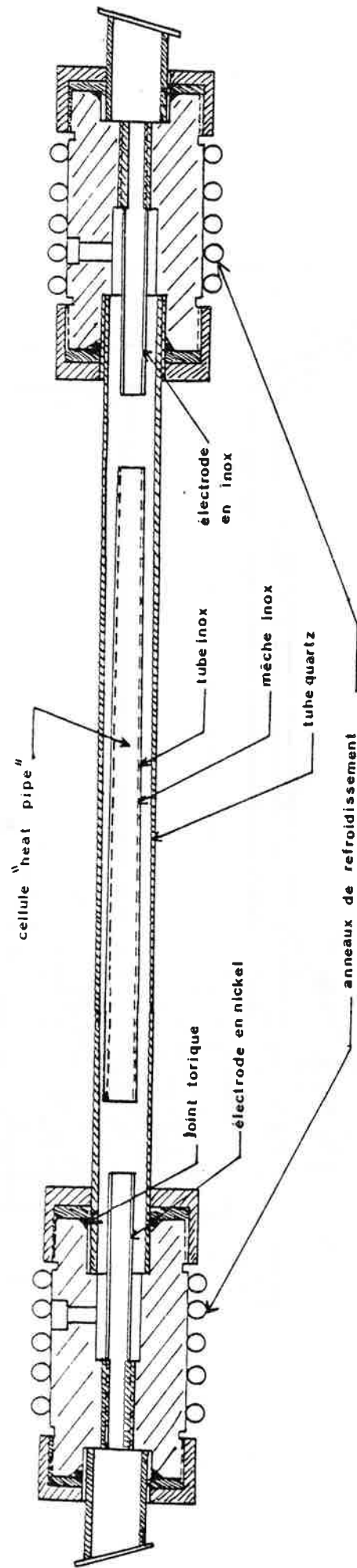


Figure 11

Tube à décharge "heat-pipe".

déterminant un point de fonctionnement pour la décharge en cathode creuse :

$$\begin{cases} I_0 = 46 \text{ mA} \\ V_0 = 400 \text{ V} \end{cases}$$

Un tel montage a permis de nous familiariser avec les décharges électriques en cathode creuse et de faire nos premières observations sur la manifestation de l'effet OG pour une transition optique de l'atome neutre de baryum.

- La cellule caloduc.

L'exploration des niveaux très excités du baryum a été en fait réalisée dans sa totalité en utilisant une décharge produite dans une cellule du type "heat-pipe" [10].

Une coupe de l'enceinte construite par nos soins est donnée à la Figure 11. Le tube à décharge est un tube en quartz qui présente une géométrie cylindrique à section circulaire. A chacune de ses extrémités se trouve une électrode de même symétrie axiale et qui est percée en son centre afin de laisser passer le faisceau lumineux. L'anode est choisie en acier inoxydable et la cathode en nickel afin de réduire les phénomènes nuisibles de pulvérisation qui accompagnent le bombardement des ions à la cathode. La haute tension est amenée sur des pièces en laiton à l'intérieur desquelles se vissent les électrodes. Ces mêmes pièces permettent la communication avec le banc à vide ou le réservoir de gaz inerte et constituent également les zones froides du montage. Une circulation d'eau est maintenue en permanence dans les anneaux de refroidissement. L'enceinte se termine sur une partie en verre fermée par une fenêtre inclinée à l'angle de Brewster. Un ensemble de joints toriques assure l'étanchéité des différents éléments mobiles. Les joints sont maintenus en place à l'aide de bagues se vissant sur les pièces en laiton.

A l'intérieur du tube en quartz repose la cellule "heat-pipe" proprement dite. Elle est constituée d'un tube cylindrique tapissé

intérieurement d'une mèche, le tout en acier inoxydable, dans lequel on introduit initialement le baryum métallique. L'évaporation est produite au centre du tube au moyen d'un chauffage électrique externe continu.

Le régime de fonctionnement "heat-pipe" est décrit par VIDAL et COOPER [12], alors que MELTON et WINE [11] en développent un modèle analytique. Un tel régime s'instaure lorsque la pression de vapeur saturante de baryum équilibre la pression du gaz tampon, en présence de la phase liquide de l'élément. Nous avons choisi d'utiliser l'hélium comme gaz inerte intervenant dans les échanges thermiques avec la vapeur de baryum. Quand le régime permanent est atteint, la cellule renferme une colonne de vapeur de baryum homogène en pression et température contenue de part et d'autre par le gaz tampon. Ces propriétés résultent de la présence de l'équilibre phase vapeur - phase liquide établi dans le processus cyclique de transfert de baryum. La vapeur de baryum produite au centre se dirige vers les zones froides au contact avec l'hélium. Le baryum alors recondensé est collecté dans la mèche puis ramené en phase liquide, par capillarité, vers la zone chaude où il va de nouveau être évaporé. Ce recyclage assure une grande longévité du fonctionnement de la cellule. De plus, le confinement de la vapeur de baryum entre deux zones tampon de gaz inerte permet son isolement complet au centre de la cellule "heat-pipe", loin des fenêtres qu'un dépôt métallique ne manquerait pas d'occulter, ce qui réduirait alors la transmission du faisceau optique. La longueur de la colonne varie avec la puissance de chauffage qui est réglée de sorte que le baryum se recondense avant l'extrémité du tube inox.

Les dimensions des différentes pièces ont été déterminées afin de permettre des interventions rapides (remplissage en baryum, changements des électrodes usées, réglage de la distance électrode - tube inox, etc.). Le choix dans le diamètre du tube inox résulte d'un compromis ; il faut éviter que la décharge ne se produise entre les électrodes et le tube inox tout en maintenant le régime de fonctionnement "heat-pipe" de la cellule. Pour de grandes sections du tube inox, on assure bien la conduction de la décharge au travers de la vapeur de baryum, mais le fonctionnement

"heat-pipe" peut se désamorcer. L'évaporation du baryum au centre de la cellule est limitée par la puissance de chauffage disponible ainsi que par la capacité et la rapidité avec lesquelles la mèche recycle le baryum liquide. Il arrive un moment où le flux d'atomes de baryum produit n'est plus suffisant pour occuper toute la section du tube ; le contrôle de la diffusion de la vapeur de baryum et du gaz tampon est alors perdu. Avec la mèche utilisée, le diamètre limite est de 5 cm.

Le tube à décharge est branché dans un circuit électrique identique à celui de la cathode creuse. Un point de fonctionnement stable et continu a été atteint dans les conditions expérimentales suivantes :

- . pHe = 2,5 Torr
- . circuit électrique : E = 1,42 kV , R<sub>c</sub> = 51 kΩ
- . décharge électrique continue : I<sub>0</sub> = 20 mA , V<sub>0</sub> = 400 V
- . fonctionnement "heat-pipe" obtenu pour la vapeur de baryum :
  - p = 2,5 Torr
  - T = 910°C (température à l'équilibre phase liquide - phase vapeur).

Dans de telles conditions, la densité volumique d'atomes de baryum produits à l'intérieur du tube inox est

$$n = 2 \times 10^{16} \text{ atomes de baryum / cm}^3 .$$

#### II.B.2.b.β Comparaison du fonctionnement de la décharge.

##### - Le mélange gazeux.

Le mélange gazeux présente des propriétés différentes suivant l'enceinte à décharge utilisée :

- dans la cathode creuse, la vapeur de baryum et le gaz porteur (néon) constituent un mélange gazeux de composition mal connue . Les atomes de baryum se trouvent essentiellement piégés dans le trou cathodique.

- par contre, au coeur de la cellule "heat-pipe", la vapeur de baryum est pure et elle est homogène en pression et en température. De plus, elle est confinée au centre de la décharge disruptive par le gaz tampon (hélium), de sorte qu'elle est située dans la région de la colonne positive (voir §.I.A.3.a.β). Le régime continu pourra être décrit par le modèle de Schottky (voir Annexe).

- La stabilisation du régime continu de la décharge.

A chaque mise en route de l'expérience, la stabilisation du régime continu nécessite beaucoup de précaution et de patience dans la préparation même de la décharge :

- l'enceinte doit être convenablement purifiée par des dégazages préliminaires systématiques ;

- le régime permanent n'est atteint qu'après un certain temps de fonctionnement de la décharge, le temps qu'il faut pour conduire à l'équilibre dynamique les différents mécanismes qui naissent à la disruption dans l'atmosphère gazeuse (voir §.I.A.3.a.α). La seule différence intervenant dans le fonctionnement des deux décharges étudiées provient du mécanisme de production de la vapeur de baryum (§.α) :

- par pulvérisation cathodique en cathode creuse,

- par évaporation au moyen d'un chauffage annexe pour la cellule caloduc. La pulvérisation cathodique survient également avec ce dispositif mais elle est réduite dans la mesure où les surfaces des électrodes ont été bien polies et la cathode choisie en nickel. Ce phénomène parasite est finalement éliminé au bout d'un temps de fonctionnement suffisant de la décharge électrique.

La décharge enfin stabilisée se manifeste par une émission de lumière stationnaire et une tension  $V$  à ses bornes maintenue constante et égale à  $V_0$  ( $V_0 = E - R_c I_0$ ,  $I_0$  étant le courant constant qui circule alors dans le circuit électrique).



Pour une géométrie donnée de l'enceinte à décharge, le régime disruptif n'est atteint que sur une plage restreinte de pression de l'atmosphère gazeuse : par exemple, avec la cellule "heat-pipe", ce domaine s'étend de 2,3 à 2,7 mm Hg pour obtenir une décharge convenablement allumée tout le long du tube. De même, de faibles variations de la tension d'alimentation  $E$  amènent très rapidement le point figuratif de fonctionnement de la décharge dans un mode instable : la tension  $V$  n'est plus continue, mais elle oscille. La valeur de la résistance stabilisatrice  $R_c$  intervient certainement pour cette étroite tolérance. Toutefois, en travaillant dans les conditions expérimentales reportées ci-dessus, nous avons obtenu un régime disruptif stable avec chacun des dispositifs : cathode creuse ou cellule "heat-pipe".

- Les fluctuations de tension en régime disruptif.

Amenés à observer les brèves variations de tension ( $v = V - V_0$ ) aux bornes de la décharge lorsqu'elle sera le siège d'un effet OG pulsé, nous devons veiller à minimiser l'amplitude des fluctuations résiduelles de la tension continue  $V_0$  afin d'améliorer la sensibilité pour la détection du dit phénomène.

La décharge électrique est le siège des mécanismes internes qui en assurent la conduction (voir §.I.A.3.a) mais aussi de nombreux phénomènes parasites. Ainsi, les vibrations mécaniques communiquées aux supports du montage, les inductions électromagnétiques multiples se traduisent par un niveau de bruit souvent très important se greffant sur la tension continue. Nous avons remédié en partie à ces problèmes et diminué ainsi leur contribution parasite. Malgré tout, il n'a pas été possible de contrôler ni d'éviter la production accidentelle d'arcs au travers de la décharge conduisant à de violentes impulsions électriques.

Même en dehors de ces rares perturbations, la décharge en cathode creuse nous est apparue plus "bruiteuse" que la décharge produite dans la cellule caloduc. Lorsque le régime "heat-pipe" contrôle la circulation de vapeur de baryum dans la décharge, le niveau de bruit de la tension  $V_0$ ,

observé sur l'écran d'un oscilloscope, chute de façon extraordinaire. Un tel phénomène n'a pu être mis en évidence avec la décharge en cathode creuse.

Ce fait expérimental semble indiquer que les fluctuations résiduelles proviennent des mécanismes internes de créations de porteurs de charge dans la cellule caloduc (voir §.I.B.2.) et qu'elles sont dominées par le mécanisme de production des atomes de baryum tant que le fonctionnement "heat-pipe" n'est pas établi. Une fois atteint, ce fonctionnement garantit la stabilité du nombre d'atomes de baryum excités par la décharge et, par conséquent, le nombre d'ions produits dans le régime disruptif.

KELLER et ZALEWSKI [13] rappellent que, lorsque le bruit en cathode creuse résulte principalement des fluctuations statistiques du mouvement des électrons dans le circuit, l'amplitude de ce "bruit d'impact" est donnée par la relation :

$$V_n = 5,66 \times 10^{-10} R_c \sqrt{B} \sqrt{I_0}$$

avec B : bande passante de l'électronique de mesure.

En reprenant les caractéristiques du dispositif de mesure décrit au paragraphe suivant, le calcul conduit à  $V_n \approx 10^{-3}$  Volt pour notre montage en cathode creuse. Le niveau de bruit observé excède la valeur calculée. On peut donc penser que la pulvérisation des atomes de baryum par le néon contribue pour une part essentielle aux fluctuations résiduelles sur  $V_0$ .

#### II.B.2.b.γ Durée de vie de la décharge en cellule caloduc.

Nous avons retenu le dispositif de la cellule caloduc pour les enregistrements OG et ce pour deux raisons :

. le niveau de bruit sur  $V_0$  est considérablement réduit lors du fonctionnement "heat-pipe" ;

. la détection d'une transition atomique entre deux niveaux de baryum par effet OG nous est apparue plus sensible qu'en cathode creuse où la zone d'interaction vapeur de baryum - faisceau optique est plus réduite.

Une grande autonomie est assurée pour le fonctionnement de la décharge en régime disruptif : l'évaporation de baryum est stabilisée par l'apport continu de la puissance de chauffage au centre de la cellule et le recyclage régulier est assuré par la mèche tant que celle-ci n'est pas "vidée". En effet, la décharge produit la migration des ions  $Ba^+$  en direction de la cathode. Ce transport provoque à la longue un appauvrissement en baryum liquide dans la mèche. La vapeur de baryum diffusant au-delà de la zone tampon se refroidit. Portée alors à une température plus faible que celle de son point de fusion, elle se condense et produit un dépôt solide aux extrémités du tube inox. Ce phénomène survient en général après une journée de fonctionnement de la décharge et il se manifeste immédiatement par une déstabilisation du régime continu : la tension  $V$  se met aussitôt à osciller.

Le dépôt solide peut être à nouveau évaporé et le baryum liquide ramené au centre du tube par l'intermédiaire de la mèche, permettant ainsi de poursuivre l'expérience le lendemain. Néanmoins une partie de baryum est définitivement perdue, qui conduit à limiter la durée de vie d'utilisation de la cellule caloduc à environ un à deux mois.

### II.B.2.c Traitement du signal.

L'interaction optique pulsée avec la décharge est détectée, à la résonance, en contrôlant les impulsions de tension  $v$  produites à ses bornes synchrones des impulsions laser. A cette fin le fonctionnement des différents appareils composant l'électronique de mesure est déclenché par le signal électrique reçu d'une photodiode placée dans le faisceau laser n° 2. Ainsi les signaux OG seront observés sur l'écran d'un oscilloscope pour lequel le balayage de la trace est commandé par le signal photodiode.

#### II.B.2.c.α Obtention du signal OG (Figure 8).

Une capacité de couplage  $C$  supprime la composante continue  $V_0$ ,

qui représente la tension de fonctionnement de la décharge avant perturbation. On introduit également dans le circuit de détection un filtre passe-bande dans le but d'éliminer le bruit résiduel apporté par le rayonnement électromagnétique des appareils alimentés en 50 Hz et pour protéger l'électronique des impulsions parasites accidentelles mais violentes que nous n'avons pas pu maîtriser.

Les composants électriques ont été choisis pour rendre optimale la transmission des signaux OG et réduire les déformations sur les signaux provenant des transitions atomiques du baryum. Ainsi, pour la décharge électrique fonctionnant avec la cellule "heat-pipe", les caractéristiques électriques optimales sont les suivantes :

- capacité de couplage :  $C = 6800 \text{ pF}$
- filtre actif : fréquence centrale  $\nu_0 = 95 \text{ kHz}$   
 gain au centre  $F_0 = 7,5$   
 facteur de qualité  $Q = \frac{\nu_0}{\Delta\nu} = 8$  .

Lors d'un enregistrement on observe en permanence, sur l'oscilloscope de contrôle, le signal OG transmis par le filtre passe-bande.

#### II.B.2.c.β Allure du signal OG (Figure 12).

Les signaux OG présentés à la Figure 12 décrivent la perturbation de la décharge électrique pour une transition atomique du baryum. Le premier signal (Figure 12a) est observé immédiatement après la capacité  $C$ . Il rend compte de la tension  $v$  produite après une impulsion laser. On y distingue très nettement un premier pic négatif suivi d'une modulation 50 Hz, laquelle semble se superposer à un signal de fond positif dont le retour à zéro est plus lent. Ce profil du signal OG est à rapprocher du profil qui présentent les signaux OG observés par MIRON et coll. (référence [6] au paragraphe I.C.4.a). Ainsi d'après l'interprétation qu'en donnent ces auteurs, le premier pic correspondrait à l'ionisation de la décharge renforcée à partir du niveau de Rydberg atteint, alors que le



Fig. 12a

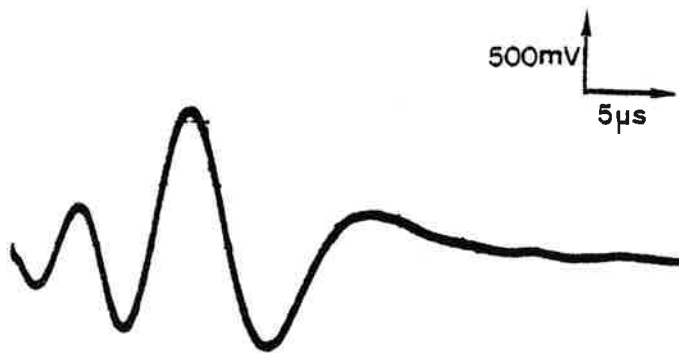


Fig. 12b

Figure 12 : Signal OG observé pour une transition optique de Ba I .

Fig. 12a : Signal transmis par la capacité de couplage C.

Fig. 12b : Signal transmis par le filtre passe-bande.

Echelles : - en vertical : 500 mV par division.  
- en horizontal : 5  $\mu$ s par division.



signal de fond traduirait un retour plus lent vers le régime permanent, dû au réarrangement des populations sur les niveaux "métastables".

Le signal transmis par le filtre passe-bande est reproduit à la Figure 12b. La tension commence par chuter sur un temps assez bref de 2 à 3  $\mu\text{s}$ , puis oscille avec une pseudo-période  $T$  de l'ordre de 10  $\mu\text{s}$  ( $T \approx \frac{1}{\nu_0}$ ). L'enveloppe du signal présente une partie montante, puis descendante. La forme de ce signal résulte évidemment des changements induits dans l'impédance interne de la décharge mais dépend aussi fortement des caractéristiques électriques du circuit.

L'utilisation d'un filtre de plus grande bande passante  $B$  donne, toutes choses égales par ailleurs, un signal OG dont la "queue" (partie décroissante de l'enveloppe) est plus amortie. La réponse impulsionnelle due au filtre affecte principalement la fin de l'impulsion.

La forme des signaux OG dépend très peu de la transition impliquée mais elle varie suivant l'élément interagissant. Pour le baryum et l'hélium, les niveaux affectés par la perturbation ne présentent pas les mêmes caractéristiques (voir §.II.B.3.a.β). Les constantes de temps qui régissent le réarrangement des populations sont donc différentes. Les quelques transitions optiques observées pour l'hélium peuvent ainsi être distinguées de celles du baryum : les signaux OG ont une allure plus amortie et une plus grande pseudo-fréquence. En général, le train d'oscillations se réduit à deux alternances, dont la pseudo-période vaut  $T = 5 \mu\text{s}$ . L'amortissement plus important peut s'expliquer dans une certaine mesure parce que la fréquence centrale du filtre est mal choisie pour la transmission linéaire des signaux OG plus rapides que présentent les transitions atomiques de l'hélium.

A la suite de diverses autres observations, il nous a semblé que la réponse impulsionnelle du circuit électrique n'affecte que très peu la première alternance du signal oscillant. Nous pensons également que ce premier pic est le plus caractéristique de la transition initialement

induite entre les deux niveaux d'énergie impliqués, alors que les réarrangements faisant intervenir d'autres niveaux se font certainement ressentir plus tard, pour les pics suivants. En conséquence, nous avons choisi de prendre comme signal de mesure la tension crête de la première alternance, réalisant ainsi une détection d'amplitude pour nos enregistrements graphiques.

#### II.B.2.c.γ Détection d'amplitude.

Nous avons mis au point une électronique de détection à porte, synchrone du pulse laser, dans le but de délivrer une tension à la sortie de l'appareil dont la valeur est proportionnelle à l'amplitude du pic le plus proche de l'instant de la perturbation. Les différents éléments qui composent le circuit électrique de la décharge et le circuit électronique de détection sont donnés à la Figure 13.

Cet ensemble a été conçu essentiellement pour traiter les signaux OG correspondant aux transitions optiques de l'atome de baryum. De tels signaux présentent toujours une allure semblable à celle de la Figure 12b. A la résonance, la tension aux bornes du tube à décharge commence par chuter, ce qui produit une première alternance négative, d'amplitude  $h_0$ .

#### - Acquisition d'un point de mesure.

La tension alternative filtrée est tout d'abord amplifiée. L'amplificateur à deux étages possède un gain d'amplification  $G$  qui peut prendre six valeurs différentes allant de 1 à 1000. Un ensemble composé d'une porte électronique et d'une diode au silicium permet de réaliser la détection d'amplitude sur le premier pic négatif. La durée de l'ouverture de la porte (OP) est réglable : elle est ajustée de sorte que seule la première alternance du signal oscillant soit transmise ; la diode supprime ensuite toutes les composantes positives, inutiles pour la mesure. La tension envoyée à l'entrée du détecteur de pic est donc une impulsion électrique négative produite pendant  $5 \mu s$  et de tension crête  $h = h_0 G$ .



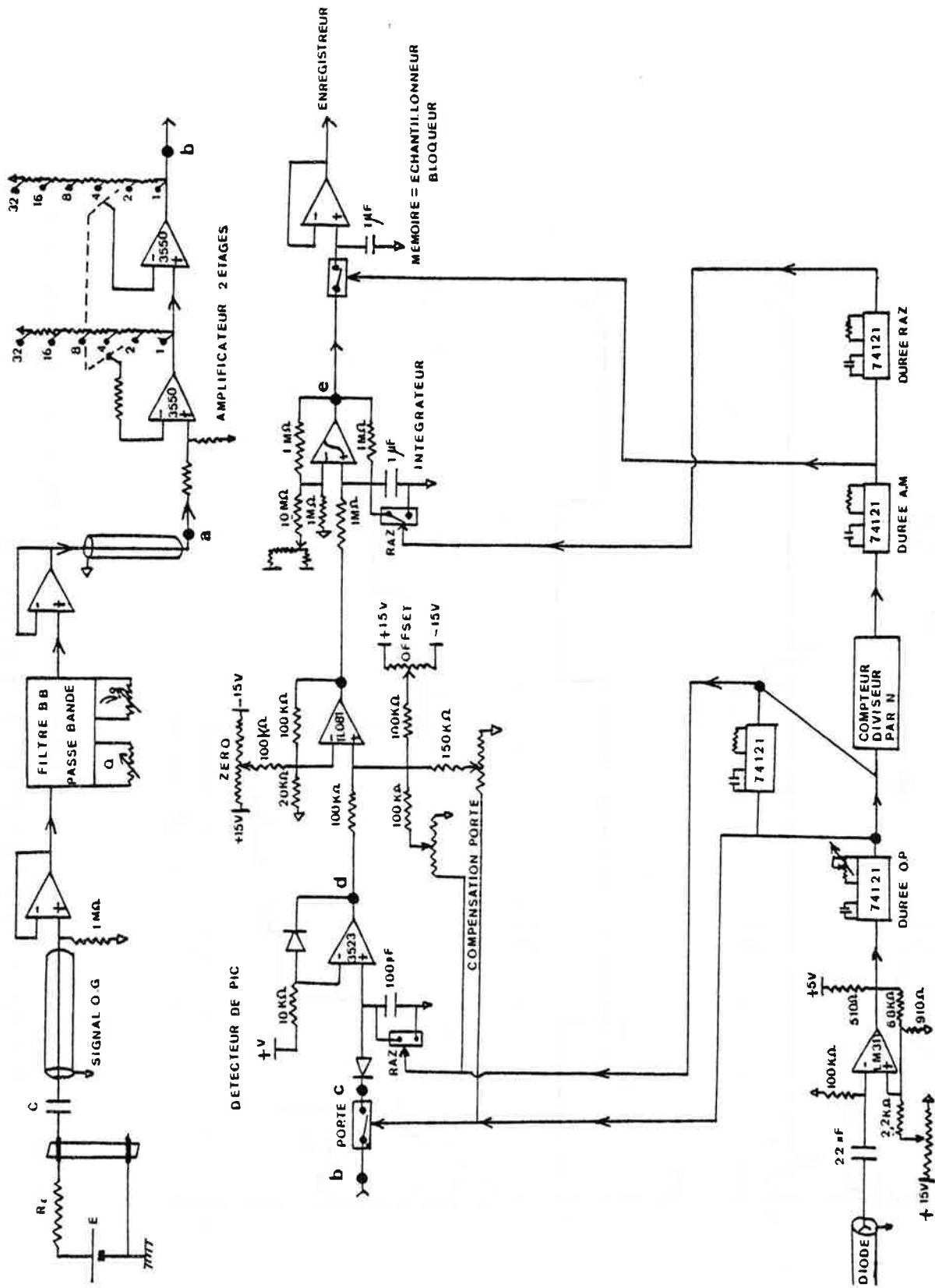


Figure 13 - Dispositif électronique de détection d'amplitude.

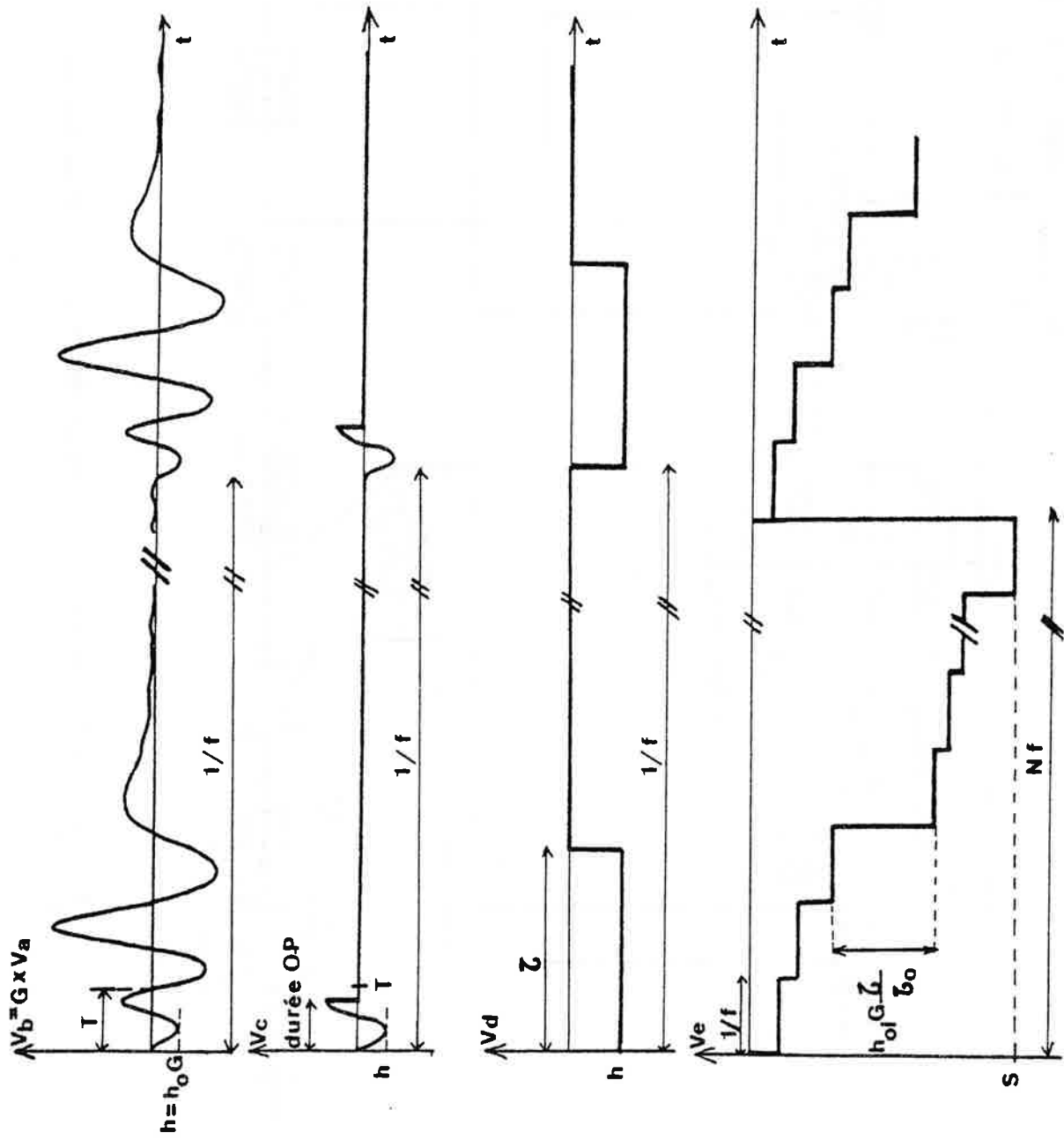


Figure 14 - Chronogramme des signaux électriques détectés aux points a, b, c, d et e du circuit électrique décrit à la Figure 13.

Ainsi attaquée, la capacité d'entrée se charge rapidement jusqu'à ce que la tension à ses bornes atteigne la valeur maximale  $h$ . Cette charge totale est maintenue pendant 12 ms si bien que le signal observé à la sortie du détecteur de pic est un signal rectangulaire d'amplitude  $h$  et de largeur  $\tau = 12$  ms. L'élargissement du signal est nécessaire pour permettre une charge suffisante de la capacité d'entrée de l'intégrateur, lequel présente une constante de temps  $\tau_0 = 1$  s.

Pendant  $\tau = 12$  ms, la tension à l'entrée de l'intégrateur varie linéairement et elle se fixe au bout de ce temps  $\tau$  à la valeur  $h \frac{\tau}{\tau_0}$ . L'intégrateur délivre donc une tension continue d'amplitude proportionnelle à  $h_0$  maintenue constante jusqu'à ce que l'impulsion laser suivante se produise, l'instant  $\frac{1}{F}$  plus tard.

Lors de  $N$  impulsions laser successives, l'intégrateur va sommer les contributions qui lui parviennent à chaque impulsion. La tension  $S$  acquise, au bout des  $N$  impulsions, est mise en mémoire dans l'échantillonneur-bloqueur avant de commander le mouvement de la plume d'un enregistreur graphique et d'opérer la remise à zéro de l'intégrateur

$$S = \left( \sum_{i=1}^N h_{0i} \right) G \frac{\tau}{\tau_0}$$

La Figure 14 résume les différentes étapes conduisant à l'acquisition d'un point de mesure.

Un réglage préliminaire de l'électronique de mesure est nécessaire pour compenser les claquements de porte et les courants de fuite du détecteur de pic. Pour une durée  $OP$  fixe et un gain donné des amplificateurs, il consiste à annuler la tension à la sortie lorsque l'entrée de l'appareil de mesure est court-circuitée. De même, en déclenchant l'électronique de mesure 50 ns après l'impulsion électrique de la photodiode, nous éliminons de la détection la tension parasite induite par l'impulsion laser. Réduisant ainsi le niveau de bruit de l'électronique, un point de mesure résultant de l'acquisition de  $N$  échantillons

correspond à une tension  $S$  délivrée en sortie égale à :

$$S = 1,2 \times 10^{-3} \times G \times \left( \sum_{i=1}^N h_{0i} \right)$$

- Optimisation des paramètres expérimentaux.

Pour observer avec suffisamment de précision le profil d'une raie OG, il est nécessaire d'enregistrer dix points de mesure consécutifs. Si  $v$  est la vitesse de balayage de la fréquence optique  $\nu_2$ , la raie la plus fine du spectre OG doit être décrite pendant une durée au moins égale à  $\frac{10N}{f}$ ,  $f$  étant la fréquence de répétition des impulsions laser. Dans une expérience à moyenne résolution, la largeur des raies est limitée par la largeur spectrale de la raie laser :

$$\Delta\sigma_{\min} = \Delta\sigma_2 \geq v \times \frac{10N}{f} .$$

Par ailleurs, le bruit apporté sur le signal OG,  $h_0$ , est essentiellement dû aux fluctuations de l'intensité du laser (§.II.C.3.c.). Pour améliorer le rapport signal sur bruit d'une mesure acquise avec  $N$  échantillons, il est nécessaire d'y consacrer le maximum de temps  $t = \frac{N}{f}$ , tout en permettant une durée d'enregistrement raisonnable. La fréquence  $f$  et la largeur de raie laser  $\Delta\sigma_2$  étant pratiquement imposées, le compromis est réalisé si un point de mesure est acquis par seconde et la vitesse de balayage  $v$  choisie de sorte que :

$$N \times v \approx \frac{\Delta\sigma_2 \times f}{10} .$$

En choisissant  $N=15$  si  $f = 15$  Hz, ou  $N=10$  si  $f = 10$  Hz, la vitesse de balayage vaut alors

$$v = 2 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-1}/\text{s} .$$

Puisque chaque colorant, utilisé dans la cavité laser n° 2, présente une plage de fluorescence dont l'exploration complète couvre une étendue spectrale d'au moins  $500 \text{ cm}^{-1}$ , la durée d'un tel enregistrement est

estimée dans ces conditions à environ 7 heures. Dans la pratique, nous avons travaillé à une vitesse de balayage plus grande permettant de couvrir en moyenne  $800 \text{ cm}^{-1}$  en 5 heures, ce qui conduit à

$$v_{\text{exp}} = 4 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-1}/\text{s} .$$

Les raies OG les plus fines ont alors été décrites par 5 points de mesure minimum.

#### II.B.2.c.8 Caractéristiques de l'électronique de mesure.

##### - Dynamique.

La limitation dans la transmission du plus petit signal électrique par le détecteur de pic résulte de la non-linéarité de la diode au silicium lorsque la tension crête  $h$  est inférieure à 300 mV. Utilisant l'amplification maximale  $G = 1000$ , le signal OG le plus petit qui puisse être mesuré présenterait donc un premier pic d'amplitude  $h_0 = 0,3 \text{ mV}$ . Le niveau de bruit de la décharge rapportée à l'entrée du dispositif de mesure vaut 5 mV en l'absence d'interaction optique : l'électronique est bien adaptée pour détecter le moindre effet OG prenant naissance dans la décharge "heat-pipe".

Le plus grand signal que puisse délivrer notre appareil correspond à la saturation des différents amplificateurs opérationnels, ce qui s'observe dès que  $h_0 \gg 15 \text{ V}$ .

La dynamique de l'électronique de mesure présente donc plus de 4 ordres de grandeur.

Compte-tenu de l'amplification de gain  $F_0$  du filtre actif, les plus grands signaux OG détectés avant la saturation ne pourront dépasser  $\frac{15}{F_0} = 2 \text{ V}$  de tension crête aux bornes du tube à décharge, soit 5% de la tension continue de la décharge. Traiter des signaux OG plus importants nécessiterait alors une atténuation préalable.

- Bande passante.

Le pré-amplificateur de gain  $G$  résulte de l'association de deux amplificateurs opérationnels identiques et utilisés sur le même gain  $\sqrt{G}$ . Leur bande passante  $B$  est 20 MHz pour le gain unité :  $\sqrt{G} \times B = 2 \times 10^7 \text{s}^{-1}$ . La transmission linéaire d'un signal électrique sinusoïdal de fréquence  $\nu_0$  est assurée par l'association des deux amplis, et ce pour toute valeur de  $G$  choisie entre 1 et 1000, tant que

$$\nu_0 \leq B_{\min} = \frac{2 \times 10^7}{\sqrt{G_{\max}}} \approx 630 \text{ kHz} .$$

Pour les signaux OG produits par interaction avec la vapeur de baryum, la pseudo-fréquence du signal électrique avant l'amplificateur deux-étages est de l'ordre de 100 kHz. Ceci montre que notre montage est bien adapté à la détection de tels signaux.

Nous pourrions améliorer encore la rapidité de la détection électronique en utilisant des amplificateurs de meilleure bande passante. Nous ne sommes en fait limités que par la rapidité de la réponse du détecteur de pic, pour lequel la constante de temps est imposée par l'allure de charge de la capacité d'entrée. Cette constante de temps vaut 100 ns lorsque la diode est passante ( $h > 300 \text{ mV}$ ).

- Détection de pics négatifs.

La conception du détecteur de pic est telle que, uniquement, la tension crête des alternances négatives est prise en compte. Une fois l'ouverture de porte ajustée, la tension crête est mesurée, quelle que soit la position de l'extrémum pendant le temps d'ouverture de la porte. Les signaux OG correspondant à l'hélium tels que le filtre actif les transmet, sont donc également analysés par notre appareil. Ils présentaient une pseudo-fréquence de 200 kHz, et le premier extrémum se produit plus tôt de sorte qu'il est toujours bien positionné dans la largeur de porte, la détection étant assurée pour le pic négatif qui compose le signal transmis.

### II.B.3 Exploitation de la détection OG.

#### II.B.3.a Nature des transitions optiques détectées.

##### II.B.3.a.α En cathode creuse.

Dans l'expérience préliminaire utilisant la cathode creuse, nous avons confirmé que les seules transitions optiques du baryum qui produisent un signal OG sont celles qui sollicitent, comme niveaux d'énergie excités, les niveaux les plus profonds de l'atome neutre : niveaux métastables les plus profonds de l'atome neutre : niveaux métastables de 5d6s et niveaux de 6s6p . Les raies enregistrées sont cependant moins intenses pour le baryum que pour le gaz porteur, le néon. Les observations rendent compte également de la sensibilité de la détection OG limitée par le niveau de bruit résiduel trop important et par la présence d'un signal de fond permanent attribué à l'émission photo-électrique de la cathode.

Eclairant la cathode creuse avec un seul faisceau laser (laser n° 2), nous avons exploré le domaine de longueurs d'onde  $\lambda_2$  comprises entre 6000 Å et 6500 Å (colorant : Rhodamine B). Très peu de transitions de Ba I ont été détectées. Malgré la focalisation du faisceau laser dans le trou cathodique où sont confinés les atomes de baryum, nous n'avons observé aucune transition à deux photons par absorption à partir d'un niveau métastable de 5d6s .

Les résultats peu satisfaisants auxquels nous avons abouti s'expliquent principalement par le fonctionnement de la décharge qui présente un niveau de bruit trop important et par le fait que très peu d'atomes de baryum interagissent avec le faisceau laser. Par contre, la décharge en cellule "heat-pipe" présente un fonctionnement de meilleure qualité (voir §.II.B.2.b.β) et la zone d'interaction peut s'étendre sur toute la longueur de la colonne de baryum. Aussi avons-nous abandonné le montage en cathode creuse pour exploiter les propriétés de la décharge "heat-pipe"

en réalisant l'expérience de spectroscopie d'absorption à deux échelons qui est décrite au paragraphe II.B.1.

### II.B.3.a.β En cellule caloduc.

#### - Transitions attendues.

Pour utiliser le plus grand volume d'interaction avec le plasma de la décharge, les deux faisceaux laser sont dirigés suivant l'axe du tube cylindrique ; ils s'y propagent en sens opposé pour une simple raison de commodité. Le faisceau n° 1 est d'abord envoyé au travers de la décharge : l'ajustement de la fréquence  $\nu_1$  au centre de la raie d'absorption, pour la transition du premier étage du baryum, est contrôlé en optimisant le signal OG observé à l'oscilloscope. Alors, seulement, le faisceau laser explorateur est aligné sur l'axe du tube. L'affinement du recouvrement des deux faisceaux laser est réalisé de façon similaire. On choisit une fréquence  $\nu_2$ , pour laquelle une transition à deux étages (d'énergie  $h\nu_1 + h\nu_2$ ) se produit effectivement à partir du métastable, sollicité dans la transition du premier étage. Le réglage consiste alors à orienter les deux faisceaux laser dans le plasma pour que le signal OG soit le plus intense possible.

En procédant ainsi, en deux étapes et en vérifiant à plusieurs reprises que la fréquence  $\nu_1$  ne s'est pas déplacée au cours de l'enregistrement, nous sommes assurés que les raies OG, enregistrées en faisant varier  $\nu_2$ , appartiennent essentiellement à quatre spectres d'absorption de Ba I différents :

- Spectre (1) : transition à un photon résonnant d'énergie égale à  $h\nu_2$ .
- Spectre (2) : transition à deux échelons, concernant deux photons résonnants différents, d'énergie  $(h\nu_1 + h\nu_2)$ . Dans ce cas, la transition part nécessairement du niveau métastable choisi pour la transition premier étage, et l'atome excité transite forcément par le niveau intermédiaire.
- Spectre (3) : transition à deux photons d'énergie égale à  $2h\nu_2$  ou à  $(h\nu_1 + h\nu_2)$ .



- Spectre (4) : qui provient de transferts d'excitation par des processus non optiques assistés par laser.

Les raies OG qui résultent d'une interaction optique résonnante avec le gaz tampon, l'hélium, appartiennent au spectre (0).

- Transitions observées et identifiées.

Dans le but d'observer des transitions à deux photons, les deux faisceaux laser ont été focalisés en un même point au centre de la vapeur de baryum, augmentant ainsi la densité de lumière dans la zone d'interaction correspondante. Sur toute la plage de nombres d'onde explorée par le faisceau laser n° 2,  $14891 \text{ cm}^{-1} \leq \sigma_2 \leq 22516 \text{ cm}^{-1}$  (voir §.II.C.1), nous n'avons pas réussi à mettre en évidence de raies OG appartenant au spectre (3); les transitions à deux photons que nous espérons détecter utilisant alors comme niveaux relais :

- le niveau résonnant  $6s6p \ ^1P_1^o$  à  $18060,244 \text{ cm}^{-1}$ , si la transition se fait à partir du fondamental  $6s^2 \ ^1S_0$  ;
- l'ensemble des niveaux de la configuration  $5d6p$ , situés aux environs de  $25000 \text{ cm}^{-1}$ , si la transition part de l'un des trois niveaux métastables de  $5d6s$ .

Le fait que nous n'ayons pas observé de transition à deux photons même à partir du fondamental signifie que la sensibilité de notre détecteur n'est pas suffisante pour mettre en évidence de telles résonances.

La densité volumique de puissance lumineuse obtenue est certainement très faible puisque la géométrie du tube à décharge ne permet pas une focalisation importante des faisceaux laser (le centre du tube est situé à environ 150 mm de l'ouverture qui présente un diamètre inférieur à 6mm).

D'autre part, le plasma agit comme une lentille. En admettant que, même en régime "heat-pipe", le fonctionnement de la décharge disruptive

dans la colonne positive est décrit par le modèle de Schottky (développé en Annexe) et compte tenu de la symétrie cylindrique, il existe un gradient de population le long d'un rayon du tube. Ainsi, l'indice de réfraction que présente la vapeur de baryum pour les radiations laser varie en fonction de la distance à l'axe. Les trajectoires des faisceaux sont donc déviées à la traversée du plasma, rendant difficile l'estimation sur la dimension et sur la position de chaque taille de faisceaux. T. F. JOHNSTON [1] rend compte d'un tel comportement du plasma : le profil radial de la population des métastables  $1s$  du néon explique les courbures du faisceau incident parallèle après traversée de la décharge.

Malgré tout, aucune expérience simple n'a été jusqu'à présent signalée qui ait permis de détecter par effet OG des transitions à deux photons résonnantes dans un tube à décharge usuel (voir §.I.C.4.b). Le montage expérimental réalisé ici est en effet mal adapté à de telles détections : la zone d'interaction se limite à un volume trop petit par rapport au volume de la décharge dont la conduction est alors très peu perturbée lorsque la résonance se produit.

Parmi les raies observées et interprétées, nous n'en avons pas identifiées qui appartiennent au spectre (4).

Malgré l'absence de raies OG appartenant aux spectres (3) et (4) du baryum, l'expérience utilisant la décharge "heat-pipe" s'est révélée très fructueuse. Le dispositif expérimental a permis de détecter une abondance de transitions atomiques :

- Très peu de raies OG sont attribuées au spectre de l'hélium (0). Elles sont parmi les raies qui présentent les plus fortes intensités.

- Un processus à un étage pour l'atome Ba I explique un grand nombre de transitions observées. Le niveau inférieur est peuplé soit par la décharge, soit par la fluorescence du faisceau laser n° 2 qui est la plus intense. Les raies OG du spectre (1) servent de référence dans la mesure où la transition a déjà été identifiée (niveau inférieur et niveau supérieur connus par ailleurs).

- Dans leur majorité, les raies OG identifiées appartiennent au spectre (2) d'absorption du baryum. De nombreuses raies supplémentaires sont apparues que nous n'avions pas prévues au paragraphe II.B.1.a. Elles nous ont permis d'observer les membres de plusieurs séries paires  $6snl$  que les niveaux de  $5d7d$  et  $5d8s$  perturbent sous la première limite (§.III.C.1.), ainsi que ceux de quelques séries  $5dng$  convergeant vers les limites  $5d \ ^2D_{3/2}$  ou  $5d \ ^2D_{5/2}$  (§.III.C.2.).

### II.B.3.b Influence de l'intensité laser.

Les signaux OG du baryum présentent une même allure, semblable à celle qui a été décrite au §.B.2.c.β, pour toutes les transitions optiques opérées à partir de l'un des niveaux métastables de  $5d6s$  que le processus d'excitation utilise un ou deux échelons. Ainsi, la perturbation laser induit initialement une augmentation du taux global d'ionisation du plasma (correspondant à une chute de tension  $v = -R_c i$  aux bornes du tube à décharge).

Afin de détecter une transition à deux échelons (à partir du niveau métastable choisi), l'amplitude  $h_0$ , du signal OG produit à la résonance, doit être modifié entre le moment où seul le faisceau laser n° 1 interagit et celui où les deux faisceaux laser interagissent avec la vapeur de baryum. Tant que  $h_{01}$ , amplitude du signal premier étage, est inférieure à 100 mV, la seconde résonance contribue à accroître l'amplitude du signal résultant. Par contre, pour une intensité du faisceau laser n° 1 trop importante (de sorte que  $h_{01} > 200$  mV), on observe un phénomène de saturation : la résonance du second étage n'affecte plus  $h_0$  ( $\forall v_2, h_0 = h_{01}$ ).

Dans la pratique, nous avons utilisé diverses densités optiques toutes les fois qu'il fallait atténuer le faisceau laser n° 1 pour que  $h_{01}$  ne dépasse pas 100 mV (signal OG observé à l'oscillo). L'utilisation de densités calibrées sur le faisceau deuxième étage nous ont aussi permis de vérifier la linéarité entre le signal  $S$ , délivré à la sortie du dispositif électronique de mesure et l'intensité du faisceau laser n° 2.

Ces diverses observations nous permettent de penser que la transition du second étage est loin d'être saturée. Par contre l'interprétation du phénomène de saturation observé lorsque le faisceau n° 1 est trop intense n'est pas immédiate : ce phénomène ne peut certainement pas être compris comme une simple saturation du premier étage.

### II.B.3.c Effet Stark.

Dans cette expérience d'absorption à moyenne résolution, l'effet Stark ne produit pas de déplacement appréciable sur la position des niveaux de Rydberg. Par contre il contribue à l'élargissement des raies au fur et à mesure que croît le nombre quantique principal  $n$ . Les ailes des raies OG s'interpénètrent de plus en plus si bien qu'on ne peut plus observer de séries 5dn $\ell$  au-delà de  $n_{\max}^* = 46,3$ .

Une série de Rydberg disparaît lorsque le déplacement des niveaux Stark (déplacement produit dans le champ électrique local que créent les particules chargées du plasma) représente environ la moitié de l'écart en énergie qui sépare deux termes voisins. C. R. VIDAL [17] rappelle la relation établie par INGLIS-TELLER [17] qui permet alors d'estimer la densité électronique du milieu à partir de la valeur  $n_{\max}^*$ , pour la dernière raie discernable :

$$\log N = 23,26 - 7,5 \log n_{\max}^* + 4,5 \log z \quad (1)$$

avec  $N$  : densité volumique des porteurs de charge ( $\text{cm}^{-3}$ )

$z$  : charge nucléaire effective des ions.

lorsque la vitesse des électrons est suffisamment faible,  $N$  est égal à la somme des densités volumiques d'ions ( $n_i$ ) et d'électrons ( $n_e$ ) :

$$N = n_i + n_e \quad (2)$$

En physique des plasmas, cette relation est valable tant que la température électronique  $T_e$  vérifie la condition :

$$T_e < T_{e_{\max}} = \frac{4,6 \times 10^5 z}{n_{\max}^*} \text{ (k)} \quad (3)$$

Dans l'expérience entreprise ici, la vapeur de baryum est confinée dans la colonne positive de la décharge disruptive où précisément  $n_i = n_e$ . En première approximation, nous supposerons que les seuls ions en mouvement sont les ions  $Ba^+$ , c'est-à-dire que  $z$  est égal à 1.

Pour  $n_{\max}^* = 46,3$  la relation (3) donne

$$T_{e_{\max}} = 10000 \text{ K} .$$

Pour les décharges électriques usuelles d'un gaz atomique dans un tube cylindrique, ce qui est notre cas, C. E. WEBB [18] indique une valeur approximative de la température électronique du plasma :  $T_e \approx 20000 \text{ K}$ . En admettant que  $T_e \approx T_{e_{\max}}$ , la relation (1) nous permet d'atteindre un ordre de grandeur de la valeur  $n_e$  :

$$(2) \Rightarrow N = 2n_e$$

$$(1) \Rightarrow \log 2n_e = 23,26 - 7,5 \log 46,3$$

$$n_e = 3 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3} .$$

Le résultat du calcul approximatif donne une valeur comparable à la valeur,  $10^{12}$  électrons par  $\text{cm}^3$ , que mentionne C. E. WEBB [18] pour ce type de décharges. La disparition des séries  $5dn\lambda$  est bien une manifestation de l'effet Stark.

#### II.B.3.d Comparaison avec la diode thermoionique.

Nous n'avons pas fait l'étude systématique complète qui nous aurait permis de travailler dans les conditions optimales pour la détection des résonances optiques par effet OG (géométrie du tube, pression d'hélium, point de fonctionnement de la décharge). Toutefois, il est possible de tenter une comparaison des principales propriétés du détecteur tel qu'il est réalisé ici (tube à décharge contenant la cellule "heat-pipe") avec celles de la diode thermoionique (que nous avons expérimentée dans une étude antérieure [2]).

### II.B.3.d.α Conception du montage.

Dans les deux cas, une expérience de spectroscopie d'absorption avec une excitation pulsée est facile à mettre en oeuvre pour l'étude des niveaux d'énergie du baryum [16]. De plus, le montage expérimental est très compact : la production de la vapeur du type "heat-pipe", l'interaction avec les faisceaux laser et la détection non optique des transitions atomique se produisent au même endroit. A la différence de la diode, la décharge présente un certain danger pour son utilisateur qui doit employer les mesures de sécurité nécessaires le protégeant de la haute tension du circuit d'alimentation (Figure 15).

### II.B.3.d.β Nature des transitions détectées.

Les transitions optiques détectées sont celles du baryum et du gaz tampon (hélium pour la décharge, argon pour la diode). La sélectivité de la transition est plus grande avec la diode : l'absorption de radiation ne se produit qu'à partir du niveau fondamental, le seul niveau suffisamment peuplé dans la vapeur en équilibre thermodynamique. Par contre, l'intérêt dans l'utilisation de la décharge réside dans le fait que les transitions atomiques peuvent partir de niveaux excités métastables, peuplés dans les collisions électroniques.

Avec les deux dispositifs nous avons observé que les signaux les plus intenses sont produits lorsque les résonances optiques conduisent aux niveaux de Rydberg et à ceux du continuum. Bien que le plasma de la décharge présente une amplification interne qui semble comparable à celle de la charge d'espace, il ne nous a pas été permis, comme cela avait été possible avec la diode, d'observer de transitions à deux photons avec le tube à décharge "heat-pipe". La conception même du tube est en cause, qui impose un fonctionnement à la décharge tel que le seuil de détection minimale est trop élevé par rapport à celui de la diode. Pour observer, au moyen de l'effet OG, des phénomènes de collisions assistées par laser, J. C. WHITE et coll. [19] ont exploité un dispositif où la décharge ne se produit que sur une longueur de l'ordre du millimètre.

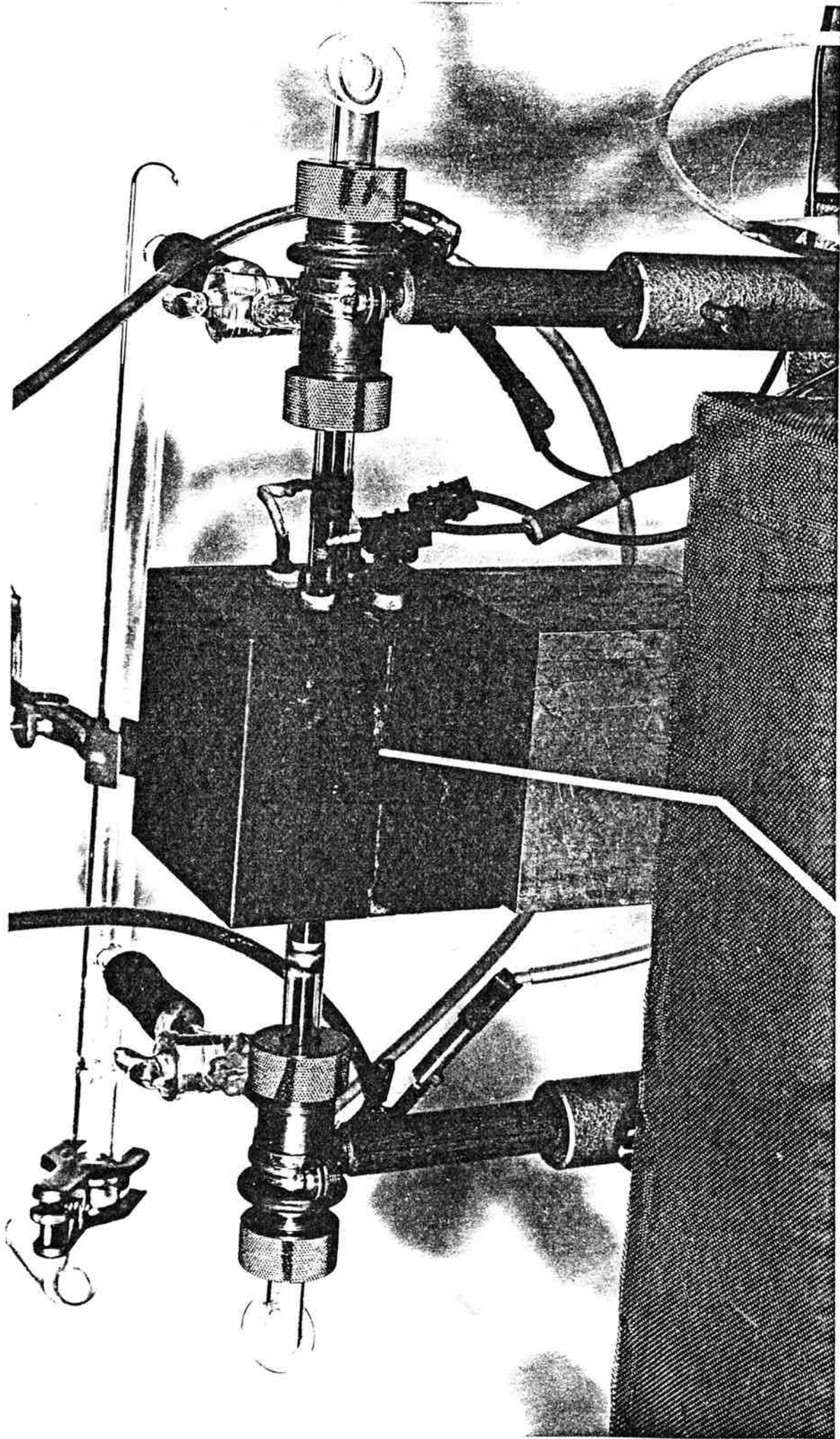


Figure 15 - Prise de vue du tube à décharge "heat-pipe".





Dans la cellule à décharge, le champ électrique local est vraisemblablement plus intense que celui qui est établi entre les électrodes de la diode (300 mV/cm). L'effet Stark produit un élargissement des raies des niveaux élevés ce qui nuit à la précision des mesures de leur énergie et limite leur observation.

#### II.B.3.d.γ Propriétés de la détection non optique.

##### - Principe.

La détection est basée sur le même processus initial : on réalise soit l'ionisation multiphotonique résonnante ou l'ionisation directe de l'atome en interaction, soit l'excitation de cet atome sur un niveau discret, à l'issue de laquelle transition interviennent des collisions ionisantes. Dans la diode, les seuls porteurs de charge sont des électrons dont le flux n'est pas très important (régime contrôlé par la charge d'espace :  $I_0 \approx$  quelques  $\mu\text{A}$ ). Les collisions ionisantes se produisent principalement entre les atomes excités dans la transition et les atomes de la vapeur. Par contre, dans la décharge, les mécanismes sont plus complexes ; la différence vient de ce que la densité de porteurs de charge en mouvement est très importante ( $I_0 =$  quelques 10 mA). D'après le modèle de Schottky (voir Annexe), les collisions ionisantes sont essentiellement dues aux électrons, qui sont les particules chargées les plus mobiles du plasma, et elles concernent l'ensemble des atomes excités sur les différents niveaux. Après l'excitation : pour la diode, on détecte la présence d'ions positifs créés dans la charge d'espace ; pour la décharge, on modifie plus ou moins le nombre de porteurs de charge. Les signaux avec la diode sont toujours de même signe, ce qui n'est pas le cas pour les signaux OG.

##### - Amplification interne.

La présence de tout ion positif emprisonné dans la charge d'espace équivaut à un flot supplémentaire d'électrons pouvant alors s'échapper

pour atteindre l'anode. Le facteur d'amplification interne est estimé par MARR et WERRETT [15] à  $10^5 - 10^6$  électrons libérés par ion positif créé. L'importance de ce facteur rend très sensible, avec la diode, la méthode de détection de transitions optiques conduisant à des niveaux très excités.

Dans la décharge, l'amplification interne résulte des processus mêmes qui assurent le fonctionnement en régime disruptif. A la suite d'une collision ionisante, un atome, qu'il soit excité ou non, donne naissance à une paire électron - ion positif. Ce sont donc deux particules chargées qui vont être fortement accélérées entre les électrodes. En percutant la cathode, l'ion positif va éjecter plusieurs électrons : c'est le processus d'émission secondaire qui domine le régime disruptif subnormal. L'électron d'ionisation contribue également à augmenter le nombre de porteurs de charge en intervenant à son tour dans les processus de collisions ionisantes, prépondérantes en régime anormal. L'amplification interne est certainement comparable à celle de la diode : les réactions en chaîne achèvent la production d'un très grand nombre de porteurs de charge. Cependant, pour la détection OG, ce sont à la fois les atomes du niveau inférieur et ceux du niveau supérieur de la transition qui sont sollicités dans les collisions ionisantes, sans compter ceux des niveaux couplés qui sont également affectés. L'interaction résonnante produit un transfert de population : le nombre d'ions créés par seconde diminue à partir du niveau inférieur mais augmente à partir du niveau supérieur. Le signal OG résultant est d'autant plus important que la contribution à la conduction de la décharge est très différente pour les deux niveaux ; ce qui est le cas lorsque l'on fait intervenir un niveau métastable comme niveau inférieur et un niveau de Rydberg comme niveau supérieur dans une excitation pulsée.

#### - Sensibilité.

La diode est un détecteur très sensible puisqu'elle permet d'observer avec un bon rapport signal sur bruit des transitions à deux photons

résonnantes qui se produisent dans un volume restreint de la charge d'espace où le faisceau laser est focalisé. Ces observations rendent compte du facteur important de l'amplification interne et aussi du faible niveau de bruit qui caractérisent cet instrument de mesure.

Dans une expérience similaire (excitation laser pulsée, transitions à deux photons résonnantes à partir du fondamental), le tube à décharge doit présenter une amplification interne comparable à celle de la diode. Le fait qu'aucune transition n'ait été détectée avec notre dispositif, ni avec les tubes à décharge usuels, indique que le seuil de détection minimale est plus élevé pour le tube à décharge que pour la diode. Le niveau de bruit est certainement trop important : il est principalement dû aux fluctuations des phénomènes de collisions entre les électrons et une grande variété d'espèces neutres ou chargées présentes dans le plasma. Ces mêmes collisions se produisent déjà hors résonance, puisqu'elles expliquent la conduction de la décharge, et elles servent aussi à produire les signaux OG. Par contre, ces phénomènes n'interviennent pas dans le fonctionnement de la diode et la détection d'une résonance utilise pour seules collisions celles qui concernent les atomes sélectivement excités dans la transition. La vapeur de baryum joue un rôle indispensable dans le fonctionnement de la décharge, ce qui n'est pas le cas dans la diode où la présence d'une atmosphère gazeuse ne contribue qu'à modifier le potentiel d'extraction des électrons de la cathode.

- Réponse en fréquence.

La durée de vie de l'ion positif emprisonné dans la charge d'espace limite la réponse en fréquence à 100 Hz, pour la diode à électrodes cylindriques que nous avons utilisée [2]. L'électronique de mesure ne nécessite pas de grandes performances quant à la détection de transitions optiques résultant d'une excitation pulsée.

Le tube à décharge "heat-pipe" combiné au nouveau dispositif électronique présente l'avantage d'être un détecteur d'excitations optiques

1000 fois plus rapide. La réponse impulsionnelle pourrait encore être améliorée (§.I.B.3) , ce qui permettrait alors d'exploiter ce dispositif pour des études de spectroscopie résolue en temps (§.I.C.4.a).

- Dynamique.

Avec la diode, l'étendue de la dynamique est limitée par le niveau de bruit produit sur le courant débité et par la saturation lorsque tous les thermoélectrons atteignent l'anode. Les excitations optiques pulsées de la vapeur de baryum de type "heat-pipe" nous ont délivré des intensités du signal électrique couvrant 3 ordres de grandeur.

La détection par effet OG présente une dynamique comparable (Figure 16).

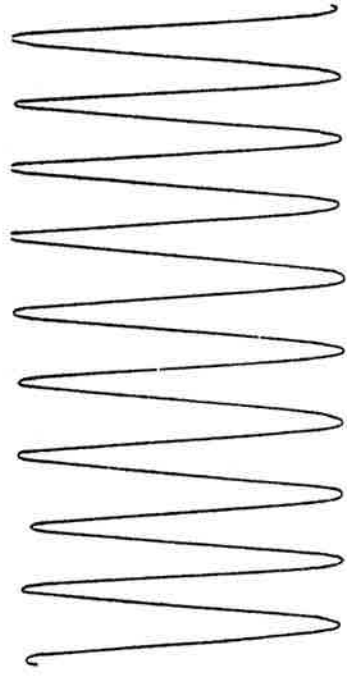
II.C - REALISATION DES SPECTRES OG.

II.C.1 Enregistrement.

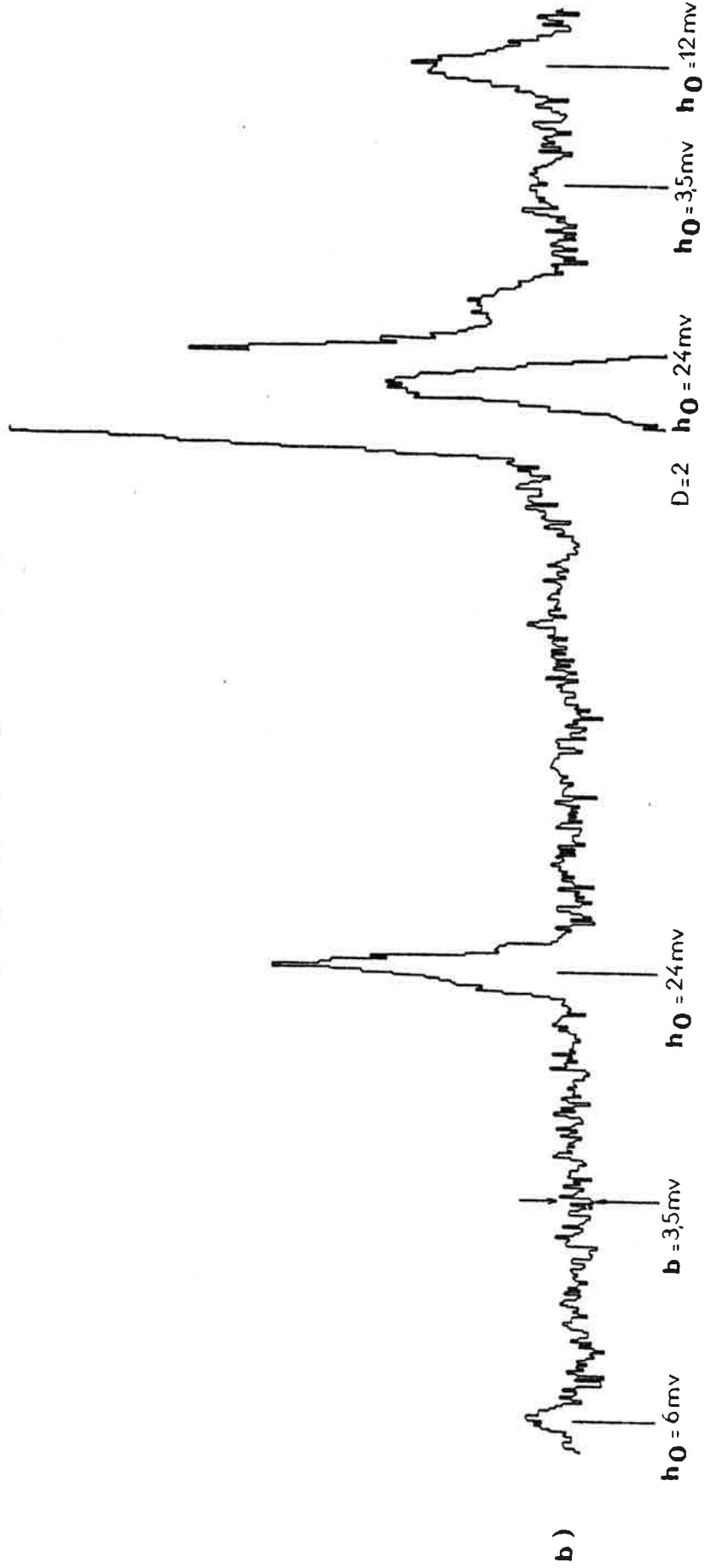
II.C.1.a Domaine spectral exploré.

Cinq niveaux intermédiaires ont été choisis appartenant à la configuration 5d6p

Transition du premier étage	$\lambda_1$ (Å)	Colorant de la cavité n° 1
5d6s $^3D_1$ → 5d6p $^3P_0$	6019,47	R6G dans éthanol
5d6s $^3D_2$ → 5d6p $^3P_1$	6063,12	RB dans éthanol
5d6s $^3D_3$ → 5d6p $^3P_2$	6110,78	RB dans éthanol
5d6s $^3D_2$ → 5d6p $^3D_3^o$	6341,68	RB dans éthanol
5d6s $^3D_3$ → 5d6p $^3F_4^o$	7059,94	RB dans NBAP



a)



b)

Figure 16 - Dynamique de l'effet optogalvanique ( $h_0$  : amplitude du signal OG,  $b$  : amplitude de bruit,  $D$  : densité optique).



A partir de chacun de ces cinq triplets, de  $J$  égaux à 0, 1, 2, 3 et 4, la transition du deuxième étage nous a permis d'observer une même région (E) du spectre au voisinage de la première limite d'ionisation ( $I_0 = 42035,02 \text{ cm}^{-1}$ ). L'exploration du spectre autoionisant, au-delà de cette limite, n'a été réalisée qu'à partir des niveaux  $^3P_1$  et  $^3P_2$  de  $5d6p$  ; elle s'étend jusqu'aux premiers niveaux excités de l'ion  $\text{Ba}^+$  :

$$I_1 = 46908,87 \text{ cm}^{-1} \quad \text{et} \quad I_2 = 47709,84 \text{ cm}^{-1} .$$

Niveau intermédiaire	Plage explorée par le faisceau laser n° 2			
	$\lambda_2$ (Å)	$\sigma_2$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	E ( $\text{cm}^{-1}$ )	Tableau
$5d6p \ ^3P_0^o$	6065 - 6412	15593 - 16490	41235 - 42130	Ia
	5705 - 6021	16608 - 17150	42250 - 43153	Ib
$5d6p \ ^3P_1^o$	5698 - 6578	15201 - 17386	40905 - 43090	IIa
	4450 - 5695	17578 - 21781	43282 - 47485	IIb
$5d6p \ ^3P_2^o$	6015 - 6614	15158 - 16612	41115 - 42568	IIIa
	4441 - 5785	17327 - 22516	43284 - 48473	IIIb
$5d6p \ ^3D_3^o$	5701 - 6729	14891 - 17510	39871 - 42490	IV
$5d6p \ ^3F_4^o$	5442 - 6061	16360 - 18340	40117 - 42097	V

Pour couvrir le domaine en longueur d'ondes compris entre 4450 Å et 6730 Å, il a fallu utiliser, pour la cavité n° 2, les différents colorants suivants :

- Rhodamines : R 640, R B, R 6G
- Fluorescéine : Fl.
- Coumarines : C 540<sub>A</sub><sup>F</sup>, C 485, C 481\*, C 481<sup>+</sup>, C 480, C 460 .

Tous les colorants sont en solution dans l'éthanol sauf pour :

C 481<sup>+</sup> : dilué dans du p-dioxane,

C 481\* : dilué dans un mélange p-dioxane/éthanol.

### II.C.1.b Calibration des spectres.

Elle est obtenue par l'enregistrement simultané des signaux OG et du signal électrique délivré par un photomultiplicateur (PM, voir Figure 8). Ce photomultiplicateur reçoit le flux lumineux transmis par les lames à faces parallèles d'un Fabry-Perot mis sous vide, permettant alors d'analyser la fréquence  $\nu_2$ .

Ainsi, une partie du faisceau laser n° 2 est prélevée à la sortie de la cavité et envoyée sous incidence normale sur les lames. Lorsque  $\nu_2$  varie, on enregistre des franges d'interférence espacées de l'intervalle entre-ordres du Fabry-Perot. La mesure de cet intervalle a été réalisée par la méthode des excédents fractionnaires :

$$\Delta\sigma = \frac{1}{2e} = 1,314\ 67(8)\ \text{cm}^{-1}$$

e : épaisseur optique du Fabry-Perot.

La finesse atteinte est de l'ordre de 3. Les franges permettent non seulement d'exploiter quantitativement le spectre, mais elles permettent aussi de suivre l'entraînement du réseau et d'avoir une information sur le profil de la raie laser n° 2.

### II.C.2 Tests d'identification des raies.

L'existence d'une raie est confirmée en reproduisant au minimum deux fois l'enregistrement d'une même région.

En surveillant l'écran de l'oscilloscope, nous pouvons distinguer les raies de l'hélium dont le signal OG présente une forme différente



$\Delta \sigma_2 = 400 \text{ GHz}$

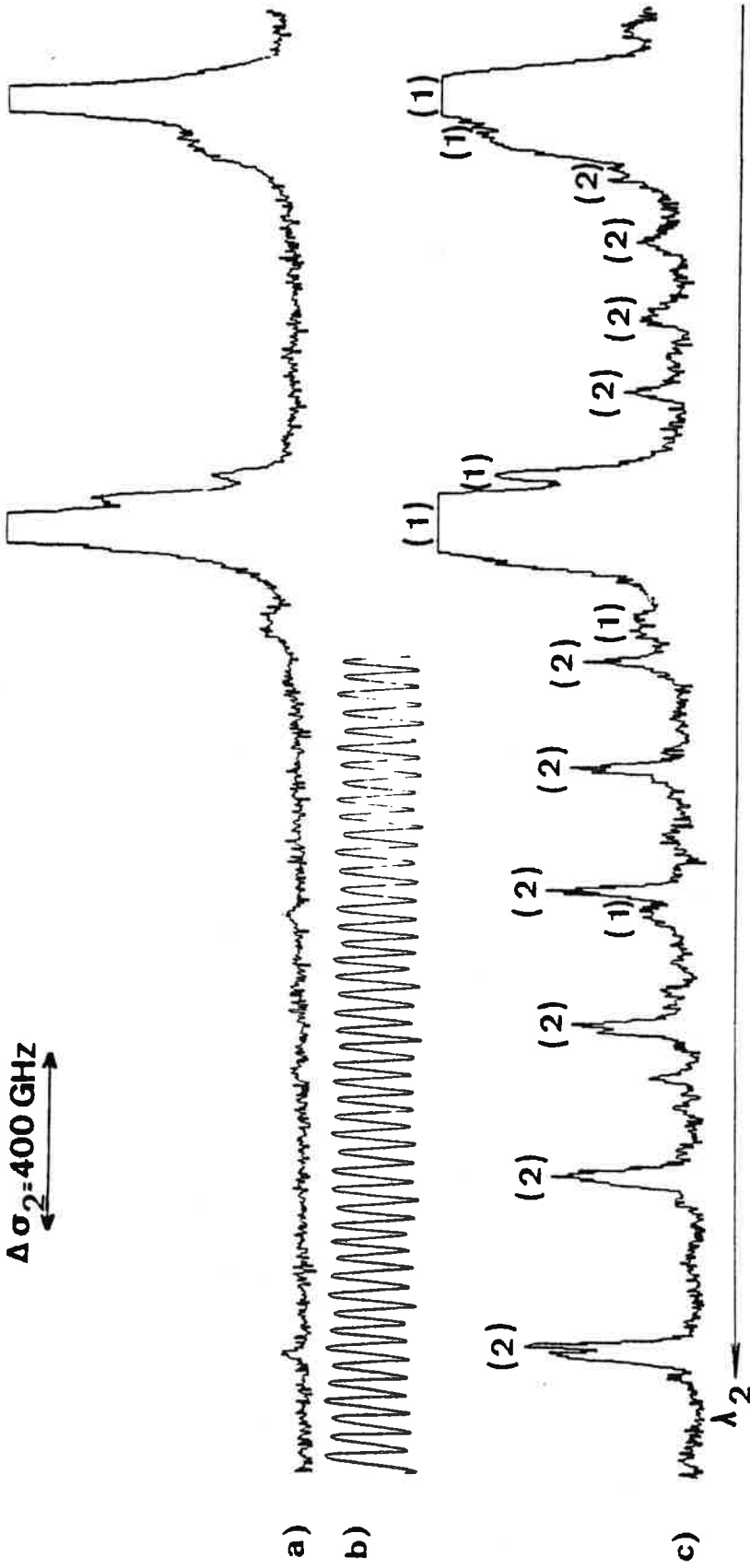


Figure 17

Test d'identification des raies du spectre (1) et (2)

- a) Spectre OG du baryum sans premier étage.
- b) Franges du Fabry-Perot.
- c) Spectre OG du baryum enregistré avec premier étage : transition  $5d6s \ ^3D_2 \rightarrow 5d6p \ ^3P_1^o$ .



de celle des raies du baryum. De plus, ce signal n'est pas sensible aux variations de température.

Une raie du spectre d'absorption (2) nécessite l'interaction résonnante de la vapeur de baryum avec le faisceau laser n° 1. En occultant ce faisceau, la transition du premier étage ne se produit pas et la raie doit disparaître. Un enregistrement rapide de la région sans premier étage ne fait sortir que les raies des spectres (0) et (1). N'ayant mis en évidence aucune raie appartenant au spectre (4), nous admettons que nous pouvons ainsi sélectionner les raies résultant d'une transition à deux échelons à partir du métastable choisi par la transition  $\sigma_1$ . La Figure 17 illustre le test d'identification des raies du spectre (2) par la comparaison des deux spectres OG obtenus pour une même région explorée par  $\lambda_2$  sans le premier étage (a), puis avec le premier étage (c).

### II.C.3 Qualité des enregistrements.

#### II.C.3.a Intensité des raies.

La plupart des enregistrements a pu être réalisée dans de bonnes conditions de fonctionnement de la décharge. Nous avons alors observé des raies dont les intensités couvraient presque toute la plage de la dynamique offerte par la détection OG :

- la plus petite raie, correspondant à  $h_0/b \approx 1$ , présente une hauteur  $h_0 = 5$  mV pour le signal OG après le filtre ;

- la raie la plus intense est observée pour  $h_0 = 5$  V, signal OG correspondant à une transition de l'hélium ( $\sigma_2 = 19932 \text{ cm}^{-1}$ ). Pour certains signaux intenses, des distorsions sont apparues à l'oscilloscope.

A certaines occasions, des phénomènes parasites d'induction électromagnétique ont nui à la détection OG, réduisant la qualité du rapport signal sur bruit des spectres enregistrés.

### II.C.3.b Largeur et profil des raies.

La largeur Doppler d'une transition atomique est donnée par la formule :

$$\Delta\sigma_D = \sigma \times 7,1 \times 10^{-7} \sqrt{\frac{T}{M}}$$

où  $\sigma$  : nombre d'onde de la transition,

M : masse atomique exprimée en grammes,

T : température en Kelvin.

Pour la vapeur de baryum ( $M = 126 \text{ g}$ ) fonctionnant à  $T = 910^\circ\text{C}$

$$\Delta\sigma_D = 2,2 \times 10^{-6} \sigma \approx 0,05 \text{ cm}^{-1} .$$

La finesse des raies OG est donc limitée par la largeur spectrale de la raie laser ( $\Delta\sigma_2 \approx 0,3 \text{ cm}^{-1}$ ). C'est ce que nous confirmons expérimentalement : suivant le réglage optique de la cavité laser n° 2, les raies OG sont plus ou moins fines.

Pour les transitions à deux échelons conduisant aux niveaux situés au-dessus de la première limite  $I_0$ , les raies sont beaucoup plus larges et présentent parfois une forme dissymétrique (Figure 18). Ces propriétés s'estompent lorsqu'on se rapproche des limites  $I_1$  et  $I_2$ . Dans le domaine autoionisant, la durée de vie des atomes excités est plus brève : l'atome excité a une très grande probabilité de s'ioniser en perdant un électron. Ceci se traduit par une plus grande largeur naturelle du niveau, conformément à la relation  $\Delta E \times \Delta t = \hbar$ . La raie du spectre (2) reproduit à la Figure 18 correspond à l'excitation à partir du niveau intermédiaire  $5d6p \ ^3P_2^o$  vers le niveau  $5d_{5/2} \ 10s_{1/2} \ J=3$  situé à  $44473,13 \text{ cm}^{-1}$  ; sa largeur vaut  $8\Delta\sigma$ . Nous avons ainsi observé des raies autoionisées dont la largeur pouvait atteindre plus de 10 interférences ( $\delta\sigma \gg 14 \text{ cm}^{-1}$ ). Dans de telles conditions, l'analyse du profil de la raie est difficile à entreprendre et ceci d'autant plus que le niveau de bruit augmente lorsque la raie est décrite et que les profils ne se reproduisent pas toujours de façon identique entre deux enregistrements.

Un des profils obtenu pour la raie de résonance du baryum, qui

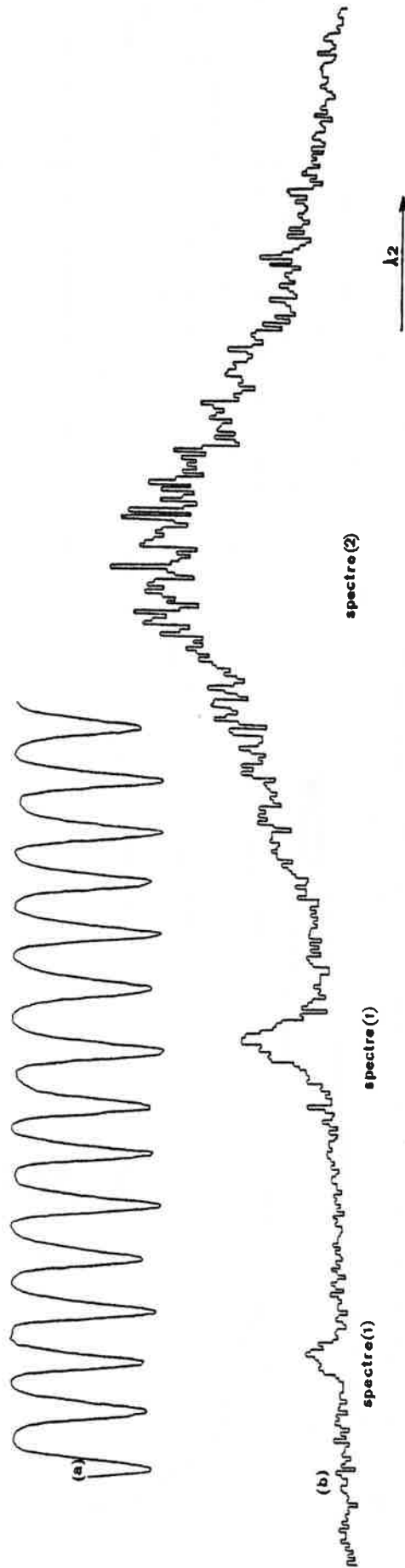


Figure 18 - Profil d'une raie autoionisée

- a) Franges du Fabry-Perot.
- b) Spectre OG à deux étages du baryum.

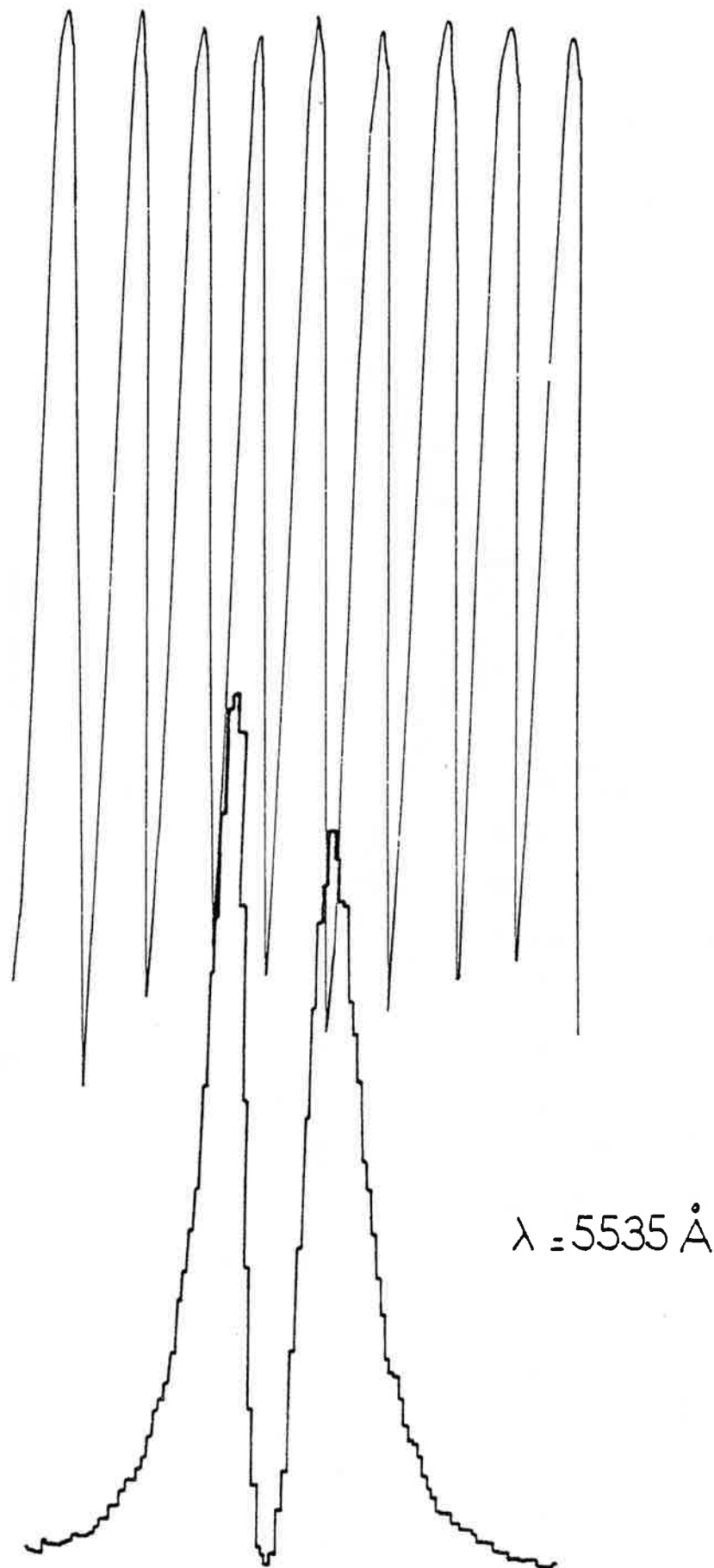


Figure 19

Profil de la raie de résonance du baryum :  $6s^2 \ ^1S_0 \rightarrow 6s6p \ ^1P_1^o$ .

appartient au spectre (1), est montré à la Figure 19. L'inversion de la raie correspond à une déformation simultanée du signal OG observé à l'oscilloscope. Cependant, autant d'enregistrements de cette même raie ont conduit à des profils différents, rendant encore plus difficile la compréhension du phénomène à l'origine de cette déformation. Des observations similaires ont été rapportées avec la diode thermoionique pour la raie de résonance du baryum [2] et celle de l'ytterbium [7], et n'ont toujours pas trouvé d'interprétation satisfaisante à ce jour.

### I.C.3.c Bruit.

Les raies OG du spectre discret se détachent sur le fond continu dû au signal permanent que donne la transition du premier étage. La modulation de ce fond continu est attribuée aux lentes variations de température de la cellule "heat-pipe" au cours des enregistrements.

Le niveau de bruit, en dehors d'une raie OG, provient donc des fluctuations du signal OG pour l'interaction résonnante avec le seul faisceau laser n° 1. Ces fluctuations semblent essentiellement reproduire les fluctuations du régime continu de la décharge. Cependant, nous avons parfois observé une amplitude de bruit plus importante, correspondant aux instabilités de l'intensité du faisceau laser n° 1 (instabilités provoquées par le débit irrégulier de l'azote dans la cavité du laser pompe).

Les raies du spectre (2) pour les niveaux situés en-dessous de la première limite  $I_0$  sont décrites rapidement : leur profil ne paraît pas entaché de bruit. Ceci reste vrai pour toutes les raies fines et suffisamment intenses. A la limite d'une série, les raies s'élargissent (voir §.II.B.3.c). Elles deviennent également moins intenses et plus bruiteuses.

Au delà de  $I_0$ , le signal de fond augmente, traduisant la contribution d'un nouveau phénomène et des fluctuations qui s'y rattachent :

c'est la photoionisation directe à partir du niveau intermédiaire, par le faisceau laser n° 2. Les raies très larges du spectre (2) sont décrites suffisamment lentement pour observer le niveau de bruit sur tout leur profil ; l'amplitude en est maximum au sommet de la raie. Dans ce domaine d'exploration, les raies du spectre (4) peuvent se distinguer des raies du spectre (2) par leur profil beaucoup plus lisse.



Références du Chapitre II

- [1] T. F. JOHNSTON, Jr., *Laser Focus* 14, 58-63 (1978).
- [2] M. AYMAR, P. CAMUS, M. DIEULIN et C. MORILLON, *Phys. Rev. A* 18, 2173-2183 (1978).
- [3] J. A. ARMSTRONG, J. J. WYNNE et P. ESHERICK, *J. Opt. Soc. Am.* 69, 211-230 (1979).
- [4] P. CAMUS, M. DIEULIN et C. MORILLON, *Le Journal de Physique-Lettres* 40, 513-517 (1979).
- [5] M. AYMAR et O. ROBAUX, *J. Phys. B* 12, 531-546 (1979).
- [6] C. E. MOORE, *Atomic Energy Levels* 3, N.B.S. Circ. No 467 (U. S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1958).
- [7] A. DEBARRE, Thèse de 3ème cycle, Orsay, 1979.
- [8] P. CAMUS et C. MORILLON, *J. Phys. B : Atom? Molec. Phys.* 10, L133-L136 (1977).
- [9] J. J. WYNNE et J. P. HERMANN, *Optics Lett.* 4, 106-108 (1979).
- [10] P. CAMUS, *J. Phys. B* 7, 1154-1160 (1974).
- [11] L. A. MELTON et P. H. WINE, *J. Appl. Phys.* 51, 4059-4069 (1980).
- [12] C. R. VIDAL, F. B. HALLER, *Rev. of Sc. Instr.* 42, n° 12 (1971) ;  
C. R. VIDAL, J. COOPER, *J. Appl. Phys.* 10, n° 8 (1969) ;  
G. Y. EASTMAN, *Sci. Amer.* 218, 5, 38 (1968).
- [13] R. A. KELLER et E. F. ZALEWSKI, *Appl. Optics* 19, 3301-3305 (1980).
- [14] E. MIRON, I. SMILANSKI, J. LIRAN, S. LAVI et G. EREZ, *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-15, 194-196 (1979).
- [15] G. V. MARR et S. R. WERRETT, *Atom. Molec. Phys.* 5, 1735-1743 (1972).

- [16] Exposition de Physique de la Société Française de Physique, (Paris - Décembre 1979).
- [17] C. R. VIDAL, J. Quant. Radiat. Transfer 6, 461-477 (1966) ;  
D. INGLIS et E. TELLER, Astrophys. J. 90, 439 (1939).
- [18] C. E. WEBB, Inst. Phys. Conf. Sc. 29, 1-28 (1976).
- [19] J. C. WHITE, R. R. FREEMAN et P. F. LIAO, Optics Letters 5, 120-122 (1980).





## Chapitre III

Résultats expérimentaux et interprétation des niveauxIII.A - ACQUISITION DES DONNEES.III.A.1 Mesure du nombre d'ondes de la transition.

Lorsqu'une raie OG apparaît dans le spectre elle traduit l'interaction résonnante du plasma avec le faisceau laser n° 2 pour la fréquence  $\nu_2 = c \sigma_2$ .

Le signal Fabry-Perot, simultanément enregistré, constitue une échelle en nombre d'ondes  $\sigma_2$ . La mesure de  $\sigma_2$  peut être obtenue graphiquement, à condition que le spectre soit pourvu d'une raie de référence. Une telle raie résulte nécessairement d'un accord avec la fréquence laser  $\nu_2$ , pour le nombre d'ondes que nous désignerons par  $\sigma_r$  et qui a été déterminé à l'issue d'expériences antérieures.

La Figure 20 explique la détermination de la valeur de  $\sigma_2$  à partir de pointés de raies du spectre et de pointes de franges. La position d'une raie OG est repérée par rapport à celle de la frange qui la précède immédiatement sur l'enregistrement

frange n° 0 pour la raie de référence,

frange n° k pour la raie inconnue.

En supposant une rotation continue du réseau de la cavité laser n° 2 et un défilement également continu du papier de l'enregistreur, nous pouvons exprimer  $\sigma_2$  par interpolation linéaire :

$$\sigma_2 = \sigma_r + \epsilon \Delta\sigma \left( k - \frac{l_r}{L_r} + \frac{l}{L} \right)$$

où  $\epsilon = +1$  ( $-1$ ) si l'enregistrement se fait dans le sens  $\lambda_2$  décroissant (croissant),

$\Delta\sigma = 1,314\ 67(8)\ \text{cm}^{-1}$  : intervalle entre-ordres du Fabry-Perot,

$l_r$ ,  $L_r$ ,  $l$ ,  $L$  : distances mesurées sur l'enregistrement.

Toute raie OG correspond à la transition optique d'un élément entre un niveau d'énergie inférieure  $E_j$  et un niveau d'énergie supérieure  $E_k$  distants de  $\epsilon_{jk} = E_k - E_j$ .

Pour les raies du baryum appartenant au spectre (1) et pour celles de l'hélium, qui constituent le spectre (0), l'absorption d'un photon résonnant se traduit par :  $\sigma_2 = \epsilon_{jk}$ .

Une raie d'absorption du spectre (2) est définie avec plus de précision puisqu'on connaît les niveaux sollicités dans l'interaction résonnante. Ces niveaux seront ainsi désignés :

- niveau (I) : le niveau métastable de 5d6s choisi dans la transition du premier étage ;

- niveau (II) : le niveau intermédiaire de 5d6p atteint dans la transition du premier étage :  $\sigma_1 = \epsilon_{I,II}$  ;

- niveau (III) : le niveau supérieur atteint dans la transition du deuxième étage.

Ainsi, pour une telle résonance, la mesure de  $\sigma_2 = \epsilon_{II,III}$  permet de déterminer l'énergie  $E_{III}$  du niveau supérieur atteint :

$$E_{III} = E_I + \sigma_1 + \sigma_2 = E_{II} + \sigma_2 .$$

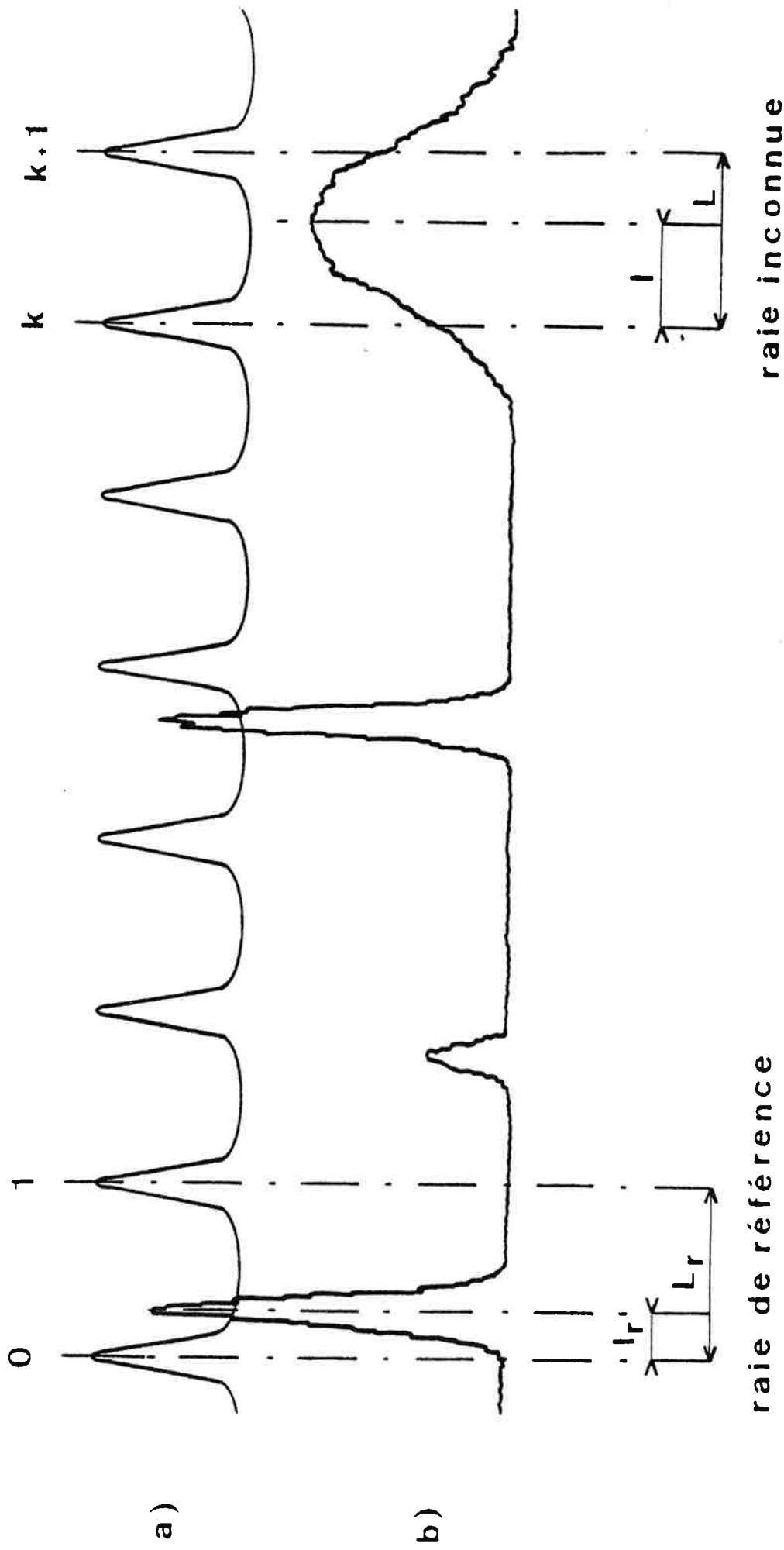


Figure 20

Détermination graphique du nombre d'ondes  $\sigma_2$  de la transition optique

a) Franges de Fabry-Perot,

b) Spectre OG.





### III.A.2 Incertitudes de mesure.

#### III.A.2.a Causes d'incertitude.

Le pointé d'une raie OG ou d'une frange consiste à en repérer le sommet. Ce pointé est d'autant plus précis que la raie est symétrique, intense et fine. La forme d'une raie OG dépend du profil spectral de la raie laser et de la transition produite. Le profil des franges rend compte de la qualité des réglages optiques : cavité laser et voie du Fabry-Perot.

Les incertitudes introduites sur la position relative entre une raie OG et les deux franges qui l'encadrent proviennent du défaut d'entraînement du réseau. Des frottements mécaniques aléatoires ou des défauts dans le pas de la vis qui assure la transmission du mouvement au réseau, induisent des fluctuations sur les distances  $L$  et  $l$ .

L'intervalle entre-ordres du Fabry-Perot a pour valeur numérique :

$$\Delta\sigma = \frac{1}{2e} = 1,314\ 67(8)\ \text{cm}^{-1} .$$

L'épaisseur constante  $e$ , qui assure le parallélisme entre les lames du Fabry-Perot, est réalisée par la présence de cales en silice, collées optiquement entre les lames.  $\Delta\sigma$  ne correspond à la distance entre deux franges consécutives que dans la mesure où la cloche est sous vide et le faisceau laser tombe en incidence normale ( $i=0$ ) sur les lames. Toute modification de l'une des trois grandeurs ( $e$  par déplacement des lames,  $n$  indice du milieu entre les lames ou  $i$  incidence du faisceau) intervient dans l'incertitude de mesure puisque la distance entre franges correspond à  $\Delta\sigma' = \frac{1}{2ne \cos i}$ .

La dernière cause d'incertitude sur la mesure de  $\sigma_2$  porte sur la donnée de  $\sigma_r$ . Les différentes valeurs que nous avons utilisées pour  $\sigma_r$  sont reportées dans le tableau suivant. Elles ont été calculées par différence entre les énergies des deux niveaux impliqués dans la transition correspondante.

$\sigma_r$ (cm <sup>-1</sup> )	Niveau inférieur		Niveau supérieur	
14976,519	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	9215,492 [6]	5d 6p <sup>3</sup> D <sub>1</sub> <sup>o</sup>	24192,011 [6]
15315,998	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	9215,492 [6]	5d 6p <sup>3</sup> D <sub>2</sub> <sup>o</sup>	24531,490 [6]
15420,999	5d 6s <sup>1</sup> D <sub>2</sub>	11395,340 [6]	5d 6p <sup>1</sup> F <sub>3</sub> <sup>o</sup>	26816,239 [6]
15497,532	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>1</sub>	9033,958 [6]	5d 6p <sup>3</sup> D <sub>2</sub> <sup>o</sup>	24531,490 [6]
15764,318	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	9215,492 [6]	5d 6p <sup>3</sup> D <sub>3</sub> <sup>o</sup>	24979,810 [6]
15895,560	5d 6p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <sup>o</sup>	25956,495 [6]	6s27d <sup>1</sup> D <sub>2</sub>	41852,055 [1]
16359,971	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>3</sub>	9596,524 [6]	5d 6p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <sup>o</sup>	25956,495 [6]
16488,591	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	9215,492 [6]	5d 5p <sup>3</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>	25704,083 [6]
16670,125	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>1</sub>	9033,958 [6]	5d 6p <sup>3</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>	25704,083 [6]
16741,003	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	9215,492 [6]	5d 6p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <sup>o</sup>	25956,495 [6]
17219,715	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>3</sub>	9596,524 [6]	5d 6p <sup>1</sup> F <sub>3</sub> <sup>o</sup>	26816,239 [6]
17649,018	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>	18060,244 [6]	6s 7d <sup>3</sup> D <sub>1</sub>	35709,261 [6]
18060,244	6s <sup>2</sup> <sup>1</sup> S <sub>0</sub>	0,000	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>	18060,244 [6]
18429,571	6s 6p <sup>3</sup> P <sub>0</sub> <sup>o</sup>	12266,015 [6]	6s 6d <sup>3</sup> D <sub>1</sub>	30695,586 [6]
19035,197	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>	18060,244 [6]	6s 9s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>	37095,441 [6]
19338,701	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	9215,492 [6]	5d 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>	28554,193 [6]
20207,426	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>	18060,244 [6]	5d 6d <sup>3</sup> P <sub>2</sub>	38267,670 [2]
21151,660	5d 6s <sup>1</sup> D <sub>2</sub>	11395,340 [6]	6s 7p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>	32547,000 [6]
21268,712	6s 6p <sup>3</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>	12636,612 [6]	6s 8s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>	33905,324 [6]
21274,696	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>	18060,244 [6]	6s 9d <sup>1</sup> D <sub>2</sub>	39334,940 [2]
21390,688	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>3</sub>	9596,524 [6]	6s 7p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <sup>o</sup>	30987,212 [6]
21404,724	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>	18060,244 [6]	5d 8s <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	39464,968 [2]
21709,506	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>1</sub>	9033,958 [6]	6s 7p <sup>3</sup> P <sub>0</sub> <sup>o</sup>	30743,464 [6]
21771,720	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	9215,492 [6]	6s 7p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <sup>o</sup>	30987,212 [6]

### III.A.2.b Précision des résultats.

Les résultats expérimentaux sont reportés dans les tableaux I à V où figure le nombre d'ondes  $\sigma$ , moyenne arithmétique sur les valeurs de  $\sigma_2$  obtenues pour une même raie OG :  $\sigma = \langle \sigma_2 \rangle$ . En choisissant la valeur de  $\sigma$  pour résultat final, on peut ainsi réduire les erreurs aléatoires (provenant essentiellement de l'interfrange non régulier) et éliminer les valeurs aberrantes.

Les différentes mesures sur  $\sigma_2$ , concernant une raie OG donnée, sont déterminées en choisissant, la plupart du temps, la même raie de référence ( $\sigma_r$ ). Ainsi, la dispersion des valeurs retenues autour de la moyenne  $\sigma$  constitue un intervalle d'incertitude  $\delta(\sigma - \sigma_r)$  qui dépend des caractéristiques de la raie considérée (symétrie, lissé, largeur, intensité). Cet intervalle ne peut pas être réduit à moins de  $0,05 \text{ cm}^{-1}$ ; cette précision limite sur la valeur moyenne rend compte des différentes causes d'incertitude évoquées au paragraphe précédent :

$$\delta\sigma_{\min} = \delta\sigma_r + 0,05 \text{ cm}^{-1} .$$

Lorsqu'une raie OG sort en bordure de la plage de fluorescence, elle appartient en général à deux domaines d'exploration différents pour lesquels on a utilisé deux colorants différents. Les mesures sur  $\sigma_2$  donnent alors deux valeurs moyennes  $\sigma_2$  (une valeur pour chaque colorant) obtenues avec deux nombres d'ondes  $\sigma_r$  correspondant à des raies de référence différentes. Des écarts allant jusqu'à  $0,3 \text{ cm}^{-1}$  ont été obtenus entre ces deux valeurs moyennes. La principale cause d'incertitude semble être attribuée alors à la précision avec laquelle  $\sigma_r$  est connue.

### III.A.3 Présentation des Tableaux I à V.

Chaque tableau reproduit, pour un niveau intermédiaire donné, les caractéristiques des différentes raies OG enregistrées sur une plage continue de la longueur d'onde  $\lambda_2$ . Les indications se répartissent en deux groupes de colonnes. La partie de gauche est relative aux résultats

expérimentaux et celle de droite à l'interprétation qui a pu être donnée quant à la transition optique détectée. (Voir page 115).

La légende des symboles utilisés est la suivante :

Colonnes de gauche.

$\sigma_{\text{obs}}$  : nombre d'ondes moyen  $\sigma$  déduit des mesures OG

$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r)$  : incertitude de mesure sur  $\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r$ .

$\sigma_r$  : nombre d'ondes attribué à la raie de référence du spectre considéré.

x(col.) : cas d'une raie OG observée une seule fois, l'exploration se faisant sur la plage de fluorescence du colorant col.

ref.(col.) : raie OG de référence du spectre considéré.

Allure de la raie OG : (i) rem., I, l

(i) : Test d'identification du spectre d'appartenance de la raie

(1) spectre (0) ou (1)

(2) spectre (2).

rem. : Particularités de la raie considérée

as. : profil asymétrique

inv. : sur certains enregistrements, la raie présente une partie inversée

c : raie complexe semblant présenter une structure

déf. : le signal OG, observé à l'oscillo, se distord lorsque la raie est décrite.

I : Intensité de la raie OG

tff : très très faible, tf : très faible, f : faible,

m : moyenne,

F : forte, TF : très forte, TTF : très très forte.

(I) : intensité de la raie, telle qu'elle est apparue sur un autre enregistrement,

I<sup>+</sup> : enregistrement OG pour lequel le niveau intermédiaire

$5d6p \ ^3P_2^0$  a été peuplé par la fluorescence de la cavité laser n° 2.

$l$  : Largeur de la raie OG.

TTL : très très large ( $l > 3\Delta\sigma$ ), TL : très large ( $l \approx 2\Delta\sigma$ ),

L : large ( $l \approx 1\Delta\sigma$ ), f : fine ( $0,5\Delta\sigma < l \leq 0,8\Delta\sigma$ ),

tf : très fine ( $0,3 \Delta\sigma < l \leq 0,5\Delta\sigma$ ), ttf : très très fine ( $\rho \leq 0,3\Delta\sigma$ ).

----- changement d'amplification lors de l'enregistrement.

————— changement de colorant pour la cavité laser n° 2 .

### Colonnes de droite.

Spectre : (i) : spectre d'appartenance de la raie OG (voir §.II.B.3.a)  
i=0 pour l'hélium, i=1 ou 2 pour le baryum.

Bl. : coïncidence dans l'interprétation de deux ou plusieurs transitions possibles.

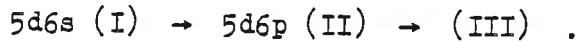
$\sigma_{\text{calc}}$  : nombre d'ondes de référence lorsque la transition a déjà été observée par ailleurs,

\* : transition nouvelle identifiée.

Classification : Pour les raies des spectres d'absorption (0) ou (1), la transition entre les niveaux inférieur et supérieur est précisée. Pour les raies du spectre (2), seul est mentionné le niveau supérieur III atteint dans la transition :  $5d6s \text{ (I)} \rightarrow 5d6p \text{ (II)} \rightarrow \text{(III)}$

### III.B - IDENTIFICATION DES NIVEAUX TRES EXCITES.

A présent nous nous intéressons exclusivement à l'identification des niveaux très excités de Ba I atteints dans un processus d'absorption à deux étages à partir d'un niveau métastable de 5d6s :



Le niveau intermédiaire choisi est l'un des cinq niveaux :

5d6p $^3P_0^o$	$E_{II} = 25642,103 \text{ cm}^{-1}$
5d6p $^3P_1^o$	$E_{II} = 25704,083 \text{ cm}^{-1}$
5d6p $^3P_2^o$	$E_{II} = 25956,495 \text{ cm}^{-1}$
5d6p $^3D_3^o$	$E_{II} = 24979,810 \text{ cm}^{-1}$
5d6p $^3F_4^o$	$E_{II} = 23757,029 \text{ cm}^{-1}$

Les énergies  $E_{II}$  de ces niveaux ont été redéterminées avec précision par J. VERGES [6], l'incertitude de mesure valant  $\delta E_{II} = 0,05 \text{ cm}^{-1}$ .

#### III.B.1 Caractéristiques des niveaux (III).

Les propriétés essentielles ont été rappelées au chapitre précédent (§.II.B.1.b). Nous avons également précisé que nous limitons l'étude aux niveaux appartenant aux configurations paires 5dnℓ. Puisque le couplage LS des niveaux intermédiaires (II) n'est pas pur, nous pouvons observer tous les niveaux (III), aussi bien singulets que triplets, des configurations 5dns et 5dnd ; soient :

- Les 4 niveaux appartenant à 5dns :  $^1D_2$ ,  $^3D_{1,2,3}$ . Les niveaux  $^3D_1$  et  $^3D_3$  de la configuration 5d8s n'ont pas encore été observés : ils sont attendus en-dessous de la première limite  $I_0$ , alors que la configuration 5d9s est entièrement située au-dessus de  $I_0$ .

- Les 18 niveaux appartenant à 5dnd :  $^1S_0$ ,  $^3S_1$ ,  $^1P_1$ ,  $^3P_{0,1,2}$ ,  $^1D_2$ ,  $^3D_{1,2,3}$ ,  $^1F_3$ ,  $^3F_{2,3,4}$ ,  $^1G_4$ ,  $^3G_{3,4,5}$ . La recherche de ces niveaux consiste en premier lieu à compléter la configuration 5d7d dont seulement trois niveaux sont connus :  $^3P_0$ ,  $^1D_2$  et  $^3F_2$ . La configuration se localise de part et d'autre de la limite  $I_0$ .

Pour chaque niveau (III), l'énergie  $E$  est déduite des données expérimentales :

$$E = \langle E_{\text{III}} \rangle = E_{\text{II}} + \sigma .$$

Conformément à la règle de sélection portant sur la transition (II)  $\rightarrow$  (III) :

$\Delta J = 0, = 1$  et  $0 \nrightarrow 0$  ; nous pouvons déterminer la valeur  $J$  du niveau supérieur atteint, par le recouplement des enregistrements explorant la même région du spectre (2) pour différents niveaux intermédiaires.

Les autres méthodes qui nous ont permis de poursuivre l'identification sont présentées ci-dessous :

### III.B.2 Etude paramétrique d'une configuration isolée $n\ell n'\ell'$ .

Dans l'expérience à moyenne résolution que nous avons entreprise, il n'est pas possible d'observer la structure hyperfine des isotopes impairs présents dans la vapeur de baryum. Les énergies et les fonctions d'onde des niveaux observés sont respectivement les valeurs propres et les fonctions propres de l'hamiltonien  $H$  décrivant l'atome neutre de baryum. Dans l'approximation du champ central, son expression est la suivante :

$$H = H_0 + H_1$$

$$H_0 = \sum_{i=1}^N \left[ -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 - U(r_i) \right]$$

$U(r_i)$  est le potentiel central qui représente les effets du cœur (noyau +  $N-1$  électrons) sur l'électron externe  $i$  ;

$H_1$  est traité comme une perturbation et il peut se mettre sous la forme :

$$H_1 = I + G + \Lambda$$

$$\text{avec } \begin{cases} I = \sum_i \left[ U(r_i) - \frac{Z e^2}{4\pi \epsilon_0 r_i} \right] \\ G = \sum_{i < j} \frac{e^2}{4\pi \epsilon_0 r_{ij}} \\ \Lambda = \sum_i \xi(r_i) \vec{s}_i \cdot \vec{l}_i \end{cases} .$$

Le terme  $G$  traduit l'interaction Coulombienne entre les électrons et le terme  $\Lambda$  les interactions spin-orbite propres à chaque électron.

Les énergies théoriques  $E_{th}$  sont les valeurs propres de l'hamiltonien  $H$ . Pour une configuration bien isolée, les énergies des différents niveaux sont en fait obtenues en diagonalisant  $H' = G + \Lambda$  construit sur une base d'états purs de cette configuration (par exemple base LS). En effet  $H_0 + I$  ne sert qu'à définir la hauteur, c'est-à-dire l'énergie moyenne  $E_{moy}$  de la configuration. Les éléments de la matrice associée à l'opérateur  $H'$  contiennent des parties angulaires que l'on sait calculer et des parties radiales qui sont autant de paramètres à ajuster pour rendre compte des différentes énergies  $E$  des niveaux observés de la configuration.

Le principe de l'ajustement paramétrique résulte de la comparaison entre les valeurs expérimentales  $E$  et les valeurs propres  $E_{th}$  de l'opérateur  $H$ . En partant d'un jeu initial de paramètres, évalués a priori pour la configuration considérée, le jeu final est déterminé par un procédé de moindre carré itératif.

Une configuration isolée à deux électrons excités  $n\ell n'\ell'$ , est caractérisée par les paramètres suivants :

- les intégrales de Slater  $F^k$ ,  $G^k$  décrivant l'interaction électrostatique biélectronique,
- les intégrales  $\zeta_{\ell}$  et  $\zeta_{\ell'}$ , relatifs à l'interaction spin-orbite monoélectronique.

Cette étude paramétrique s'adapte plus particulièrement aux configurations contenant un plus grand nombre de niveaux observés. Nous l'avons donc entreprise pour interpréter les niveaux des configurations  $5dnd$ , en nous limitant aux configurations basses,  $n = 7, 8$  et  $9$ , dans la mesure où celles-ci ne semblent pas trop mélangées.



### III.B.3 Théorie du défaut quantique.

#### III.B.3.a A une voie.

Un niveau d'énergie  $E$ , observé pour la première fois, peut s'insérer dans une série de Rydberg ( $E = E_n$ ), dont quelques éléments ont déjà été mis en évidence ou qui doit être observée conformément aux prévisions théoriques. La confirmation vient essentiellement de la vérification de la loi :

$$I - E_n = \frac{R}{n^{*2}}$$

pour laquelle, dans une même série, le défaut quantique  $n - n^*$  reste approximativement constant en l'absence de perturbations. La voie désigne alors les séries de Rydberg convergeant vers la même limite  $I$  et le continuum adjacent.

Dans cette étude, nous avons observé non seulement certaines séries paires  $5dn\ell$  convergeant vers les limites  $5d^2D_{3/2}(I_1)$  et  $5d^2D_{5/2}(I_2)$ , mais aussi d'autres séries appartenant aux configurations paires  $6sn\ell$ , qui convergent vers la limite  $6s^2S_{1/2}(I_0)$ .

#### III.B.3.b A plusieurs voies (M.Q.D.T.).

Dans un spectre à plusieurs électrons de valence tel que Ba, les séries de Rydberg convergeant vers une limite bien définie  $I_i$  sont perturbées par des niveaux appartenant à des séries de Rydberg convergeant vers des limites  $I_j$  supérieures à  $I_i$ . La nouvelle formulation de la théorie du défaut quantique à plusieurs voies présentée par LU et FANO [8] est bien adaptée à l'étude de ces interactions entre voies. On étudie simultanément tous les niveaux discrets appartenant à un spectre caractérisé par une parité et une valeur de  $J$  données. On peut ainsi analyser l'interaction entre les niveaux discrets de  $N$  séries convergeant vers  $M$  limites différentes  $I_k$  ( $M \leq N$ ). De plus,

cette méthode permet une analyse graphique des perturbations par l'intermédiaire des graphes de LU et FANO.

Nous avons reproduit les graphes de LU et FANO en nous limitant au cas de deux séries convergeant vers les deux limites  $I_0$  ( $6s^2S_{1/2}$ ) et  $I_1$  ( $5d^2D_{3/2}$ ). Pour chaque niveau d'énergie  $E$  appartenant à l'une quelconque des séries, on définit deux nombres quantiques effectifs  $\nu_{6s}$  et  $\nu_{5d_{3/2}}$  par la relation :

$$E = I_0 - \frac{R}{(\nu_{6s})^2} = I_1 - \frac{R}{(\nu_{5d_{3/2}})^2} .$$

Ce niveau d'énergie  $E$  correspond ainsi à un point dans l'espace des nombres quantiques effectifs : les valeurs  $\mu_0 = \nu_{6s} \pmod{1}$  et  $\mu_1 = \nu_{5d_{3/2}} \pmod{1}$  en fournissent l'ordonnée et l'abscisse. En l'absence de perturbation, les points expérimentaux se placent sur deux droites, une droite horizontale et une droite verticale (Figure 21a).

Au niveau d'une perturbation,  $\mu_0$  et  $\mu_1$  ne restent plus constants (Figure 21b). Les points expérimentaux se répartissent alors sur une courbe  $F$  au tracé approximatif mais dont l'expression analytique  $\mu_0 = F(\mu_1)$  peut s'exprimer en fonction de paramètres M.Q.D.T.. Ces paramètres sont ensuite déterminés empiriquement en ajustant aux valeurs expérimentales les valeurs théoriques des énergies des niveaux considérés.

Une telle étude peut se généraliser au cas de  $N$  séries convergeant vers  $M$  limites. Dans un espace à  $M$  dimensions, un niveau d'énergie  $E$  est repéré par ses différentes coordonnées  $\mu_k = \nu_k \pmod{1}$  ;  $\nu_k$  étant défini par :

$$E = I_k - \frac{R}{(\nu_k)^2} \quad k = 1 \dots M .$$

Chaque discontinuité des courbes  $F_j$  obtenues dans un plan choisi  $(\nu_0, \nu_j)$  correspond à une perturbation. L'importance de cette perturbation peut se mesurer par l'écartement des courbes au point d'anti-croisement.

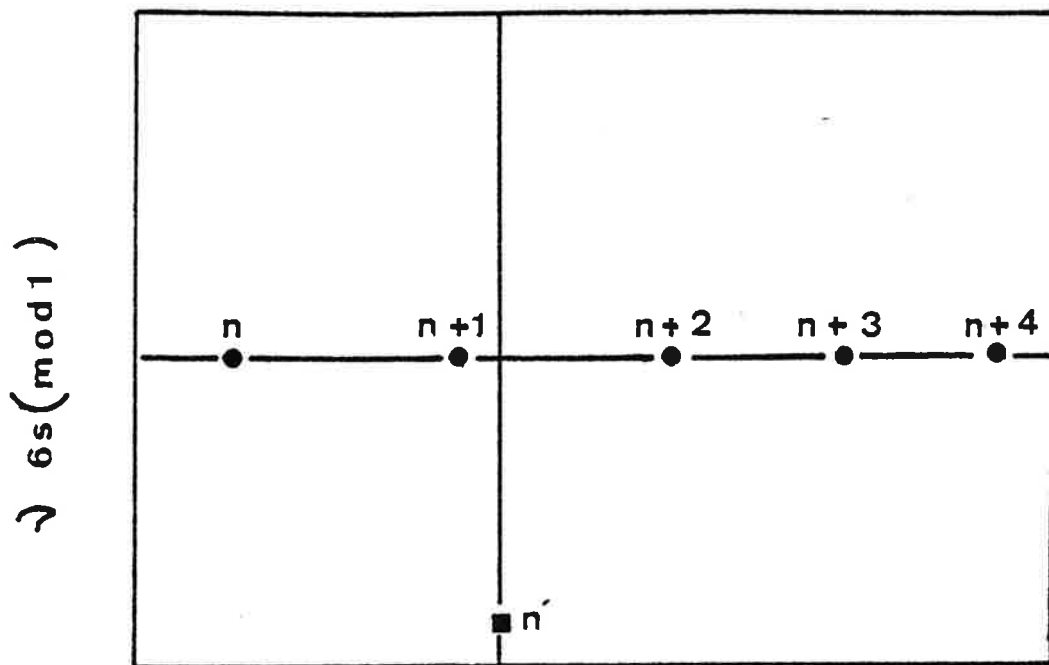


Fig. 21a

$$v_{5d_{3/2}}(\text{mod } 1)$$

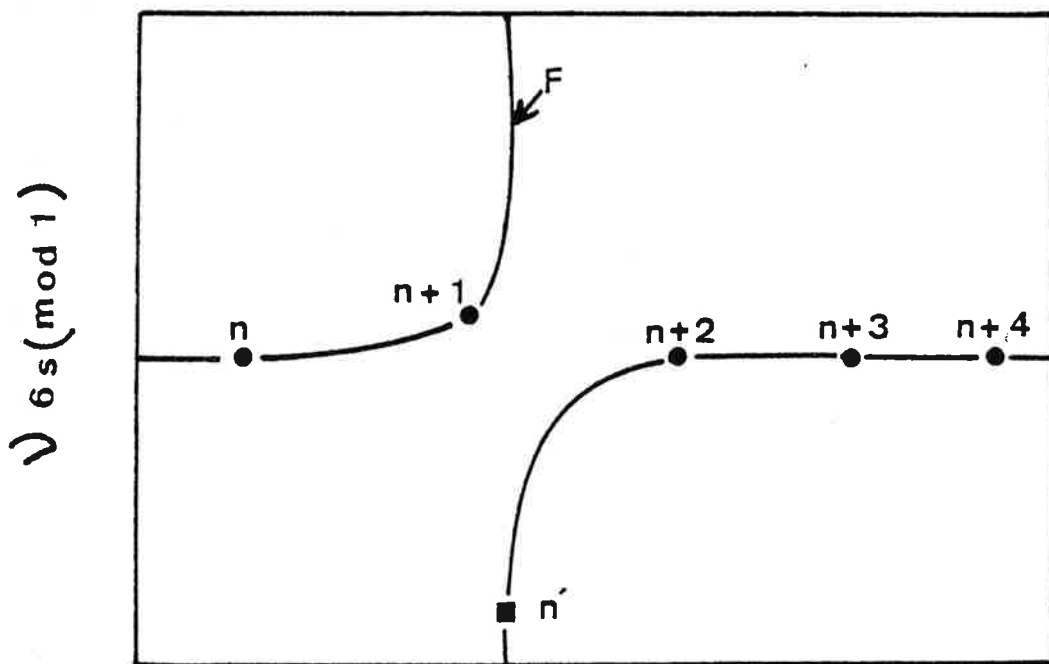


Fig. 21b

$$v_{5d_{3/2}}(\text{mod } 1)$$

Figure 21 - Allure d'un graphe de LU et FANO dans le plan  $(v_{5d_{3/2}}, v_{6s})$  pour des niveaux discrets du baryum d'une parité et d'une valeur de  $J$  données.



Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes limités au tracé approximatif des courbes  $F_1$  passant par les points expérimentaux. L'utilisation des graphes de LU et FANO permet alors de visualiser les perturbations des séries convergeant vers la limite la plus basse  $I_0$  ( $6s^2S_{1/2}$ ) par des niveaux qui appartiennent à des séries convergeant vers la limite supérieure  $I_1$  ( $5d^2D_{3/2}$ ). Toutefois, il faut signaler que l'analyse quantitative (détermination empirique des paramètres M.Q.D.T.) a été effectuée pour les spectres  $J=0$  et  $J=2$  de l'atome neutre de baryum ([1] et [2]). En étudiant les perturbations des séries  $6snd^1D_2$  et  $6snd^3D_2$ , M. AYMAR et O. ROBAUX [2] mettent en évidence le mélange de configuration ( $6snd + 5dnd$ ) et, de plus, cette étude fournit les énergies théoriques de deux niveaux appartenant à la voie  $5dnd$  :

- . le niveau  $5d7d^3D_2$  situé à  $40886 \pm 75 \text{ cm}^{-1}$  ,
- . le niveau  $5d7d^3P_2$  situé à  $42100 \pm 50 \text{ cm}^{-1}$  ,

et des niveaux appartenant à  $6snd^3D_2$  pour  $n$  supérieur à 31.

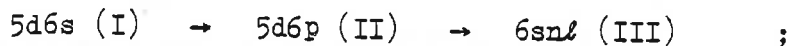
### III.C - RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATION THEORIQUE.

La configuration  $5d7d$  est la première configuration  $5dnd$  incomplètement observée. Elle se situe de part et d'autre de la première limite  $6s^2S_{1/2}$  ( $I_0$ ). Un comportement particulier des niveaux  $5d7d$  est attendu pour ceux qui se trouvent en-dessous de  $I_0$  : ces niveaux pairs appartiennent à des voies du type  $5dnd$  susceptibles d'interagir avec les voies du type  $6snl$  de même nombre quantique  $J$  et de même parité. Aussi les résultats expérimentaux sont présentés en deux parties. La première concerne les niveaux du spectre discret qui sont ceux des séries paires  $6snl$  perturbées par certains niveaux  $5d7d$ . La seconde partie regroupe les informations propres aux configurations paires  $5dnl$  observées à l'aide de la détection OG.

### III.C.1. Spectre discret.

#### III.C.1.a Mélange de configurations (5d7d + 6snℓ).

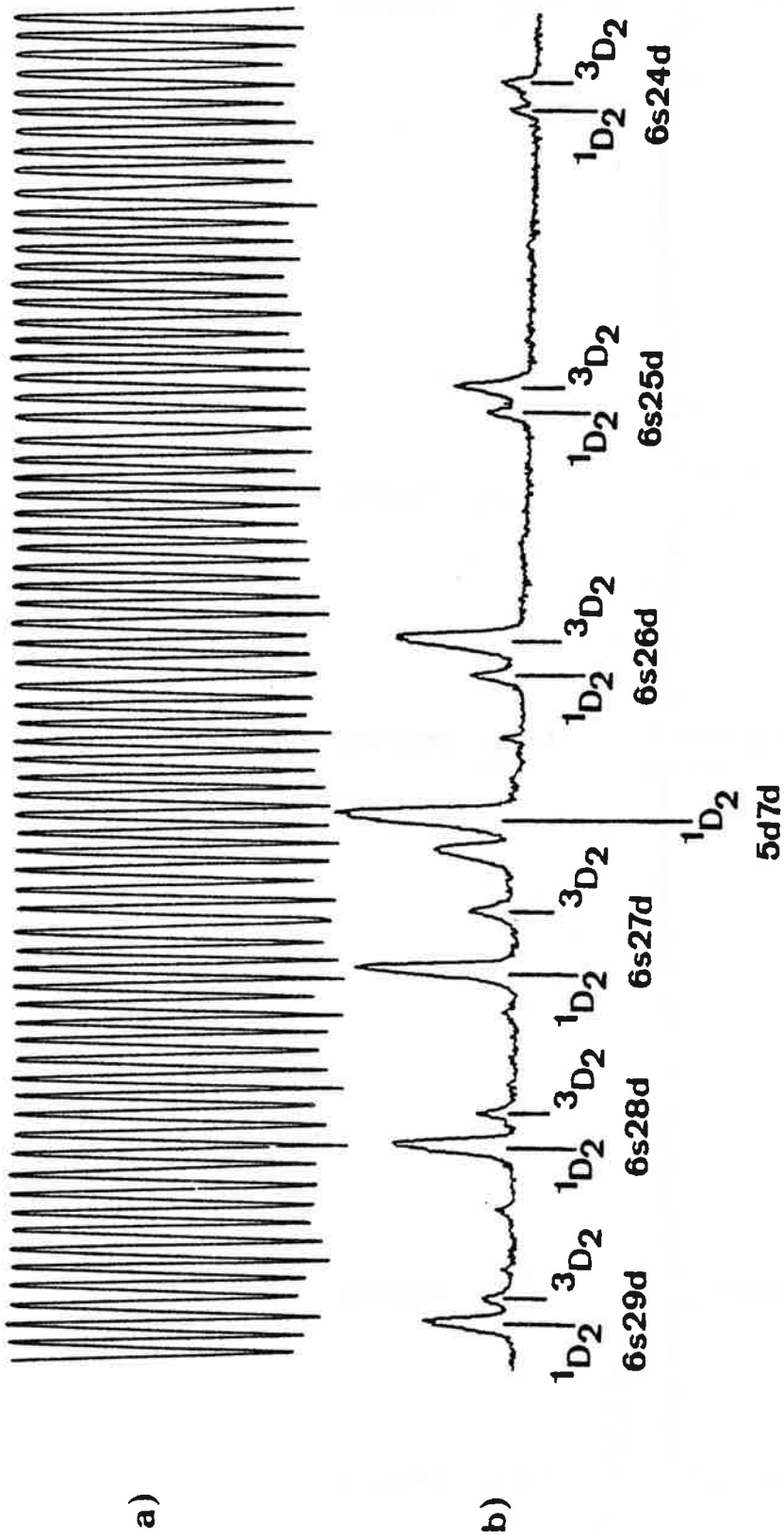
Les raies du spectre (2) les plus intenses résultent de transitions conduisant vers un niveau très excité appartenant à une configuration du type 5dnℓ. Conformément aux prévisions théoriques, certains niveaux de 5d7d apparaissent comme les perturbateurs des séries 6snℓ. En raison du mélange de configurations un grand nombre de raies supplémentaires sont ainsi observées. Elles correspondent aux transitions du type :



la dernière étape traduit une excitation des deux électrons de valence, qui serait interdite s'il n'y avait pas le mélange de configurations (5d7d + 6snℓ) pour le niveau supérieur (III) ou celui de (5d6p + 6sn'ℓ') pour le niveau intermédiaire (II).

L'interaction entre les séries 6snℓ et les niveaux perturbateurs de 5d7d se ressent non seulement sur la position mais aussi sur l'intensité des raies OG : plus le mélange de configurations (5d7d + 6snℓ) est important, plus l'amplitude de la raie OG impliquant le niveau 6snℓ est grande. En suivant la variation de l'intensité des raies d'une même série de Rydberg, il est alors immédiat d'en repérer la raie associée au perturbateur. La Figure 22 illustre ce phénomène au voisinage du niveau 5d7d  $^1D_2$  qui interagit fortement avec les membres des séries 6snd  $^1D_2$  et  $^3D_2$ . De part et d'autre de la raie perturbatrice, qui est la plus intense, on enregistre une augmentation, puis une diminution de l'amplitude des raies, membres des séries perturbées. Ces enregistrements reproduisent également au niveau de la perturbation l'échange entre caractère singulet et triplet, comme nous l'avons déjà observé avec la diode thermoionique [1]. Dans cette première série d'expériences, on produit une absorption à deux photons à partir du fondamental  $6s^2 \ ^1S_0$ . L'intensité des raies observées reflète donc la composante en 6snℓ de la fonction d'onde associée au niveau atteint. Avec les nouvelles expériences utilisant les niveaux

$\Delta \sigma_2 = 400 \text{ GHz}$



$\lambda_2 = 6281 \text{ \AA}$

$\lambda_2 = 6315 \text{ \AA}$

Figure 22 - Spectre OG à deux étages du baryum

- a) Franges de Fabry-Perot
- b) Spectre obtenu avec le niveau intermédiaire  $5d6p \ ^3P_2^o$  en explorant au voisinage du perturbateur  $5d7d \ ^1P_1$ .

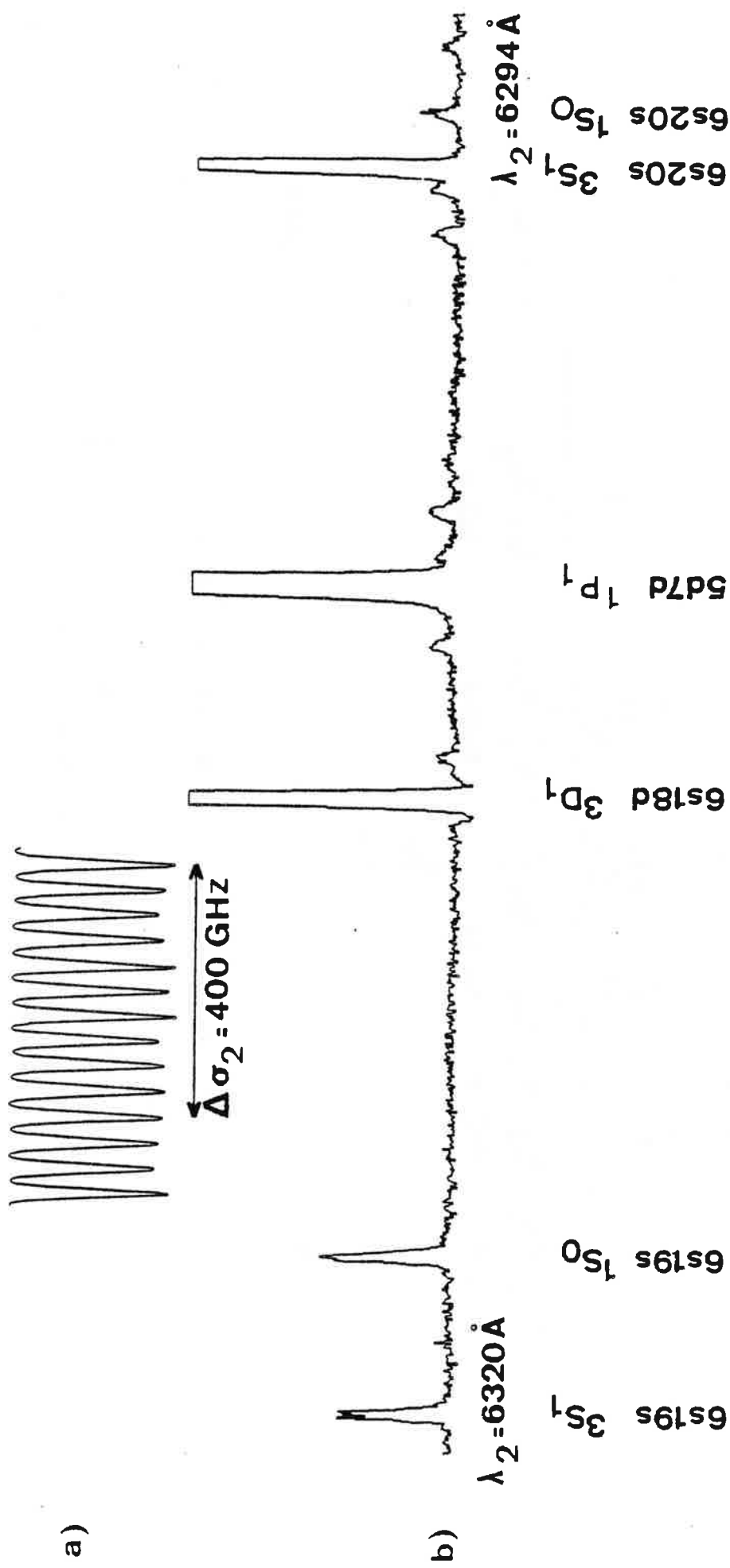


Figure 23 - Spectre OG à deux étages du baryum

- a) Franges de Fabry-Perot.
- b) Spectre obtenu avec le niveau intermédiaire  $5d6p\ ^3P_0$  en explorant au voisinage du perturbateur  $5d7d\ ^1P_1$ .



intermédiaires de  $5d6p$ , on obtient une mesure de la composante  $5dn\ell$ . Ces deux types d'observation sont complémentaires et confirment l'interprétation théorique de M. AYMAR et O. ROBAUX [2].

L'importance de cette interaction de configuration est telle qu'un grand nombre de niveaux, appartenant à différentes séries paires  $6sn\ell$ , sont détectées par effet OG. Ainsi, la série  $6sns\ ^1S_0$  apparaît en raison de l'interaction avec le niveau  $5d7d\ ^3P_0$  ( $41441,221\text{ cm}^{-1}$ ). Sur la Figure 23, le spectre (2), obtenu par l'intermédiaire du niveau  $5d6p\ ^3P_1^o$ , permet d'observer quelques membres des séries  $6sns\ ^3S_1$  et  $6snd\ ^3D_1$  perturbées au voisinage du niveau  $5d7d\ ^1P_1$  situé à  $41570,34\text{ cm}^{-1}$ .

Cette expérience a permis de mettre en évidence trois nouvelles séries  $6sn\ell$  de niveaux pairs :

$$6sns\ ^3S_1, \quad 6snd\ ^3D_1 \quad \text{et} \quad 6snd\ ^3D_3 ;$$

et d'ajouter quelques membres aux séries appartenant à la configuration  $6sng$  dont la structure fine ne peut être résolue.

### III.C.1.b Présentation des Tableaux VI à X.

Les Tableaux VI à X donnent la liste des niveaux III observés sous la première limite, au moyen de la détection OG, par absorption à deux étages à partir d'un niveau métastable (I) de  $5d6s\ ^3D_{1,2\text{ou}3}$ . Chaque tableau correspond à une valeur donnée du nombre quantique  $J$  du niveau supérieur atteint (III) sauf pour le Tableau X qui présente les niveaux des configurations  $6sng$  avec les perturbateurs possibles de  $5d8s$  et  $5d7d$ . (Voir page 117).

Les diverses indications qu'on peut trouver dans ces cinq tableaux sont les suivantes :

Niveau : désignation en couplage LS du niveau III ; le signe \* indique que le niveau est observé pour la première fois, à l'issue de la présente expérience.

$\underline{E_0} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$  : énergie du niveau III, exprimée en  $\text{cm}^{-1}$ . Ce niveau est atteint selon un processus d'excitation :

- à deux étages, dans cette expérience utilisant la décharge et la détection OG.  $E_0$  est la moyenne arithmétique des différentes valeurs de  $E$  obtenues pour les différents niveaux intermédiaires (II) intéressés dans la transition.  $\delta E_0$  désigne la dispersion des valeurs de  $E$  autour de  $E_0$ .

$$\begin{cases} E_0 = \langle E \rangle = \langle E_{II} + \sigma_{\text{obs}} \rangle \\ \delta E_0 = E_{\text{max}} - E_0 \end{cases}$$

- à deux photons, dans l'expérience [1] utilisant la diode thermoionique. Les nombres d'ondes entre parenthèses sont les valeurs calculées par la théorie du défaut quantique à plusieurs voies d'après M. AYMAR et O. ROBAUX [2].

- à trois étages combinés à un transfert collisionnel assisté par laser, dans l'expérience entreprise par J. J. WYNNE et coll. [3]. Les données expérimentales reportées concernent uniquement les énergies des niveaux  $6sng \ ^1G_4$ .

Les colonnes suivantes précisent les résultats expérimentaux propres à chacun des niveaux intermédiaires II nécessaires pour l'identification complète du niveau supérieur atteint. Ces résultats sont extraits des Tableaux I à V (voir §.III.A.3.).

- $\sigma_{\text{obs}}$  : nombre d'ondes de la transition relative au second étage :  $5d6p \text{ (II)} \rightarrow \text{(III)}$ , sous lequel figure l'énergie  $E = E_{II} + \sigma_{\text{obs}}$  déterminée pour le niveau intermédiaire (II) considéré.
- I : intensité de la raie correspondante.
- Bl. : une des transitions possibles qui interprète la raie OG.

### III.C.1.c Etude des séries de Rydberg $6snl$ paires.

#### Niveaux pairs $J=0$ .

Le tableau VI reporte l'observation de la série  $6sns \ ^1S_0$  ( $15 \leq n \leq 30$ )

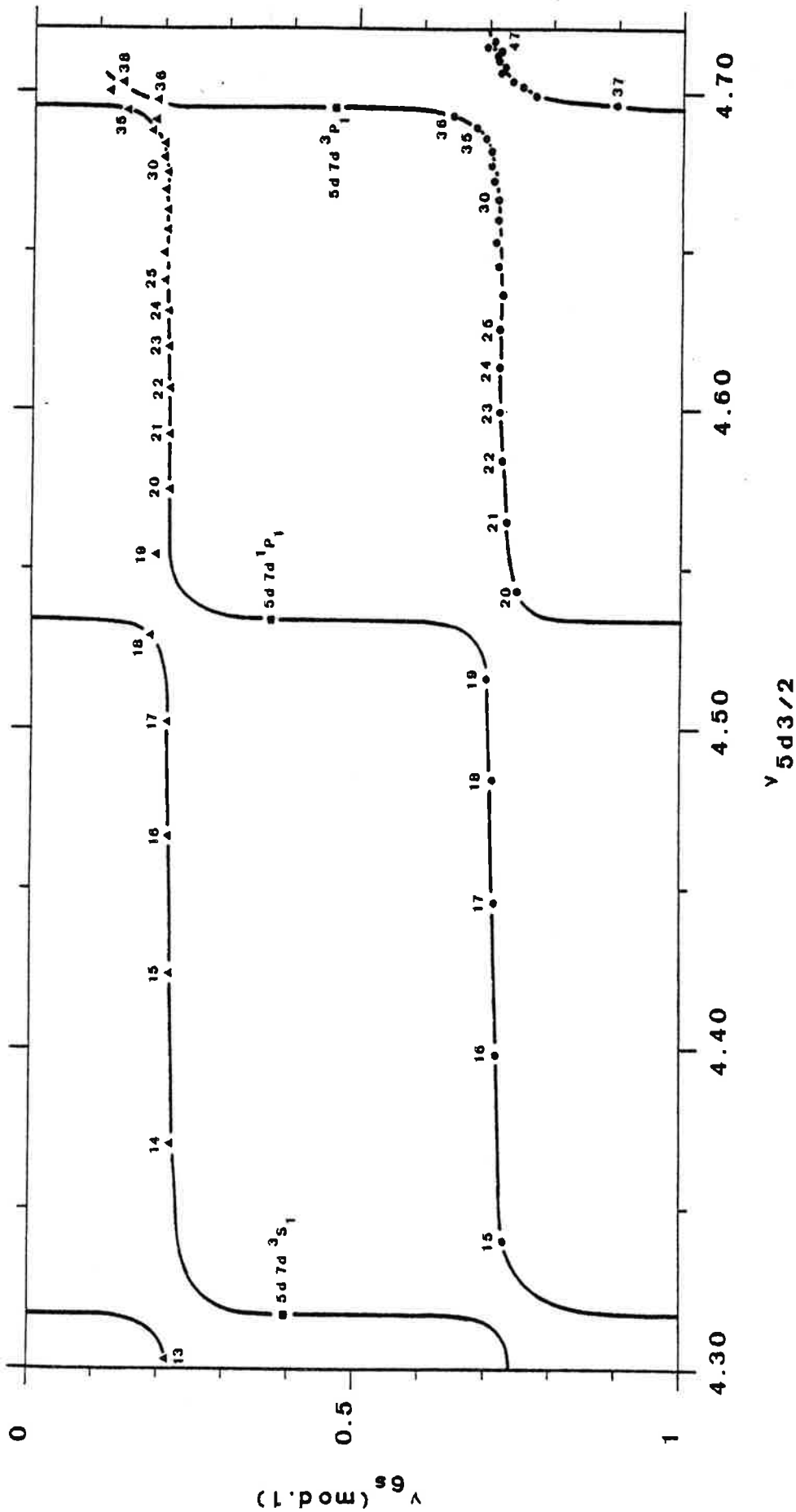


Figure 24 - Graphe de IJ et FANO dans le plan  $(\nu_{5d3/2}, \nu_{6s})$  des niveaux

discrets pairs  $J=1$  observés avec

la détection OG en-dessous de la limite  $6s^2S_{1/2}$

$6sns^3S_1$

$6snd^3D_1$

perturbateurs.



perturbée par le seul niveau  $5d7d \ ^3P_0$ . Ces niveaux ne sont atteints que par l'intermédiaire d'un niveau  $J=1$  (transition du second étage interdite  $0 \rightarrow 0$ ). Leur étude n'apporte aucune information nouvelle mais confirme cependant les valeurs d'énergie obtenues dans l'expérience utilisant la diode thermoionique [1].

#### Niveaux pairs $J=1$

Le Tableau VII introduit les niveaux  $J=1$  observés pour la première fois, qui sont :

- ceux des séries  $6sns \ ^3S_1$  ( $15 \leq n \leq 47$ ) et  $6snd \ ^3D_1$  ( $13 \leq n \leq 38$ ) ;
- les niveaux  $5d7d \ ^3S_1$ ,  $^1P_1$  et  $^3P_1$  qui perturbent à la fois les intensités (Figures 23 et 26) et les positions des raies des deux séries. Ce dernier point est illustré à la Figure 24 qui reproduit le graphe de LU et FANO obtenu dans le plan  $(v_{5d_{3/2}}, v_{6s})$ . L'interaction propre à chaque niveau perturbateur  $5d7d$  se manifeste par une double discontinuité de la courbe  $F$  qui joint les points expérimentaux.

#### Niveaux pairs $J=2$

Le Tableau VIII concerne les niveaux pairs de  $J=2$  observés sous la première limite. Les perturbations des séries  $6snd \ ^1D_2$  et  $6snd \ ^3D_2$  sont conformes aux précédentes observations [1]. Les trois principaux perturbateurs  $5d8s \ ^1D_2$ ,  $5d7d \ ^3F_2$  et  $5d7d \ ^1D_2$  font apparaître les deux séries pour  $10 \leq n \leq 42$ , ce qui étend l'observation des membres de la série  $6snd \ ^3D_2$  au-delà de  $n=31$ . Un niveau supplémentaire positionné à  $40905,72 \text{ cm}^{-1}$  s'introduit entre  $n=12d$  et  $n=13d$  : c'est le niveau  $5d7d \ ^3D_2$  attendu par la théorie du défaut quantique à plusieurs voies [2]. Dans cette étude sommaire, l'interaction de ce niveau avec les séries  $6snd \ J=2$  est difficile à apprécier et à distinguer de l'interaction importante produite par les niveaux  $5d8s \ ^1D_2$  et  $5d7d \ ^3F_2$ . Sa dénomination est cependant confirmée par l'étude paramétrique de la configuration  $5d7d$  (voir §.III.C.2.a).

Niveaux pairs  $J=3$  .

Les différents niveaux pairs  $J=3$  identifiés sont classés dans le Tableau IX. Le mélange de configurations avec cinq niveaux appartenant aux configurations 5d8s et 5d7d permet d'observer pour la première fois :

- les niveaux de la série  $6snd \ ^3D_3$  pour  $11 \leq n \leq 24$  . Le graphe de LU et FANO, présenté à la Figure 25, rend compte d'une interaction prépondérante attribuée aux niveaux  $5d7d \ ^3D_3$  et  $5d7d \ ^3F_3$  ;
- cinq niveaux de la série  $6sng \ ^3G_3$  . La structure fine des séries  $6sng \ ^{1,3}G$  n'est résolue que pour les niveaux 6s9g , 6s13g et 14g , 6s18g et 19g  $\ ^3G_3$  qui se situent au voisinage des perturbateurs  $5d7d \ ^3G_3$  ,  $5d7d \ ^3D_3$  et  $5d7d \ ^3F_3$  .

L'importance de la perturbation produite par chacun des niveaux 5d8s  $\ ^3D_3$  et 5d7d  $\ ^1F_3$  est difficile à estimer. L'exploration de cette région du spectre ne permet d'observer que peu de niveaux, membres des séries perturbées, qui sont de plus très distants les uns des autres.

Résolution partielle de la structure fine des niveaux.

Le fait de disposer de niveaux intermédiaires de  $J$  différents permet, en vertu des règles de sélection, d'achever l'étude de la structure fine des termes  $6snd \ ^3D$  , sans pour cela avoir recours à une excitation laser de meilleure résolution spectrale. Dans l'expérience à moyenne résolution entreprise avec la détection OG, par l'intermédiaire des niveaux  $J = 1$  ou  $2$  , on ne peut pas séparer au-delà de  $n=20$  les niveaux  $6snd \ ^3D_1$  et  $\ ^3D_3$  des niveaux  $6snd \ ^3D_2$  , lorsque les séries sont peu perturbées. En choisissant respectivement  $5d6p \ ^3P_0^o$  et  $5d6p \ ^3F_4^o$  comme niveaux intermédiaires, les règles de sélection garantissent l'unicité de la transition vers  $6snd \ ^3D_1$  (Figure 26) et vers  $6snd \ ^3D_3$  . Par contre, il n'est pas possible de trouver un niveau intermédiaire qui sélectionne la transition du second étage vers les seuls niveaux  $6snd \ ^3D_2$  . Au voisinage d'une perturbation, toutefois, l'interaction déplace uniquement le niveau du triplet qui a la même valeur  $J$  que le niveau perturbateur ; on peut

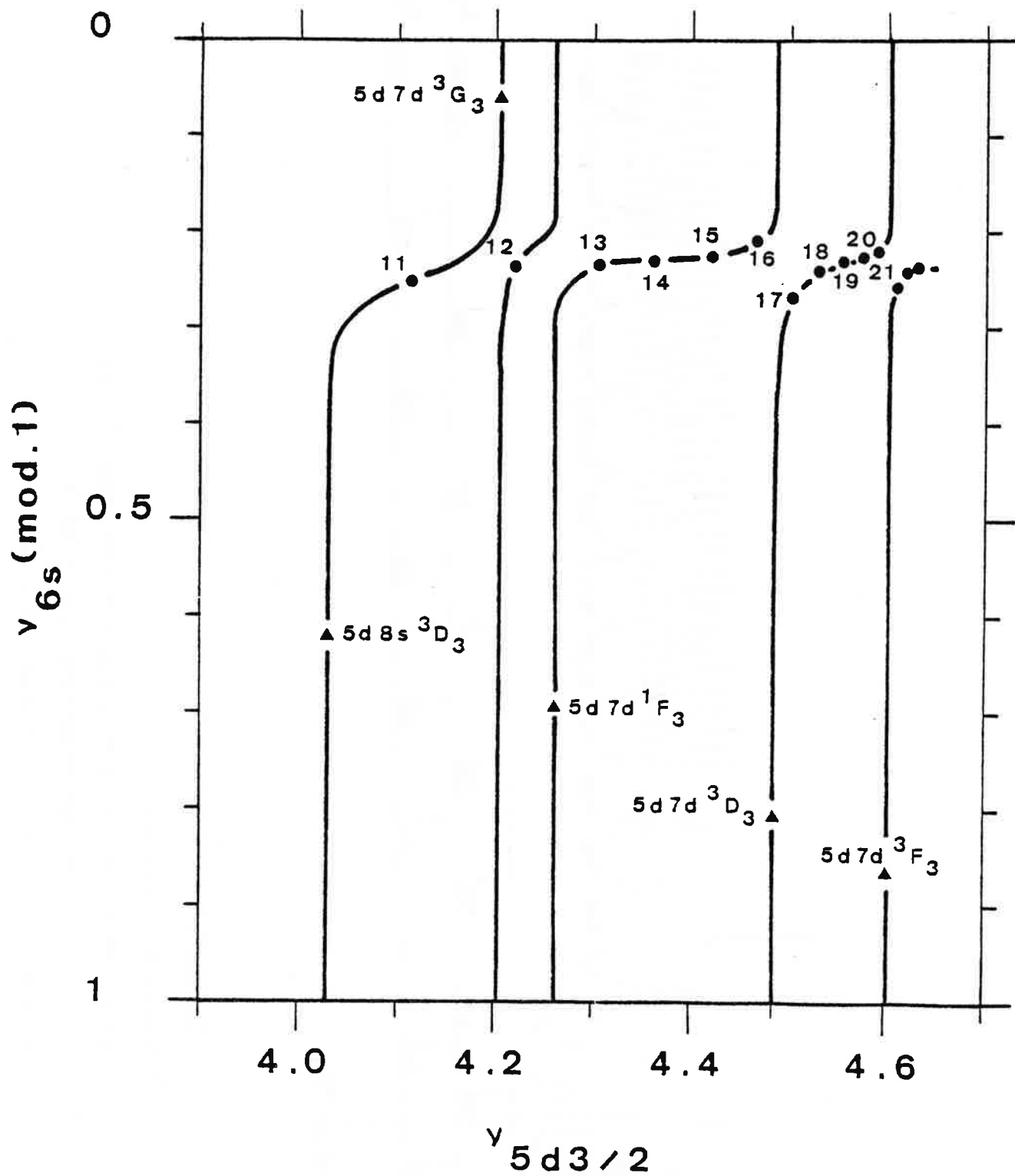


Figure 25 - Graphe de LU et FANO dans le plan  $(v_{5d\ 3/2}, v_{6s})$  des niveaux de la série  $6snd\ 3D_3$  observés avec la détection OG  $6snd\ 3D_3$  perturbateurs.

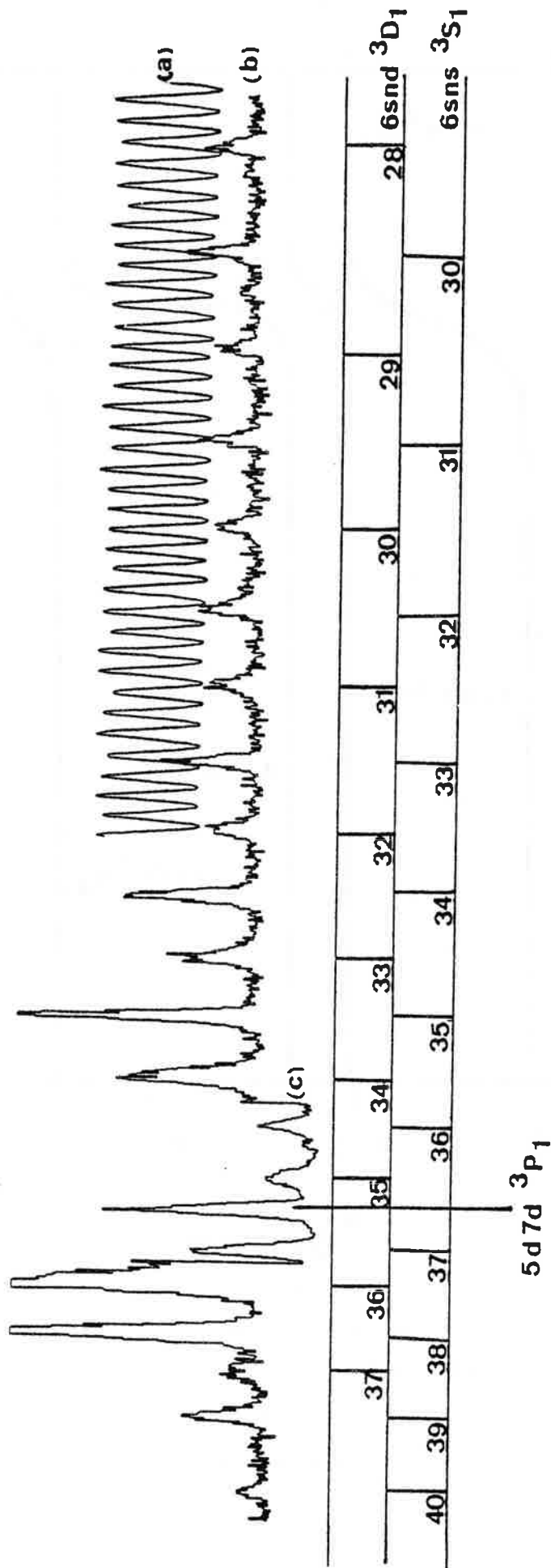


Figure 26 - Spectre OG à deux étages du baryum.

- a) Franges de Fabry-Perot.
- b) Spectre obtenu avec le niveau intermédiaire  $5d6p \ ^3P_0$  en explorant au voisinage du perturbateur  $5d7d \ ^3P_1$ .
- c) Le faisceau laser du second étage est atténué par 10.



alors observer dans certains cas la décomposition de la structure et identifier avec plus de certitude la composante perturbée.

L'identification des membres des séries  $6sns \ ^3S_1$  et  $6sns \ ^1S_0$  se fait sans ambiguïté. Pour les séries de la configuration  $6sng$ , l'interaction Coulombienne n'est pas suffisante pour permettre la distinction entre les termes  $^1G$  et  $^3G$ . Pour chaque valeur de  $n$ , quatre niveaux sont attendus :  $^1G_4$ ,  $^3G_{3,4,5}$ . C'est seulement dans les zones suffisamment perturbées que l'un de ces niveaux se déplace, se distinguant ainsi des trois niveaux restants non résolus, d'autant mieux qu'une telle résonance renforce l'intensité de la raie OG correspondante.

Membres des séries  $6sng$  et niveaux appartenant à  $5d8s$  et  $5d7d$

$J = 3, 4$  et  $5$  :

Le Tableau X classe l'ensemble des niveaux des séries  $6sng$  et des perturbateurs possibles de  $J = 3, 4$  ou  $5$ . Ces niveaux ne peuvent être atteints que par l'intermédiaire de niveaux de  $J$  égal à  $2, 3$  ou  $4$  puisque les niveaux (II) choisis appartiennent à la configuration  $5d6p$ . Ainsi, le Tableau X fournit les renseignements concernant les résonances intéressées qui sont observées avec les niveaux intermédiaires  $5d6p \ ^3P_2^0$ ,  $^3D_3^0$  et  $^3F_4^0$ . A partir de  $5d6p \ ^3P_2^0$ , la transition du second étage permet de sélectionner les niveaux  $6sng \ ^3G_3$  tandis que les niveaux  $6sng \ J = 4$  et  $5$  ne peuvent être résolus qu'au voisinage d'une perturbation.

En l'absence de perturbation, la structure fine du groupe  $6sng$  n'est pas résolue, et ce pour tous les membres observés de  $n=8$  à  $n=34$ . Les niveaux  $^3G_3$  ne peuvent même pas être identifiés du fait que les transitions  $5d6p \ ^3P_2^0 \rightarrow 6sng \ ^3G_3$  ne sont pas détectées. Les énergies mesurées pour chaque groupe  $6sng$  non résolu sont en bon accord avec les valeurs rappelées des énergies des niveaux  $6sng \ ^1G_4$  que ARMSTRONG et coll. [3] ont précédemment observés.

Les douze niveaux supplémentaires, mis en évidence pour la première

fois dans cette expérience, apparaissent au voisinage immédiat des niveaux perturbateurs. Ce sont :

- les niveaux 6s9g, 13g, 14g, 17g et 18g  ${}^3G_3$  déjà introduits dans le Tableau IX ;

- les niveaux 6s10g et 11g  ${}^3G_4$ , 6s24g et 25g  ${}^3G_4$  observés à proximité de leurs perturbateurs respectifs 5d7d  ${}^3G_4$  et 5d7d  ${}^3F_4$  ;

- les niveaux  $n = 15, 16$  et  $17$  de la série 6sng  ${}^3G_5$  perturbée par le niveau 5d7d  ${}^3G_5$ .

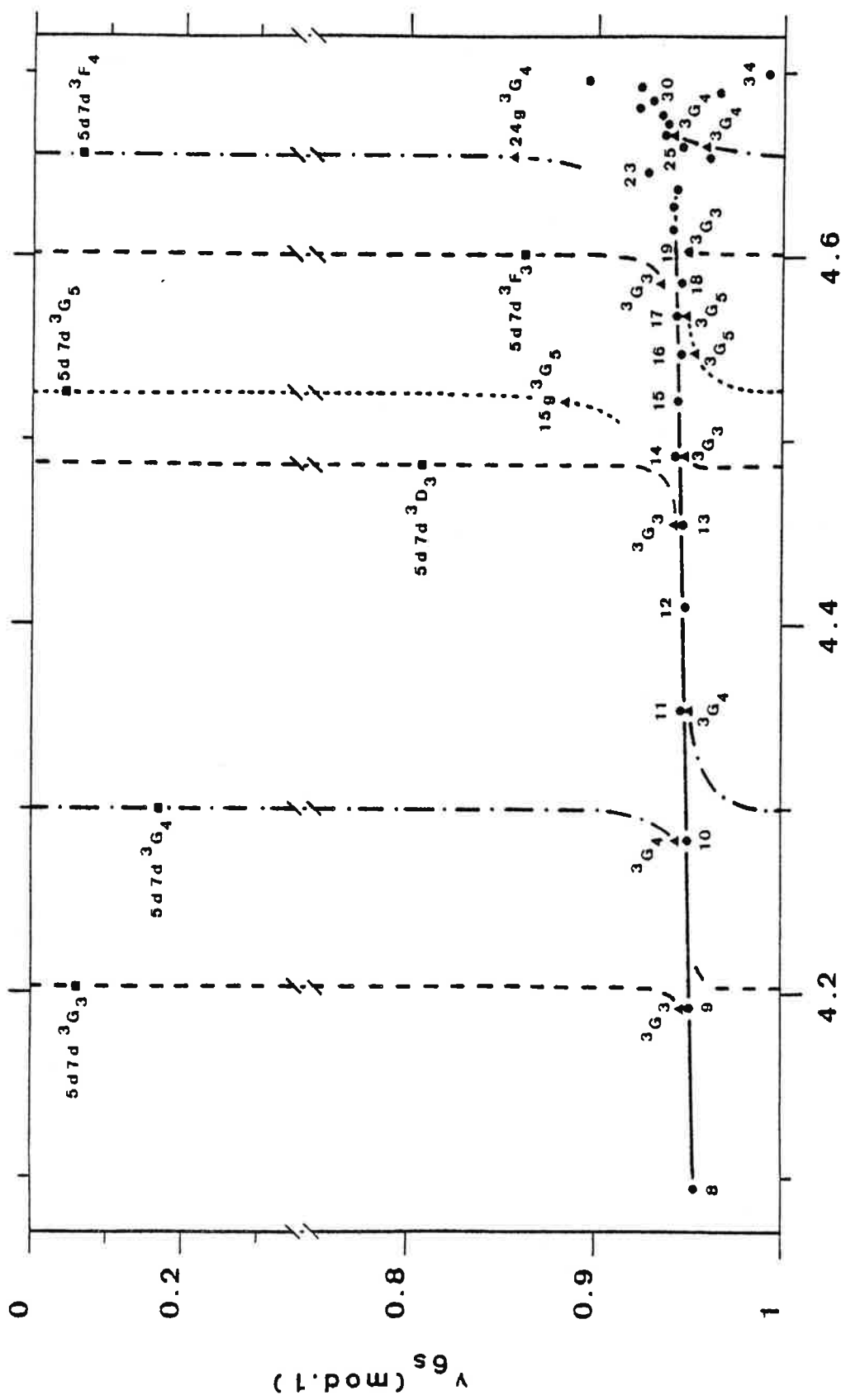
Ces observations sont reportées à la Figure 27 qui présente la superposition des graphes de LU et FANO relatifs aux différentes séries 6sng perturbées. Un tracé particulier de la courbe F est réservé pour chaque valeur de J. Ainsi, la série 6sng  ${}^1G_4$ , si elle est détectée, ne semble pas subir d'interaction. De même, comme nous l'avions indiqué dans un précédent paragraphe, les niveaux 5d8s  ${}^3D_3$  et 5d7d  ${}^1F_3$  ne semblent pas affecter par leur présence la série 6sng  ${}^3G_3$ .

Les résultats expérimentaux relatifs à l'exploration du domaine discret font l'objet d'un article présenté en collaboration avec P. CAMUS et A. EL HIMDY [4].

### III.C.2 Etude des configurations paires 5dn $\ell$

L'exploration des niveaux pairs très excités de Ba I n'a été prolongée, au-delà de  $I_0$  jusqu'aux limites  $I_1$  ( $5d {}^2D_{3/2}$ ) et  $I_2$  ( $5d {}^2D_{5/2}$ ), qu'à partir des niveaux intermédiaires 5d6p  ${}^3P_1^o$  (Tableau IIb) et 5d6p  ${}^3P_2^o$  (Tableau IIIb). Cela ne permet malheureusement pas une identification certaine et complète de tous les niveaux nouvellement observés. Dans les Tableaux IIb et IIIb, nous mentionnons par le symbole (a) qu'un niveau est atteint à la fois à partir de 5d6p  ${}^3P_1^o$  et de 5d6p  ${}^3P_2^o$ , tandis que (b) signale que le niveau très excité n'est observé qu'à partir de l'un des deux niveaux intermédiaires choisis.

A l'issue du recoupement entre les deux séries d'enregistrements,



$v_{5d_{3/2}}$

Figure 27 - Graphe de LU et FANO dans le plan  $(v_{5d_{3/2}}, v_{6s})$  des niveaux des séries  $6sng$   $J = 3, 4$  et  $5$  observés avec la détection OG

- $6sng$   $1, 3G$  non perturbés
- $6sng$   $1G$  ou  $3G$  perturbés
- perturbateurs.



certaines interprétations sont envisagées. Elles ont été parfois confirmées par des observations plus récentes [5] résultant d'une exploration du même domaine spectral mais en choisissant  $5d6p\ ^3F_3^o$  et  $5d6p\ ^3F_4^o$  comme niveaux intermédiaires II (travaux qui n'entrent pas dans le cadre de cet ouvrage).

La recherche des niveaux appartenant aux configurations  $5dns$  et  $5dnd$  a été principalement entreprise. L'analyse de ces niveaux devient très complexe dans le domaine d'énergie compris entre  $45000\text{ cm}^{-1}$  et  $46700\text{ cm}^{-1}$  environ, en raison des fortes interactions qui se manifestent entre les voies  $5d_{3/2}n\ell$  et  $5d_{5/2}n'\ell'$ , en-dessous de  $I_1 = 46908,87\text{ cm}^{-1}$ . Ainsi, l'étude est conduite de façon différente selon qu'elle concerne :

- les configurations basses non mélangées qui sont sujettes à une étude paramétrique (§.III.B.2). Nous nous sommes limités à l'étude des configurations  $5dnd$  pour  $n = 7, 8$  et  $9$ ;

- ou les configurations hautes, séries de Rydberg qui convergent vers les limites  $5d\ ^2D_{3/2}$  ( $I_1 = 46908,87\text{ cm}^{-1}$ ) et  $5d\ ^2D_{5/2}$  ( $I_2 = 47709,84\text{ cm}^{-1}$ ) et qui nécessitent un traitement par la théorie du défaut quantique à plusieurs voies (§.III.B.3).

### III.C.2.a Configurations basses $5dnd$ et $5dns$ .

#### α. Les niveaux d'énergie.

##### Configuration $5d7d$ .

Les trois niveaux  $^1G_4$ ,  $^3P_2$  et  $^1S_0$  appartenant à la configuration  $5d7d$  ont pu être identifiés sans ambiguïté dans la région auto-ionisante du spectre juste au-dessus de la limite  $6s\ ^2S_{1/2}$  ( $I_0 = 42035,02\text{ cm}^{-1}$ ). Ainsi, le niveau  $5d7d\ ^3P_2$  est observé à  $42118,33 \pm 0,12\text{ cm}^{-1}$ , ce qui est en parfait accord avec les prévisions M.Q.D.T. le situant à  $42100 \pm 50\text{ cm}^{-1}$  [2].

Le Tableau XI récapitule les données expérimentales relatives aux

18 niveaux appartenant à 5d7d dont 17 ont été détectés dans cette expérience utilisant la détection OG. Pour chaque niveau intermédiaire 5d6p  $^3P_0^o$ ,  $^3P_1^o$ ,  $^3P_2^o$ ,  $^3D_3^o$  ou  $^3F_4^o$ , sont mentionnées :

- l'énergie de la transition du second étage  $\sigma_{obs}$  ;
- l'intensité  $I$  de la raie OG correspondante (ces renseignements sont extraits des Tableaux I à V) ;
- l'énergie calculée  $E = E_{II} + \sigma_{obs}$  du niveau III atteint.

Ces données permettent de déterminer l'énergie  $E_0 = \langle E \rangle$  pour un niveau observé pour la première fois (\*). L'incertitude  $\delta E_0$  est estimée égale à  $\delta(\sigma_{obs} - \sigma_r) + 0,005 \text{ cm}^{-1}$  ou à  $E_{max} - E_0$  suivant que  $E_0$  prend en compte une ou plus d'une valeur  $E$ . Lorsqu'un niveau a été préalablement observé, l'indication de son énergie  $E_0$  permet une comparaison avec les différentes valeurs  $E$  obtenues dans cette expérience.

Ainsi, nos mesures reflètent un accord très satisfaisant avec les précédentes mesures portant sur les niveaux 5d7d  $^3F_2$ ,  $^3P_0$  et  $^1D_2$ . A l'issue de cette expérience, 14 niveaux supplémentaires sont détectés. Le dernier niveau 5d7d  $^3D_1$  n'a pas été observé dans la région explorée du spectre à deux étages. Sa recherche fut l'objet d'une expérience complémentaire [4]. Permettant de situer entre eux les différents niveaux, la Figure 28 présente le diagramme d'énergie de la configuration 5d7d.

#### Configuration 5d8d .

Tous les niveaux de 5d8d ont pu être détectés dans une expérience combinant un processus d'excitation à deux étages à partir d'un niveau métastable de 5d6s avec une détection par effet OG. Ils se situent au-delà de  $42800 \text{ cm}^{-1}$  dans le domaine autoionisant. Compte tenu de la discontinuité des enregistrements dans cette région (§.II.C.1.a), les travaux présentés ici (Tableau XII) rapportent l'observation partielle de la configuration 5d8d, P. CAMUS [5] ayant identifié les 7 niveaux manquants. Pour ces raies OG autoionisées, nous avons précisé la largeur  $\lambda$  toutes les fois qu'elle avait été mesurée.

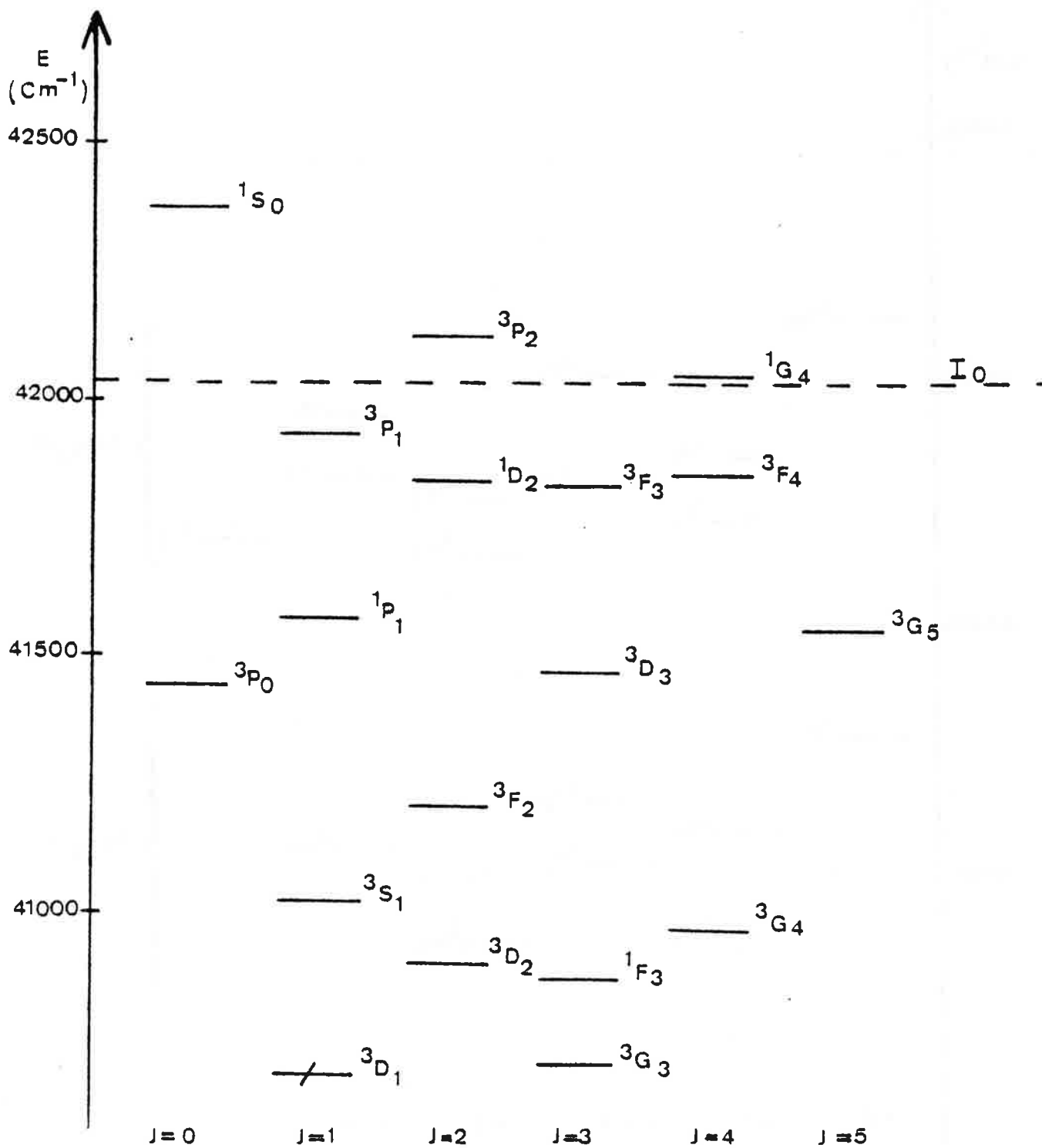


Figure 28

Diagramme d'énergie des niveaux appartenant à la configuration 5d7d

( / niveau observé par P. CAMUS et coll. [4]).

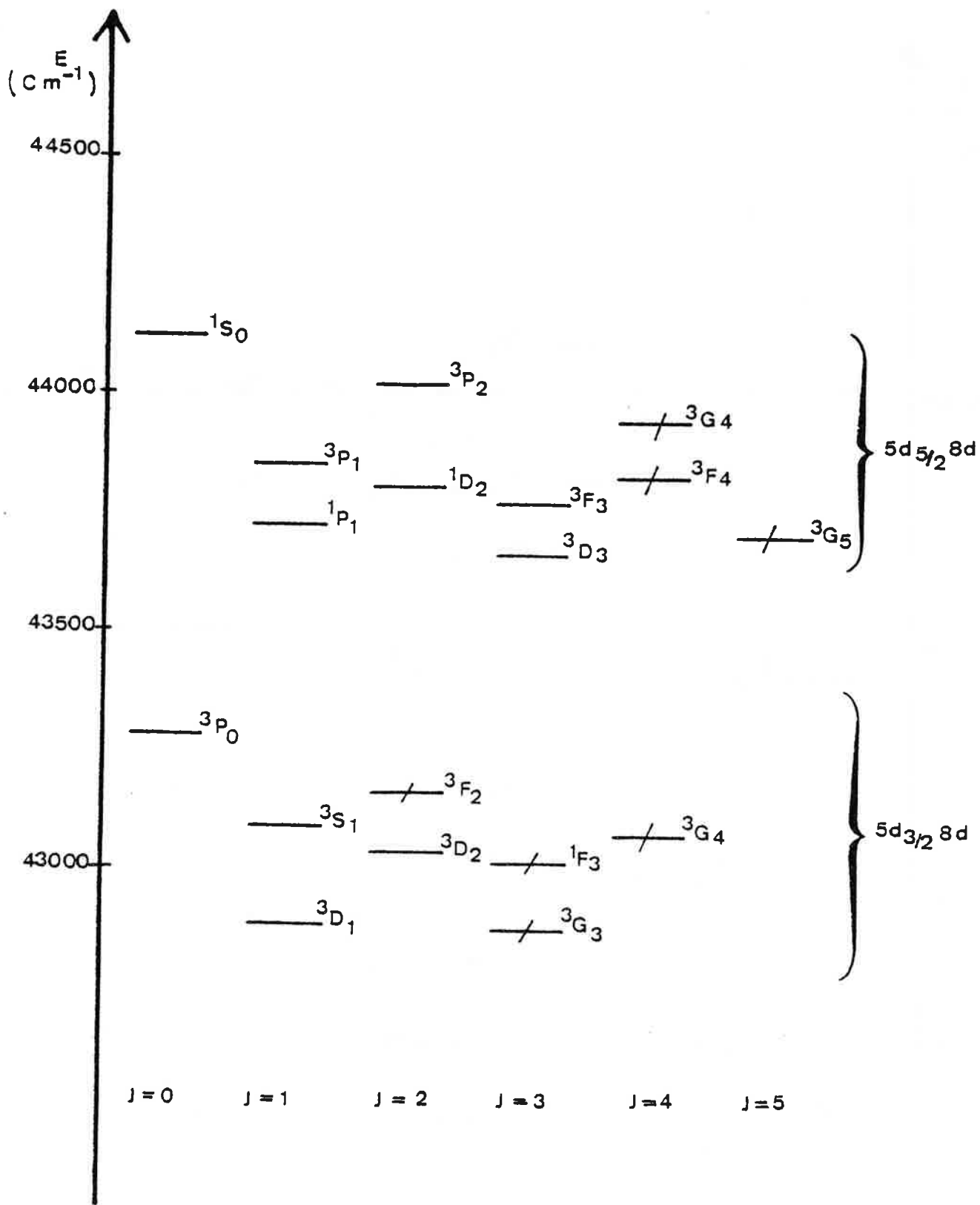


Figure 29

Diagramme d'énergie des niveaux appartenant à la configuration  $5d^8d$

(  $/$  niveaux observés par P. CAMUS [5]).



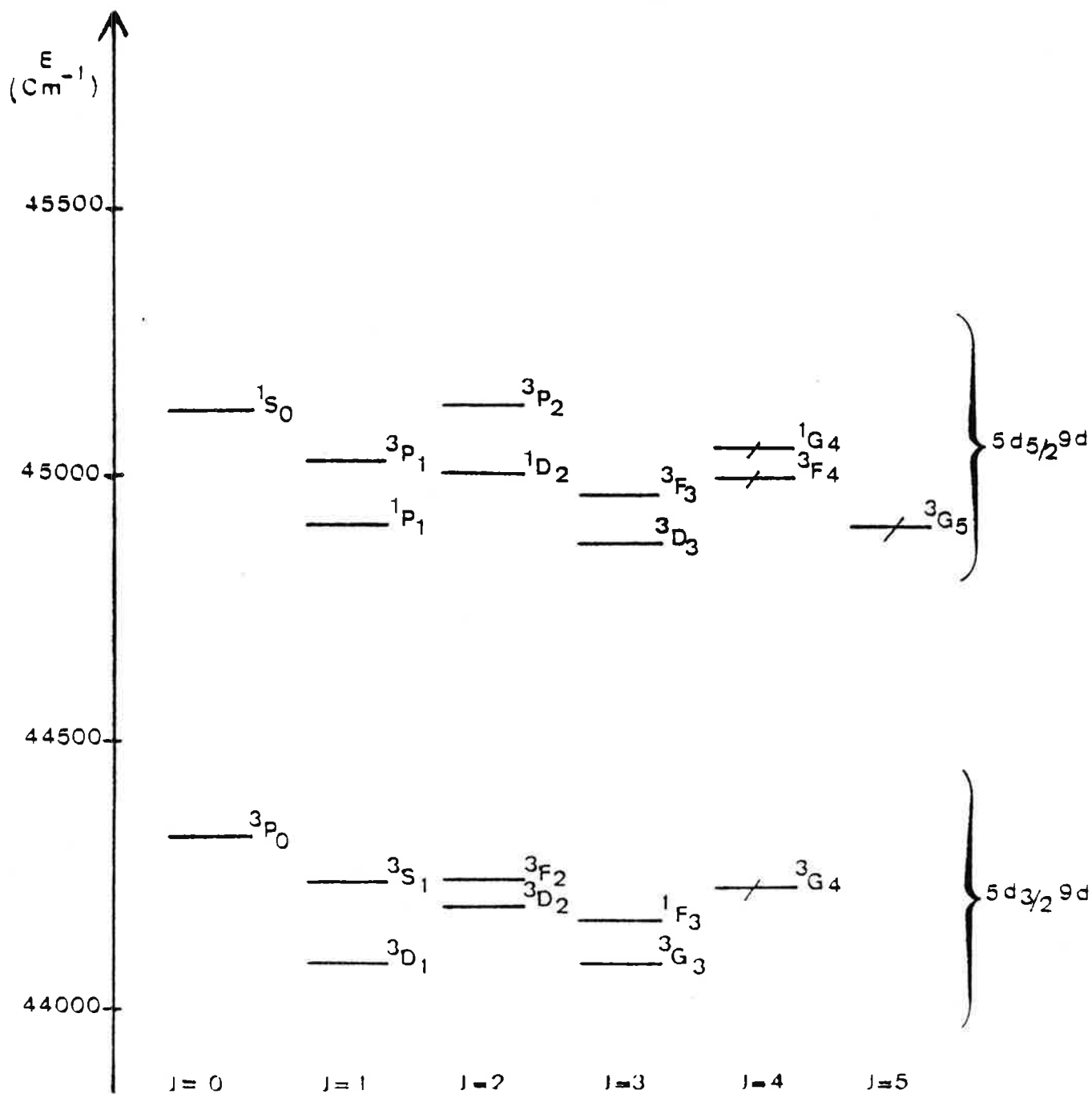


Figure 30

Diagramme d'énergie des niveaux appartenant à la configuration  $5d^9d$

( / niveaux observés par P. CAMUS [5]).



Le diagramme d'énergie donné à la Figure 29 montre que ces niveaux se répartissent en deux groupes :

- les niveaux dont l'énergie est comprise entre  $42879 \text{ cm}^{-1}$  et  $43282 \text{ cm}^{-1}$ . Dans ce domaine spectral exploré les niveaux intermédiaires  $5d6p \ ^3P_0^o$  et  $\ ^3P_1^o$  ont seulement permis l'observation des niveaux  $J = 0, 1$  ou  $2$  ;

- les niveaux d'énergie supérieure à  $43660 \text{ cm}^{-1}$  n'ayant pu être atteints qu'avec les niveaux (II) :  $5d6p \ ^3P_1^o$  et  $\ ^3P_2^o$ . La détection est, là encore, limitée aux niveaux très excités de  $J$  égal à  $0, 1, 2$  ou  $3$ .

Cette séparation en deux groupes de niveaux permet déjà de discerner les séries  $5dnd$  suivant qu'elles doivent converger vers la limite  $5d \ ^2D_{3/2} (I_1)$  ou vers la limite  $5d \ ^2D_{5/2} (I_2)$ . Les niveaux correspondants de  $5d8d$  se répartissent alors dans l'un des deux groupes  $5d_{3/2}8d$  ou  $5d_{5/2}8d$ , pour lesquels les nombres quantiques effectifs ont été calculés par rapport à leur limite respective (Tableau XII).

#### Configuration $5d9d$ .

Les 14 niveaux pour lesquels  $J$  peut prendre une valeur égale à  $0, 1, 2$  ou  $3$  ont été observés et identifiés avec les niveaux intermédiaires  $5d6p \ ^3P_1^o$  et  $\ ^3P_2^o$  (Tableau XIII). Les 4 niveaux restants,  $J = 4$  ou  $5$ , ont été détectés à partir de  $5d6p \ ^3F_3^o$  et  $\ ^3F_4^o$  par P. CAMUS [5].

Comme pour la configuration précédente, les niveaux de  $5d9d$  se répartissent dans leur ensemble en deux groupes bien distincts (Figure 30) :

- le groupe  $5d_{3/2}9d$  pour les niveaux inférieurs dont l'énergie est comprise entre  $44080 \text{ cm}^{-1}$  et  $44324 \text{ cm}^{-1}$  et qui juxtaposent ceux du groupe  $5d_{5/2}8d$ . Seuls les nombres quantiques effectifs  $n_1^*$  calculés par rapport à  $I_1$  (limite  $5d \ ^2D_{3/2}$ ) sont introduits dans le Tableau XIII ;

- le groupe  $5d_{5/2}9d$  pour les niveaux supérieurs,  $44871 \text{ cm}^{-1} \ll E \ll$

$45119 \text{ cm}^{-1}$ , correspondants aux nombres quantiques effectifs  $n_2^*$  calculés par rapport à  $I_2$  (limite  $5d^2D_{5/2}$ ).

Cette répartition des niveaux dans les séries de Rydberg  $5d_{3/2}^{\text{nd}}$  ou  $5d_{5/2}^{\text{nd}}$  s'observe aussi, bien que moins nettement, dès la configuration  $5d7d$ . Pour l'atome excité sur de tels niveaux, l'interaction spin-orbite pour l'électron  $5d$  devient plus importante que l'interaction électrostatique. Le coeur résiduel présente un état quantique proche de celui de l'ion  $5d$ , caractérisé par un nombre quantique  $j = \frac{3}{2}$  ou  $\frac{5}{2}$ , suivant que la série converge vers  $I_1$  ou vers  $I_2$ . Ainsi, la configuration  $5d7d$  correspond à la transition du couplage LS vers le couplage jj, qui s'affirme de plus en plus pour les niveaux des configurations  $5dnd$  suivantes. Bien que la dénomination LS soit mal appropriée pour désigner de tels niveaux, nous l'avons utilisée dans les Tableaux XI, XII et XIII afin de permettre la comparaison entre les niveaux de deux configurations successives.

#### Configuration $5d10d$ .

Les niveaux appartenant à la configuration supérieure  $5d10d$  n'ont pas été trouvés. Dans cette région du spectre, plusieurs niveaux non identifiés s'insèrent dans le groupe  $5d_{5/2}9d$ . L'interpénétration des deux configurations  $5d9d$  et  $5d10d$  peut alors expliquer que de fortes interactions déplacent les niveaux de  $5d10d$  rendant leur recherche difficile.

#### Configurations $5dns$ .

Le Tableau XIV rapporte l'observation des niveaux appartenant aux configurations basses  $5dns$  :

- tous les niveaux manquants de  $5d8s$  ont pu être identifiés : le niveau  $5d8s^3D_3$  à l'issue de cette expérience et le niveau  $5d8s^3D_1$  à l'issue d'une expérience complémentaire [4] ;

- pour les configurations supérieures, l'identification incomplète

des niveaux, tous situés dans le domaine autoionisant, n'est pas certaine. Ainsi, les niveaux très excités que nous avons désignés par  $5d9s\ ^3D_2$  et  $5d10s\ ^3D_2$  demandent à être confirmés, alors que les niveaux  $5dns\ ^3D_3$  sont attribués sans ambiguïté car ils sont observés jusqu'à  $n=42$  (voir §.C.2.b).

### β. Etude paramétrique des configurations 5dnd .

Les grandes lignes de l'étude paramétrique d'une configuration isolée ont été rappelées au paragraphe B.2 . Entreprise pour les configurations 5dnd ( $n = 6,7,8$  et  $9$ ), l'étude paramétrique nous a permis à la fois de compléter l'identification des niveaux et d'entreprendre l'analyse théorique de leurs configurations.

Une configuration 5dnd est caractérisée par un jeu de 8 paramètres de structure fine :

- la hauteur  $E_{\text{moy}}$  de la configuration ;
- deux intégrales directes  $F_2(5dnd)$ ,  $F_4(5dnd)$  et trois intégrales d'échange  $G_0(5dnd)$ ,  $G_2(5dnd)$  et  $G_4(5dnd)$  qui décrivent l'interaction électrostatique ;
- les deux coefficients  $\zeta_d = \zeta_{5d}$  et  $\zeta_{d'} = \zeta_{nd}$  propres à l'interaction spin-orbite pour l'électron 5d et l'électron de Rydberg nd .

L'énergie moyenne de l'ion  $Ba^+$  excité sur l'un des deux niveaux 5d vaut  $I_{\text{moy}} = 47389,5\text{ cm}^{-1}$ . La hauteur d'une configuration 5dnd peut alors être repérée par le nombre quantique effectif  $n^*$ , tel que :

$$I_{\text{moy}} - E_{\text{moy}} = \frac{R}{(n^*)^2} .$$

Pour  $n \gg l = 2$ , les paramètres obéissent en première approximation à des lois simples de variation en fonction de  $n^*$  :

- $F_k(5dnd)$ ,  $G_k(5dnd)$  et  $\zeta_{nd}$  varient comme  $\frac{1}{(n^*)^3}$ ,
- $\zeta_{5d}$  est peu modifié. Sa valeur limite exprime l'écart en énergie que présentent les niveaux  $5d\ ^2D_{3/2}$  et  $5d\ ^2D_{5/2}$  :

$$I_2 - I_1 = \frac{5}{2} \zeta_{5d \text{ lim}}$$

d'où  $\zeta_{5d \text{ lim}} = 320,39 \text{ cm}^{-1}$  .

A l'issue de l'étude, un jeu final de paramètres ajustés est déterminé pour chaque configuration  $5dn_d$ ,  $n=6$  à  $9$ . Les résultats sont présentés dans le Tableau XV. Entre  $5d6d$  et  $5d7d$ , les paramètres varient en suivant les lois générales de variation dans l'approximation du champ central :  $\zeta_{5d}$  garde une valeur pratiquement constante et tous les autres paramètres décroissent suivant une loi en  $\frac{1}{(n^*)^3}$  .

Pour  $5d8d$ , par contre,  $\zeta_{nd}$  prend une valeur trop importante indiquant que l'étude paramétrique est moins bien adaptée à l'analyse des niveaux appartenant à cette configuration. La configuration  $5d8d$  ne peut pas être étudiée isolément mais elle doit être traitée simultanément avec les configurations paires  $5dn_l$  les plus proches. Le mélange de configurations peut être envisagé : il concerne vraisemblablement  $5d9s$  et  $5d10s$  sans oublier l'interaction probable des niveaux du groupe  $5d_{5/2}9d$  .

On peut tirer une conclusion semblable quant aux résultats de l'étude paramétrique de  $5d9d$ . Le jeu de paramètres obtenus rend compte avec moins de précision des niveaux observés. L'écart quadratique moyen  $\langle \overline{\Delta E} \rangle$  représente 2% de la plage d'énergie sur laquelle les niveaux de  $5d9d$  se répartissent, alors qu'il n'excède pas 0,8% pour les précédentes configurations :

0,5%	pour	$5d6d$ ,
0,6%	pour	$5d7d$ ,
0,8%	pour	$5d8d$ .

Pour l'interprétation théorique des niveaux appartenant à la configuration  $5d9d$ , nous devons considérer les mélanges de configurations ( $5d9d + 5dns$ ) mais aussi les interactions entre les voies  $5d_{3/2}n_l$  et  $5d_{5/2}n_l$  .

Les Tableaux XVI à XIX permettent la comparaison entre les énergies  $E_{th}$ , calculées à l'aide du jeu de paramètres ajustés et les énergies mesurées  $E_0$  :  $\Delta E = E_0 - E_{th}$ . Le calcul des fonctions d'onde sur une base d'états purs LS a été entrepris pour chacune des configurations 5dnd, le calcul sur la base jj ayant été limité à 5d6d et 5d7d. Ce calcul nous renseigne sur la validité de la dénomination de chaque niveau dans le couplage LS. On appelle ainsi le niveau 5d6d  $^3P_0$ , parce que sa fonction d'onde présente la plus grande composante sur l'écart pur  $^3P_0$ , cette composante représentant 87,3% de l'état  $^3P_0$  (exemple choisi dans le Tableau XVI). Le niveau situé à 36165,3  $\text{cm}^{-1}$ , désigné 5d6d  $^1F_3$ , présente en réalité une plus grande composante sur l'état pur  $^3G_3$ . Une dénomination jj serait certainement mieux appropriée pour les niveaux 5d6d  $J=3$ .

Pour la configuration 5d6d, la valeur moyenne des composantes principales des fonctions d'onde sur la base LS vaut 76,5%, ce qui est comparable à la valeur moyenne 78,8% calculée pour la base jj. Les niveaux de 5d6d semblent donc présenter un couplage intermédiaire pour lequel les interactions spin-orbite et Coulombienne sont du même ordre de grandeur. La désignation en terme jj est mieux adaptée au couplage des niveaux appartenant à la configuration 5d7d : les valeurs moyennes des composantes principales pour les 18 niveaux valent 66,1% sur la base LS et 91,3% sur la base jj. Calculée sur la base d'états purs LS, cette valeur moyenne décroît encore pour les configurations supérieures, passant de 60,0% pour 5d8d à 58,6% pour 5d9d.

Bien que l'étude paramétrique de 5d8d et de 5d9d ne soit pas entièrement satisfaisante, les résultats obtenus reflètent en partie les observations expérimentales, laissant entrevoir que les prochaines configurations vont subir d'importantes perturbations. De plus, l'appartenance des niveaux à la voie  $5d_{3/2}nl$  ou  $5d_{5/2}nl$  se précise dès la configuration 5d6d.

### III.C.2.b Séries de Rydberg 5dnℓ .

Les séries de Rydberg 5dnℓ convergent vers l'une des deux limites  $5d^2D_{3/2}$  ( $I_1 = 46908,87 \text{ cm}^{-1}$ ) ou  $5d^2D_{5/2}$  ( $I_2 = 47709,84 \text{ cm}^{-1}$ ) définissant ainsi les deux voies  $5d_{3/2}nℓ$  et  $5d_{5/2}nℓ$ . Au-delà de l'énergie  $E = 43153 \text{ cm}^{-1}$ , seuls les niveaux intermédiaires  $5d6p^3P_1^o$  et  $5d6p^3P_2^o$  ont été utilisés permettant d'atteindre les niveaux (III) dont J vaut 0, 1, 2 ou 3.

Pour les configurations basses 5dns ( $6 \leq n \leq 10$ ) et 5dnd ( $6 \leq n \leq 9$ ), nous avons reporté dans le tableau ci-contre les nombres quantiques effectifs de tous les niveaux observés. Ces nombres sont calculés par rapport aux limites  $I_1(n_1^*)$  et  $I_2(n_2^*)$ . La dénomination IS des premiers niveaux est maintenue pour permettre de désigner les séries et de les repérer les unes par rapport aux autres.

La progression du défaut quantique permet de préciser la limite  $I_i$  vers laquelle converge une série : sa valeur  $n - n_i^*$  évolue légèrement avec le degré d'excitation des niveaux de la série. Les séries 5dns  $^3D_1$  et 5dns  $^3D_3$  convergent respectivement vers  $I_1$  et vers  $I_2$ . L'ambiguïté qui subsiste sur les niveaux 5dns J=2 peut être levée lorsqu'on compare les nombres quantiques effectifs calculés par rapport aux deux limites  $I_1$  et  $I_2$  : la série 5dns  $^3D_2$  semble converger vers  $5d^2D_{3/2}$  et la série 5dns  $^1D_2$  vers  $5d^2D_{5/2}$ . Le calcul du défaut quantique confirme aussi les résultats de l'étude paramétrique des configurations basses 5dnd dont les niveaux se répartissent dans les deux groupes  $5d_{3/2}nd$  et  $5d_{5/2}nd$ .

Dans la mesure où il n'y a pas de perturbation, le défaut quantique tend vers une valeur limite qui caractérise la série considérée. Les valeurs que présentent les niveaux les plus élevés sont les plus proches de cette valeur limite. Ainsi, les séries 5dnℓ se distinguent par leur défaut quantique qui vaut : de 4,10 à 4,20 pour 5dns et de 2,45 à 2,80 pour 5dnd. L'identification des séries observées pour la première fois



Progression du nombre quantique effectif pour les configurations basses  $5dn\ell$  paires.

$5d_{ns}$	${}^3D_1$ $n_1^*$	${}^3D_2$ $n_1^*$	${}^1D_2$ $n_1^*$	${}^3D_3$ $n_2^*$
6s	1,702	1,706	1,758	1,738
7s	2,789	2,803	2,893	1,738
8s	3,818	3,839	4,052	3,809
9s		4,845	5,337	4,810
10s		5,837		5,823

$5d_{3/2nd}$	${}^3P_0$ $(n_1^*)$	${}^3D_1$ $(n_1^*)$	${}^3S_1$ $(n_1^*)$	${}^3D_2$ $(n_1^*)$	${}^3P_2$ $(n_1^*)$	${}^3G_3$ $(n_1^*)$	${}^1F_3$ $(n_1^*)$	${}^3G_4$ $(n_1^*)$
6d	3,447	3,162	3,239	3,201	3,343	3,156	3,196	3,224
7d	4,480	4,199	4,317	4,275	4,386	4,201	4,262	4,300
8d	5,500	5,218	5,360	5,319	5,406	5,220	5,303	5,343
9d	6,516	6,228	6,404	6,355	6,410	6,230	6,321	6,274

$5d_{5/2nd}$	${}^1S_0$ $(n_2^*)$	${}^1P_1$ $(n_2^*)$	${}^3P_1$ $(n_2^*)$	${}^1D_2$ $(n_2^*)$	${}^3P_2$ $(n_2^*)$	${}^3D_3$ $(n_2^*)$	${}^3F_3$ $(n_2^*)$	${}^1G_4$ $(n_2^*)$	${}^3G_5$ $(n_2^*)$
6d	3,534	3,187	3,366	3,334	3,409	3,147	3,279	3,393	3,175
7d	4,533	4,228	4,358	4,324	4,430	4,190	4,283	4,400	4,221
8d	5,527	5,243	5,333	5,299	5,450	5,207	5,273	5,396	5,235
9d	6,508	6,254	6,391	6,362	6,522	6,218	6,317	6,418	6,243

(Tableaux XX et XXI) résulte finalement de la comparaison des valeurs modulo 1 des défauts quantiques.

Le nombre de séries attendues pour  $J$  égal à 0, 1, 2 ou 3 est précisé dans le tableau ci-dessous :

Voie		$J$	5dns	5dnd
$5d_{3/2}n\ell$	}	0	0	1
		1	1	2
		2	1	2
		3	0	2
$5d_{5/2}n\ell$	}	0	0	1
		1	0	2
		2	1	2
		3	1	2

Nous avons repéré 7 séries de niveaux convergeant vers  $5d^2D_{5/2}$  et qui sont présentées dans le Tableau XX ; puis 6 séries convergeant vers  $5d^2D_{3/2}$ , dont les niveaux sont classés dans le Tableau XXI. Au total, nous avons observé deux séries 5dns sur quatre (Tableaux XXa et XXI1) et huit séries 5dnd sur quatorze (Tableaux XXb, XXc, XXd, XXe, XXI2, XXI3, XXI4, XXI5).

Dans l'ensemble les membres d'une série  $5d_{5/2}n\ell$  sont très bien suivis. Entre  $I_0$  et  $I_1$ , les quatre séries désignées  $5d_{5/2}n\ell$  se perdent rapidement. Chaque série  $5d_{5/2}n\ell$  compte quatre niveaux ( $n = 10$  à  $13$ ) qui sont alors susceptibles d'interagir avec les séries paires  $5d_{3/2}n\ell$  de même valeur de  $J$ . Effectivement, les niveaux des séries qui convergent vers  $5d^2D_{3/2}$  sont très difficiles à repérer et les termes manquants correspondent bien aux perturbations attendues.

Les trois dernières séries (Tableaux XXf, XXg et XXI6) sont attribuées à 5dng, dont on sait que la valeur du défaut quantique est presque

nulle [11]. Elles sont observées à partir des niveaux les plus bas, ceux qui appartiennent à la première configuration  $5d5g$ , et conduisent alors à d'intenses signaux OG bien que les transitions  $5d6p \rightarrow 5dng$  soient interdites dans un modèle où les configurations seraient pures. Ce fait expérimental peut s'expliquer par le mélange de configurations  $(5d6p + 5d4f)$ . La force d'oscillateur de la transition  $f \rightarrow g$  est grande, et même plus importante encore que celle d'une transition  $p \rightarrow d$ , ce qui peut rendre la résonance  $5d6p$  (II)  $\rightarrow 5dng$  suffisamment intense pour être aisément détectée.

Le travail présenté dans ce paragraphe est un travail préliminaire, consistant à répertorier les niveaux qui semblent appartenir à une même série. Nous en avons parfois supposé une valeur pour  $J$  qu'il reste à vérifier par des observations complémentaires [5]. De même, l'interprétation que nous en avons donnée ne sera confirmée qu'avec l'étude théorique qui va être entreprise.

Références du Chapitre III

- [1] M. AYMAR, P. CAMUS, M. DIEULIN et C. MORILLON, Phys. Rev. A 18, 2173-2183 (1978).
- [2] M. AYMAR et O. ROBAUX, J. Phys. B 12, 531-546 (1979).
- [3] J. A. ARMSTRONG, J. J. WYNNE et P. ESHERICK, J. Opt. Soc. Am. 69, 211-230 (1979).
- [4] P. CAMUS, M. DIEULIN et A. EL HIMDY, à paraître dans Phys. Rev. (1981).
- [5] P. CAMUS, Communication personnelle (1980).
- [6] J. VERGES, Communication personnelle (1978).
- [7] J. R. RUBENMARK, S. A. BORGSTRÖM et K. BOCKASTEN, J. Phys. B : Atom. Molec. Phys. 10, 421-432 (1977).
- [8] K. T. LU et U. FANO, Phys. Rev. A 2, 81-86 (1970) ;  
U. FANO, J. Opt. Soc. Am. 65, 979-987 (1975).
- [9] J. F. WYART, Communication personnelle (1981).
- [10] C. E. MOORE, Atomic Energy Levels 3, NBS Circ. No. 467 (U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 1958).
- [11] B. EDLÉN, Handburch der Physik, Volume XXVII, Spectrokopie I (Springer-Verlag, 1964).





## CONCLUSION

La phase expérimentale du travail confié a abouti à la mise au point d'un montage simple qui permet de détecter et de traiter des signaux optogalvaniques synchrones des impulsions laser excitant les atomes neutres de baryum dans une vapeur de type "heat-pipe".

Les difficultés essentielles ont résidé dans l'obtention d'un régime continu stable pour la décharge électrique. A ce niveau, la cathode creuse de baryum est mal conçue pour la détection que nous comptons réaliser. Nous avons été amenés ensuite à modifier l'électronique de mesure que nous avons utilisée avec la diode thermoionique pour l'adapter au traitement des signaux optogalvaniques plus rapides.

Le détecteur obtenu permet de réaliser des enregistrements de bon rapport signal sur bruit, mais présente une sensibilité de moindre qualité que celle de la diode thermoionique. Utilisé à des fins spectroscopiques, c'est le premier dispositif électronique qui analyse les impulsions très brèves produites par une décharge électrique. Avec le processus d'excitation choisi, la nouvelle exploration des niveaux très excités de Ba I s'est révélée très fructueuse, prouvant ainsi que le dispositif utilisé est particulièrement adapté à la détection des niveaux de Rydberg.

Les transitions atomiques à deux étages à partir des niveaux métastables  $5d6s\ ^3D_1$ ,  $^3D_2$  ou  $^3D_3$  ont conduit, par l'intermédiaire des niveaux appartenant à  $5d6p$ , non seulement aux niveaux des séries paires  $5dn\ell$ , mais aussi à ceux des séries paires  $6sn\ell$ . Les transitions inattendues qui ont été détectées s'expliquent par un mélange de configuration soit du niveau supérieur atteint, soit du niveau intermédiaire. Les niveaux de Rydberg ont des valeurs de  $J$  comprises entre 0 et 5 : les méthodes usuelles d'excitation laser à partir du fondamental auraient nécessité pas moins de six étages pour les atteindre !

Tous les niveaux appartenant à la configuration  $5d7d$  ont été détectés. Ils se confirment être les perturbateurs des séries paires  $6sn\ell$  dont quatre ont été observées pour la première fois. La connaissance a été complétée jusqu'aux niveaux de  $5d9d$ . Au-delà et jusqu'à la limite  $5d\ ^2D_{3/2}$  de fortes interactions entre les voies  $5d_{3/2}n\ell$  et  $5d_{5/2}n\ell$  nuisent à l'identification des niveaux. Treize séries de Rydberg ( $0 < J < 3$ ) nouvellement détectées ont été attribuées à  $5dns$ ,  $5dnd$  ou  $5dng$  : six convergent vers  $5d\ ^2D_{3/2}$  et sept vers  $5d\ ^2D_{5/2}$ .

Une étude paramétrique a été conduite permettant d'interpréter les niveaux de  $5d6d$ ,  $5d7d$ ,  $5d8d$  et  $5d9d$ . Cette expérience fournit de nombreuses données de niveaux d'énergie des séries de Rydberg paires,  $6sn\ell$  et  $5dn\ell$ , que la théorie du défaut quantique à plusieurs voies devrait achever d'interpréter apportant une connaissance améliorée de l'atome.

Dans les enregistrements que nous avons réalisés, un nombre important de raies optogalvaniques n'ont pas encore trouvé de classification. Nous avons observé à plusieurs reprises la transition à partir du niveau  $5d^2\ ^3P_2$  vers un niveau  $J=1$  appartenant à la configuration  $5d4f$ . Il serait alors intéressant de rechercher, dans toute l'étendue spectrale explorée, les niveaux impairs de  $5dn\ell$  qui ont pu être atteints de la sorte, et, au besoin, compléter leur observation.



La présente expérience permet également de poursuivre l'étude des niveaux de Rydberg des séries paires  $6pn\ell$  de Ba I, moyennant une excitation avec doublement de la fréquence optique pour le second étage. Les niveaux appartenant à la configuration  $6s6p$  sont peuplés dans la décharge "heat-pipe". En particulier, la transition  $6s6p\ ^3P_2^o$  vers  $6p^2\ ^3P_1$  conduit à de forts signaux optogalvaniques. On peut ainsi envisager une nouvelle prospection concernant les niveaux impairs  $6pn\ell$  ( $J = 0, 1, 2$ ) atteints dans un processus d'excitation optique à deux étages.

La détection optogalvanique devrait connaître un important développement pour ses applications dans le domaine de la spectroscopie. Elle est adaptée à l'étude des niveaux de Rydberg et son originalité réside dans le fait que les transitions peuvent concerner des éléments déjà excités dans le plasma. De façon plus générale, l'effet optogalvanique se manifeste dans des enceintes à décharge de tout genre qui peuvent présenter des géométries multiples. Selon la conception du montage, on peut améliorer la sensibilité du détecteur ou la rapidité de sa réponse, et mettre au point l'expérience la mieux adaptée pour l'élément à étudier ou le phénomène à observer.







Tableaux I à V

Toute personne intéressée par l'acquisition des  
données expérimentales pourra obtenir les  
tableaux correspondants sur simple demande adressée  
au LABORATOIRE AIME COTTON, C.N.R.S. II, Bâtiment 505  
91405 ORSAY Cedex.



Tableau VI

Niveaux  $J=0$  à partir du niveau intermédiaire  $5d\ 6p\ ^3P_1^o$   
(25704,083  $\text{cm}^{-1}$ )

Niveau	$E_0(\text{cm}^{-1})$ à deux étages	$E_0(\text{cm}^{-1})[1]$ à deux photons	$\sigma_{\text{obs}}$ $5d5p\ ^3P_1^o$	I
6s15s $^1S_0$	41092,91	41092,994	15388,83	m
6s16s $^1S_0$	41245,17	41245,163	15541,09	F
6s17s $^1S_0$	41362,31	41362,350	15658,23	TF
<u>5d 7d <math>^3P_0</math></u>	41441,22	41441,221	15737,08	TTF
6s18s $^1S_0$	41467,81	41467,798	15763,73	TTF
6s19s $^1S_0$	41535,25	41535,233	15831,17	TF
6s20s $^1S_0$	41595,86	41595,895	15891,78	TF
6s21s $^1S_0$	41646,36	41646,379	15942,28	m
6s22s $^1S_0$	41688,71	41688,729	15984,63	f
6s23s $^1S_0$	41724,50	41724,546	16020,42	f
6s24s $^1S_0$	41755,01	41755,001	16050,93	f
6s25s $^1S_0$	41781,23	41781,278	16077,14	m
6s26s $^1S_0$	41804,00	41804,003	16099,92	f
6s27s $^1S_0$	41823,84	41823,818	16119,76	m
6s28s $^1S_0$	41841,31	41841,197	BL. 16137,23	f
6s29s $^1S_0$	41856,66	41856,491	16152,58	m
6s30s $^1S_0$	41870,03	41870,092	16165,95	f

Tableau VII

Niveaux  $J=1$  à partir des niveaux intermédiaires  $5d6p\ ^3P_0^o$  (25642, 103  $\text{cm}^{-1}$ ),  
 $5d6p\ ^3P_1^o$  (25704, 083  $\text{cm}^{-1}$ ) et  $5d6p\ ^3P_2^o$  (25956, 495  $\text{cm}^{-1}$ ).

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$	$\sigma_{\text{obs}}$ $5d6p\ ^3P_0^o$	I	$\sigma_{\text{obs}}$ $5d6p\ ^3P_1^o$	I	$\sigma_{\text{obs}}$ $5d6p\ ^3P_2^o$	I
* $6s13d\ ^3D_1$	40982,35	0,05	-	-	15278,27 2,35	TF	-	-
* $5d\ 7d\ ^3S_1$	41019,54	0,14	-	-	15315,45 9,54	TTF	-	-
* $6s15s\ ^3S_1$	41082,22	0,05	-	-	15378,14 2,22	TF	-	-
* $6s14d\ ^3D_1$	41162,99	0,05	-	-	15458,91 2,99	f	-	non obs.
* $6s16s\ ^3S_1$	41235,81	0,06	Bl.	15593,73 5,83	F	F	15531,73 5,81	non obs.
* $6s15d\ ^3D_1$	41299,55	0,05		15657,42 9,52	TF	tf	15595,48 9,57	non obs.
* $6s17s\ ^3S_1$	41356,21	0,05		15714,07 6,17	F	f	15652,18 6,26	non obs.
* $6s16d\ ^3D_1$	41406,49	0,05	Bl.	15764,32 6,42	TF	f	15702,41 6,49	non obs.



Tableau VII (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p \ ^3P_0^o)$ I	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p \ ^3P_1^o)$ I	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p \ ^3P_2^o)$ I
* 6s18s $^3S_1$	41451,23	0,07	15809,19 1,29	non obs.	15494,66 1,16
* 6s17d $^3D_1$	41491,53	0,07	15849,44 1,55	15787,52 1,60	15534,94 1,43
* 6s19s $^3S_1$	41527,12	0,08	15885,10 7,20	15823,00 7,09	15570,59 7,08
* 6s18d $^3D_1$	41558,98	0,05	15916,87 8,97	15854,92 9,00	15602,50 8,54
* <u>5d 7d</u> $^1P_1$	41570,34	0,05	15928,23 0,33	15866,28 0,36	15613,84 0,33
* 6s20s $^3S_1$	41592,68	0,05	15950,56 2,66	15888,62 2,70	15636,33 2,82
* 6s19d $^3D_1$	41616,52	0,10	15974,42 6,52	non obs.	non obs.
* 6s21s $^3S_1$	41642,76	0,06	16000,65 2,75	15938,73 2,82	15686,20 2,70
* 6s20d $^3D_1$	41664,65	0,08	16022,55 4,65	BL. 15960,67 4,75	BL. 15708,38 4,87
* 6s22s $^3S_1$	41685,66	0,05	16043,56 5,66	15981,58 5,66	non obs.
* 6s21d $^3D_1$	41704,17	0,05	16062,07 4,17	BL. 16000,12 4,20	BL. 15747,89 4,38

Tableau VII (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p\ ^3P_0^o)$ I	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p\ ^3P_1^o)$ I	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p\ ^3P_2^o)$ I
* 6s23s $^3S_1$	41721,93	0,05	16079,80 1,90	16017,81 1,96	non obs.
* 6s22d $^3D_1$	41737,72	0,07	16095,62 7,72	Bl. 16033,59 7,67	Bl. 15781,25 7,74
* 6s24s $^3S_1$	41752,78	0,05	16110,62 2,73	16048,74 2,82	non obs.
* 6s23d $^3D_1$	41766,30	0,06	16124,20 6,30	Bl. 16062,23 6,31	Bl. 15809,77 6,26
* 6s25s $^3S_1$	41779,34	0,05	16137,20 9,30	16075,30 9,38	non obs.
* 6s24d $^3D_1$	41791,08	0,05	16148,98 1,08	16086,94 1,03	Bl. 15834,29 0,78
* 6s26s $^3S_1$	41802,46	0,10	16160,47 2,57	16098,28 2,36	non obs.
* 6s25d $^3D_1$	41812,40	0,06	16170,35 2,45	16108,26 2,34	non obs.
* 6s27s $^3S_1$	41822,32	0,05	16180,19 2,29	16118,26 2,34	15866,34 2,84
* 6s26d $^3D_1$	41831,16	0,12	16189,06 1,16	non obs.	non obs.
* 6s28s $^3S_1$	41839,84	0,06	16197,68 9,78	16135,80 9,89	non obs.

Tableau VII (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p \ ^3P_0^o)$	I	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p \ ^3P_1^o)$	I	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p \ ^3P_2^o)$	I
* 6s27d $^3D_1$	41847,75	0,05	16205,64 7,75	tf	Bl.	F	Bl.	f
* 6s29s $^3S_1$	41855,34	0,05	16213,23 5,33	f	Bl.	F	Bl.	tf
* 6s28d $^3D_1$	41862,29	0,05	16220,19 2,29	tf	Bl.	F	Bl.	f
* 6s30s $^3S_1$	41869,04	0,05	16226,96 9,06	m	Bl.	F	Bl.	tf
* 6s29d $^3D_1$	41875,19	0,05	16233,09 5,19	tf	Bl.	f	Bl.	F
* 6s31s $^3S_1$	41881,15	0,10	16238,95 1,05	f	Bl.	F	Bl.	F
* 6s30d $^3D_1$	41886,70	0,05	16244,60 6,70	tf	Bl.	F	Bl.	TF
* 6s32s $^3S_1$	41892,03	0,10	16249,85 1,95	f	Bl.	F	Bl.	TF
* 6s31d $^3D_1$	41897,02	0,05	16254,92 7,02	f	Bl.	F	Bl.	TF
* 6s33s $^3S_1$	41901,82	0,06	16259,68 1,78	m	Bl.	F	Bl.	TF
* 6s32d $^3D_1$	41906,31	0,05	16264,21 6,31	f	Bl.	m	Bl.	F

Tableau VII (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p \ ^3P_0^o)$ I	$\sigma_{\text{obs}}(5d5p \ ^3P_1^o)$ I	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p \ ^3P_2^o)$ I
* $6s34s \ ^3S_1$	41910,55	0,06	16628,40 0,50	16206,45 0,53	15954,11 0,61
* $6s33d \ ^3D_1$	41914,55	0,05	16272,45 4,55	BL. 16210,83 4,91	BL. 15858,24 4,74
* $6s35s \ ^3S_1$	41918,43	0,07	16276,29 8,39	16214,33 8,41	15962,00 8,50
* $6s34d \ ^3D_1$	41922,18	0,05	16280,08 2,18	BL. 16218,26 2,34	BL. 15965,90 2,40
* $6s36s \ ^3S_1$	41925,44	0,08	16283,35 5,45	16221,28 5,36	15969,02 5,51
* $6s35d \ ^3D_1$	41928,78	0,05	16286,68 8,78	BL. 16224,82 8,90	15972,58 9,07
* $5d \ 7d \ ^3P_1$	41930,88	0,15	16288,69 0,79	16226,745 0,83	15974,53 1,03
* $6s37s \ ^3S_1$	41933,60	0,17	16291,39 3,49	16229,45 3,53	15977,27 3,77
* $6s36d \ ^3D_1$	41935,41	0,05	16293,31 5,41	BL. 16231,67 5,75	BL. 15979,37 5,86
* $6s38s \ ^3S_1$	41938,79	0,08	16296,62 8,72	16234,71 8,79	15982,37 8,87
* $6s37d \ ^3D_1$	41940,73	0,25	16298,62 0,73	non obs.	non obs.

Tableau VII (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\Delta E_0$	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p \ ^3P_0)$	I	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p \ ^3P_1)$	I	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p \ ^3P_2)$	I
* 6s39s $^3S_1$	41944,14	0,06	16301,99 4,09	f	16240,05 4,13	F	15987,70 4,20	TF
* 6s38d $^3D_1$	41946,13	0,10	16304,03 6,13	tf	Bl. 16242,44 6,52	m	Bl. 15990,16 6,66	F
* 6s40s $^3S_1$	41949,09	0,05	16306,97 9,07	tf	16245,02 9,10	m	15992,61 9,11	F
* 6s41s $^3S_1$	41953,61	0,05	16311,00 3,10	f	16248,88 2,96	m	15997,12 3,61	TF
* 6s42s $^3S_1$	41957,90	0,05	non obs.		obs.		16001,41 7,90	F
* 6s43s $^3S_1$	41961,79	0,05	non obs.		non obs.		16005,30 1,79	f
* 6s44s $^3S_1$	41965,43	0,05	non obs.		non obs.		16008,94 5,43	tf
* 6s45s $^3S_1$	41968,82	0,05	non obs.		non obs.		16012,32 8,82	tf
* 6s46s $^3S_1$	41971,90	0,10	non obs.		16267,76 1,84	m	16015,40 1,90	tf
* 6s47s $^3S_1$	41974,85	0,10	non obs.		non obs.		16018,35 4,85	tff

Tableau VIII

Niveaux  $J=2$  à partir des niveaux intermédiaires  $5d6p\ ^3P_1^o$  (25704,083  $\text{cm}^{-1}$ ),  
 $5d6p\ ^3P_2^o$  (25956,495  $\text{cm}^{-1}$ ) et  $5d6p\ ^3D_3^o$  (24979,810  $\text{cm}^{-1}$ )

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) à deux étages	$\delta E_0$	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) [1] à deux photons	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p\ ^3P_1^o$ )	I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p\ ^3P_2^o$ )	I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p\ ^3D_3^o$ )	I
$6s10d\ ^3D_2$	non obs.		39922,162	-		-		non obs.	
$6s10d\ ^1D_2$	39998,32	0,09	39998,339	-		-		15018,51 8,32	f
<u><math>5d\ 8s\ ^1D_2</math></u>	40223,71	0,20	40223,744	-		-		15243,90 3,71	F
$6s11d\ ^3D_2$	40613,53	0,10	40413,603	-		-		15433,72 3,53	f
$6s11d\ ^1D_2$	non obs.		40483,579	-		-		non obs.	
$6s12d\ ^3D_2$	40748,28	0,08	40748,002	-		-		BL. 15768,47 8,28	m
$6s12d\ ^1D_2$	non obs.		40781,420	-		-		non obs.	
* <u><math>5d\ 7d\ ^3D_2</math></u>	40905,72	0,05	non obs.	15201,37 5,45	TF	-		15925,91 5,72	TF
$6s13d\ ^3D_2$	40987,55	0,05	40987,262	15283,47 7,55	TF	-		BL. 16007,63 7,44	m

Tableau VIII (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) à deux étages	$\delta E_0$	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) [1] à deux photons	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3P_1$ )	I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3P_0$ )	I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3D_0$ )	I
6s13d $^1D_2$	41007,93	0,06	41007,712	15303,78 7,87	TF	-		16028,18 7,99	f
6s14d $^1D_2$	41162,35	0,05	41162,415	15458,31 2,39	F	15205,78 2,27	f	16182,58 2,39	TF
6s14d $^3D_2$	41164,65	0,05	41164,599	15460,57 4,65	TF	15207,97 4,46	f	16184,83 4,64	f
<u>5d 7d <math>^3F_2</math></u>	41204,62	0,13	41204,731	15500,67 4,75	TF	15248,02 4,51	f	16224,86 4,67	F
6s15d $^3D_2$	41300,60	Bl.	41300,388	non obs.		15344,11 0,60	f	16320,79 0,60	m
6s15d $^1D_2$	41315,54	0,05	41315,547	15611,43 5,51	TF	non obs.		16335,76 5,57	m
6s16d $^3D_2$	41407,16	0,05	41407,247	15703,08 7,16	m	non obs.		non obs.	
6s16d $^1D_2$	41417,64	0,05	41417,641	15713,56 7,64	F	non obs.		non obs.	
6s17d $^3D_2$	41492,26	0,05	41492,213	15788,18 2,26	m	non obs.		non obs.	
6s17d $^1D_2$	41500,03	0,05	41500,067	15795,95 0,03	F	non obs.		non obs.	
6s18d $^3D_2$	41561,13	0,05	41561,111	15857,05 1,13	m	non obs.		non obs.	

Tableau VIII (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) à deux étages	$\delta E_0$	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) [1] à deux photons	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3P_1^o$ ) I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3P_2^o$ ) I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3D_3^o$ ) I
$6s18d \ ^1D_2$	41567,16	0,05	41567,184	15863,07 7,16	non obs.	non obs.
$6s19d \ ^3D_2$	41617,90	0,05	41617,703	15913,80 7,88	15661,43 7,92	non obs.
$6s19d \ ^1D_2$	41622,46	0,05	41622,465	15918,38 2,46	non obs.	non obs.
$6s20d \ ^3D_2$	41664,71	Bl.	41664,774	15960,67 4,75	15708,38 4,87	Bl. 16684,71 4,52
$6s20d \ ^1D_2$	41668,43	0,05	41668,528	15964,41 8,49	non obs.	16688,58 8,39
$6s21d \ ^3D_2$	41704,35	0,15	41704,214	16000,12 4,20	15747,89 4,38	Bl. 16724,65 4,46
$6s21d \ ^1D_2$	41707,20	0,05	41707,296	16003,12 7,20	non obs.	non obs.
$6s22d \ ^3D_2$	41737,71	0,05	41737,686	16033,59 7,67	15781,25 7,74	16757,90 7,71
$6s22d \ ^1D_2$	41740,13	0,05	41740,182	16036,05 0,13	15783,51 0,00	16760,80 0,61
$6s23d \ ^3D_2$	41766,29	Bl.	41766,256	16062,23 6,31	15809,77 6,26	non obs.
$6s23d \ ^1D_2$	41768,26	0,05	41768,349	16064,22 8,30	15811,74 8,23	16788,43 8,24



Tableau VIII (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) à deux étages	$\delta E_0$	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) [1] à deux photons	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3P_1^0$ )	I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3P_2^0$ )	I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3D_2^0$ )	I
$6s24d \ ^3D_2$	41790,85	0,18	41790,837	Bl. 16086,94 1,03	m	Bl. 15834,29 0,78	f	Bl. 16810,93 0,74	m
$6s24d \ ^1D_2$	41792,57	0,06	41792,623	16088,50 2,58	F	15836,13 2,62	f	16812,70 2,51	m
$6s25d \ ^3D_2$	41811,93	0,05	41811,935	obs.	f	Bl. 15855,46 1,95	m	Bl. 16832,11 1,92	TF
$6s25d \ ^1D_2$	41813,55	0,13	41813,571	16109,55 3,63	F	15857,12 3,61	f	16833,61 3,42	F
$6s26d \ ^3D_2$	41829,44	0,05	41829,487	non obs.	m	Bl. 15872,99 9,48	m	Bl. 16849,59 9,40	TF
$6s26d \ ^1D_2$	41831,97	0,05	41831,906	16127,87 1,95	F	15875,50 2,00	f	16852,14 1,95	F
<u><math>5d \ 7d \ ^1D_2</math></u>	41841,69	0,05	41841,660	Bl. 16137,23 1,31	f	15885,19 1,69	F	Bl. 16862,47 2,28	TF
$6s27d \ ^3D_2$	41848,22	0,05	41848,265	16144,09 8,17	F	15891,78 8,27	f	non obs.	
$6s27d \ ^1D_2$	41852,09	0,08	41852,005	16147,96 2,05	m	15895,57 2,04	m	16872,36 2,17	TF
$6s28d \ ^3D_2$	41862,61	0,08	41862,679	16158,54 2,62	F	15906,20 2,69	f	Bl. 16882,72 2,53	f
$6s28d \ ^1D_2$	41864,71	0,08	41864,689	16160,71 4,79	m	15908,19 4,69	m	16884,84 4,65	TF

Tableau VIII (suite)

Niveau	$E_0$ (cm <sup>-1</sup> ) à deux étages	$\delta E_0$	$E_0$ (cm <sup>-1</sup> ) [1] à deux photons	$\sigma_{\text{obs}}$ (5d6p <sup>3</sup> P <sub>1</sub> ) I	$\sigma_{\text{obs}}$ (5d6p <sup>3</sup> P <sub>0</sub> ) I	$\sigma_{\text{obs}}$ (5d6p <sup>3</sup> D <sub>0</sub> ) I
6s29d <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	41875,52	0,05	41875,490	16171,49 5,57	15918,99 5,48	non obs.
6s29d <sup>1</sup> D <sub>2</sub>	41876,97	0,05	41877,007	16172,84 6,95	15920,49 6,99	16897,17 6,98
6s30d <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	41886,95	0,05	41886,856	obs.	15930,45 6,95	non obs.
6s30d <sup>1</sup> D <sub>2</sub>	41888,16	0,05	41888,108	obs.	15931,67 8,16	16908,34 8,15
* 6s31d <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	41897,21	0,05	(41897,253)	obs.	15940,72 7,21	non obs.
6s31d <sup>1</sup> D <sub>2</sub>	41898,24	0,05	41898,206	obs.	15941,79 8,28	16918,38 8,19
* 6s32d <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	41906,55	0,08	(41906,511)	16202,55 6,63	15949,97 6,47	non obs.
6s32d <sup>1</sup> D <sub>2</sub>	41907,45	0,12	41907,371	16203,31 7,39	15950,89 7,39	16927,76 7,57
* 6s33d <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	41914,82	0,09	(41914,868)	16210,83 4,91	15958,24 4,74	non obs.
6s33d <sup>1</sup> D <sub>2</sub>	41915,55	0,05	41915,565	non obs.	15959,05 5,55	16935,74 5,55
* 6s34d <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	41922,37	0,07	(41922,436)	16218,26 2,34	15965,90 2,40	non obs.

Tableau VIII (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) à deux étages	$\delta E_0$	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) [1] à deux photons	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3P_1$ )	I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3P_2$ )	I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3D_3$ )	I
$6s34d \ ^1D_2$	41923,05	0,05	41923,102	non obs.		15966,55 3,05	TF	16943,23 3,04	tf
* $6s35d \ ^3D_2$	41929,07	Bl.	(41929,311)	non obs.		Bl. 15972,58 9,07	m	non obs.	
$6s35d \ ^1D_2$	41929,88	0,06	41929,828	non obs.		non obs.		16950,07 9,88	tf
* $6s36d \ ^3D_2$	41935,80	Bl.	(41935,576)	Bl. 16231,67 5,75	TF	Bl. 15979,37 5,86	f	non obs.	
$6s36d \ ^1D_2$	41936,22	0,10	41936,118	non obs.		non obs.		16956,41 6,22	tff
* $6s37d \ ^3D_2$	41941,40	Bl.	(41941,300)	Bl. 16237,22 1,30	F	Bl. 15984,99 1,49	TF	non obs.	
$6s37d \ ^1D_2$	41941,50	0,10	41941,795	non obs.		non obs.		16961,69 1,50	tff
* $6s38d \ ^3D_2$	41946,60	Bl.	(41946,543)	Bl. 16242,44 6,52	m	Bl. 15990,10 6,60	F	non obs.	
$6s38d \ ^1D_2$	41947,00	0,10	41946,985			15990,41 6,90	F	16967,28 7,09	tff
* $6s39d \ ^3D_2$	41951,29	Bl.	(41951,359)	Bl. 16247,45 1,53	m	Bl. 15994,79 1,29	F	non obs.	
$6s39d \ ^1D_2$	41951,61	0,10	41951,792			15995,12 1,61	m	non obs.	

Tableau VIII (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) à deux étages	$\delta E_0$	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) [1] à deux photons	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3P_1^o$ )		$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3P_2^o$ )		I	
				I	I	I	I		
$6s40d \ 1,^3D_2$	41955,89	0,05	$\left. \begin{array}{l} ^3D_2 (41955,793) \\ ^1D_2 41956,175 \end{array} \right\}$	Bl.	16251,81	5,89	15999,40	tf	non obs.
$6s41d \ 1,^3D_2$	41959,96	0,08	$\left. \begin{array}{l} ^3D_2 (41959,883) \\ ^1D_2 41960,169 \end{array} \right\}$	Bl.	16255,95	960,04	16003,39	(ttr)	non obs.
$6s42d \ 1,^3D_2$	41963,89	0,20	$\left. \begin{array}{l} ^3D_2 (41963,665) \\ ^1D_2 41963,998 \end{array} \right\}$	Bl.	16259,61	3,69	16007,61	tf	non obs.

Les nombres d'ondes entre parenthèses correspondent aux valeurs calculées à l'aide de la

théorie du défaut quantique à plusieurs voies d'après M. AYMAR et O. ROBAUX [2] pour les niveaux  $6snd \ ^3D_2$  ( $n \geq 31$ ).

Tableau IX

Niveaux  $J=3$  à partir des niveaux intermédiaires  $5d6p\ ^3P_2$  ( $25956,495\text{ cm}^{-1}$ ),  
 $5d6p\ ^3D_3$  ( $24979,810\text{ cm}^{-1}$ ) et  $5d6p\ ^3F_4$  ( $23757,029\text{ cm}^{-1}$ ).

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$	$\sigma_{\text{obs}}$ $5d6p\ ^3P_2$	I	$\sigma_{\text{obs}}$ $5d6p\ ^3D_3$	I	$\sigma_{\text{obs}}$ $5d6p\ ^3F_4$	I
* <u><math>5d\ 8s\ ^3D_3</math></u>	40146,62	0,06	-	-	15166,87 6,68	TF	16389,53 6,56	TF
* $6s11d\ ^3D_3$	40423,39	0,05	-	-	15443,60 3,41	TF	16666,35 3,38	TF
* $6s\ 9g\ ^3G_3$	40663,93	0,13	-	-	15684,12 3,93	f	non obs.	
* <u><math>5d\ 7d\ ^3G_3</math></u>	40698,58	0,08	-	-	15718,85 8,66	TF	16941,48 8,51	F
* $6s12d\ ^3D_3$	40748,18	0,05	-	-	Bl. 15768,47 8,26	m	16991,15 8,18	TF
* <u><math>5d\ 7d\ ^1F_3</math></u>	40867,29	0,09	-	-	15887,57 7,38	TF	17110,17 7,20	TF
* $6s13d\ ^3D_3$	40987,20	0,07	-	-	Bl. 16007,63 7,44	m	17230,17 7,20	F
* $6s14d\ ^3D_3$	41164,70	0,05	non obs.		Bl. 16184,83 4,64	f	17407,67 4,70	F

Tableau IX (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p^3P_2^o)$	I	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p^3D_3^o)$	I	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p^3F_4^o)$	I
* 6s15d $^3D_3$	41300,80	0,12	BL. 15344,11 0,60	f	BL. 16320,79 0,60	m	17543,77 0,80	(tf) I
* 6s13g $^3G_3$	41379,94	0,10	15423,45 9,94	tf	non obs.		non obs.	
* 6s16d $^3D_3$	41405,95	0,10	15449,47 5,96	m	16426,21 6,03	TTF	17649,12 6,15	tf
* 5d 7d $^3D_3$	41459,36	0,08	15502,85 9,34	m	16479,65 9,44	TTF	17702,28 9,31	TTF
* 6s14g $^3G_3$	41470,94	0,10	15514,45 0,94	m	BL. 16491,13 0,94	TF	non obs.	
* 6s17d $^3D_3$	41495,60	0,09	15539,08 5,57	m	16515,73 5,54	TF	17738,66 5,69	(m)
* 6s18d $^3D_3$	41562,55	0,05	15606,05 2,54	m	16582,60 2,55	F	non obs.	
* 6s19d $^3D_3$	41618,44	0,19	15662,14 8,63	f	16638,45 8,26	f	non obs.	
* 6s20d $^3D_3$	41665,29	0,12	BL. 15708,38 4,87	ttf	BL. 16684,71 4,52	f	17908,50 5,29	ttf
* 6s18g $^3G_3$	41693,89	0,05	non obs.		16714,09 3,89	f	non obs.	
* 6s21d $^3D_3$	41704,46	0,05	BL. 15747,89 4,38	ttf	BL. 16724,65 4,45	F	17947,43 4,46	m

Tableau IX (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3P_2^o$ )	I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3D_3^o$ )	I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3P_4^o$ )	I
* $5d \ 7d \ ^3P_3$	41726,61	0,05	15770,17 6,66	m	16746,78 6,59	TF	17969,54 6,57	TF
* $6s19g \ ^3G_3$	41729,46	0,20	15772,97 9,46	tf	16749,76 9,57	TF	17972,33 9,36	TF
* $6s22d \ ^3D_3$	41739,11	0,17	15782,79 9,28	f	16759,22 9,03	TF	17981,99 9,02	f
* $6s23d \ ^3D_3$	41767,18	0,07	15810,76 7,25	tf	16787,30 7,11	F	non obs.	
* $6s24d \ ^3D_3$	41791,59	0,10	15835,10 1,59	tff	16811,71 1,52	m	non obs.	

↓  
confondu avec  $^3D_2$

Tableau X

Niveaux  $J = 3, 4$  ou  $5$  des configurations paires  $6sng$  et  $5dn'l$ , à partir des niveaux intermédiaires  $5d6p \ ^3P_2^o$  ( $25956,495 \text{ cm}^{-1}$ ),  $5d6p \ ^3D_3^o$  ( $24979,810 \text{ cm}^{-1}$ ) et  $5d6p \ ^3F_4^o$  ( $23757,029 \text{ cm}^{-1}$ )

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) à deux étages	$\delta E_0$	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) [ $\lambda$ ] de $6sng \ ^1G_4$	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3P_2^o$ )	I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3D_3^o$ )	I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3F_4^o$ )	I
* $5d \ 8s \ ^3D_3$	40146,62	0,06	-	-	-	15166,87 6,68	TF	16389,53 6,56	TF
* $6s \ 8g \ G$	40300,01	0,05	non obs.	-	-	15320,17 299,98	tf	16543,01 0,04	TF
* $6s \ 9g \ ^3G_3$	40663,93	0,13	-	-	-	15684,12 3,93	f	non obs.	non obs.
* $6s \ 9g \ G$	40665,54	0,05	non obs.	-	-	15685,70 5,51	tf	16908,54 5,57	TF
* $5d \ 7d \ ^3G_3$	40698,58	0,08	-	-	-	15718,85 8,66	TF	16941,48 8,51	F
* $5d \ 7d \ ^1F_3$	40867,29	0,09	-	-	-	15887,57 7,38	TF	17110,17 7,20	TF
* $6s10g \ ^3G_4$	40925,39	0,05	non obs.	-	-	15945,58 5,39	TF	non obs.	non obs.
* $6s10g \ G$	40926,75	0,05	-	-	-	15946,99 6,80	f	17169,67 6,70	TF
* $5d \ 7d \ ^3G_4$	40974,28	0,07	-	-	-	15994,54 4,35	TF	17217,18 4,21	TF



Tableau X (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) à deux étages	$\delta E_0$	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) [ $^3$ ] de $6sng \ ^1G_4$	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p \ ^3P_2)$	I	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p \ ^3D_3)$	I	$\sigma_{\text{obs}}(5d6p \ ^3P_0)$	I
* $6s11g \ G$	41119,20	0,10	-	non obs.		16139,39 9,20	f	17362,59 9,62	TF
* $6s11g \ ^3G_4$	41119,97	0,09	non obs.	non obs.		16140,16 9,97	m		
* $6s12g \ G$	41266,44	0,05	41265,70	non obs.	m	16286,61 6,42	m	Bl. 17509,44 6,47	m
* $6s13g \ ^3G_3$	41379,94	0,10	41379,93	15423,45 9,94	tf	non obs.		non obs.	
* $6s13g \ G$	41380,34	0,08	-	non obs.		16400,53 0,34	f	non obs.	
* $5d \ 7d \ ^3D_3$	41459,37	0,09	-	15502,85 9,34	m	16479,65 9,46	f	17702,28 9,31	TF
* $6s14g \ ^3G_5$	41470,57	0,08	41470,46	non obs.		non obs.		17713,54 0,57	f
* $6s14g \ ^3G_3$	41470,94	0,05	-	non obs.	m	16491,13 0,94	TF	non obs.	
* $6s15g \ ^3G_5$	41539,67	0,05	-	non obs.		non obs.		17782,64 9,67	TF
$6s15g \ G$	41543,74	0,05	41543,82	non obs.		16563,93 3,74	tf	non obs.	
* $5d \ 7d \ ^3G_5$	41550,27	0,10	-	non obs.		non obs.		17793,24 0,27	TF

Tableau X (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) à deux étages	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) [ $^3$ ] de $6sng \ ^1G_4$	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3P_2^o$ ) I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3D_3^o$ ) I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3F_4^o$ ) I
* $6s16g \ G$	41603,46	0,10	non obs.	16623,65 3,46	non obs.
* $6s16g \ ^3G_5$	41603,87	0,05	non obs.	non obs.	17846,84 3,87
$6s17g \ G$	41652,77	0,10	non obs.	16672,96 2,77	non obs.
* $6s17g \ ^3G_5$	41653,05	0,05	non obs.	non obs.	17896,02 3,05
$6s18g \ ^3G_3$	41693,89	0,05	non obs.	16714,09 3,89	non obs.
* $6s18g \ G$	41694,31	0,05	non obs.	non obs.	17937,28 4,31
* $5d \ 7d \ ^3F_3$	41726,61	0,05	15770,17 6,66	16746,78 6,59	17969,54 6,57
$6s19g \ G$	41729,46	0,11	( $^3G_3$ ) 15772,97 9,46	16749,76 9,57	17972,33 9,36
* $6s20g \ G$	41759,07	0,05	non obs.	16779,25 9,06	18002,05 9,08
$6s21g \ G$	41784,79	0,05	non obs.	16805,01 4,82	18027,74 4,77
$6s22g \ G$	41807,14	0,05	non obs.	16827,34 7,15	18050,09 7,12

Tableau X (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) à deux étages	$\delta E_0$	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) [3] de $6sng^1G_4$	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p^3P_2^o$ )	I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p^3D_3^o$ )	I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p^3F_4^o$ )	I
6s23g G	41826,30	0,05	41826,33	non obs.		16846,45 6,26	TTF	18069,32 6,35	tf
* 6s24g $^3G_4$	41842,22	0,05	-	non obs.		Bl. 16862,47 2,28	TTF	18085,19 2,22	TTF
	41843,90	0,30	41843,49	non obs.		non obs.		18086,87 3,90	m
* $5d\ 7d\ ^3F_4$	41845,61	0,05	-	non obs.		16865,79 5,60	TTF	18088,59 5,62	TTF
6s25g G	41858,70	0,06	41858,51	non obs.		non obs.		18101,67 8,70	f
* 6s25g $^3G_4$	41858,89	0,05	-	non obs.		16879,08 8,89	TTF	non obs.	
	41871,90	0,12	41871,78	non obs.		16892,21 2,02	m	18114,76 1,79	tf
6s27g G	41883,82	0,05	41883,73	non obs.		16904,04 3,85	f	18126,76 3,79	tff
* 6s28g G	41894,42	0,07	non obs.	non obs.		16914,61 4,42	tff	18137,6 4,6	(f)
6s29g G	41903,86	0,06	41903,89	non obs.		16923,99 3,80	(f)	19149,89 3,92	(tf)
6s30g G	41912,53	0,19	41912,54	non obs.		16932,54 2,35	tff	18155,69 2,72	(tf)

Tableau X (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) à deux étages	$\delta E_0$	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) [ $\Sigma$ ] de $6sng \ ^1G_4$	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3P_2^o$ ) I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3D_3^o$ ) I	$\sigma_{\text{obs}}$ ( $5d6p \ ^3F_4^o$ ) I
6s31g G	41920,58	0,10	41920,27	non obs.	non obs.	18163,35 0,58 (tf)
6s32g G	41927,32	0,05	41927,40	non obs.	non obs.	18170,29 7,32 (tf)
* 6s33g G	41933,62	0,10	non obs.	non obs.	non obs.	18176,59 3,62 (ttf)
6s34g G	41940,05	0,10	41939,58	non obs.	non obs.	18183,02 0,05 (ttf)

Tableau XI - Niveaux appartenant à la configuration 5d7d, observés dans l'expérience d'absorption à deux étages utilisant la détection OG.

5d7d	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$5d6p \ ^3P_0^o$	$5d6p \ ^3P_1^o$	$5d6p \ ^3P_2^o$	$5d6p \ ^3D_3^o$	$5d6p \ ^3F_4^o$
* $^3G_3$	40698,58	0,08	-	-	-	15718,85 8,66	16941,48 8,51
* $^3D_1$	40684,4	[4]	-	-	-	non obs.	non obs.
* $^1F_3$	40867,29	0,09	-	-	-	15887,57 7,38	17110,17 7,20
* $^3D_2$	40905,58	0,13	-	15201,37 5,45	-	15925,32 5,72	non obs.
* $^3G_4$	40974,28	0,07	-	non obs.	-	15994,54 4,35	17217,18 4,21
* $^3S_1$	41019,54	0,14	-	15315,46 9,54	-	non obs.	non obs.
* $^3F_2$	41204,731	[1]	-	15500,67 4,75	15248,02 4,51	16224,86 4,67	non obs.
* $^3P_0$	41441,221	[1]	non obs.	15737,08 1,16	non obs.	non obs.	non obs.
* $^3D_3$	41459,37	0,09	non obs.	non obs.	15502,85 9,34	16479,65 9,46	17702,28 9,31
* $^3G_5$	41550,27	0,10	15908,31 impossible	non obs.	non obs.	non obs.	17793,24 0,27
* $^1P_1$	41570,34	0,05	15928,23 0,33	15866,28 0,36	15613,84 0,33	non obs.	non obs.

Tableau XI (suite)

$5d7d$	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$5d6p \ ^3P_0^o$	$5d6p \ ^3P_1^o$	$5d6p \ ^3P_2^o$	$5d6p \ ^3D_3^o$	$5d6p \ ^3F_4^o$
* $^3F_3$	41726,61	0,05	non obs.	non obs.	15770,17 6,66	16746,78 6,59	17969,54 6,57
$^1D_2$	41841,660	[7]	non obs.	16137,23 Bl.	15885,19 1,68	16862,47 Bl.	non obs.
* $^3F_4$	41845,61	0,05	non obs.	non obs.	non obs.	16865,79	18088,59
* $^3P_1$	41930,87	0,15	16288,69 0,79	16226,74 0,82	15974,53 1,02	5,60	5,62
* $^1G_4$	42041,72	0,13	non obs.	non obs.	non obs.	non obs.	non obs.
* $^3P_2$	42118,33	0,12	non obs.	16414,13 8,21	16161,88 8,37	17062,04 1,85	18284,56 1,59
* $^1S_0$	42370,51	0,40	non obs.	16660,43 0,51	non obs.	non obs.	-

Tableau XII - Niveaux appartenant à la configuration 5d8d, observés dans l'expérience d'absorption à deux étages utilisant la détection OG.

$5d_{3/2}8d$	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$I, l$ $5d6p \ ^3P_0^o$	$\sigma_{\text{obs}}$	$I, l$ $5d6p \ ^3P_1^o$	$n_i^*$	$\delta n_i^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
* $^3D_1$	42878,73	0,05	17236,62 8,72	F, TTL	17174,66 8,74	F, TTL	5,2181	0,1
* $^3G_3$	42882,44	[5]	non obs.		non obs.		5,2205	
* $^1F_3$	43007,00	[5]	non obs.		17703,23 × , impossible	tf, L	5,3032	
* $^3D_2$	43030,77	0,10	non obs.		17326,69 0,77	TF, <TTL	5,3194	0,1
* $^3G_4$	43065,16	[5]	non obs.		non obs.		5,3432	
* $^3S_1$	43089,61	0,10	17447,31 9,41	TF, <TTL	17385,73 9,81	TF, TTL	5,3603	0,1
* $^3F_2$	43153,99	[5]	-		-		5,4060	
* $^3P_0$	43281,68	0,10	-		17577,59 1,68	F, TTL	5,5004	0,1

Tableau XII (suite)

$5d_{5/2}^{8d}$	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\Delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_1^o$	$I, l$	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_2^o$	$I, l$	$n_2^*$	$\delta n_2^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
*	$^3D_3$	43663,01	0,21	non obs.		17706,52		TF, TTL	5,2074	0,1
*	$^3G_5$	43706,41	[5]	non obs.		non obs.			5,2355	
*	$^1P_1$	43717,67	0,15	18013,73 7,81	TF, TL	17761,03 7,52		TF, L	5,2429	0,1
*	$^3F_3$	43763,40	0,10	non obs.		17806,91 3,40		TF, L	5,2732	0,1
*	$^1D_2$	43801,79	0,06	18096,65 0,73	m, TTL	17844,36 0,85		TF, TTL	5,2990	0,1
*	$^3F_4$	43818,98	[5]	non obs.		non obs.			5,3107	
*	$^3P_1$	43851,68	0,29	18147,31 1,39	as., F, tf	17895,48 1,97	as.,	TF, TTL	5,3332	0,2
*	$^1G_4$	43941,15	[5]	non obs.		non obs.			5,3961	
*	$^3P_2$	44014,87	0,21	18310,58 4,66	m, TTL	18058,59 5,08		TF, TTL	5,4497	0,1
*	$^1S_0$	44117,40	0,18	18413,32	F, TTL	non obs.			5,5269	0,1



Tableau XIII - Niveaux appartenant à la configuration 5d9d, observés dans l'expérience d'absorption à deux étages utilisant la détection OG.

$5d_{3/2}9d$	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\Delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_1^o$	I, $\ell$	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_2^o$	I, $\ell$	$n_1^*$	$\delta n_1^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
* $^3D_1$	44079,50	0,09	18375,51 9,59	F, TL		18122,92 9,41	as., m, TL		6,2278	0,1
* $^3G_3$	44081,55	0,10	non obs.			18125,06 1,55	m, f		6,2300	0,1
* $^1F_3$	44162,22	0,28	non obs.			18205,73 2,22	TF, tf		6,3208	0,4
* $^3D_2$	44191,79	0,17	18487,88 1,96	TF, TL		18235,13 1,62	TF, f		6,3551	0,2
* $^3G_4$	44221,17	[5]	non obs.			non obs.			6,3897	
* $^3S_1$	44233,15	0,12	18529,19 3,27	TF, L		18276,54 3,03	TF, L		6,4041	0,1
* $^3F_2$	44238,01	0,20	18534,13 8,21	TF, TTL		18281,32 7,81	TF, TTL		6,4099	0,2
* $^3P_0$	44324,10	0,14	18620,02 4,10	as., F, TL		non obs.			6,5158	0,1

Tableau XIII (suite)

$5d_{5/2}^{9d}$	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$I, l$ $5d6p \ ^3P_1^o$	$\sigma_{\text{obs}}$	$I, l$ $5d6p \ ^3P_2^o$	$n_2^*$	$\delta n_2^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
* $^3D_3$	44871,34	0,12	non obs.		18914,85 1,34	TTF, TL	6,2177	0,2
* $^3G_5$	44894,82	[5]	non obs.		non obs.		6,2436	
* $^1P_1$	44904,38	0,10	19200,39 4,47	TF, TL	18947,79 4,28	TF, TL	6,2542	0,1
* $^3F_3$	44960,21	0,10	non obs.		19003,72 0,21	as., F, tf	6,3174	0,1
* $^3F_4$	44991,11	[5]	non obs.		non obs.		6,3532	144
* $^1D_2$	44998,69	0,42	19294,19 8,27	as., F, TTL	19042,62 9,11	as., TF, TTL	6,3621	0,5
* $^3P_1$	45022,98	0,05	19318,93 3,01	TF, $\langle f$	19066,45 2,94	TTF, L	6,3908	0,1
* $^1G_4$	45046,44	[5]	non obs.		non obs.		6,4189	
* $^1S_0$	45118,90	0,18	19414,82 8,90	TF, TTL	non obs.		6,5080	0,2
* $^3P_2$	45129,66	0,83	19425,36 9,44	x, f, f	19173,17 9,66	m, TTL	6,5216	1,0

Tableau XIV - Niveaux appartenant aux configurations basses 5d<sub>ns</sub>, observés dans l'expérience d'absorption à deux étages utilisant la détection OG.

5d8s	$E_0$ (cm <sup>-1</sup> )	$\delta E_0$ (cm <sup>-1</sup> )	$\sigma_{\text{obs}}$	I, l 5d6p <sup>3</sup> D <sub>3</sub> <sup>o</sup>	$\sigma_{\text{obs}}$	I, l 5d6p <sup>3</sup> F <sub>4</sub> <sup>o</sup>
* <sup>3</sup> D <sub>1</sub>	39382,78	[4]	-		-	
* <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	39464,968	[7]	-		-	
* <sup>3</sup> D <sub>3</sub>	40146,62	0,06	15166,87 6,68	TF	16389,53 6,56	TF
* <sup>1</sup> D <sub>2</sub>	40223,744	[7]	15243,90 3,71	F	non obs.	
5d9s	$E_0$ (cm <sup>-1</sup> )	$\delta E_0$ (cm <sup>-1</sup> )	$\sigma_{\text{obs}}$	I, l 5d6p <sup>3</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>	$\sigma_{\text{obs}}$	I, l 5d6p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <sup>o</sup>
* <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	42234,5	0,4	16530,80 4,88	x, tf, TL	16277,62 4,11	x, tf, tf
* <sup>3</sup> D <sub>3</sub>	42967	[5]	non obs.		-	
* <sup>1</sup> D <sub>2</sub>	43057	[5]	non obs.		-	
5d10s	$E_0$ (cm <sup>-1</sup> )	$\delta E_0$ (cm <sup>-1</sup> )	$\sigma_{\text{obs}}$	I, l 5d6p <sup>3</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>	$\sigma_{\text{obs}}$	I, l 5d6p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <sup>o</sup>
* <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	43688,26	0,75	17984,17 8,25	f, TTL	non obs.	
* <sup>3</sup> D <sub>3</sub>	44473,13	0,19	non obs.		18516,64 3,13	as., F, TTL



Tableau XV - Paramètres de structure fine ajustés pour les configurations basses 5dnd .

Paramètres	Valeurs ( $\text{cm}^{-1}$ )			
	5d6d	5d7d	5d8d	5d9d
$E_{\text{moy}}$	$37145,3 \pm 5,2$	$41478,6 \pm 2,6$	$43515,9 \pm 2,6$	$44669,3 \pm 5,4$
$F_2$ (5dnd)	$32,9 \pm 0,8$	$13,9 \pm 0,4$	$6,9 \pm 1,5$	$3,6 \pm 0,9$
$F_4$ (5dnd)	$1,07 \pm 0,22$	$0,48 \pm 0,12$	$0,25$	$0,13$
$G_0$ (5dnd)	$741,6 \pm 6,3$	$306,1 \pm 3,3$	$159,0 \pm 3,4$	$97,4 \pm 6,7$
$G_2$ (5dnd)	$11,4 \pm 0,7$	$3,8 \pm 0,5$	$2,1 \pm 0,6$	$1,3$
$G_4$ (5dnd)	$1,01 \pm 0,20$	$0,38 \pm 0,09$	$0,18 \pm 0,07$	$0,12$
$\zeta_{5d}$	$297,3 \pm 8,7$	$303,0 \pm 2,4$	$301,2 \pm 2,0$	$315,3 \pm 4,2$
$\zeta_{nd}$	$37,0 \pm 10,1$	$22,8 \pm 2,8$	$20,6 \pm 2,1$	$7,1 \pm 4,4$
	18 niveaux	18 niveaux	18 niveaux	18 niveaux
	$\overline{\langle \Delta E \rangle} = 17 \text{ cm}^{-1}$	$\overline{\langle \Delta E \rangle} = 9 \text{ cm}^{-1}$	$\overline{\langle \Delta E \rangle} = 10 \text{ cm}^{-1}$	$\overline{\langle \Delta E \rangle} = 22 \text{ cm}^{-1}$

Tableau XVI - Niveaux d'énergie appartenant à la configuration 5d6d .

J	E <sub>th</sub> (cm <sup>-1</sup> )	E <sub>0</sub> (cm <sup>-1</sup> )	ΔE (cm <sup>-1</sup> )	Pourcentage de la composante principale	
				L.S.	jj
0	37697,9	37675,8	-22,0	(87,3) <sup>3</sup> P <sub>0</sub>	(90,1) 3/2 3/2
	38925,8	38923,9	- 1,9	(87,3) <sup>1</sup> S <sub>0</sub>	(90,1) 5/2 5/2
1	35914,3	35933,8	19,5	(76,0) <sup>3</sup> D <sub>1</sub>	(94,4) 3/2 3/2
	36445,5	36446,6	1,1	(48,4) <sup>3</sup> S <sub>1</sub>	(63,6) 3/2 5/2
	36921,1	36902,5	-18,6	(46,5) <sup>1</sup> P <sub>1</sub>	(95,0) 5/2 5/2
	38009,5	38023,2	13,7	(95,3) <sup>3</sup> P <sub>1</sub>	(70,9) 5/2 3/2
2	36188,7	36200,4	11,7	(95,6) <sup>3</sup> D <sub>2</sub>	(70,2) 3/2 5/2
	37088,8	37088,8	0,0	(84,3) <sup>3</sup> F <sub>2</sub>	(94,8) 3/2 3/2
	37827,3	37837,4	10,1	(58,2) <sup>1</sup> D <sub>2</sub>	(60,7) 5/2 3/2
	38266,7	38267,7	0,9	(71,4) <sup>3</sup> P <sub>2</sub>	(91,6) 5/2 5/2
3	35911,3	35894,3	-17,1	(50,4) <sup>3</sup> G <sub>3</sub>	(88,0) 3/2 3/2
	36173,1	36165,3	-7,8	(45,1) <sup>3</sup> G <sub>3</sub>	(65,6) 3/2 5/2
	36644,1	36628,9	-15,2	(68,1) <sup>3</sup> D <sub>3</sub>	(99,2) 5/2 5/2
	37513,2	37504,0	-9,1	(93,9) <sup>3</sup> F <sub>3</sub>	(73,9) 5/2 3/2
4	36336,0	36348,9	13,0	(95,5) <sup>3</sup> G <sub>4</sub>	(70,6) 3/2 5/2
	37734,4	37732,2	-2,1	(86,9) <sup>3</sup> F <sub>4</sub>	(47,8) 5/2 5/2
	38166,6	38177,1	10,5	(86,7) <sup>1</sup> G <sub>4</sub>	(52,1) 5/2 5/2
5	36824,1	36824,5	13,4	(100.) <sup>3</sup> G <sub>5</sub>	(100.) 5/2 5/2

Tableau XVII - Niveaux d'énergie appartenant à la configuration 5d7d .

J	E <sub>th</sub> (cm <sup>-1</sup> )	E <sub>0</sub> (cm <sup>-1</sup> )	ΔE (cm <sup>-1</sup> )	Pourcentage de la composante principale	
				L.S.	jj
0	41444,6	41441,2	-3,4	(75,2)	<sup>3</sup> P <sub>0</sub> (97,3) 3/2 3/2
	42368,9	42370,5	1,6	(75,2)	<sup>1</sup> S <sub>0</sub> (97,3) 5/2 5/2
1	40694,7	40684,4	-10,3	(68,5)	<sup>3</sup> D <sub>1</sub> (97,4) 3/2 3/2
	41023,2	41019,5	-3,6	(50,0)	<sup>3</sup> S <sub>1</sub> (86,0) 3/2 5/2
	41575,0	41570,3	-4,7	(54,0)	<sup>1</sup> P <sub>1</sub> (98,7) 5/2 5/2
	41924,2	41930,9	6,7	(80,7)	<sup>3</sup> P <sub>1</sub> (88,7) 5/2 3/2
2	40903,9	40905,7	1,8	(81,9)	<sup>3</sup> D <sub>2</sub> (87,1) 3/2 5/2
	41188,8	41204,7	15,9	(70,6)	<sup>3</sup> F <sub>2</sub> (98,3) 3/2 3/2
	41840,8	41841,7	0,8	(36,4)	<sup>1</sup> D <sub>2</sub> (84,3) 5/2 3/2
	42120,9	42118,4	-2,5	(59,6)	<sup>3</sup> P <sub>2</sub> (97,1) 5/2 5/2
3	40695,4	40698,6	3,2	(65,7)	<sup>3</sup> G <sub>3</sub> (95,9) 3/2 3/2
	40875,9	40867,3	-8,6	(28,7)	<sup>1</sup> F <sub>3</sub> (87,1) 3/2 5/2
	41454,3	41459,3	5,0	(63,2)	<sup>3</sup> D <sub>3</sub> (99,8) 5/2 5/2
	41733,9	41726,6	-7,3	(79,1)	<sup>3</sup> F <sub>3</sub> (90,5) 5/2 3/2
4	40968,7	40974,3	5,5	(82,1)	<sup>3</sup> G <sub>4</sub> (88,1) 3/2 5/2
	41850,9	41845,6	-5,3	(58,7)	<sup>3</sup> F <sub>4</sub> (70,7) 5/2 3/2
	42047,9	42041,7	-6,2	(60,9)	<sup>1</sup> G <sub>4</sub> (79,0) 5/2 5/2
5	41538,7	41550,2	11,5	(100.)	<sup>3</sup> G <sub>5</sub> (100.) 5/2 5/2

Tableau XVIII - Niveaux d'énergie appartenant à la configuration 5d8d .

J	$E_{th}$ ( $cm^{-1}$ )	$E_0$ ( $cm^{-1}$ )	$\Delta E$ ( $cm^{-1}$ )	Pourcentage de la - composante principale L.S.
0	43273,7	43281,7	8,0	(68,5) $^3P_0$
	44122,3	44117,3	-5,0	(68,5) $^1S_0$
1	42880,9	42882,0	-2,1	(63,8) $^3D_1$
	43092,6	43089,8	-2,8	(45,3) $^3S_1$
	43712,6	43717,8	5,2	(57,1) $^1P_1$
	43855,4	43851,4	-4,1	(68,4) $^3P_1$
2	43035,9	43030,6	-5,3	(68,1) $^3D_2$
	43141,0	43154,0	13,0	(60,7) $^3F_2$
	43809,4	43800,7	-8,7	(28,8) $^1D_2$
	44000,7	44015,0	14,3	(54,7) $^3P_2$
3	42881,4	42882,4	1,0	(73,7) $^3G_3$
	43014,6	43007,0	-7,6	(32,2) $^3F_3$
	43657,8	43663,7	5,9	(60,1) $^3D_3$
	43762,3	43763,8	1,5	(67,2) $^3F_3$
4	43067,2	43065,2	-2,0	(70,2) $^3G_4$
	43824,2	43819,0	-5,2	(38,9) $^3F_4$
	43955,8	43941,2	-14,6	(53,8) $^3F_4$
5	43697,8	43706,4	8,6	(100.) $^3G_5$



Tableau XIX - Niveaux d'énergie appartenant à la configuration 5d9d .

J	$E_{th}$ ( $cm^{-1}$ )	$E_0$ ( $cm^{-1}$ )	$\Delta E$ ( $cm^{-1}$ )	Pourcentage de la composante principale L.S.
0	44328,6	44234,1	-4,5	(64,9) $^3P_0$
	45156,1	45119,0	-37,1	(64,9) $^1S_0$
1	44091,9	44079,6	-12,3	(61,9) $^3D_1$
	44210,4	44223,3	22,9	(41,4) $^3S_1$
	44911,0	44904,4	-6,6	(57,8) $^1P_1$
	45003,2	45023,0	19,8	(61,2) $^3P_1$
2	44183,6	44191,9	8,3	(60,6) $^3D_2$
	44255,8	44238,1	-17,7	(59,5) $^3F_2$
	44979,5	44999,0	19,5	(37,4) $^3D_2$
	45090,5	45129,6	39,1	(52,5) $^3P_2$
3	44092,2	44081,8	-10,4	(76,2) $^3G_3$
	44170,0	44162,5	-7,5	(39,3) $^3F_3$
	44883,7	44871,5	-12,2	(60,0) $^3D_3$
	44957,0	44960,2	3,2	(60,3) $^3F_3$
4	44199,8	44221,2	21,4	(62,1) $^3G_4$
	44989,1	44991,1	2,0	(35,8) $^3G_4$
	45065,5	45046,4	-19,1	(58,9) $^3F_4$
5	44903,7	44894,8	-8,9	(100.) $^3G_5$



Tableau XX - Listes des séries de niveaux pairs convergeant vers la limite  $5d^2D_{5/2}$ .

TABEAU XXa - Série  $5d_{5/2} ns_{1/2} J=3$

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_0$	$I, l$	$n_2^*$	$\delta n_2^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
$6s \ ^3D_3$	9596,524	[6]		-		1,7149	
$7s \ ^3D_3$	33526,569	[6]		-		2,8636	
$8s \ ^3D_3$	40146,62	0,06	observé à partir de $5d6p \ ^3D_3^0$ et $^3P_4^0$			3,8091	0,02
9s	42967	[5]		-		4,810	
10s	44473,13	0,19	18516,64	as., F	F, TTL	5,8227	0,2
11s	45355,25	0,10	19398,75		F, TTL	6,8268	0,2
12s	45918,88	0,12	19962,38		TF, TTL	7,8277	0,3
13s	46302,03	0,10	20345,53		F, TL	8,8288	0,4
14s	46573,80	0,10	20617,30	as., F	F, TTL	9,8284	0,5
15s	46774,07	0,10	20817,58	as., F	F, TL	10,8291	0,6
16s	46925,64	0,10	20969,14	as., F	F, L	11,8295	0,8
17s	47043,13	0,11	21086,63		m, L	12,8295	1,0
18s	47135,94	0,10	21179,45	as., m	m, L	13,8280	1,2
19s	47210,80	0,10	21254,31		m, f	14,8289	1,5
20s	47271,83	0,10	21315,33		m, f	15,8283	1,8
21s	47322,32	0,10	21365,83		m, f	16,8279	2,2
22s	47364,57	0,10	21408,08		m, f	17,8276	2,4

Tableau XXa (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p^3P_2^o$	I, l	$n_2^*$	$\delta n_2^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
23s	47400,24	0,10	21443,75	as., F	L	18,8268	3,1
24s	47430,65	0,10	21474,15	m	f	19,8257	3,6
25s	47456,80	0,10	21500,31	m	f	20,8249	4,2
26s	47479,44	0,10	21522,95	as., m	f	21,8241	4,8
27s	47499,18	0,10	21542,69	f	f	22,8237	5,5
28s	47516,49	0,16	21560,00	m	f	23,8235	9,9
29s	47531,75	0,10	21575,26	f	f	24,8232	7,0
30s	47545,29	0,13	21588,80	f	f	25,824	10
31s	47557,22	x	21600,73	f		26,815	x
32s	47568,02	Bl.	21611,53	Bl., f	f	27,817	12
33s	47577,71	0,13	21621,21	f		28,819	14
34s	47586,33	0,12	21629,83	f	f	29,807	15
35s	47594,19	0,15	21637,70	ttf		30,804	20
36s	47601,35	0,10	21644,86	tf	f	31,802	15
37s	47607,92	0,15	21651,43	tf		32,813	24
38s	47613,8	x	21657,3	f		33,80	x
39s	47619,16	0,15	21662,67	tf		34,787	29
40s	47624,12	0,15	21667,63	f		35,780	32
41s	47628,71	0,15	21672,22	tf		36,778	34
42s	47632,7	x	21676,2	ttf		37,72	x

Tableau XXb - Série  $5d_{5/2}$  nd J=10u2

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$I, l$ $5d6p \ ^3P_1^o$	$\sigma_{\text{obs}}$	$I, l$ $5d6p \ ^3P_2^o$	$n_2^*$	$\delta n_2^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
11d	46100,46	0,06	20396,32 0,40	TF, <TL	20144,02 0,51	F, L	8,2575	0,2
12d	46432,01	0,09	20727,84 1,92	TF, <L	20475,60 2,09	F, f	9,2670	0,3
13d	46668,45	0,05	20964,36 8,44	TF, L	20711,97 8,46	TF, f	10,2653	0,3
14d	46844,65	0,05	21140,58 4,66	F, L	20888,14 4,63	F, f	11,2621	0,4
15d	46980,01	0,10	21275,17 79,25	C., F	21023,52 80,01	f, f	12,2621	0,9
16d	47085,77	0,05	21381,71 5,79	F, f	21129,26 5,75	m	13,2605	0,5
17d	47170,49	0,19	21466,17 0,25	Bl., TF, TFL	21214,00 0,49	ttf	14,2640	2,5
18d	47238,76	0,05	21534,64 8,72	m, f	21282,30 8,79	m, tf	15,2626	0,8
19d	47294,82	0,07	21590,67 4,75	m, f	21338,40 4,89	f, f	16,2608	1,4

Tableau XXb (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	5d6p $^3P_1^o$	I, l	$\sigma_{\text{obs}}$	5d6p $^3P_2^o$	I, l	$n_2^*$	$\delta n_2^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
20d	47341,54	0,10	21637,36 1,44	m, tf		21385,14 1,63	f, L		17,2614	2,4
21d	47380,73	0,11	21676,54 0,62	m, tf		21424,35 0,84	f		18,2602	3,1
22d	47414,07	0,10	non obs.			21457,58 4,07	tf		19,2620	3,3
23d	47442,35	0,05	21738,28 2,36	f, f		21485,85 2,34	f		20,2546	1,9
24d	47467,03	0,20	21762,75 6,83	f, f		21510,74 7,23	f		21,2591	8,8
25d	47488,62	0,31	non obs.			21532,13 8,62	tff		22,2723	15,6
26d	47507,01	0,10	non obs.			21550,52	f		23,2603	5,8
27d	47523,13	x	non obs.			21566,64	x, tff		24,2437	x
28d	47537,65	x	non obs.			21581,16	x, tff		25,2452	x
29d	47550,80	x	non obs.			21594,31	x, tff		26,2682	x

Tableau XXc - Série  $5d_{5/2}$  nd J=1ou2

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_1^o$	I, l	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_2^o$	I, l	$n_2^*$	$\delta n_2^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
14d	46874,62	0,05	21170,54 4,62	as., F, TL		20918,13 4,62	as., TF, TL		11,4624	0,4
15d	47003,32	0,11	21299,48 3,56	x, f		21046,83 3,32	F, L		12,4628	0,9
16d	47104,32	0,05	21400,28 4,36	F, L		21147,78 4,27	F, L		13,4621	0,5
17d	47185,20	0,05	21481,14 5,22	as., m, L		21228,69 5,18	F, L		14,4626	0,7
18d	47250,82	0,05	21546,71 0,79	as., m, L		21294,35 0,84	as., TF, L		15,4618	0,9
19d	47304,82	0,08	21600,66 4,74	C., TTF, f		21348,41 4,90	TF, f		16,4604	1,5
20d	47349,94	0,05	21645,86 9,94	m, f		21393,44 9,93	F, f		17,4616	1,3
21d	47387,85	0,05	21683,76 7,84	f, f		21431,36 7,85	F, f		18,4610	1,4
22d	47420,03	0,07	21715,88 19,96	f, f		21463,60 20,09	as., TF, tf		19,4589	2,4
23d	47447,69	0,10	21743,87 7,95	tf, L		21491,20 7,69	as., TF, tf		20,4600	3,7

Tableau XXc (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\Delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$5d6p \ ^3P_1^o$		$5d6p \ ^3P_2^o$		$n_2^*$	$\delta n_2^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
			$\sigma_{\text{obs}}$	I, l	$\sigma_{\text{obs}}$	I, l		
24d	47471,54	0,10	21767,59 1,67	Bl., F	21515,05 1,54	as., F	21,4595	4,2
25d	47492,33	0,10	non obs.		21535,84 2,33	as., F	22,4617	4,9
26d	47510,41	0,10	non obs.		21553,92	F	23,4578	5,5
27d	47526,36	0,10	non obs.		21569,87	as., F	24,4561	6,4
28d	47540,46	0,10	non obs.		21583,97	as., F	25,4537	7,2
29d	47553,03	0,10	non obs.		21596,54	F	26,4543	8,0
30d	47564,22	0,10	non obs.		21607,73	F	27,4520	8,9
31d	47574,26	0,14	21870,1 4,2	x, ttf	21617,77 4,26	F	28,450	14
32d	47583,34	0,10	21880,0 4,1	x, ttf	21626,85 3,34	as., F	29,454	11
33d	47591,45	0,10	non obs.		21634,96	F	30,446	12
34d	47598,94	0,11	non obs.		21642,45	m	31,457	15
35d	47605,52	0,15	non obs.		21649,03	m	32,434	23
36d	47611,60	0,18	non obs.		21655,11	m	33,423	30



Tableau XXc (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\Delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$5d6p \ ^3P_1^o$		$5d6p \ ^3P_2^o$		$n_2^*$	$\delta n_2^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
			$\sigma_{\text{obs}}$	I, l	$\sigma_{\text{obs}}$	I, l		
37d	47617,37	0,10	non obs.		21660,88	f	34,450	18
38d	47622,37	0,24	non obs.		21665,88	f	35,421	48
39d	47626,90	0,10	non obs.		21670,41	f	36,375	21
40d	47631,26	0,12	non obs.		21674,77	f	37,371	28
41d	47635,19	0,10	non obs.		21678,70	tf	38,342	25
42d	47638,62	0,10	non obs.		21682,13	tff	39,255	27
43d	47642,27	0,10	non obs.		21685,78	tf	40,301	29
44d	47645,5	x	non obs.		21689,0	x, tf	41,297	x
45d	47648,2	x	non obs.		21691,7	x, tf	42,192	x
48d	47655,9	0,3	non obs.		21699,4	tff	45,103	126
49d	47658,7	x	non obs.		21702,2	x, tff	46,321	x

TABIEAU XXd - Série  $5d_{5/2}$  nd J=3

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_2^o$	I, l	$n_2^*$	$\delta n_2^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
11d	46087,97	0,10	20131,47		TF, f	8,2255	0,5
12d	46420,82	0,10	20464,33		TF, tf	9,2265	0,5
13d	46660,82	0,10	20704,33		TF, tf	10,2275	0,5
14d	46839,30	0,33	20882,81		TF, L	11,2275	2,5
15d	46976,17	0,10	21019,68		TF, f	12,2300	1,0
16d	47082,89	0,10	21126,40		TF, tf	13,2300	1,0
17d	47167,82	Bl.	21211,32	Bl.,	TF, f	14,2285	1,5
18d	47236,72	0,10	21280,23		TF, tf	15,2295	1,5
19d	47293,24	0,10	21336,75		TF, tf	16,2300	2,0
20d	47340,20	0,10	21383,70		TF, tf	17,2300	2,0
21d	47379,63	0,10	21423,14		F, tf	18,2300	3,0
22d	47413,07	0,10	21456,58		TF, tf	19,2295	3,5
23d	47441,64	0,10	21485,15		F, f	20,2275	3,5
24d	47466,32	0,10	21509,82		F, f	21,2280	4,0
25d	47487,77	0,10	21531,28		F, f	22,2300	5,0
26d	47506,42	0,10	21549,92		F, f	23,2265	5,5

Tableau XXd (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\Delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6d \ ^3P_2$	I, l	$n_2^*$	$\delta n_2^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
27d	47522,87	0,16	21566,38		F, L	24,226	11
28d	47537,38	0,10	21580,89		F	25,2255	7,5
29d	47550,27	0,11	21593,78		m	26,2240	9,0
30d	47561,68	0,15	21605,19		m	27,215	14
31d	47572,07	0,17	21615,58		m	28,222	18
32d	47581,20	0,10	21624,71		m	29,207	11
33d	47589,79	0,10	21633,30		m	30,234	13
34d	47597,28	0,18	21640,79		f	31,224	25
35d	47604,28	0,22	21647,79		m	32,242	34
36d	47610,20	0,11	21653,71		f	33,186	19
37d	47616,23	0,15	21659,74		f	34,238	28
38d	47621,59	0,15	21665,10		f	35,263	30
39d	47626,22	x	21669,73		tf	36,23	x
40d	47629,99	x	21673,5		ttf	37,07	x

TABLEAU XXe - Série  $5d_{5/2}$  nd J=3

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6d \ ^3P_2^0$	I, l	$n_2^*$	$\delta n_2^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
14d	46858,20	0,85	20901,71	m	m, TTL	11,3515	5,5
15d	46991,36	1,37	21034,87	f	f, TTL	12,3585	11,5
16d	47094,27	0,30	21137,77	f	f, TTL	13,3515	3,5
17d	47177,30	0,21	21220,81	m	m, TTL	14,355	3,0
18d	47244,56	0,25	21288,07	m	m, TTL	15,3575	4,5
19d	47299,43	0,25	21342,94	m	m, TTL	16,352	5,0
20d	47345,58	0,10	21389,09	m	m, TTL	17,3565	2,5
21d	47384,96	0,17	21428,47	c., m	m, TTL	18,379	5,0
22d	47417,01	0,10	21460,52	f, TL	f, TL	19,3585	3,5
23d	47445,10	0,13	21488,61	f, TL	f, TL	20,359	5,0
24d	47469,18	0,16	21512,69	f, TL	f, TL	21,354	7,0
25d	47490,20	0,10	21533,71	f, TL	f, TL	22,352	5,0
26d	47508,57	0,10	21552,08	f	f	23,350	6,0
27d	47524,87	0,12	21568,38	m, l	m, l	24,357	8,0
28d	47538,92	0,18	21582,43	m	m	25,3395	13,5
29d	47551,75	0,18	21595,26	m	m	26,347	15,0

Tableau XXe (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_2$	$I, \ell$	$n_2^*$	$\delta n_2^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
30d	47563,09	0,16	21606,60		m	27,346	15,0
31d	47573,21	0,10	21616,72		m	28,3405	10,5
32d	47582,48	0,13	21625,99		m	29,3535	14,5
33d	47590,54	0,23	21634,05		m	30,329	29,0
34d	47598,12	0,14	21641,63		m	31,341	20,0
35d	47604,81	0,10	21648,32		m	32,3235	15,5
36d	47610,67	0,10	21654,18		f	33,265	17,0
37d	47616,74	0,15	21660,25		f	34,3325	27,5

Tableau XXf - Série  $5d_{5/2} \text{ ng } J=10u2$

Niveau	$E_0 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$\delta E_0 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \text{ } ^3P_1^o$	I, l	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \text{ } ^3P_2^o$	I, l	$n_2^*$	$\delta n_2^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
5g	43323,03	0,10	17618,95 3,03	F, f		17366,8 3,3	x, tf		5,0015	0,1
6g	44659,33	0,07	18955,31 9,39	TF, tf		18702,77 9,26	F, ttf		5,9978	0,1
7g	45467,19	0,07	19763,17 7,25	C., TF, L		19510,63 7,12	F, tf		6,9951	0,1
8g	45992,30	0,09	20288,13 2,21	F, tf		20035,89 2,38	F, ttf		7,9932	0,2
9g	46352,53	0,11	20648,34 2,42	TF, tf		20396,15 2,64	m, tf		8,9916	0,4
10g	46610,37	0,09	20906,20 0,28	TF, tf		20653,96 0,45	m, tf		9,9904	0,4
11g	46801,10	0,09	21096,93 1,01	F, ttf		20844,70 1,19	m, tf		10,9890	0,6
12g	46946,31	0,05	21242,22 6,30	F, ttf		20989,83 6,32	m, tf		11,9884	0,4
13g	47059,24	0,12	21355,16 9,24	F, ttf		21102,79 9,28	x, m, tf		12,9873	1,2
14g	47148,88	0,10	21444,70 8,78	m, ttf		21192,48 8,97	f, tf		13,9866	1,3

Tableau XXf (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\Delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$5d6p \ ^3P_1^o$		$5d6p \ ^3P_2^o$		$\sigma_{\text{obs}}$	$I, l$	$n_2^*$	$\delta n_2^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
			$\sigma_{\text{obs}}$	$I, l$	$\sigma_{\text{obs}}$	$I, l$				
15g	47221,18	0,05	21517,06 1,14	m, tf	21264,73 1,22	f, f	14,9856	0,8		
16g	47280,11	0,12	21576,15 0,23	m, f	21323,50 0,00	f, L	15,9801	2,3		
17g	47329,18	0,06	21625,15 9,23	f, f	21372,63 9,12	f, tf	16,9788	1,4		
18g	47370,29	0,14	21666,21 0,29	f, ttf	21414,25 0,74	Bl., F	17,9773	3,7		
19g	47405,01	0,10	21700,99 5,07	f, f	21448,52 5,01	f, L	18,9735	3,2		
20g	47434,84	0,10	21730,70 4,78	f, f	21478,35 4,84	f, f	19,9761	3,7		
21g	47460,39	0,10	21756,27 0,35	x, tf	21503,90 0,39	f, f	20,9742	4,2		
22g	47482,60	0,10	non obs.		21526,11 2,60	tf, f	21,9753	4,9		
23g	47501,92	0,13	non obs.		21545,43	tf, f	22,9736	7,2		
24g	47519,88	Bl.	non obs.		21563,39	Bl., F, L	24,0351	6,4		
25g	47533,95	0,10	21829,3 3,38	x, tf, L	21577,46 3,95	f, tf	24,9779	7,1		
26g	47546,97	0,10	non obs.		21590,48	ttf, L	25,9571	8,0		

Tableau XXg - Série  $5d_{5/2} \text{ ng } J=2$

Niveau	$E_0 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$\delta E_0 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \text{ } ^3P_1^o$	I, l	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d7p \text{ } ^3P_2^o$	I, l	$n_2^*$	$\delta n_2^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
5g	43302,45	0,10	17598,37 2,45	m, tf		17346,1 2,6	x, f		4,98983	0,05
6g	44646,31	0,10	18942,47 6,55	Bl., F, f		18689,82 6,31	TF, ttf		5,9850	0,1
7g	45460,40	0,05	19756,36 0,44	as., F		19503,86 0,35	as., TF, ttf		6,9846	0,05
8g	45987,72	0,08	20283,56 7,64	m, tf		20031,31 7,80	TF, ttf		7,9826	0,2
9g	46349,92	0,10	20645,74 49,82	as., F, ttf		20393,52 50,01	F, tf		8,9830	0,3
10g	46608,25	0,10	20904,07 8,15	F, ttf		20651,85 8,34	F, tf		9,9808	0,5
11g	46799,56	0,10	21095,45 9,56	Bl., F, L		20843,07 9,56	F, tf		10,9797	0,6
12g	46945,13	0,05	21241,07 5,15	f		20988,62 5,11	F, tf		11,9792	0,4
13g	47058,29	0,10	21354,14 8,22	x, f		21101,80 8,29	f, tf		12,9779	1,0
14g	47148,20	0,10	non obs.			21191,71 8,20	m, tf		13,9781	1,3
15g	47220,59	0,05	21516,47 0,55	tf		21264,14 0,63	m, f		14,9766	0,7

↓ niveaux confondus avec ceux de la série présentée au Tableau XXf.



Tableau XXI - Listes des séries de niveaux pairs convergeant vers la limite  $5d^2D_{3/2}$ .

TABIEAU XXI-1 - Série  $5d_{3/2}$  ns J=1ou2

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_1^o$	I, l	$n_1^*$	$\delta n_1^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
11s	44554,39	0,53	18850,31	F	F, TTL	6,8270	0,8
12s	45118,90	Bl.	19414,82	Bl., TF	TF, TTL	7,8299	Bl.
13s	45501,82	0,10	19797,74	m	TL	8,8312	0,4
14s	45773,25	0,10	20069,17	as., f	L	9,8302	0,4
15s	45973,35	0,17	20269,27	f	TF, TTL	10,8305	1,0
16s	46125,14	Bl.	20421,06	TF	f	11,8330	Bl.
17s	46242,13	0,16	20538,05	as., F	F, TL	12,8292	1,5
18s	46335,03	0,10	20630,95	as., m	m, TL	13,8287	1,2
19s	46410,39	0,10	20706,31	m	m, L	14,8373	1,4
20s	46470,99	0,10	20766,91	TF	TF, <L	15,8307	1,8
21s	46521,86	Bl.	20817,78	as., m	m, L	16,8390	Bl.
22s	46563,82	Bl.	20859,74	F	F, L	17,8335	Bl.
23s	46599,30	0,10	20895,22	m	m, f	18,8278	2,9
24s	46629,63	0,10	20925,55	as., m	m, f	19,8239	3,5
25s	46655,96	0,10	20951,88	f	f, L	20,8303	4,0
26s	46678,52	0,10	20974,44	as., F	F, f	21,8265	4,6

Tableau XXI-1 (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_1^o$	I, $l$	$n_1^*$	$\delta n_1^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
27s	46698,03	0,10	20993,95	F	f, ttf	22,8141	5,2
28s	46715,33	0,16	21011,25	f	f, tf	23,8119	9,7
29s	46730,62	0,10	21026,54	f	f, tf	24,8122	6,7
30s	46744,13	0,10	21040,05	f	f, tf	25,8096	7,6
31s	46756,21	0,10	21052,13	f	f, tf	26,8113	8,5
32s	46766,97	0,10	21062,89	f	f, tf	27,8093	9,5
33s	46776,35	0,10	21072,27	f	f, f	28,7777	11
34s	46785,13	0,10	21081,05	as., tf		29,780	12
35s	46792,64	0,10	21088,56	tf		30,727	13

TABIEAU XXI-2 - Série  $5d_{3/2}$  nd J=0

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d_{3/2} \text{ } ^3P_1^o$	I, $\ell$	$n_1^*$	$\delta n_1^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
5d $^3P_0$	23209,027	[6]				2,152	
6d $^3P_0$	37675,84	[10]				3,447	
7d $^3P_0$	41441,221	[1]	15737,08		TTF	4,480	
8d $^3P_0$	43281,67	0,10	17577,59		F, TTL	5,5004	0,1
9d $^3P_0$	44324,10	0,14	18620,02	as., F, TL		6,5158	0,2
10d	44956,43	0,81	19252,35	as., F, TTL		7,4970	1,6
11d	45397,82	0,28	19693,74	F, TTL		8,5219	0,8
12d	45698,91	0,43	19994,83	F, TTL		9,5234	1,7
13d	45918,28	0,37	20214,20	as., m, TTL		10,5252	1,9
14d	46080,30	0,10	20376,22	as., F, TL		11,5083	0,7
15d	46197,71	0,10	20493,63	TTF, L		12,4221	0,8
16d	46308,47	0,11	20604,39	as., F, TL		13,5194	1,2
17d	46387,71	0,19	20683,63	F		14,5108	2,6
18d	46451,99	0,12	20747,91	TTF, <L		15,4980	2,0
19d	-----						
20d	46551,63	0,12	20847,55	F, L		17,5266	2,9

Tableau XXI-2 (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\Delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_1^o$	$I$	$l$	$n_1^*$	$\delta n_1^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
21d	46588,72	0,10	20884,64		F	f	18,5141	2,8
22d	46620,54	0,10	20916,46	as.,	F	f	19,5089	3,3
23d	46647,74	0,10	20943,66		F	tf	20,4998	3,8
24d	46671,30	0,11	20967,22	as.,	F	tf	21,4923	4,9
25d	46691,74	0,11	20987,66	C.,	F	tf	22,4812	5,5

Tableau XXI-3 - Série  $5d_{3/2}$  nd J=1

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_1^o$	I, l	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_2^o$	I, l	$n_1^*$	$\delta n_1^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
6d $^3D_1$	35933,772	[6]		-					3,1620	
7d $^3D_1$	40684,4	[4]		-					4,1988	
8d $^3D_1$	42878,73	0,05	17236,62 8,72	F, TTL		17174,66 8,74	F, TTL		5,2181	0,1
9d $^3D_1$	44079,50	0,09	18375,51 9,59	F, TL		18122,92 9,41	as., m, TL		6,2278	0,1
10d	44809,06	0,10	19104,98 9,06	as., TF, L		18852,49 8,98	Bl., F, L		7,2291	0,2
11d	45290,50	0,05	19586,43 0,51	as., F, <L		19333,99 0,48	m, L		8,2345	0,1
12d	45624,17	0,06	19920,15 4,23	f, f		19667,62 4,11	F, ttf		9,2422	0,2
13d	45862,05	0,23	20157,74 1,82	F, f		19905,79 2,28	m, f		10,2386	1,1
14d	46039,85	0,15	20335,62 39,70	F, f		20083,51 40,00	m, ttf		11,2373	1,0
15d	46176,39	0,10	20472,31 6,39	TF, <L		20218,87 5,36	Bl., TF, TTL		12,2399	0,9
16d	46282,77	0,05	20578,66 2,74	F		20326,31 2,80	f, L		13,2390	0,5

Tableau XXI-3 (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$5d6p \ ^3P_1^o$		$5d6p \ ^3P_2^o$		$\sigma_{\text{obs}}$	I, l	$n_1^*$	$\delta n_1^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
			$\sigma_{\text{obs}}$	I, l	$\sigma_{\text{obs}}$	I, l				
17d	46367,63	0,16	20663,39 7,47	F, f	20411,30 7,79	f, L	14,2391	2,1		
18d	46438,19	0,06	20734,05 8,13	TF, <L	20481,75 8,24	TF, <f	15,2691	1,0		
19d	46492,78	0,08	20788,62 2,70	TF, f	20536,37 2,86	tf, tf	16,2400	1,4		
20d	46539,46	0,10	20835,38 9,46	TF, tf	non obs.		17,2355	2,3		
21d	46578,96	0,17	20874,71 8,79	F, tf	20622,63 9,12	f, f	18,2380	4,8		
22d	46612,36	0,15	20908,13 2,21	F, tf	20656,02 2,51	tf, tf	19,2380	4,7		
23d	46640,72	0,13	20936,64 0,72	F, tf	non obs.		20,2297	4,8		
24d	46664,70	0,10	20960,72 4,80	TF, <f	20708,11 4,60	TF, tf	21,1999	4,2		
25d	46686,95	0,05	20982,82 6,90	F, tf	20730,51 7,00	f, tf	22,2373	2,3		
26d	46705,84	0,12	21001,64 5,72	F, f	20749,47 5,96	as., TF, TL	23,2488	6,6		
27d	46721,85	0,12	21017,77 1,85	F, tf	20765,63 2,12	x, f, tf	24,2234	7,6		
28d	46736,38	0,11	21032,30	m, tf	non obs.		25,2231	7,8		

Tableau XXI-3 (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$5d6p \ ^3P_1^o$		$5d6p \ ^3P_2^o$		$n_1^*$	$\delta n_1^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
			$\sigma_{\text{obs}}$	I, l	$\sigma_{\text{obs}}$	I, l		
29d	46749,24	0,10	21045,16	m, tf	non obs.		26,2194	8,0
30d	46760,65	0,10	21056,57	f, tf	non obs.		27,2099	8,9
31d	46770,89	0,10	21066,81	f	non obs.		28,201	11
32d	46780,10	0,10	21076,02	f	non obs.		29,193	12
33d	46788,47	0,10	21084,39	tf	non obs.		30,190	12

Tableau XXI-4 - Série  $5d_{3/2}$  nd J=1ou2

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	5d6p $^3P_1^o$	I, l	$\sigma_{\text{obs}}$	5d6p $^3P_2^o$	I, l	$n_1^*$	$\delta n_1^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
27d	46724,75	0,06	21020,61 4,69	TF	TF	20768,31 4,80	F	tf	24,4132	4,0
28d	46738,72	0,07	21034,57 8,65	TF	tf	20782,29 8,78	m	tf	25,3956	5,3
29d	46751,26	0,13	21047,05 1,13	F	tf	20794,89 1,38	m	tf	26,3866	10,9
30d	46762,24	0,10	21058,16 2,24	C., F	f	20806,16 2,65	x, f	f	27,3571	9,0
31d	46772,25	0,10	21068,17 2,25	F	f	non obs.			28,3416	10,0
32d	46781,16	0,10	21077,18 1,26	F	f	20824,57 1,06	f	f	29,3137	11,0
33d	46789,41	0,05	21085,36 9,44	F	f	20832,88 9,37	as., f	tf	30,3084	6,5
34d	46796,97	0,06	21092,83 6,91	F	f	20840,53 7,02	m	f	31,3155	8,5
35d	46803,61	0,05	21099,56 3,64	F		20847,09 3,58	tf	tf	32,2889	7,0
36d	46809,81	0,05	21105,76 9,84	F	f	20853,29 9,78	tf	tf	33,2840	7,8



Tableau XXI-4 (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_1^o$	$I, \ell$	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_2^o$	$I, \ell$	$n_1^*$	$\delta n_1^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
37d	46815,45	0,10	21111,37 5,45	F, tf	non obs.				34,274	18
38d	46820,66	0,11	21116,58 0,66	F, f	non obs.				35,272	20
39d	46825,34	0,10	21121,26 5,34	m, tf	non obs.				36,246	21
40d	46829,65	0,10	21125,57 9,65	m	non obs.				37,219	23
41d	46833,60	0,10	21129,52 3,60	f	non obs.				38,183	25
42d	46837,39	0,15	21133,31 7,39	f, tf	non obs.				39,183	40
43d	46840,67	0,10	21136,59 0,67	f	non obs.				40,114	29
44d	46844,14	0,11	21140,06 4,14	F	non obs.				41,175	34
45d	46847,13	0,10	21143,05 7,13	f	non obs.				42,160	34
46d	46849,74	0,26	21145,66 9,74	f, L	non obs.				43,081	94

TABIEAU XXI-5 - Série  $5d_{3/2}$  nd J=3

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_2^o$	I, l	$n_1^*$	$\delta n_1^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
11d	45319,42	0,10	19362,93	F	f	8,3091	0,3
12d							
13d	45877,60	0,10	19921,11	TF		10,3155	0,5
14d	46046,82	0,10	20090,33	TF	tf	11,2827	0,6
15d	46188,30	0,10	20231,81	F	ttf	12,3407	0,9
16d	46289,61	0,10	20333,12	m	tf	13,3119	1,1
17d	46371,77	0,10	20415,28	F	ttf	14,2939	1,3
18d	46435,83	0,10	20479,34	F	tf	15,2310	1,7
19d	46495,42	0,10	20538,93	BL.,	f, f	16,2917	2,0
20d	46542,98	0,10	20586,49	m	ttf	17,3182	2,4
21d	46581,47	0,10	20625,08	F	tf	18,3108	2,8

Tableau XXI-6 - Série  $5d_{3/2} \text{ ng } J=2$

Niveau	$E_0 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$\delta E_0 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_1^o$	I, l	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_2^o$	I, l	$n_1^*$	$\delta n_1^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
5g	42509,92	0,05	16805,82 9,90	F, tf		16553,45 9,94	TF, ttf	4,99461	0,03	
6g	43851,68	Bl.	18147,31 1,39	as., F, tf		17895,48 1,97	as., TF, TTL	5,9912		
7g	44663,66	0,05	18959,62 3,70	Bl., TF, tf		18707,12 3,61	as., TF, tf	6,9911	0,1	
8g	45188,43	0,05	19484,36 8,44	C., TF, f		19231,92 8,41	as., TF, ttf	7,9865	0,1	
9g	45549,69	0,05	19845,66 9,74	as., F, f		19593,15 9,64	TF, ttf	8,9854	0,2	
10g	45808,04	0,10	20103,86 7,94	m, ttf		19851,65 8,14	F, ttf	9,9843	0,4	
11g	45999,43	0,08	20295,27 9,35	as., m, tf		20043,02 9,51	TF, ttf	10,9848	0,5	
12g	46144,51	0,10	20440,33 4,41	F, ttf		20188,12 4,61	F, tf	11,9820	0,7	
13g	46257,57	0,10	20553,39 7,47	as., F, ttf		20301,18 7,67	as., F, ttf	12,9804	0,9	
14g	46346,81	0,10	20642,73 6,81	f, ttf		20390,66 7,15	Bl., F, f	13,9729	1,2	

Tableau XXI-6 (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\Delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_1^o$	$I, l$	$\sigma_{\text{obs}}$	$5d6p \ ^3P_2^o$	$I, l$	$n_1^*$	$\delta n_1^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
15g	46419,67	0,12	20715,59 9,67	F, ttf	non obs.				14,9773	1,8
16g	46479,09	0,08	20774,93 9,01	F, ttf	20522,67 9,16	m, tf			15,9791	1,5
17g	46528,04	0,06	20823,90 7,98	F	20571,61 8,10	m, tf			16,9751	1,3
18g	46569,20	0,15	20864,97 9,05	m, ttf	20612,86 9,35	f, f			17,9742	3,9
19g	46603,96	0,06	20899,81 3,89	f	20647,53 4,02	f, ttf			18,9710	1,9
20g	46633,78	0,07	20929,63 3,71	f, ttf	20677,36 3,85	f, tf			19,9729	2,4
21g	46659,33	0,19	20955,06 9,14	tf	20703,03 9,52	tf			20,9705	7,9
22g	46681,31	0,10	20977,23 1,31	f	20724,98 1,47	x, tf			21,9599	4,7
23g	46700,74	0,09	20996,57 0,65	tf, tf	20744,34 0,83	f, f			22,9622	4,7
24g	46717,60	0,26	21013,26 7,34	tf	20761,36 7,85	f, f			23,952	17
25g	46732,51	0,10	21028,43 2,51	tf, tf	20776,36 2,85	x, f, ttf			24,9448	6,9

Tableau XXI-6 (suite)

Niveau	$E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta E_0$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$5d6p \ ^3P_1^o$		$5d6p \ ^3P_2^o$		$n_1^*$	$\delta n_1^*$ ( $\times 10^{-3}$ )
			$\sigma_{\text{obs}}$	I, l	$\sigma_{\text{obs}}$	I, l		
26g	46745,76	0,10	21041,77 5,85	x, ttf	20789,17 5,66	tf	25,9379	8,0
27g	46757,86	x	non obs.	x	20801,37	x, tf	26,9576	x



THESE de 3ème CYCLE

Martine DIEULIN

Volume 2

**T H E S E** présentée

pour l'obtention

du

**DIPLOME de DOCTEUR de 3e CYCLE**

à

**L'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE**

- Paris 6 -

**spécialité : OPTIQUE**

**mention :**

par **M adame Martine SONET épouse DIEULIN**.....

**Sujet de la thèse :** Application de l'effet optogalvanique à l'analyse spectrale  
de Ba I : Mise en évidence des niveaux de Rydberg des  
séries paires 6snl et 5dnl et interprétation théorique.

soutenu le 15 Octobre 1981..... devant la Commission composée de :

**M. Bernard CAGNAC**..... **Président**

**M. Jacques BAUCHE**..... **examinateur**

**M. Pierre CAMUS**..... «

**M. Jean-François DELPECH**..... «

**M. Claude MORILLON**..... «

**M**..... «

**M. Serge FENEUILLE**..... **invité**



Tableaux Ia et Ib - Niveau intermédiaire  $5d6p\ ^3P_0$  ( $E_{II} = 25642,103\text{ cm}^{-1}$ )

Tableau Ia - Colorants utilisés pour la cavité laser n° 2 : R640, RB.

$\sigma_{\text{obs}}\text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r)\text{ (cm}^{-1}\text{)}$	Allure de la raie	OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}}\text{ (cm}^{-1}\text{)}$	Classification
15593,73	x	F		(2) BL { (1)	$6s16s\ ^3S_1$ $6s\ 6p\ ^3P_1^o \rightarrow 6s\ 7s\ ^1S_0$
15613,75	x	m			
15657,42	x	TF		(2)	$6s15d\ ^3D_1$
15714,07	x	F		(2)	$6s17s\ ^3S_1$
15737,04	x	m			
15764,32	x	TF		(2) BL { (1)	$6s16d\ ^3D_1$ $6s\ 5d\ ^3D_2 \rightarrow 5d\ 6p\ ^3D_3^o$
15769,99	x	f			
15782,68	x	tf			
15809,19	x	m		(2)	$6s18s\ ^3S_1$
15811,08	x	f			
15814,63	x	tff			

Tableau Ia (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15823,07	x	tff			
15849,44	x	F	(2)	*	6s17d $^3D_1$
15854,96	x	m			
15866,32	x	F			
15870,15	x	tf			
15872,89	x	f			
15885,10	x	F	(2)	*	6s19s $^3S_1$
15888,67	x	f			
15895,53	x	m			
15908,31	x	f			
15916,87	x	TF	(2)	*	6s18d $^3D_1$
15920,59	x	tf			
15928,23	x	TF	(2)	*	<u>5d 7d</u> $^1P_1$
15931,72	x	tff			
15945,56	x	tff			
15950,56	x	TF	(2)	*	6s20s $^3S_1$

Tableau Ia (suite)

$\sigma_{\text{obs}}$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r)$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}}$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	Classification
15959,76	x	tff			
15961,95	x	tf			
15968,94	x	m			
15972,62	x	f			
15974,42	x	TF	(2)	*	$6s19d \ ^3D_1$
15975,67	x	tf			
15977,05	x	m			
15979,07	x	tff			
15982,37	x	f			
15987,60	x	tff			
* 15994,49	0,05	f			
16000,65	0,06	m , tf	(2)	*	$6s21s \ ^3S_1$
16022,55	0,08	f , f	(2)	*	$6s20d \ ^3D_1$
16037,57	0,07	F , f			
16043,56	réf.	m , tf	(2)	*	$6s22s \ ^3S_1$
16062,07	0,05	f , tf	(2)	*	$6s22s \ ^3D_1$

16037,57

243181.563

105600.111

15944.443

14511.383

126.055

\*

Tableau Ia (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16079,80	0,05	f , tf	(2)	*	$6s23s \ ^3S_1$
16095,62	0,07	f , tf	(2)	*	$6s22d \ ^3D_1$
16110,62	0,07	f , tf	(2)	*	$6s24s \ ^3S_1$
16124,20	0,06	f , tf	(2)	*	$6s23s \ ^3D_1$
16137,20	0,10	f , tf	(2)	*	$6s25s \ ^3S_1$
16148,98	0,05	f , f	(2)	*	$6s24d \ ^3D_1$
16153,10	x	tf , f			
16160,47	0,05	tf	(2)	*	$6s26s \ ^3S_1$
16161,83	0,05	m , TTL(4Δσ)	(1)	*	$5d \ 6p \ ^3P_2^o \rightarrow 5d \ 7d \ ^3P_2$
16170,35	0,11	f , tf	(2)	*	$6s25s \ ^3D_1$
16180,19	0,08	f , f	(2)	*	$6s27s \ ^3S_1$
16189,06	0,12	tf , f	(2)	*	$6s26d \ ^3D_1$
16197,68	0,05	f , tf	(2)	*	$6s28s \ ^3S_1$
16205,64	0,05	tf , tf	(2)	*	$6s27d \ ^3D_1$
16213,23	0,10	f , tf	(2)	*	$6s29s \ ^3S_1$
16220,19	0,05	tf , f	(2)	*	$6s28d \ ^3D_1$

Tableau Ia (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16226,96	0,05	m , tf	(2)	$6s30s \ ^3S_1$
16229,59	0,05	tf , L		
16233,09	0,05	tf , f	(2)	$6s29s \ ^3D_1$
16238,95	0,05	f , tf	(2)	$6s31s \ ^3S_1$
16244,60	0,05	tf , L	(2)	$6s30d \ ^3D_1$
16248,90	x			
16249,85	0,05	as., { f , f	(2)	$6s32s \ ^3S_1$
16254,92	0,05	f , tf	(2)	$6s31d \ ^3D_1$
16259,68	0,05	m , tf	(2)	$6s33s \ ^3S_1$
16264,21	0,05	f , f	(2)	$6s32d \ ^3D_1$
16268,40	0,05	m , tf	(2)	$6s34s \ ^3S_1$
16272,45	0,05	f , L	(2)	$6s33d \ ^3D_1$
16276,29	0,05	m , tf	(2)	$6s35s \ ^3S_1$
16277,90	x	inv. , m		
16280,08	0,05	F , L	(2)	$6s34d \ ^3D_1$

Tableau Ia (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16283,35	0,05	f , <f	(2)	$6s36s \ ^3S_1$
16286,68	0,05	f , <L	(2)	$6s35d \ ^3D_1$
16288,69	0,05	F , <L	(2)	$5d \ 7d \ ^3P_1$
16291,39	0,05	m , <f	(2)	$6s37s \ ^3S_1$
16293,31	0,05	F , L	(2)	$6s36d \ ^3D_1$
16296,62	0,05	F , tf	(2)	$6s38s \ ^3S_1$
16298,62	0,25	tf , L	(2)	$6s37d \ ^3D_1$
16301,99	0,05	f , f	(2)	$6s39s \ ^3S_1$
16304,03	x	tf , f	(2)	$6s38d \ ^3D_1$
16306,97	0,06	tf , L	(2)	$6s40s \ ^3S_1$
16311,00	0,05	f , tf	(2)	$6s41s \ ^3S_1$
16335,88	0,05	f , tf		
16360,20	0,05	TF , <L	(1)	$6s \ 5d \ ^3D_3 \rightarrow 5d \ 6p \ ^3P_0$
16374,16	0,05	m , f		
16389,81	0,05	f , f		

Tableau Ia (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16414,30	x	(f), TL			
16418,22	0,09	tf, f			
16433,79	0,05	tf, tf	(1)	3,627	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow 6p^2 \ ^3P_0$
16450,68	0,05	tf, tf			
16479,60	0,05	m, tf			
16488,73	0,05	TF, tf	(1)	8,591	6s 5d $^3D_2 \rightarrow 5d 6p \ ^3P_1^o$

Plage non explorée pour  $16490 \text{ cm}^{-1} < \sigma_{\text{obs}} < 16608 \text{ cm}^{-1}$ .

Tableau Ib - Colorant utilisé pour la cavité laser n° 2 : R 6G.

16608,08	x	tf	(1)	8,145	6s 5d $^3D_1 \rightarrow 5d 6p \ ^3P_0^o$
16670,12	x	m	(1)	0,125	6s 5d $^3D_1 \rightarrow 5d 6p \ ^3P_1^o$
16695,31	x	tf			
16713,50	x	tff			
16736,91	x	f			
16741,003	x réf.	F	(1)	1,003	6s 5d $^3D_2 \rightarrow 5d 6p \ ^3P_2^o$

Tableau Ib (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16743,95	x	tf	(1) 3,967	$5d^2 \ ^3P_2 \rightarrow 5d \ 4f \ (J=1)^{\circ}$
16746,65	x	f		
16760,64	x	f		
16767,13	x	f		
16827,54	x	tf		
16836,16	x	tf		
16846,35	x	tf	(1) 6,337	$5d^2 \ ^3P_2 \rightarrow 6s \ 13p \ ^1P_1^{\circ}$
16862,34	0,05	f , ttf		
16865,83	0,05	m , ttf		
16872,31	0,30	tf		
16909,79	x	tf		
16922,56	0,09	TF , ttf	(1) 2,537	$6s \ 5d \ ^3D_1 \rightarrow 5d \ 6p \ ^3P_2^{\circ}$
16923,84	x	tf		
16927,71	0,05	f , L		
16970,38	0,05	f , ttf		
16972,63	x	ttf		



Tableau Ib (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16977,32	0,06	m , ttf	Bl (0)	$\left\{ \begin{array}{l} 4,711 \\ 4,789 \end{array} \right.$	$2p \ ^3P_1 \rightarrow 3d \ ^3D$
17014,31	0,05	TTT , ttf			$2p \ ^3P_2 \rightarrow 3d \ ^3D$
17018,12	0,05	f , ttf			
17050,88	x	ttf			
17061,85	0,11	f , L			
17078,48	x	tf , f			
17091,69	0,05	f , ttf			
17124,83	0,05	f , tf			
17135,38	0,05	tf , L			
17149,43	x	f			
17158,95	0,05	F , tf	(1)	8,853	$6s \ 5d \ ^1D_2 \rightarrow 6s \ 6p \ ^1P_1^o$
17173,01	x	ttf			
17180,90	0,05	f , ttf	(1)	0,854	$6s \ 6p \ ^3P_2^o \rightarrow 6s \ 6d \ ^3D_1$
17182,91	0,05	f , tf	(1)	2,905	$5d^2 \ ^3P_1 \rightarrow 5d \ 4f \ (J=1)^o$
17195,03	0,05	F , ttf			
17197,94	0,05	f , ttf			

Tableau Ib (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
17199,38	x	f	(1)	*	
17207,60	x	tf			
17209,82	x	tf			
17219,77	0,06	TF, tf	(1)	9,715	$6s\ 5d\ ^3D_3 \rightarrow 5d\ 6p\ ^1F_3$
17235,94	x	m, L	(1)	5,907	$6s\ 6p\ ^3P_2^o \rightarrow 6s\ 6d\ ^3D_2$
17236,62	0,68	F, TTL(5Δσ)	(2)	*	$5d\ 8d\ ^3D_1$
17249,19	0,05	tf, ttf	(1)	9,210	$5d\ 6p\ ^3D_1^o \rightarrow 5d\ 7d\ ^3P_0$
17266,32	x	tf, ttf			
17270,55	0,32	tf, tf	(1)	0,317	$5d\ 6p\ ^3F_2^o \rightarrow 6s\ 9d\ ^1D_2$
17276,29	0,07	f, ttf	(1)	6,342	$5d\ 6p\ ^3F_3^o \rightarrow 5d\ 8s\ ^1D_2$
17284,10	0,05	f, ttf	(1)	4,132	$6s\ 6p\ ^1P_1^o \rightarrow 6s\ 7d\ ^1D_2$
17297,73	0,05	tf, tf	(1)	7,997	$5d\ 6p\ ^3D_2^o \rightarrow 6s26d\ ^3D_2$
17303,32	0,08	TF, tf	(1)	3,351	$6s\ 6p\ ^3P_2^o \rightarrow 6s\ 6d\ ^3D_3$
17309,90	0,10	f, f	(1)	10,170	$5d\ 6p\ ^3D_2^o \rightarrow 5d\ 7d\ ^1D_2$
17318,22	0,05	tf			
17320,19	0,07	f	(1)	0,565	$5d\ 6p\ ^3D_2^o \rightarrow 6s27d\ ^1D_2$

Tableau Ib (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
17326,50	0,05	f , L			
17378,00	0,05	tf , L	(1)	8,067	$5d^2 \ ^3P_2 \rightarrow 6s16p \ ^3P_1^o$
17384,06	0,36	tf , $\overline{\text{TL}}(4\Delta\sigma)$	(1)		
17393,77	x	tf , tf			
17397,10	x	f , L			
17399,27	0,05	tf , tf	(1)		
17401,79	0,08	tf , tf	(1)		
17404,80	réf.	tf , tf	(1)		
17447,31	0,06	$\overline{\text{TF}}$ , $\overline{\text{TL}}$	(2)	*	$5d_{3/2} \ 8d_{3/2} \ J=1$
17510,85	x	f , tf			



Tableaux IIa et IIb - Niveau intermédiaire 5d6p  $^3P_1^o$  ( $E_{II} = 25704,083 \text{ cm}^{-1}$ )

Tableau IIa - Colorants utilisés pour la cavité laser n° 2 : R640, RB, R6G.

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15201,37	x(R640)	TF	(2) *	<u>5d 7d <math>^3D_2</math></u>
15205,95	x(R640)	tf		
15225,28	x(R640)	f , TL		
15225,40	x(R640)	f		
15278,27	0,05	TF	(2) *	6s13d $^3D_1$
15282,27	x(R640)	tff		
15283,47	0,05	TF	(2) 3,179	6s13d $^3D_2$
15302,61	0,07	tf		
15303,78	0,05	TF	(2) 3,629	6s13d $^1D_2$
15306,91	x(R640)	f , ttf		
15315,46	0,14	TF	(2) *	<u>5d 7d <math>^3S_1</math></u>
15316,00	réf.	F	(1) 5,998	6s 5d $^3D_2 \rightarrow$ 5d 6p $^3D_2^o$
15330,91	x(R640)	tf		

Tableau IIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15377,25	x(R640)	tf	(2)	*	$6s15s \ ^3S_1$
15378,14	0,05	TF	(1)	3,286	$6s \ 5d \ ^3D_3 \rightarrow 5d \ 6p \ ^3D_3^o$
15383,28	0,05	TF	(2)	8,911	$6s15s \ ^1S_0$
15387,16	x(R640)	f	(1)	0,899	$6s \ 5d \ ^1D_2 \rightarrow 5d \ 6p \ ^1F_3^o$
15388,83	0,09	m , ttf	(2)	8,332	$6s14d \ ^1D_2$
15417,60	x(R640)	ttf	(2)	*	$6s14d \ ^3D_1$
15420,91	0,05	F , tf	(2)	0,516	$6s14d \ ^3D_2$
15443,47	x(R640)	tf	(1)	7,532	$6s \ 5d \ ^3D_1 \rightarrow 5d \ 6p \ ^3D_2^o$
15449,59	0,05	f , ttf	(2)	0,648	$5d \ 7d \ ^3F_2$
15453,41	x(R640)	(f)			
15458,31	0,05	F , ttf			
15458,91	0,05	f			
15460,57	0,05	TF			
15493,66	x(R640)	f			
15497,56	0,05	TF			
15500,67	0,05	TF , tf			

Tableau IIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15502,76	0,05	F			
15531,73	0,06	F , tf	(2)	*	6s16s $^3S_1$
15539,02	0,05	f , ttf			
15541,09	0,05	F , ttf	(2)	1,080	6s16s $^1S_0$
15580,79	x(R640)	tf			
15595,48	0,05	tf	(2)	*	6s15d $^3D_1$
15599,66	0,05	f , tf	(1)	9,662	6s 7s $^3S_1 \rightarrow (J=2)^\circ$
15602,49	0,05	tf , ttf			
15611,43	0,05	TF , tf	(2)	1,464	6s15d $^1D_2$
15613,80	0,07	f			
15615,34	x(R640)	(f)			
15636,46	x(R640)	(f)			
15652,18	x(R640)	f	(2)	*	6s17s $^3S_1$
15654,63	x(R640)	(f)			
15658,23	0,05 (2)	TF	(2)	8,267	6s17s $^1S_0$
15692,32	0,06	ttf	(1)	2,254	5d 6p $^3D_2^\circ \rightarrow \underline{5d 8s} ^1D_2$

Tableau IIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15702,41	0,05	f , tf	(2) *	6s16d $^3D_1$
15703,08	0,05	m	(2) 3,164	6s16d $^3D_2$
15710,05	x(Rb)	(tf) , ttf		
15713,56	0,05	F	(2) 3,558	6s16d $^1D_2$
15737,08	0,05	TF	(2) 7,138	<u>5d 7d</u> $^3P_0$
15761,73	x(R640)	ttf		
15763,73	0,05	TF	(2) 3,715	6s18s $^1S_0$
15764,37	0,08	TF	(1) 4,318	6s 5d $^3D_2 \rightarrow$ 5d 6p $^3D_3^o$
15769,91	x(R640)	tf , tf		
15782,39	x(R640)	inv. , tf		
15787,52	0,05	m	(2) *	6s17d $^3D_1$
15788,18	0,05	m	(2) 8,130	6s17d $^3D_2$
15795,95	0,05	F , tf	(2) 5,984	6s17d $^1D_2$
15811,11	0,05	f , f		
15818,17	x(R640)	ttf		
15823,00	0,05	TF	(2) *	6s19s $^3S_1$



Tableau IIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}}(\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r)(\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}}(\text{cm}^{-1})$	Classification
15831,17	0,05	TF	(2)	1,150	6s19s $^1S_0$
15843,45	x(R640)	tf			
15854,92	0,05	(2) inv., TTF	(2)	*	6s18d $^3D_1$
15857,05	0,05	m, tf	(2)	7,028	6s18d $^3D_2$
15863,07	0,05	F, tf	(2)	3,101	6s18d $^1D_2$
15866,28	0,05	TTF	(2)	*	<u>5d 7d <math>^1P_1</math></u>
15867,91	0,06	déf., tf			
15870,18	0,05	f, f			
15871,64	x(R640)	tff			
15872,91	0,05	f, f	(1)	2,992	5d 6p $^3P_2^o \rightarrow$ 6s26d $^3D_2$
15878,78	0,05	tff			
15879,17	x(R640)	tf			
15885,06	0,05	inv., m, tf	(1)	5,165	5d 6p $^3P_2^o \rightarrow$ <u>5d 7d <math>^1D_2</math></u>
15887,48	0,09	f			
15888,62	0,05	TTF	(2)	*	6s20s $^3S_1$
15890,03	x(R640)	tff			

Tableau IIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}}(\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r)(\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}}(\text{cm}^{-1})$	Classification
15891,78	0,05	(2) TF	(2)	1,812	6s20s $^1S_0$
15895,47	0,05	(1) inv., m, tf	(1)	5,560	5d 6p $^3P_2^o \rightarrow$ 6s27d $^1D_2$
15900,51	x(RB)	(f), ttff			
15908,47	0,05	f, tf			
15910,24	x(RB)	(F), ttff			
15911,75	x(R640)	tf			
15913,80	0,05	TF	(2)		6s19d $^3D_1$
15914,29	x(R640)	tf			
15916,52	x(R640)	tf			
15918,38	0,05	F, tf	(2)	8,382	6s19d $^1D_2$
15920,40	x(R640)	ttff			
15938,73	0,05	(2) TF	(2)	*	6s21s $^3S_1$
15942,28	0,05	m, tf	(2)	2,296	6s21s $^1S_0$
15943,46	x(RB)	(f), ttff			
15945,89	x(R640)	ttff			
15953,47	x(R640)	inv., tf			

Tableau IIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15959,55	0,07	tf			
15960,67	0,05	F, tf	(2)		$6s20d \ ^3D_{1,2}$
15961,87	x(R640)	tf			
15964,41	0,05	m, f	(2)	4,445	$6s20d \ ^1D_2$
15968,92	0,05	f			
15972,46	0,05	tf			
15974,40	0,05	m, f			
15977,01	0,05	f, tf			
15978,79	x(RB)	(m), tf			
15979,30	0,05	ttf			
15981,58	0,05	F, f	(2)	*	$6s22s \ ^3S_1$
15982,31	0,05	(m), ttf			
15984,63	0,05	f, tf	(2)	4,646	$6s22s \ ^1S_0$
15987,65	x(RB)	(ttf)			
15994,52	0,05	f, f			
16000,12	0,05	f, f	(2)		$6s21d \ ^3D_{1,2}$

Tableau IIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16003,12	0,05	f , tf	(2)	3,213	$6s21d \ ^1D_2$
16009,64	x(RB)	(f)			
16017,81	0,05	m , tf	(2)	*	$6s23s \ ^3S_1$
16020,42	0,05	f , tf	(2)	0,463	$6s23s \ ^1S_0$
16033,59	0,05	f , tf	(2)		$6s22d \ ^3D_{1,2}$
16034,63	x(R640)	tf			
16036,05	0,05	f , tf	(2)	6,099	$6s22d \ ^1D_2$
16037,61	0,05	inv. , m , f			
16048,74	0,05	m , f	(2)	*	$6s24s \ ^3S_1$
16050,93	0,05	f	(2)	0,918	$6s24s \ ^1S_0$
16062,23	0,06	m , tf	(2)		$6s23d \ ^3D_{1,2}$
16064,22	0,05	F , ttf	(2)	4,266	$6s23d \ ^1D_2$
16075,30	0,05	F , ttf	(2)	*	$6s25s \ ^3S_1$
16077,14	0,07	m , ttf	(2)	7,195	$6s25s \ ^1S_0$
16083,53	x(RB)	ttf	(1)	3,526	$5d \ 6p \ ^1D_2 \rightarrow 6s \ 9d \ ^3D_2$
16086,94	0,05	m , f	(2)	*	$6s24d \ ^3D_1$

Tableau IIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16088,50	0,05	F , ttf	(2)	8,540	6s24d $^1D_2$
16092,19	x(RB)	m , ttf			
16098,28	0,05	TF , ttf	(2)	*	6s26s $^3S_1$
16099,92	0,05	f , ttf	(2)	9,920	6s26s $^1S_0$
16108,26	0,05	f	(2)	*	6s25d $^3D_1$
16109,55	0,05	F , ttf	(2)	9,488	6s25d $^1D_2$
16118,26	0,05	F , ttf	(2)	*	6s27s $^3S_1$
16119,76	x(RB)	m , ttf	(2)	9,735	6s27s $^1S_0$
16127,87	0,06	F , ttf	(2)	7,823	6s26d $^1D_2$
16135,80	0,05	F , ttf	(2)	*	6s28s $^3S_1$
16137,80	0,11	as. , f , tf	(2)	7,114	6s28s $^1S_0$
			B {		
			(2)	7,577	<u>5d 7d</u> $^1D_2$
16144,09	0,09	F , tf	(2)	4,182	6s27d $^3D_2$
16147,96	0,11	m , tf	(2)	7,972	6s27d $^1D_2$
16151,25	0,05	F , ttf	(2)	*	6s29s $^3S_1$
16151,9	x(RB)	tf			

Tableau IIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16152,58	x(RB)	m , ttf	(2)	2,408	$6s29s \ ^1S_0$
16158,54	0,05	F , ttf	(2)	8,596	$6s28d \ ^3D_2$
16160,71	0,05	as. , m , tf	(2)	0,606	$6s28d \ ^1D_2$
16161,87	0,05	F , TTL(3,6Δσ)	(1)	*	$5d \ 6p \ ^3P_2^o \rightarrow 5d \ 7d \ ^3P_2$
16164,92	0,05	F , ttf	(2)	*	$6s30s \ ^3S_1$
16165,95	x(RB)	f , ttf	(2)	6,009	$6s30s \ ^1S_0$
16171,49	0,05	f , tf	(2)	1,407	$6s29d \ ^3D_2$
16172,84	0,05	f , ttf	(2)	2,924	$6s29d \ ^1D_2$
16177,05	0,09	F , ttf	(2)	*	$6s31s \ ^3S_1$
16187,94	0,05	F , ttf	(2)	*	$6s32s \ ^3S_1$
16197,72	0,05	F , ttf	(2)	*	$6s33s \ ^3S_1$
16202,55	x(RB)	m , ttf	(2)	*	$6s32d \ ^3D_{1,2}$
16203,31	x(RB)	f , ttf	(2)	3,288	$6s32d \ ^1D_2$
16206,45	0,05	TF , ttf	(2)	*	$6s34s \ ^3S_1$
16210,83	0,05	m , tf	(2)	*	$6s33d \ ^3D_{1,2}$
16214,33	0,05	TF , <tf	(2)	*	$6s35s \ ^3S_1$

Tableau IIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16218,26	0,05	as. , m , L	(2)	*	$6s34d \ ^3D_{1,2}$
16221,28	0,05	(2) as. , TF , <tf	(2)	*	$6s36s \ ^3S_1$
16224,82	0,05	(2) as. , TF , tf	(1) B { (2)	4,921	$5s \ 6p \ ^3D_3^o \rightarrow 5d \ 7d \ ^3F_2$
16226,74	0,05	(2) TTF , <<f	(2)	*	$6s35d \ ^3D_1$
16229,45	0,05	(2) TTF , <<tf	(2)	*	$5d \ 7d \ ^3P_1$
16231,67	0,05	(2) TF , ttf	(2)	*	$6s37s \ ^3S_1$
16234,71	0,05	TF , tf	(2)	*	$6s36d \ ^3D_{1,2}$
16237,22	0,12	F , tf	(2)	*	$6s38s \ ^3S_1$
16238,58	x(RB)	m , ttf	(1)	8,348	$5d \ 6p \ ^3F_3^o \rightarrow 6s \ 9d \ ^3D_3$
16240,05	0,06	F , tf	(2)	*	$6s39s \ ^3S_1$
16242,44	0,05	m , L	(2)	*	$6s38d \ ^3D_{1,2}$
16245,02	0,06	m , tf	(2)	*	$6s40s \ ^3S_1$
16247,45	x(RB)	m , tf	(2)	*	$6s39d \ ^3D_{1,2}$
16248,88	x(RB)	m , L	(2)	*	$6s41s \ ^3S_1$
16251,81	0,05	as. , f , tf	(2)	*	$6s40d \ ^3D_{1,2}$

Tableau IIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{T}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16255,95	0,05	f , <<f	(2)	*	6s41d ${}^3D_{1,2}$
16259,61	x(RB)	f , f	(2)	*	6s42d ${}^3D_{1,2}$
16260,70	x(RB)	m , tf			
16267,76	x(RB)	m , tf			
16277,58	x(RB)	inv. , f	(1)	*	5d 6p ${}^3P_1^o \rightarrow$ 5d 9s ${}^3D_2$
16283,20	x(RB)	f , tf			
16285,39	x(RB)	m , tf			
16286,47	x(RB)	as. , m , f			
16288,76	0,05	F , tf			
16291,39	0,05	m , tf			
16308,47	x(RB)	f , tf			
16310,71	x(RB)	f , tf	(1)	0,740	6s 6p ${}^1P_1^o \rightarrow$ 6s 8s ${}^1S_0$
16312,00	x(RB)	f , tf			
16332,17	x(RB)	f			
16335,82	0,05	TF , tf			
16360,04	0,05	TF , tf	(1)	59,971	6s 5d ${}^3D_3 \rightarrow$ 5d 6p ${}^3P_2^o$



Tableau IIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16373,97	0,05	F, tf			
16387,70	x(RB)	f, f			
16389,69	x(RB)	F, tf			
16402,96	x(RB)	tff			
16414,13	0,05	TF, TIL(5,4Δσ)	(2)	*	<u>5d 7d <math>^3P_2</math></u>
16433,69	0,05	tf, f	(1)	3,627	6s 6p $^1P_1$ → 6p <sup>2</sup> $^3P_0$
16450,52	x(RB)	f, tf			
16479,48	0,05	F, tf	(1)	*	5d 6p $^3D_2^o$ → <u>5d 7d <math>^3D_3</math></u>
16488,59	0,05	(1) as., TTF, <<f	(1)	8,591	5d 6s $^3D_2$ → 5d 6p $^3P_1^o$
16491,43	0,05	tf, tf	(1)	*	5d 6p $^3D_3^o$ → 6s14g $^3G_3$
16492,39	0,05	m, tf			
16515,75	0,05	tf, tf	(1)	*	5d 6p $^3D_3^o$ → 6s17d $^3D_3$
16517,54	0,05	tf, tf	(1)	7,566	5d 6p $^3F_3^o$ → <u>5d 8s <math>^3D_2</math></u>
16524,44	x(RB)	tf			
16530,80	x(R6G)	(tf), TIL	(2)	*	<u>5d 9s <math>^3D_2</math></u>
16536,71	x(R6G)	(tf), TIL			

Tableau IIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{T}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16543,03	x(RB)	f , tf	(1)	8,145	6s 5d $^3D_1 \rightarrow$ 5d 6p $^3P_0$
16547,04	x(R6G)	(ttf), f	(2)	*	5d 7d $^1S_0$
16573,37	x(RB)	F , ttf	(1)	0,125	6s 5d $^3D_1 \rightarrow$ 5d 6p $^3P_1$
16608,12	0,08	as. , TF , ttf	(1)	1,003	6s 5d $^3D_2 \rightarrow$ 5d 6p $^3P_2$
16666,43	0,40	as. , F , TTL	(2)	*	
16670,13	0,05	TF	(1)		
16740,98	0,05	as. , F , tf	(1)		
16746,68	0,05	tf , f	(2)		
16760,21	x(R6G)	tf , tf	(2)		
16760,90	x(R6G)	tf , ttf	(2)		
16805,83	0,05	F , tf	(2)	*	42509,91 J=1ou2
16806,7	x(R6G)	tf	(2)		
16862,47	0,07	as. , f , L	(2)		
16865,83	0,05	f , f	(2)		
16869,47	x(R6G)	ttf	(2)		
16909,73	x(R6G)	ttf	(2)		

Tableau IIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16922,55	0,05	(1) F, tf	(1)	2,537	$6s 5d \ ^3D_1 \rightarrow 5d 6p \ ^3P_2^{\circ}$
17006,97	x(R6G)	tf, L			
17013,63	0,25	f } TL			
17014,75	0,07	(1) F }	(0) Bl. {	4,711	$2p \ ^3P_1^{\circ} \rightarrow 3d \ ^3D$
			(0)	4,789	$2p \ ^3P_2^{\circ} \rightarrow 3d \ ^3D$
17047,9	x(R6G)	f			
17061,1	x(R6G)	f			
17078,2	x(R6G)	tf			
17115,91	x(R6G)	ttf			
17132,34	x(R6G)	es., m, TTL(22Δσ)			
17158,94	0,21	m, L	(1)	8,853	$6s 5d \ ^1D_2 \rightarrow 5d 6p \ ^1P_1^{\circ}$
17170,80	x(R6G)	f, tf			
17174,66	0,10	(2) es., F, TTL(3,3Δσ)	(2)	*	$5d_{3/2} 8d_{3/2} \ J=1$
17219,715	réf.	(1) f, L	(1)	9,715	$6s 5d \ ^3D_2 \rightarrow 5d 6p \ ^1F_3^{\circ}$
17221,75	x(R6G)	tf			
17236,35	x(R6G)	ttf			

Tableau IIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
17303,24	x(R6G)	tf, L	(1)	3,351	6s 6p $^3P_2^0 \rightarrow$ 6s 6d $^3D_3$
17326,69	0,05	(2) inv., TF, $\ll$ TL	(2)	*	<u>5d<sub>3/2</sub> 8d J=2</u>
17370,05	x(R6G)	ttf			
17385,73	0,30	(2) as., TF, TTL(3,2Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>3/2</sub> 8d J=1</u>
17441,71	x(R6G)	ttf			

Plage non explorée pour  $17386 \text{ cm}^{-1} < \sigma_{\text{obs}} < 17578 \text{ cm}^{-1}$ .

Tableau IIb - Colorants utilisés pour la cavité laser n° 2 :

Fluorescéine, C540<sub>A</sub><sup>F</sup>, C485, C481\*, C481<sup>+</sup>, C480, C460.

17577,59	0,05	(2) F, TTL(6,6Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>3/2</sub> 8d J=0</u>
17593,10	x(Fl.)	ttf			
17598,37	0,05	(2) m, tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 5g J=2</u>
17600,18	x(Fl.)	tf, f	(1)	0,184	6s 6p $^3P_1^0 \rightarrow$ 6s 6d $^1D_2$
17618,95	0,05	(2) as., F, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 5g J=1ou2</u>
17649,02	x(Fl.)	(1) tf, L	(1)	9,018	6s 6p $^1P_1^0 \rightarrow$ 6s 7d $^3D_1$

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
17706,58	0,20	tf, TL	(1)	*	$5d\ 6p\ ^3P_2 \rightarrow 5d_{5/2}\ 8d\ J=3$
17724,20	0,10	m, L	(1)		
17782,15	0,05	f, L	(1)	2,203	$5d^2\ ^3P_0 \rightarrow 6s14p\ ^1P_1$
17792,86	x(Fl.)	tf	(1)		
17793,86	x(Fl.)	f, L			
17873,13	x(Fl.)	tf, L	(1)	3,528	$6s\ 6p\ ^1P_1 \rightarrow 5d\ 6d\ ^3D_1$
17895,40	0,32	f, TL	(1)	*	$5d\ 6p\ ^3P_2 \rightarrow 5d_{5/2}\ 8d\ J=1$
17927,18	0,13	m, L	(1)		
17969,47	x(C540)	tf, tf			
17984,17	0,70	(f), TTL(13A $\sigma$ )	(2)	*	<u>5d10s J=2</u>
18013,73	0,09	TF, TL	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 8d J=1</u>
18026,73	0,05	tf, f	(1)		
18060,23	0,07	as., m, TTL(3,4A $\sigma$ )	(1)	*	$5d\ 6p\ ^3P_2 \rightarrow 5d_{5/2}\ 8d\ J=2$
18060,244	0,05	inv., TF	(1)	0,244	$6s^2\ ^1S_0 \rightarrow 6s\ 6p\ ^1P_1$
18085,18	0,05	f, tf	(1)		
18088,52	0,05	f, f	(1)		

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
18096,65	0,15	(2) m , TTL(5,8Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 8d J=2</u>
18112,64	x(0540)	tf			
18123,16	0,05	(1) tf			
18146,73	x(0540)	tf , ttf			
18147,31	0,05	(2) as. , F , tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 8d J=1</u>
18158,02	x(0540)	tf , ttf			
18190,48	x(Fl.)	(1) (tf)			
18205,89	x(0540)	tf , L			
18230,17	x(0540)	(1) as. , tf , L			
18235,33	x(0540)	tf , f			
18257,31	x(0540)	tf			
18264,16	0,05	(1) f	(1)		
18284,63	x(0540)	tf , TL			
18310,58	0,05	(2) m , TTL(7,4Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 8d J=2</u>
18375,51	0,05	(2) F , TL	(2)	*	<u>5d<sub>3/2</sub> 9d J=1</u>
18384,83	0,05	(1) f , f	(1)		

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
18386,31	x(0540)	as., f, f	(1)	6,287	$6s\ 6p\ ^1P_1^o \rightarrow 5d\ 6d\ ^3S_1$
18413,32	0,13	F, TTL(4,6Δσ)	(2)	*	<u><math>5d_{5/2}\ 8d\ J=0</math></u>
18420,5	0,5	tf			
18429,52	0,06	f, TL	(1)	9,571	$6s\ 6p\ ^3P_0^o \rightarrow 6s\ 6d\ ^3D_1$
18433,00	0,05	as., f, TL			
18455,01	0,05	tf, f			
18456,38	x(0540)	tf, TL			
18464,66	0,15	tf, f			
18467,10	x(0540)	tf, ttf			
18487,88	0,05	inv., TF, TL	(2)	*	<u><math>5d_{3/2}\ 9d\ J=2</math></u>
18496,10	x(0540)	tf, f			
18496,80	0,05	as., f, f	(1)		
18511,98	x(0540)	tf, tf			
18515,27	x(0540)	tf, tf			
18529,19	0,05	inv., TF, L	(2)	*	<u><math>5d_{3/2}\ 9d\ J=1</math></u>
18534,13	0,12	TF, TTL(4,9Δσ)	(2)	*	<u><math>5d_{3/2}\ 9d\ J=2</math></u>

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
18549,72	0,05	m , TL	(1)	
18560,93	0,05	f , tf		
18579,04	0,05	f , tf		
18584,89	0,05	f , f	(1)	
18591,18	0,10	f , TL		
18599,30	0,05	tf		
18620,02	0,09	as. , F , TL	(2)	<u><math>5d_{3/2} \ 9d \ J=0</math></u>
18634,00	0,05	f , f	(1)	
18648,07	0,05	tf		
18652,27	0,05	m , tf	(1)	
18689,94	0,05	tf , tf	(1)	$5d \ 6p \ ^3P_2^o \rightarrow 5d_{5/2} \ 6g \ J=2$
18693,97	x(C485)	ttf		
18697,97	0,05	f	(1)	$5d^2 \ ^1D_2 \rightarrow (J=2)^o$
18707,19	x(C485)	tf		
18717,56	0,05	f		
18729,50	0,08	f , f		



Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie	OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
18740,60	0,05	m	TL	(1)		
18744,12	0,05	f	tf			
18746,68	0,05	f	tf			
18754,99	0,05	f	tf	(1)	5d 6p $^1D_2^o$	$\rightarrow$ 6s26d $^3D_2$
18757,02	0,07	tf	tf	(1)	5d 6p $^1D_2^o$	$\rightarrow$ 6s26d $^1D_2$
18763,63	0,08	m	TTL(3,3A $\sigma$ )	(1)		
18767,14	0,05	m	tf	(1)	5d 6p $^1D_2^o$	$\rightarrow$ 5d 7d $^1D_2$
18771,09	0,05	f	tf			
18777,60	0,06	m	tf	(1)	5d 6p $^1D_2^o$	$\rightarrow$ 6s27d $^1D_2$
18779,17	0,06	F	tf			
18782,07	0,05	m	tf			
18783,86	x(0,485)	tf				
18790,22	0,05	f		(1)	5d 6p $^1D_2^o$	$\rightarrow$ 6s28d $^1D_2$
18791,69	0,05	f	tf			
18802,66	0,05	f	tf	(1)	5d 6p $^1D_2^o$	$\rightarrow$ 6s29d $^1D_2$
18831,45	0,06	F	f			

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
18838,96	0,05	m	(1)		
18842,52	0,05	f	(1)	2,387	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow 5d 6d \ ^1P_1$
18850,31	0,48	F, TTI(7Δσ)	(2)	*	44554,39 (b)
18852,77	0,05	F, f	(1)		
18881,85	0,05	tf			
18883,66	0,06	F, f	(1)		
18894,23	x(0485)	as., F, f	(1)	4,258	5d 6p $^3F_3^o \rightarrow 5d 7d \ ^1D_2$
18894,98	0,06				
18898,27	0,05	F, f	(1)		
18904,54	0,06	m, tf	(1)		
18914,89	0,14	f			
18936,01	0,06	F, tf	(1)		
18942,47	0,05	as., F, f	(1)		
18955,31	0,05	as., TF, tf	(2)		

Bl. }  
 (1)  
 (2)

5d<sub>5/2</sub> 6g J=2

5d<sub>5/2</sub> 6g J=1ou2

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie	OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
18959,62	0,05	(1)	as., TF, tf	Bl. $\left\{ \begin{array}{l} (1) \\ (2) \end{array} \right.$	9,467	$5d^2 \ ^3F_2 \rightarrow 5d \ 4f \ (J=1)^\circ$
18961,26	0,05	(1)	F, f		*	44663,70 (a)
18964,13	0,05		tf			
18981,00	0,05	(1)	TF, f			
18982,10	0,05		tf			
18990,54	0,05	(1)	m, f			
18998,15	0,05		f, tf			
19004,13	0,05	(1)	F, tf			
19028,55	0,05	(1)	m, f	(1)	8,514	$6s \ 6p \ ^1P_1^\circ \rightarrow 5d \ 6d \ ^3F_2$
19032,06	0,05	(1)	F, tf			
19035,19	0,05	(1)	f, tf	(1)	5,197	$6s \ 6p \ ^1P_1^\circ \rightarrow 6s \ 9s \ ^3S_1$
19043,55	x(0485)		tf			
19046,85	0,05		F, tf			
19049,01	0,06		f, TL			
19052,14	0,05		F, tf			

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}}(\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r)(\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}}(\text{cm}^{-1})$	Classification
19063,40	0,05	tf			
19066,38	0,05	f , L			
19072,10	0,05	tf			
19094,24	0,05	m , TL			
19097,83	0,05	m , f	(1)	7,792	5d 6p $^3F_2^o \rightarrow 6s14d \ ^1D_2$
19100,04	0,05	as. , m , tf	(1)	099,976	5d 6p $^3F_2^o \rightarrow 6s14d \ ^3D_2$
19104,98	0,05	(2) as. , TF , L	(2)	*	44809,06 (a)
19110,11	0,05	as. , F , tf			
19124,41	0,08	(2) as. , TF , <TL	(2)	*	44828,49 (b)
19140,19	0,05	m , f	(1)	0,108	5d 6p $^3F_2^o \rightarrow 5d \ 7d \ ^3F_2$
19146,17	0,16	(2) TF , TL(2,1Δσ)	(2)	*	44850,25 (a)
19153,73	x(0485)	tf			
19173,99	0,05	as. , f , f	(1)	3,941	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow 6s \ 9s \ ^1S_0$
19200,39	0,21	(2) TF , TL(2,7Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 9d J=1</u>
19232,02	0,11	f , L			
19241,44	0,09	f , f			

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
19252,35	0,76	(2) as., F	TTL(10,5Δσ) (2)	*	44956,43 (b)
19257,25	0,10	F, <<f			
19277,99	0,05	f, tf			
19286,45	0,05	as., F, L			
19294,19	0,17	(2) as., F	TTL(3Δσ) (2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 9d J=2</u>
19307,49	0,05	f, ttf			
19309,61	0,06	(1?) TF, L			
19312,64	0,10	f, L			
19316,35	0,05	(1?) TF, f			
19318,93	0,07	(2) TF, <<f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 9d J=1</u>
19321,60	0,07	F, f			
19338,701	0,05	(1) F, tf	(1)	8,701	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>2</sub> → 5d 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>
19340,38	0,26	F, TTL(4,7Δσ)			
19353,11	0,10	tf			
19364,26	0,05	ttf			
19370,09	0,05	(2) TF, TL	(2)	*	45074,17 (a)

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
19374,88	0,08	F, L	(1)	4,887	$6s 6p \ ^1P_1^o \rightarrow 6s 8d \ ^1D_2$
19377,70	0,05	m, f			
19382,14	0,05	tf			
19394,61	x(0485)	m, tf			
19414,82	0,13	TF, TTL(4Δσ)	(2)	*	<u><math>5d_{5/2} \ 9d \ J=0</math></u>
19420,14	0,05	f, f			
19425,36	x(0485)	f, f	(2)	*	<u><math>5d_{5/2} \ 9d \ J=2</math></u>
19429,29	0,05	F, f			
19462,36	0,08	f, tf			
19466,03	0,05	f, tf			
19470,28	0,10	tf, TL			
19476,05	0,13	f, L			
19484,36	0,06	(2) C., TF, <<f	(2)	*	45188,44 (a)
19488,60	0,05	m, L			
19513,78	0,10	f, L			
19567,34	0,05	TF, <TL			

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
19586,43	0,13	(2) as., F, <L	(2)	*	45290,51 (a)
19626,41	0,05	(2) as., TF, <TL	(2)	*	45330,49 (a)
19630,91	0,10	tf			
19637,78	0,05	F, tf			
19642,44	0,07	(2) TF, <L	(2)	*	45346,52 (b)
19644,08	0,05	(2) F	(2)	*	45348,16 (a)
19657,17	0,11	tf			
19660,57	0,10	as., f, TL			
19680,29	0,05	f			
19688,13	0,05	tf			
19693,74	0,23	(2) F, TTI(9,0Δσ)	(2)	*	45397,82 (b)
19703,24	0,56	C., f			
19721,62	0,10	tff			
19728,83	0,05	as., ttf			
19743,90	x(C481)	tff			
19754,76	0,14	f			

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{T}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
19756,36	0,10	as., F	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 7g J=2</u>
19763,17	0,15	(2) C., TF, L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 7g J=1ou2</u>
19777,02	0,05	as., f			
19780,44	0,05	f			
19797,74	0,05	(2) m, TL	(2)	*	45501,82 (b)
19805,19	0,05	(1) as., TF, L	(0)	5,352	2p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → 4s <sup>1</sup> S <sub>0</sub>
19837,96	0,05	tf, TL			
19845,66	0,05	(2) as., F, f	(2)	*	45549,74 (a)
19860,17	x(0481)	tf			
19877,25	0,14	tf, TL			
19900,13	0,05	as., f, L			
19905,66	x(0481)	ttf			
19911,60	0,15	(2) as., TF	(2)	*	45615,68 (b)
19920,15	0,05	f, f	(2)	*	45624,23 (a)
19922,76	0,15	f, L			
19931,84	0,05	(1) TTF, <TL	{ (0)	1,920	2s <sup>1</sup> S <sub>0</sub> → 3p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>
			BL. { (2)	*	45635,92 (a)



Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
19948,85	0,16	tf, TL			
19951,05	0,05	tf			
19956,21	0,05	m, TL			
19964,53	x(0481)	tff			
19980,24	x(0481)	tff			
19987,61	0,08	TF, TL	(2)	*	45691,69 (b)
19994,83	0,38	F, TTL	(2)	*	45698,91 (a)
20007,01	0,07	TF, L	(2)	*	45711,09 (a)
20011,13	0,06	f			
20011,66	0,05	f	(1)	1,837	6s 6p $^3P_2 \rightarrow 5d, 7s \ ^3D_3$
20052,73	0,05	as., F, L	(2)	*	45736,81 (a)
20059,94	0,05	f, tff			
20061,66	0,05	f, L			
20066,44	0,08	tf, tf			
20069,17	0,05	as., f, L	(2)	*	45773,25 (b)
20084,37	0,20(0481)	(f), TTL(5,3A0)			

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20095,10	0,05	tf			
20099,66	0,08	(2) as., F, f	(2)	*	45803,74 (b)
20103,86	0,05	(2) m, ttf	(2)	*	45807,94 (a)
20109,38	0,05	f, L			
20117,13	0,10	(1?) as., F, L			
20131,21	0,07	tf, L	(1)	*	5d 6p $^3P_2^o \rightarrow 5d_{5/2}$ 11d J=3
20157,74	0,05	(2) F, f	(2)	*	45861,82 (b)
20162,97	0,05	tf, ttf	(1)	3,167	5d <sup>2</sup> $^3F_2 \rightarrow 5d$ 8p $^3P_1^o$
20168,75	0,05	tf, tf			
20179,24	0,05	(2) TF, f	(2)	*	45883,32 (a)
20183,82	0,05	(1?) as., m, f			
20187,94	0,05	(2) as., TF	(2)	*	45892,02 (a)
20189,65	x(0481)	tf			
20190,50	0,09	(2) TF	(2)	*	45894,58 (a)
20207,22	0,05	(1) F, f	(1)	7,426	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow 5d$ 6d $^3P_2$
20214,20	0,32	(2) as., m, TTI(3,4Δσ)	(2)	*	45918,28

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20236,42	x(C481)	tff			
20242,73	0,05	tf, L			
20249,82	0,10	tf, f			
20261,59	0,07	f, L	(2)	*	45965,67 (a)
20265,30	0,18	tf			
20269,27	0,12	f, TTL(3Δσ)	(2)	*	45973,35 (b)
20273,02	0,05	tf			
20275,85	0,09	tf			
20281,13	0,05	f, tf	(1)	1,245	6s 6p $^3P_2^0 \rightarrow 5d 7s \ ^1D_2$
20283,56	0,05	m, (2)	(2)	*	$5d_{5/2} \ 8g \ J=2$
20288,13	0,05	F, (2)	(2)	*	$5d_{5/2} \ 8g \ J=1ou2$
20293,44	x(C481)	tf			
20295,27	0,05	es., m, tf	(2)	*	45999,35 (a)
20311,37	0,05	TF, L, (1)	(0)	1,562	2p $^1P_1^0 \rightarrow 4d \ ^1D_2$
20316,90	0,05	tf, tff			
20335,62	0,05	F, (2)	(2)	*	46039,70 (a)

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20344,09	0,05	(2) TF, L	(2)	*	46048,17 (b)
20350,19	0,05	(2) TF, <L	(2)	*	46054,27 (a)
20359,79	x(0481)	tf			
20360,37	0,05	(2) m, f	(2)	*	46064,45 (a)
20372,66	0,05	f			
20376,22	0,05	(2) as., F, TL	(2)	*	46080,30 (b)
20378,11	0,05	f			
20389,58	0,05	m, ttf			
20390,55	0,08	(1) as., F, L	(1)	0,592	6s 6p $^3P_2^o \rightarrow$ 6s 8s $^3S_1$
20396,32	0,05	(2) TF, <TL	(2)	*	46100,40 (a)
20412,16	0,05	tf, L			
20420,29	x(0481)	m			
20421,06	0,05	(2) TF, f	(2)	*	46125,14 (a)
20428,34	0,05	tf			
20433,52	0,05	(2) m, L	(2)	*	46137,60 (a)
20440,33	0,05	(2) F, ttf	(2)	*	46144,41 (a)

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20448,55	0,06	tf, tf		
20461,50	0,05	as., tf, <L		
20464,51	0,05	(2) F, f	(2) *	46168,69 (b)
20469,19	0,15	(1) F, L		
20471,65	0,10	F, L	(2) *	46175,73 (a)
20472,31	0,05	(2) TF, <L	(2) *	46176,39 (b)
20481,58	x(0481)	tff		
20488,83	0,05	(2) as., TF, f	(2) *	46192,91 (a)
20493,63	0,05	(2) TF, L	(2) *	46197,71 (b)
20495,00	0,05	TF		
20495,78	0,05	(1) TTF	(1) 5,937	$6s\ 6p\ ^1P_1^o \rightarrow 6p^2\ ^1D_2$
20501,67	0,15	(1) tf	(2) *	46199,86 (a)
20504,27	0,05	f, tf		
20506,89	0,05	f, tf		
20511,08	0,06	tf, tf		

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie	OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20519,25	0,05	tf		(2)	*	46223,33 (a)
20527,20	x(C481)	tf ,	TL			
20538,05	0,11	as. ,	F , TL	(2)	*	46242,13 (b)
20541,90	0,05	f ,	tf			
20545,67	0,05	tf ,	f			
20553,39	0,05	as. ,	F , ttf	(2)	*	46257,47 (a)
20555,60	x(C481)	tf				
20557,58	0,05	f ,	tf			
20570,50	x(C481)	tf ,	L			
20578,49	x(C481)					
20578,66	0,07	F		(2)	*	46282,74 (a)
20588,20	0,05	TF		(2)	*	46292,28 (a)
20591,08	x(C481)	tf				
20592,22	0,05	TF		(1)		
20592,80	0,10	TF		(2)	*	46296,88 (a)
20601,97	0,13	tf ,	ttf			

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{T}}) \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	Classification
20603,55	0,05	(1) (f)	(1)	3,502	6s 6p $^1P_1^0 \rightarrow 6s10s \ ^1S_0$
20604,39	0,06	(2) as., F, TL	(2)	*	46308,47 (b)
20616,15	0,05	ttf, TL			
20624,25	0,05	tf, L			
20630,95	0,05	(2) as., m, TL	(2)	*	46335,03 (b)
20642,73	0,05	f, ttf			
20644,34	x(C481)	ttf			
20645,74	0,10	(2) as., F, ttf	(2)	*	<u>5d <math>_{5/2}</math> 9g J=2</u>
20647,34	0,10	tf			
20648,34	0,12	(2) TF, tf	(2)	*	<u>5d <math>_{5/2}</math> 9g J=1ou2</u>
20651,54	0,14	(1) f, tf	(1)	*	5d 6p $^3P_2^0 \rightarrow 10g \ J=2$
20653,92	0,10	f, tf	(1)	*	5d 6p $^3P_2^0 \rightarrow 10g \ J=1ou2$
20657,35	x(C481)	tf			
20663,39	0,10	(2) F, f	(2)	*	46367,47 (a)
20668,82	0,09	(2?) TF, <<L	(2)	*	46372,90 (b)
20671,85	0,12	(2?) TF, <<f	(2)	*	46375,93 (a)

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20675,76	0,07	F, f	(2)	*	46379,84 (a)
20683,63	0,14	F	(2?)	*	46387,71 (b)
20686,38	x(0481)	tf			
20691,09	0,05	tf	(1)		
20692,90	0,05	f, tf			
20694,75	x(0481)	tf			
20698,33	0,15	tf, f			
20704,21	0,06	tf	(1)	*	5d 6p $^3P_2^o \rightarrow 5d_{5/2} 13d J=3$
20706,31	0,05	m, L	(2)	*	46410,39 (b)
20707,89	0,05	f, tf	(1)		
20710,97	0,05	tf	(1)		
20715,59	0,07	F, ttf	(2)	*	46419,67 (b)
20716,03	0,05	C., f			
20721,74	0,10	tf	(1)		
20724,59	0,05	TF, <TL	(2)	*	46428,67 (a)
20725,44	0,12	tf	(1)		



Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20727,84	0,05	TF, <L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub></u> 12d J=1ou2
20734,05	0,09	TF, <L	(2)	*	46438,13 (a)
20737,75	0,05	f, ttf			
20742,53	0,05	f, f			
20747,91	0,07	TF, <L	(2)	*	46451,99
20753,05	0,05	m, tf	} (2)	*	46457,5 (b)
20753,84	0,07	f, L			
20759,47	0,09	TF, <L	(2)	*	46463,55 (a)
20766,91	0,05	TF, <L	(2)	*	46470,99 (b)
20774,93	0,13	F, ttf	(2)	*	46479,01 (a)
20779,81	0,06	TF, TL	(2)	*	46483,89 (a)
20783,80	x(0481)	f			
20788,62	0,09	as., TF, f	(2)	*	46492,70 (a)
20795,39	0,06	TF, f	(2)	*	46499,47 (a)
20796,79	0,14	TF, TL	(1)		
20798,28	0,05	TF, f	(2)	*	46502,36 (a)

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{obs} (cm^{-1})$	$\delta(\sigma_{obs} - \sigma_r)(cm^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{calc} (cm^{-1})$	Classification
20806,20	0,05	tf, f			
20809,00	0,05	as., f, TL			
20817,78	0,05	(1) as., m, L	Bl. { (1) (2)	*	5d 6p $^3P_2^o \rightarrow 5d_{5/2} 15s J=3$
				*	46521,86 (b)
20821,11	0,05	f			
20822,83	0,15	(1) tf			
20823,90	0,05	F	(2)	*	46527,98 (a)
20825,59	0,05	tf			
20832,90	0,05	(f)	(2)	*	46536,98 (b)
20835,38	0,05	TF, tf	(2)	*	46539,46 (b)
20840,13	0,05	(2?) TF, f	(2)	*	46544,21 (a)
20842,32	0,07	(2) C., TF, f	(2)	*	46546,40 (a)
20847,55	0,07	(2) F, L	(2)	*	46551,63 (b)
20857,72	x(0481)	tf			
20859,74	0,09	(2) F, L	(2)	*	46563,82 (a)
20863,45	0,06	tf			

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20864,97	0,07	m , ttf	(2) *	46569,05 (a)
20871,17	0,05	tf	(2) *	46578,79 (a)
20874,71	0,05	F , tf	(2) *	46582,26 (a)
20878,18	0,05	TF , <<f	(2) *	46583,76 (b)
20879,68	0,05	TF , <<f	(1) *	$5d\ 6p\ ^3P_2^o \rightarrow 5d_{5/2}\ 14d\ J=3$
20882,95	x(0481)	tf	(2) *	46588,72 (b)
20884,64	0,05	F , f	(2) *	46599,30 (b)
20895,22	0,05	m , f	(2) *	46603,89 (a)
20899,81	0,05	f	(2) *	$5d_{5/2}\ 10g\ J=2$
20904,07	0,05	F , ttf	(2) *	$5d_{5/2}\ 10g\ J=1ou2$
20906,20	0,05	TF , tf	(2) *	46612,21 (a)
20908,13	0,06	F , tf	(2) *	46614,61 (a)
20910,53	0,05	TF , f	(2) *	46615,87 (b)
20911,79	0,05	TF , tf	(2) *	46617,26 (a)
20913,18	0,05	m , f	(2) *	46620,54 (b)
20916,46	0,05	as. , F , f	(2) *	

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{obs} (cm^{-1})$	$\delta(\sigma_{obs} - \sigma_r)(cm^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{calc} (cm^{-1})$	Classification
20918,84	0,09	f , tf			
20920,82	0,05	tf , L			
20925,55	0,05	as. , m , f	(2)	*	46629,63 (b)
20929,63	0,08	f , ttf	(2)	*	46633,71 (a)
20936,64	0,08	F , tf	(2)	*	46640,72 (b)
20938,08	0,07	TF , f	(2)	*	46642,16 (a)
20939,16	0,09	F , tf	(2)	*	46643,24 (a)
20940,95	0,10	f , ttf			
20943,66	0,05	F , tf	(2)	*	46647,74
20951,88	0,05	f , L	(2)	*	46655,96 (b)
20955,06	0,05	tf			
20956,73	0,05	(f)			
20960,72	0,09	TF , <f	(2)	*	46664,80 (a)
20964,36	0,05	TF , L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 13d J=1ou2</u>
20967,22	0,06	as. , F , tf	(2)	*	46671,30 (b)
20974,44	0,05	as. , F , f	(2)	*	46678,52 (b)

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20977,23	0,05	f			
20980,68	0,16	tf, tf			
20982,82	0,08	F, tf	(2)	*	46686,90 (a)
20987,66	0,06	C., F, tf	(2)	*	46691,74 (b)
20990,35	0,07	F, tf	(2)	*	46694,43 (a)
20993,95	0,05	F, ttf	(2)	*	46698,03
20996,57	0,05	tf, tf			
21001,64	0,06	as., F, f	(2)	*	46705,72 (a)
21004,23	0,05	m			
21005,50	0,05	TF, tf	(2)	*	46709,58 (a)
21011,25	0,11	f, tf	(2)	*	46715,33 (b)
21013,26	0,32	tf			
21017,77	0,07	F, tf	(2)	*	46721,85
21018,50	0,11	F	(2)	*	46722,58
21019,72	0,05	F, tf	(2)	*	46723,80 (a)
21020,61	0,05	TF	(2)	*	46724,69 (a)

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21026,54	0,05	(2) f , tf	(2) *	46730,62
21028,43	0,05	tf , tf		
21032,30	0,06	(2) m , tf	(2) *	46736,38 (b)
21033,39	0,05	(2) F , tf	(2) *	46737,47 (b)
21034,57	0,05	(2) TF , tf	(2) *	46738,65 (a)
21036,29	0,05	ttf		
21040,05	0,05	(2) f , tf	(2) *	46744,13 (b)
21041,77	x(C481)	ttf		
21045,16	0,05	(2) m , tf	(2) *	46749,24 (b)
21046,47	0,05	(2) F , tf	(2) *	46750,55 (a)
21047,05	0,05	(2) F , tf	(2) *	46751,13 (a)
21048,57	0,05	tf , tf		
21052,13	0,05	(2) f , tf	(2) *	46756,21 (b)
21054,43	x(C480)	(1) (f)		
21056,57	0,05	(2) f , tf	(2) *	46760,65 (b)
21057,87	x(C481)	(2) c. , F , f		
21058,16	0,05	(2) *	(2) *	46762,24 (a)

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21059,60	0,05	(2) f , tf	(2) *	46763,68 (b)
21062,89	0,05	(2) f , tf	(2) *	46766,97 (b)
21066,17	0,05	(1) tf		
21066,81	0,05	(2) f	(2) *	46770,89 (b)
21068,17	0,05	(2) F , f	(2) *	46772,25 (b)
21069,59	0,05	(2) f	(2) *	46773,67 (b)
21072,27	0,05	(2) f , f	(2) *	46776,35
21076,02	0,05	f	(2) *	46780,10 (b)
21077,18	0,07	(2) F , f	(2) *	46781,26 (a)
21078,50	0,05	f		
21081,05	0,05	as. , tf	(2) *	46785,13 (b)
21084,39	0,05	tf	(2) *	46788,47 (b)
21085,36	0,05	(2) F , f	(2) *	46789,44 (a)
21086,58	0,05	tf	(1) *	5d 6p $^3P_2^o \rightarrow 5d_{5/2} 17s J=3$
21088,56	0,05	(1) (tf)	(2) *	46792,64 (b)
21088,99	0,05	tf		

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21092,83	0,05	F, f	(2)	46796,91 (a)
21093,93	x(0481)	f		
21095,45	0,08	F, L	Bl. { (1)	
			(2)	$5d_{5/2} \quad 11g \quad J=2$
21096,93	0,05	F, ttf	(2)	$5d_{5/2} \quad 11g \quad J=1 \text{ ou } 2$
21097,63	0,08	F	(1)	$6s \quad 6p \quad 1P_1^o \rightarrow 6s \quad 9d \quad 3D_2$
21099,56	0,05	F	(2)	46803,64 (a)
21100,58	0,05	tf		
21102,71	0,05	f, tf		
21105,76	0,05	F, f	(2)	46809,84 (a)
21106,63	0,05	tf		
21108,60	0,05	tf, tf		
21111,37	0,05	F, tf	(2)	46815,45 (b)
21112,17	0,05	tf		
21113,98	0,05	tf, tf		
21116,58	0,06	F, f	(2)	46820,66 (b)



Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21117,37	0,05	tf		
21118,96	0,05	tf		
21121,26	0,05	m , tf	(2)	46825,34 (b)
21122,05	0,07	tf		
21123,64	0,05	tf		
21124,6	0,1	(m)		
21125,57	0,05	m	(2)	46829,65 (b)
21126,28	x(0481)	tf	(1)	5d 6p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> → 5d <sub>5/2</sub> 16d J=3
21127,71	0,07	as. , F	(1)	
21129,52	0,05	f	(2)	46833,60 (b)
21130,31	x(0481)	tf		
21132,76	x(0480)	(tf)		
21133,31	0,10	f , tf	(2)	46837,39 (b)
21133,93	0,05	tf		
21136,59	0,05	f		
21137,40	0,15	f , >L	(1)	

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21140,06	0,06	F } , L	(2)	*	46844,14 (b)
21140,58	0,15	F } , L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub></u> 14d J=1ou2
21143,05	0,05	f	(1)	*	46847,13
21145,66	0,21	f , L	(2)	*	46849,74 (b)
21147,67	x(C481)	tf			
21149,06	0,05	tf			
21150,51	x(C481)	m			
21151,660	0,05	F , L	(1)	1,660	5d 6s <sup>1</sup> D <sub>2</sub> → 6s 7p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>
21159,16	0,06	tff	(1)	9,365	6s 6p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <sup>o</sup> → 5d 7s <sup>1</sup> D <sub>2</sub>
21170,54	0,05	as. , F , TL	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub></u> 14d J=1ou2
21176,64	0,06	tf , tf			
21179,55	x(C480)	(tf)	(1)	*	5d 6p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <sup>o</sup> → 5d <sub>5/2</sub> 18s J=3
21180,46	0,05	m , TTL(5Δσ)	(2)	*	46884,54 (b)
21196,76	x(C480)	(tf)			
21210,19	0,05	F	(0)	0,275	2p <sup>3</sup> P <sub>0</sub> <sup>o</sup> → 4s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
21211,28	0,06	TF	(0)	1,271	2p <sup>3</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → 4s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
			(0)	1,350	2p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <sup>o</sup> → 4s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>

BL. }

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21214,78	0,09	(1) as., (f)	(2)	*	<u><math>5d_{5/2}</math></u> $12g$ $J=2$
21227,99	x(C480)	(tf)			
21234,00	0,05	(1) tf, tf			
21241,07	0,11	(1) f			
21242,22	0,11	(2) } as., F, ttf			
21249,14	x(C480)	(tf)			
21251,60	0,06	ttf			
21254,59	x(C480)	(tf)	(1)	*	$5d$ $6p$ $^3P_2^o \rightarrow 5d_{5/2}$ $19s$ $J=3$
21267,73	0,05	tf			
21268,77	0,07	(1) as., f, f	(1)	8,712	$6s$ $6p$ $^3P_1^o \rightarrow 6s$ $8s$ $^3S_1$
21271,23	0,07	f, f			
21274,72	0,05	(1) C.	(1)	4,696	$6s$ $6p$ $^1P_1^o \rightarrow 6s$ $9d$ $^1D_2$
21275,17	0,40	(2) as., déf.	(2)	*	<u><math>5d_{5/2}</math></u> $15d$ $J=10u2$
21279,93	0,12	tf			
21282,40	x(C481)	ttf			
21289,44	x(C480)	(ttf)			

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{obs} (cm^{-1})$	$\delta(\sigma_{obs} - \sigma_r)(cm^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{calc} (cm^{-1})$	Classification
21293,33	x(C480)	(tf)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 15d J=1ou2</u>
21299,48	x(C480)	(f)	(1)		
21299,84	0,08	as., F, L			
21307,72	0,05	F			
21308,76	0,08	as., TF	(1)	8,643	6s 6p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <sup>o</sup> → 6p <sup>2</sup> <sup>3</sup> P <sub>1</sub>
21310,48	x(C481)	f			
21330,13	x(C480)	(ttf)			
21344,25	0,13	ttf			
21354,14	x(C480)	f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 13g J=2</u>
21355,16	0,07	F, ttf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 13g J=1ou2</u>
21361,57	0,05	(tf)			
21381,14	x(C480)	ttf	(1)		
21381,71	0,05	as., F, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 16d J=1ou2</u>
21390,75	0,05	as., TTF, L	(1)	0,688	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>3</sub> → 6s 7p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <sup>o</sup>
21400,28	0,05	F, L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 16d J=1ou2</u>
21404,72	0,05	as., F, f	(1)	4,724	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → 5d 8s <sup>3</sup> D <sub>2</sub>

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{obs} (cm^{-1})$	$\delta(\sigma_{obs} - \sigma_f)(cm^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{calc} (cm^{-1})$	Classification
21414,45	0,11	(1) TF, $\ll$ TL	(1)		
21441,11	0,06	(1) as., TF, TL	(1)		
21444,70	0,05	(2) m, ttf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 14g J=1ou2</u>
21453,23	0,05	ttf			
21466,17	0,08	(1) as., TF, TTL(5Δσ)	B1. { (2)		
21476,71	0,05	tf		*	<u>5d<sub>5/2</sub> 17d J=1ou2</u>
21481,14	0,08	(2) as., m, L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 17d J=1ou2</u>
21486,68	x(0480)	(tf)			
21493,22	0,05	(1) F, TL			
21505,57	x(0480)	(tf)			
21510,25	0,05	ttf			
21510,79	0,05	(1) (f)			
21516,47	0,05	(2) tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 15g J=2</u>
21517,06	0,05	m, tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 15g J=1ou2</u>
21521,83	x(0480)	(ttf)			

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21526,43	x(C480)	(tf)		
21529,77	0,05	tf		
21534,64	0,05	m, f	(2)	<u><math>5d_{5/2}</math></u> 18d J=10u2
21537,12	0,05	F, L		
21546,71	0,05	as., m, L	(2)	<u><math>5d_{5/2}</math></u> 18d J=10u2
21555,42	0,05	f, f		
21559,8	x(C480)	ttf		
21563,49	0,09	as., TF, <<L	(1)	
21568,58	x(C480)	ttf		
21576,15	0,08	m, f	(2)	<u><math>5d_{5/2}</math></u> 16g J=10u2
21585,10	0,11	tf		
21590,67	0,05	m, f	(2)	<u><math>5d_{5/2}</math></u> 19d J=10u2
21599,92	0,05	c., TTF, f	(1)	5d 6s $^3D_2$ → 6s 7p $^3P_1^o$
21600,66	0,05		(2)	<u><math>5d_{5/2}</math></u> 19d J=10u2
21611,57	0,12	tf	(1)	6s 6p $^1P_1^o$ → 6s 11s $^1S_0$
21617,94	0,05	ttf		

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	Classification
21622,13	0,05	m , L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 17g J=1ou2</u>
21625,15	0,05	f , f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 20d J=1ou2</u>
21637,36	0,05	m , tf	(1)	9,310	6s 6p <sup>3</sup> P <sub>0</sub> → 6s 8s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
21639,34	0,07	as. , m , L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 20d J=1ou2</u>
21645,86	0,05	m , f			
21649,27	x(0480)	tff			
21652,21	0,08	f , tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 18g J=1ou2</u>
21666,21	0,09	f , ttf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 21d J=1ou2</u>
21676,54	0,05	m , tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 21d J=1ou2</u>
21683,76	0,05	f , f			
21686,75	x(0480)	tff			
21700,99	x(0480)	f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 19g J=1ou2</u>
21709,51	0,05 (1)	F , f	(1)	9,506	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>1</sub> → 6s 7p <sup>3</sup> P <sub>0</sub>
21715,88	0,05	f , f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 22d J=1ou2</u>
21718,33	x(0480)	tff			
21720,68	x(0480)	tff			

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21730,70	x(0480)	as., f	(2) *	$5d_{5/2} \ 20g \ J=10u2$
21734,30	x(0480)	tff	(1) 4,372	$6s \ 6p \ ^3P_1^o \rightarrow 6s \ 8s \ ^1S_0$
21738,28	0,05	f, f	(2) *	$5d_{5/2} \ 23d \ J=10u2$
21743,87	0,05	tf, l	(2) *	$5d_{5/2} \ 23d \ J=10u2$
21752,52	x(0480)	tff		
21756,27	x(0480)	tf	(2) *	$5d_{5/2} \ 21g \ J=10u2$
21762,75	0,05	f, f	(2) *	$5d_{5/2} \ 24d \ J=10u2$
21767,59	0,05	F	{ autre ordre	
			(2) *	
21771,66	0,05	(1) TF	(1) 1,720	$5d_{5/2} \ 24d \ J=10u2$
21777,17	x(0480)	F, f	autre ordre	$6s \ 7p \ ^3P_2^o$
21779,78	x(0480)	TF	autre ordre	
21781,46	0,05	(1) TTF	(1) 1,529	$5d \ 6s \ ^3D_1 \rightarrow 6s \ 7p \ ^3P_1^o$
21829,3	x(0460)	tf, l	(2) *	$5d_{5/2} \ 25g \ J=10u2$
21833,5	x(0460)	tff		
21837,7	x(0460)	tff		



Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21862,0	x(0460)	(1) tf, tf	(1)	1,918	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow$ 6s10d $^3D_2$
21870,1	x(0460)	tff	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> <math>^3D_2</math></u>
21880,0	x(0460)	tff	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> <math>^3D_2</math></u>
21910,6	x(0460)	(1) f, L			
21938,1	x(0460)	m, tf	(1)	8,095	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow$ 6s10d $^1D_2$
21952,3	x(0460)	f, f			
22102,1	x(0460)	(1) f, tf	(1)	2,180	6s 6p $^3P_2^o \rightarrow$ 6p <sup>2</sup> $^3P_2$
22163,3	x(0460)	(1) tff	(1)	3,500	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow$ 5d 8s $^1D_2$
22177,5	x(0460)	tf, f			
22247,2	x(0460)	(1) f, tf	(1)	7,428	6s 6p $^3P_2^o \rightarrow$ 6s 7d $^3D_2$
22264,3	x(0460)	tff			
22270,4	x(0460)	(1) f, tf	(1)	0,515	6s 6p $^3P_2^o \rightarrow$ 6s 7d $^3D_3$
22278,3	x(0460)	tff, tf			
22307,2	x(0460)	tff			
22326,0	x(0460)	tff			
22357,6	x(0460)	(1) TF, <<f	(0)	7,64	2p $^2P_1^o \rightarrow$ 4d $^3D$

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
22379,5	x(C460)	tff, L	(1)	9,627	$6s\ 6p\ ^3P_2 \rightarrow 5d\ 6d\ ^3G_3$
22423,3	x(C460)	m, tf	(1)	3,335	$6s\ 6p\ ^1P_1 \rightarrow 6s11d\ ^1D_2$



Tableau IIIa et IIIb - Niveau intermédiaire 5d6p  $^3P_2^o$  ( $E_{II} = 25956,495 \text{ cm}^{-1}$ )

Tableau IIIa - Colorant utilisé pour la cavité laser n° 2 : R640 et RB.

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{f}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15157,94	x(R640)	f <sup>+</sup> , tf		
15166,77	x(R640)	m <sup>+</sup> , ttf		
15174,19	x(R640)	m <sup>+</sup> , ttf		
15190,99	x(R640)	ttf <sup>+</sup>		
15205,78	x(R640)	f <sup>+</sup> , ttf	(2)	6s14d $^1D_2$
15207,97	x(R640)	f <sup>+</sup> , ttf	(2)	6s14d $^3D_2$
15225,23	x(R640)	f <sup>+</sup> , TTL		
15243,86	x(R640)	f <sup>+</sup> , tf		
15248,02	x(R640)	f <sup>+</sup> , tf	(2)	<u>5d 7d <math>^3F_2</math></u>
15302,26	x(R640)	ttf <sup>+</sup> , TTL		
15315,93	x(R640)	m <sup>+</sup> , f	(1)	6s 5d $^3D_2 \rightarrow$ 5d 6p $^3D_2^o$
15344,11	x(R640)	f <sup>+</sup> , ttf	(2)	6s 15d $^3D_2$
15371,65	x(R640)	ttf <sup>+</sup>		

Tableau IIIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15373,47	x(R640)	tf <sup>+</sup> , f	(1)	3,286	6s 5d <sup>3</sup> D <sub>3</sub> → 5d 6p <sup>3</sup> D <sub>3</sub> <sup>o</sup>
15375,22	x(R640)	m <sup>+</sup> , ttf	(1)	0,672	5d 6p <sup>3</sup> D <sub>2</sub> <sup>o</sup> → 6s10d <sup>3</sup> D <sub>2</sub>
15383,29	x(R640)	f <sup>+</sup> , tf	(1)		
15390,68	x(R640)	ttf <sup>+</sup>	(1)		
15413,27	x(R640)	tf <sup>+</sup>	(1)		
15418,36	x(R640)	tf <sup>+</sup>	(1)		
15420,999	{ <sup>réf.</sup> x(R640)	m <sup>+</sup>	(1)	0,999	6s 5d <sup>1</sup> D <sub>2</sub> → 5d 6p <sup>1</sup> F <sub>3</sub> <sup>o</sup>
15423,45	x(R640)	tf <sup>+</sup>	(2)	*	6s13g <sup>3</sup> G <sub>3</sub>
15428,58	x(R640)	tf <sup>+</sup>	(1)	8,721	5d 6p <sup>3</sup> F <sub>4</sub> <sup>o</sup> → 6s 9d <sup>3</sup> D <sub>3</sub>
15433,65	x(R640)	ttf <sup>+</sup>	(1)	3,793	5d 6p <sup>3</sup> D <sub>3</sub> <sup>o</sup> → 6s11d <sup>3</sup> D <sub>2</sub>
15443,66	x(R640)	f <sup>+</sup> , tf	(2)	*	6s16d <sup>3</sup> D <sub>3</sub>
15449,47	x(R640)	m <sup>+</sup> , tf	(1)	6,849	5d 6p <sup>3</sup> D <sub>2</sub> <sup>o</sup> → 6s10d <sup>1</sup> D <sub>2</sub>
15466,80	x(R640)	tf <sup>+</sup> , f	(1)		
15482,34	x(R640)	ttf <sup>+</sup>	(2)	*	6s18s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
15494,66	x(R640)	tf <sup>+</sup>	(1)	7,532	6s 5d <sup>3</sup> D <sub>1</sub> → 5d 6p <sup>3</sup> D <sub>2</sub> <sup>o</sup>
15497,45	x(R640)	f <sup>+</sup> , tf	(1)		

Tableau IIIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15502,85	x(R640)	m <sup>+</sup>	(2)	<u>5d 7d</u> $^3D_3$
15514,45	x(R640)	m <sup>+</sup> , ttf	(2)	6s14g $^3G_3$
15534,94	x(R640)	tf <sup>+</sup>	(2)	6s17d $^3D_1$
15539,08	x(R640)	m <sup>+</sup>	(2)	6s17d $^3D_3$
15556,31	x(R640)	f <sup>+</sup> , ttf		
15570,59	x(R640)	f <sup>+</sup> , tf	(2)	6s19s $^3S_1$
15595,15	x(R640)	ttf <sup>+</sup>		
15599,61	x(R640)	tf <sup>+</sup> , L		
15602,50	x(R640)	m <sup>+</sup> , tf	(2)	6s18d $^3D_1$
15606,05	x(R640)	m <sup>+</sup> , tf	(2)	6s18d $^3D_3$
15613,84	x(R640)	m <sup>+</sup>	(2)	<u>5d 7d</u> $^1P_1$
15614,97	x(R640)	m <sup>+</sup>		
15636,33	x(R640)	m <sup>+</sup> , tf	(2)	6s20s $^3S_1$
15654,85	x(R640)	tf <sup>+</sup>		
15661,43	x(R640)	f <sup>+</sup> , tf	(2)	6s19d $^3D_{2,1}$
15662,14	x(R640)	f <sup>+</sup> , f	(2)	6s19d $^3D_3$

Tableau IIIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15684,26	x(R640)	f <sup>+</sup> , tf	(2)	*	6s21s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
15685,19	x(R640)	tf <sup>+</sup> , ttf	(1)	2,254	5d 6p <sup>3</sup> D <sub>2</sub> → 5d 8s <sup>1</sup> D <sub>2</sub>
15686,20	x(R640)	tf <sup>+</sup>	(2)		6s20d <sup>3</sup> D <sub>1,2,3</sub>
15692,33	x(R640)	f <sup>+</sup> , f			
15708,38	x(R640)	ttf <sup>+</sup>			
15709,96	x(R640)	tf <sup>+</sup> , TTL			
15718,95	x(R640)	m <sup>+</sup> , tf			
15741,60	x(R640)	tf <sup>+</sup>			
15747,89	x(R640)	ttf <sup>+</sup>	(2)		6s21d <sup>3</sup> D <sub>1,2,3</sub>
15764,318	{ réf. x(R640)	f <sup>+</sup> , f	(1)	4,318	6s 5d <sup>3</sup> D <sub>2</sub> → 5d.6p <sup>3</sup> D <sub>3</sub> <sup>o</sup>
15766,40	x(R640)	f <sup>+</sup> , tf			
15768,64	x(R640)	f <sup>+</sup>			
15770,17	x(R640)	m <sup>+</sup> , tf	(2)	*	<u>5d 7d</u> <sup>3</sup> F <sub>3</sub>
15772,97	x(R640)	tf <sup>+</sup>	(2)	*	6s19g <sup>3</sup> G <sub>3</sub>
15781,25	x(R640)	tf <sup>+</sup>	(2)		6s22d <sup>3</sup> D <sub>1,2</sub>
15782,79	x(R640)	f <sup>+</sup> , tf	(2)	*	6s22d <sup>3</sup> D <sub>3</sub>

Tableau IIIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15783,51	x(R640)	ttf <sup>+</sup>	(2)	3,687	6s22d <sup>1</sup> D <sub>2</sub>
15809,77	x(R640)	tf <sup>+</sup>	(2)	*	6s23d <sup>3</sup> D <sub>1,2</sub>
15810,76	x(R640)	tf <sup>+</sup>	(2)	*	6s23d <sup>3</sup> D <sub>3</sub>
15811,74	x(R640)	tf <sup>+</sup>	(2)	1,854	6s23d <sup>1</sup> D <sub>2</sub>
15825,12	x(R640)	ttf <sup>+</sup>			
15825,91	x(R640)	tf <sup>+</sup>			
15834,29	x(R640)	f <sup>+</sup>	(2)	*	6s24d <sup>3</sup> D <sub>1,2</sub>
15835,10	x(R640)	ttf <sup>+</sup>	(2)	*	6s24d <sup>3</sup> D <sub>3</sub>
15836,13	x(R640)	f <sup>+</sup>	(2)	6,128	6s24d <sup>1</sup> D <sub>2</sub>
15845,21	x(R640)	ttf <sup>+</sup>	(1)	5,081	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → 6s 8s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
15855,46	0,08 *	m <sup>+</sup> , f	(2)		6s25d <sup>3</sup> D
15857,12	0,09	f <sup>+</sup>	(2)	7,076	6s25d <sup>1</sup> D <sub>2</sub>
15866,34	0,05	ttf <sup>+</sup>	(2)	*	6s27s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
15872,99	0,05	m <sup>+</sup> , f	(2)	2,992	6s26d <sup>3</sup> D <sub>2</sub>
15875,50	0,08	f <sup>+</sup> , tf	(2)	5,411	6s26d <sup>1</sup> D <sub>2</sub>
15879,55	x(R640)	tf <sup>+</sup> , tf			



Tableau IIIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15885,19	0,05	F <sup>+</sup> , L	(2) 5,165	$\underline{5d\ 7d\ }^1D_2$
15887,64	x(R640)	f <sup>+</sup> , L	(2) *	6s24g $^3G_3$
15891,78	0,05	f <sup>+</sup>	(2)	6s27d $^3D$
15895,57	0,09	m <sup>+</sup> , f	(2) 5,560	6s27d $^1D_2$
15898,88	0,06	tf <sup>+</sup>	(2) *	6s29s $^3S_1$
15906,20	0,05	f <sup>+</sup>	(2)	6s28d $^3D$
15908,19	0,05	m <sup>+</sup> , f	(2) 8,194	6s28d $^1D_2$
15912,57	0,05	tf <sup>+</sup>	(2) *	6s30s $^3S_1$
15916,68	x(R640)	ttf <sup>+</sup>		
15918,99	0,05	F, ttf	(2)	6s29d $^3D$
15920,49	0,05	TF, $\ll$ tf	(2) 0,512	6s29d $^1D_2$
15924,77	0,05	F, ttf	(2) *	6s31s $^3S_1$
15925,74	x(R640)	(f <sup>+</sup> )		
15928,21	x(RB)	F, ttf		
15929,23	x(RB)	f, ttf		
15930,45	0,05	TF, $\ll$ tf	(2)	6s30d $^3D$

Tableau IIIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15931,67	0,05	TF	(2)	1,613	$6s31d \ ^1D_2$
15935,63	0,05	TF, $\ll$ tf	(2)	*	$6s32d \ ^3S_1$
15939,05	x(RB)	f, ttf			
15940,72	0,05	TF, $\ll$ f	(2)		$6s31d \ ^3D$
15941,79	0,05	TF, f	(2)	1,711	$6s31d \ ^1D_2$
15945,38	0,06	TF, $\ll$ tf	(2)	*	$6s33s \ ^3S_1$
15949,97	0,05	F, ttf	(2)		$6s32d \ ^3D$
15950,89	0,05	TF, ttf	(2)	0,876	$6s32d \ ^1D_2$
15954,11	0,07	TF, ttf	(2)	*	$6s34s \ ^3S_1$
15958,24	0,05	TF, ttf	(2)		$6s33d \ ^3D$
15958,67	x(R640)	(f <sup>+</sup> )			
15959,05	0,05	TF, ttf	(2)	9,070	$6s33d \ ^1D_2$
15962,00	0,05	TF, $\ll$ tf	(2)	*	$6s35s \ ^3S_1$
15965,90	0,10	TF, $\ll$ tf	(2)		$6s34d \ ^3D$
15966,55	x(RB)	TF, $\ll$ tf	(2)	6,607	$6s34d \ ^1D_2$
15969,02	0,10	TF, $\ll$ tf	(2)	*	$6s36s \ ^3S_1$

Tableau IIIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15972,58	0,05	m	(2)	*	$6s35d \ ^3D_1$
15974,53	0,08	F	(2)	*	$5d \ 7d \ ^3P_1$
15975,71	0,10	tf			
15977,27	0,07	F	(2)	*	$6s37s \ ^3S_1$
15979,37	0,10	f	(2)	*	$6s36d \ ^3D_1$
15982,37	0,10	f	(2)	*	$6s38s \ ^3S_1$
15984,99	0,10	TF, <<f	(2)	*	$6s37d \ ^3D_1$
15987,70	0,10	TF, <<tf	(2)	*	$6s39s \ ^3S_1$
15990,10	0,06	F, tf	(2)	*	$6s38d \ ^3D$
15990,41	x(RB)	F, ttf	(2)	0,490	$6s38d \ ^1D_2$
15992,61	0,05	F, <<tf	(2)	*	$6s40s \ ^3S_1$
15994,79	0,05	F, tf	(2)		$6s39d \ ^3D$
15995,12	x(RB)	m, ttf	(2)	5,297	$6s39d \ ^1D_2$
15997,12	0,05	TF, tf	(2)	*	$6s41s \ ^3S_1$
15999,40	0,05	tf, f	(2)	*	$6s40d \ ^1,^3D$
16001,41	0,05	F, ttf	(2)	*	$6s42s \ ^3S_1$

Tableau IIIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16003,39	0,05	(ttf <sup>+</sup> )	(2)	*	6s41d <sup>1,3</sup> D
16005,30	0,05	f , ttf	(2)	*	6s43s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
16007,61	0,05	tf , ttf	(2)	*	6s42d <sup>1,3</sup> D
16008,94	0,05	tf , ttf	(2)	*	6s44s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
16012,32	0,05	tf , ttf	(2)	*	6s45s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
16015,40	x(RB)	tf , tf	(2)	*	6s46s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
16018,35	x(RB)	ttf , tf	(2)	*	6s47s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
16037,73	0,11	F , tf	(1)		
16066,30	x(R640)	(f <sup>+</sup> ), TL			
16161,88	x(RB)	TF , TTL( $\ll 12\Delta\sigma$ )	(2)	*	<u>5d 7d <sup>3</sup>P<sub>2</sub></u>
16273,56	x(RB)	tf , ttf			
16277,62	x(RB)	inv. , tf , tf	(2)	*	<u>5d 9s <sup>3</sup>D<sub>2</sub></u>
16288,81	x(RB)	tf , ttf			
16291,43	x(RB)	ttf , ttf			
16295,08	x(RB)	tf , ttf			
16335,91	x(RB)	inv. , tf , tf			

Tableau IIIa (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16359,971	$\begin{cases} \text{réf.} \\ \times(\text{RB}) \end{cases}$	TF, $\ll$ f	(1)	9,971	6s 5d $^3D_3 \rightarrow$ 5d 6p $^3P_2^o$
16374,04	$\times(\text{RB})$	inv., tf, tf			
16423,15	$\times(\text{RB})$	tf, ttf			
16461,37	$\times(\text{RB})$	f, ttf			
16467,36	$\times(\text{RB})$	tf, ttf			
16479,41	0,05	m, ttf			
16488,60	0,05	inv., TTF, tf	(1)	8,591	6s 5d $^3D_2 \rightarrow$ 5d 6p $^3P_1^o$
16497,78	$\times(\text{RB})$	f, ttf			
16553,45	0,05	TF, ttf	(2)	*	42509,94 J=1ou2
16608,15	$\times(\text{RB})$	f, ttf	(1)	8,145	6s 5d $^3D_1 \rightarrow$ 5d 6p $^3P_0^o$

Plage non explorée pour  $16612 \text{ cm}^{-1} < \sigma_{\text{obs}} < 17327 \text{ cm}^{-1}$ .

Tableau IIIb - Colorants utilisés pour la cavité laser n° 2 : Fluorescéine, C485, C481<sup>+</sup>, C460.

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
17326,4	x(Fl.)	ttf	(2)	<u>5d<sub>5/2</sub> 5g J=2</u>
17346,1	x(Fl.)	f	(2)	<u>5d<sub>5/2</sub> 5g J=1ou2</u>
17366,8	x(Fl.)	tf		
17384,9	x(Fl.)	ttf		
17404,6	x(Fl.)	ttf		
17447,0	x(Fl.)	tf		
17525,6	0,1	tf		
17595,2	x(Fl.)	tf		
17600,6	0,1	tf	(1) 0,747	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>2</sub> → 5d 6p <sup>1</sup> F <sub>3</sub> <sup>o</sup>
17613,1	0,1	f	(2) *	43569,6 (b)
17649,21	0,05	tf, L	(1) 9,018	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → 6s 7d <sup>3</sup> D <sub>1</sub>
17681,10	x(Fl.)	ttf		
17697,1	x(Fl.)	ttf		
17701,3	x(Fl.)	ttf		
17706,52	0,16	as., TF, TTL(3Δσ)	(2) *	<u>5d<sub>5/2</sub> 8d J=3</u>
17724,33	0,13	m, L	(1)	

Tableau IIIB (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{I}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
17759,5	x(FL.)	tff			
17761,03	0,05	TF, L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 8d J=1</u>
17782,26	0,05	as., f, tf	(1)	2,203	5d <sup>2</sup> <sup>3</sup> P <sub>0</sub> → 6s14p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>
17782,38	x(FL.)				
17792,93	0,07	as., m, tf	(1)		
17802,52	x(FL.)	tff			
17806,91	0,05	as., TF, L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 8d J=3</u>
17821,85	x(FL.)	tff			
17844,36	0,10	TF, TTL(3,4Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 8d J=2</u>
17873,3	0,1	tff	(1)	3,528	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → 5d 6d <sup>3</sup> D <sub>1</sub>
17895,48	0,13	as., TF, TTL(3,4Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 8d J=1</u>
17927,23	0,05	f, L	(1)		
17986,3	0,1	tf			
18013,62	0,12	f, L	(1)	*	5d 6p <sup>3</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → 5d <sub>5/2</sub> 8d J=1
18026,76	0,11	inv., f, L	(1)		
18058,59	0,70	TF, TTL(6,7Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 8d J=2</u>

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
18059,94	0,10	TF, TL	(1)	60,244	$6s^2 1S_0 \rightarrow 6s 6p^1 P_1^o$
18070,7	x(Fl.)	tff			
18085,01	0,05	(1) as., m, f	(1)		
18088,35	0,09	(1) m, f	(1)		
18113,68	0,26	as., tf	(1)	4,027	$6s 6p^3 P_1^o \rightarrow 6s 6d^3 D_2$
18122,92	0,10	(2) { as., m, TL	(2)	*	$5d_{3/2} 9d J=1$
18125,06	0,05	(2) { m, f	(2)	*	$5d_{3/2} 9d J=3$
18205,73	0,23	(2) TF, tf	(2)	*	$5d_{3/2} 9d J=3$
18229,94	0,20	tf			
18233,5	x(Fl.)	m			
18235,13	0,05	(2) TF, f	(2)	*	$5d_{3/2} 9d J=2$
18235,6	0,15	(tf)			
18260,85	0,05	(1) { m, ttf	(1)		
18260,95	0,05	(1) { as., f, f	(1)		
18264,08	0,05	(1) { inv., m, tf	(1)		
		(1) { as.,			



Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
18276,54	0,05	TF, L	(2)	*	<u>5d<sub>3/2</sub></u> 9d J=1
18281,32	0,05	TF, TTL(3,4Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>3/2</sub></u> 9d J=2
18285,84	x(F1.)	(tf)			
18376,67	0,05	TF, ttf			
18384,77	0,05	as., f, f	(1)		
18386,32	0,05	f, f	(1)	6,287	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → 5d 6d <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
18409,74	x(C485)	tf, ttf			
18420,75	0,05	f, L			
18429,56	0,05	f, f	(1)	9,571	6s 6p <sup>3</sup> P <sub>0</sub> <sup>o</sup> → 6s 6p <sup>3</sup> D <sub>1</sub>
18432,83	0,05	f, ttf			
18454,84	x(C485)	tf, ttf			
18459,3	x(C485)	ttf			
18464,42	x(C485)	f, f			
18487,64	0,08	f, f			
18496,83	0,05	as., m, f	(1)		
18516,64	0,14	as., F, TTL(8Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub></u> 10s J=3

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
18528,76	0,05	(1) m , f			
18536,73	0,05	(1) f , f			
18549,63	0,16	(1) F , TL	(1)		
18560,89	0,05	tf , ttf			
18578,83	0,05	(1) as. , f , f			
18584,70	0,05	(1) as. , m , f			
18590,96	0,20	tf , L			
18620,40	x(0485)	tf , TL			
18634,01	0,05	(1) f , f			
18637,5	x(0485)	ttf			
18652,16	0,05	(1) as. , f , tf			
18655,01	x(0485)	tf , tf			
18673,18	0,05	tf , tf			
18689,82	0,05	(2) TF , ttf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 6g J=2</u>
18694,25	0,05	f , L			
18702,77	0,05	(2) as. , F , ttf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 6g J=1ou2</u>

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie	OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
18707,12	0,05	as.	TF, tf	(2)	*	44663,61 (a)
18718,33	x(C485)		tf, tf			
18729,55	x(C485)		tf, L			
18739,53	0,05	as.	tf, TTL(3,4Aσ)			
18744,10	x(C485)	as.	f, tf			
18748,02	x(C485)		f, tf			
18755,00	x(C485)		f, tf	(1)	5,123	5d 6p $^1D_2^o \rightarrow 6s26d \ ^3D_2$
18757,01	x(C485)	as.	tf, tf	(1)	7,542	5d 6p $^1D_2^o \rightarrow 6s26d \ ^1D_2$
18763,41	x(C485)		tf, TTL(3Aσ)			
18767,15	0,05		f, f	(1)	7,296	5d 6p $^1D_2^o \rightarrow 5d \ 7d \ ^1D_2$
18771,06	x(C485)		f, f			
18777,49	x(C485)		f, f	(1)	7,691	5d 6p $^1D_2^o \rightarrow 6s27d \ ^1D_2$
18779,05	0,05	as.	m, f	(1)	*	5d 6p $^3F_3^o \rightarrow 5d \ 7d \ ^1F_3$
18782,23	0,05		F, tf	(1)	*	5d 6p $^3F_3^o \rightarrow 6s19g \ ^3G_3$
18782,75	0,20		f, TL			
18790,12	x(C485)		tf, ttf	(1)	0,325	5d 6p $^1D_2^o \rightarrow 6s28d \ ^1D_2$

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{I}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
18791,55	x(0,485)	as., tf, ttf	(1)	2,643	5d 6p $^1D_2^o \rightarrow 6s29d \ ^1D_2$
18802,55	x(0,485)	as., tf, f			
18828,76	x(0,485)	ttf			
18831,44	0,05	m	(1)		
18834,4	x(0,485)	ttf			
18838,96	0,05	f, L			
18840,79	x(0,485)	ttf, tf			
18842,42	0,05	as., tf, f	(1)	2,387	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow 5d \ 6d \ ^1P_1$
18851,80	0,05	F, tf	(2)	*	44808,29 (b)
18852,49	0,19	as., F, L	(1)	*	44808,98 (a)
			Bl. {		
			(1)		
18870,45	0,07	TF, tf	(2)	*	44826,94 (b)
18883,56	0,05	as., m, f	(1)		
18893,64	0,08	TF, TL	(2)	*	44850,13 (a)
18894,78	0,05	F			
18898,23	0,05	m, f	(1)		

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
18904,51	0,05	f , ttf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 9d J=3</u>
18914,85	0,07	TTF , TL	(2)		
18938,91	0,05	as. , f , f	(1)		
18942,79	0,05	as. , m , f	(1)	*	5d 6p <sup>3</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → 5d <sub>5/2</sub> 6s J=2
18947,79	0,17	TF , TL	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 9d J=1</u>
18955,18	x(C485)	tf , f	(1)	*	5d 6p <sup>3</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → 5d <sub>5/2</sub> 6s J=1ou2
18959,34	0,05	f , tf	(1)	9,467	5d <sup>2</sup> <sup>3</sup> F <sub>2</sub> → 5d 4f (J=1) <sup>o</sup>
18961,15	0,05	as. , m , f	(1)		
18981,02	0,05	as. , F , L	(1)		
18990,46	0,05	as. , f , tf	(1)		
19003,72	0,05	as. , F , tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 9d J=3</u>
19004,3	x(C485)	ttf	(1)		
19028,43	0,05	as. , f , tf	(1)	8,514	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → 5d 6d <sup>3</sup> F <sub>2</sub>
19031,94	0,06	as. , f , tf	(1)		
19034,9	x(C485)	ttf	(1)	5,197	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → 6s 9s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
19042,62	0,11	as. , TF , TTI(3,4Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 9d J=2</u>

Tableau IIIB (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
19046,7	x(0485)	tff			
19052,13	0,05	tff			
19066,45	0,05	TTF, L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 9d J=1</u>
19094,20	0,10	tf, TL			
19097,89	0,05	f, tf			
19100,4	x(0485)	tff			
19105,22	0,10	m, L	(1)		
19110,16	0,05	m, tf	(1)		
19117,58	0,11	TTF, TL	(2)	*	45074,07 (a)
19140,20	x(0485)	f, f	(1)	0,108	5d 6p <sup>3</sup> F <sub>2</sub> <sup>o</sup> → 5d 7d <sup>3</sup> F <sub>2</sub>
19141,0	x(0485)	tf			
19142,05	0,05	f, tf			
19147,66	0,10	m, L	(2)	*	45104,15 (b)
19173,17	0,78	m, TFL(7,6Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 9d J=2</u>
19231,92	0,05	es., TF, tff	(2)	*	45188,41 (a)
19241,22	0,05	tf, f			

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
19257,16	0,05	(1) f, f	(2)	*	45290,48 (a)
19270,87	x(0485)	tf, f	(2)	*	45291,41 (b)
19286,36	0,10	(1) f, TL	(1)	8,701	5d 6s $^3D_2 \rightarrow 5d 6p \ ^1P_1^o$
19309,66	0,05	(1) as., F, f	(1)	*	45319,42 (b)
19312,71	x(0485)	f, TL	(2)	*	
19316,32	0,05	(1) F, f	(2)	*	
19321,56	0,05	(1) f, f	(1)		
19323,71	x(0485)	tf, f	(2)		
19333,99	0,05	m, L	(2)		
19334,92	0,05	(2) m, tf	(2)		
19338,70	0,05	(1) F, tf	(1)		
19339,96	0,15	tf, TTL(3,5 $\Delta\sigma$ )	(2)		
19362,93	0,05	(2) F, f	(2)		
19363,93	0,06	tf	(2)		
19370,28	x(0485)	ttf	(2)		
19373,86	0,05	(2) F	(2)		45330,35 (a)
19374,58	0,10	(1) m } L	(1)	4,887	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow 6s 8d \ ^1D_2$

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie	OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
19377,67	0,05	tf	tf			
19392,00	0,05	as.	m, L	(2)	*	45348,49 (a)
19398,75	0,05	F	TTL(4,4Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 11s J=3</u>
19429,38	0,08	tf	f			
19462,24	0,05	f	tff			
19465,80	0,05	f	L			
19469,81	0,17	as.	tf, TL	(2)	*	45426,30 (b)
19476,14	0,05	f	f			
19471,4	x(0485)	tff				
19488,52	0,05	m	tf	(2)	*	45445,01 (b)
19503,86	0,06	as.	TF, tff	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 7g J=2</u>
19510,63	0,05	F	tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 7g J=1ou2</u>
19567,15	0,66	tf	TL			
19593,15	0,05	TF	tff	(2)	*	45549,64 (a)
19625,89	0,13	as.	m, f	(1)		
19630,99	0,05	tf	f			



Tableau IIIB (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{I}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
19637,84	0,05	(1) f, f	(2)	*	45603,91 (b)
19647,42	0,05	(2) TTF, f	(2)	*	45613,63 (b)
19657,14	0,12	(2) as., TF, TL	(2)	*	45624,11 (a)
19667,62	0,05	(2) F, ttf	(2)	*	45636,21 (a)
19679,72	0,05	(2) TF, TL	(2)	*	
19687,90	x(0485)	tf, tf			
19699,75	0,05	as., f, f			
19702,53	0,05	f, L			
19706,8	x(0485)	tf			
19721,77	0,26	f, tf			
19733,31	0,17	(1) F, TTL(3,7Δσ)			
19734,38	0,18	as., TF, f			
19742,21	0,14	(2) F, TL	(2)	*	45698,70 (a)
19754,64	0,09	(2) TTF, f	(2)	*	45711,13 (a)
19756,78	0,05	f, tf			
19761,86	0,05	f, tf			

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
19762,5	x(C481)	m		
19763,3	x(C481)	tf	(1) *	5d 6p $^3P_1^o \rightarrow 5d_{5/2} 7g J=10u2$
19765,61	0,05	(f), ttf		
19768,36	x(C481)	m		
19777,54	0,30	(1) C., { (m)	(1) 7,025	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow 5d 6d 1D_2$
19780,50	0,13	(2) TF, TL	(2) *	45736,99 (a)
19788,01	0,05	F, tf		autre ordre
19789,57	x(C481)	tf, ttf		
19793,61	0,20	ttf, TL		
19798,72	0,08	F, f		autre ordre
19803,74	x(C485)	(tf), tf		
19805,39	0,06	(1) as., TF, tf	(0) 5,352	2p $^1P_1^o \rightarrow 4s 1S_0$
19822,00	0,12	(2) m, TTI(5,44 $\sigma$ )	(2) *	45778,49 (b)
19831,11	0,05	f, ttf		
19837,63	0,05	(1) m, ttf		autre ordre
19838,62	x(C481)	tf		

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
19840,07	0,06	tf		
19850,54	0,07	tf		
19851,65	0,05	F, ttf	(2)	45808,14 (a)
19859,04	0,05	tf, tf		
19875,6	x(c481)	tf		
19877,45	0,05	F, TL	(2)	45833,94 (b)
19887,56	0,05	f, tf	(2)	45844,05 (b)
19900,44	0,05	f		
19905,79	0,05	m, f	(2)	45862,28 (a)
19911,81	x(c481)	tf		
19921,11	0,05	TF	(2)	45877,60 (b)
19922,06	x(c481)	tf		
19926,22	0,24	C. , { tf		
19926,94	0,05		(2)	45883,43 (a)
19932,06	0,14	TTF, tf	(0)	2s <sup>1</sup> S <sub>0</sub> → 3p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>
19935,54	0,05	f, ttf	(2)	45892,03 (a)

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
19938,14	0,10	(2) F, ttf	(2) *	45894,63 (a)
19949,16	0,05	(1) f, L		
19951,36	0,05	(2) F, tf	(2) *	45907,85 (b)
19955,21	x(0481)	(tf)		
19956,55	0,05	(1) as., m, L		
19962,38	0,07	(2) TF, TTL(3,6Δσ)	(2) *	<u>5d<sub>5/2</sub> 12s J=3</u>
19973,68	0,09	tf, TTL(3,2Δσ)		
19980,41	0,05	tf, f		
19981,79	0,05	f, f		
20007,15	0,05	f, f		
20009,36	0,06	(2) m, TL	(2) *	45965,85 (a)
20011,38	0,07	(1) as., F, TL	(1) 1,837	6s 6p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <sup>o</sup> → 5d 7s <sup>3</sup> D <sub>3</sub>
20031,31	0,05	(2) TF, ttf	(2) *	<u>5d<sub>5/2</sub> 8g J=2</u>
20035,89	0,05	(2) F, ttf	(2) *	<u>5d<sub>5/2</sub> 8g J=1ou2</u>
20037,3	x(0481)	(tf)		
20043,02	0,05	(2) TF, ttf	(2) *	45999,51 (a)

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20060,23	0,05	tf, ttf			
20061,80	0,05	(tf), f			
20066,54	0,05	tf, f			
20069,14	0,05	f, f			
20083,51	0,10	m, ttf	(2)	*	46040,00 (a)
20090,33	0,05	TF, tf	(2)	*	46046,82 (b)
20092,20	x(0481)	tf, tf			
20097,93	0,05	F, f	(2)	*	46054,42 (a)
20108,09	0,05	as., tf, L	(2)	*	46064,58 (a)
20110,9	x(0481)	(f)			
20113,85	0,07	as., f, TL	(2)	*	46070,34 (b)
20117,39	0,05	as., f, L	(1)		
20131,47	0,05	TF, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 11d J=3</u>
20144,02	0,05	F, L	(2)	*	46100,51 (a)
20159,51	0,05	F, tf	(2)	*	46116,00 (b)
20163,23	0,05	tf, tf	(1)	3,167	5d <sup>2</sup> <sup>3</sup> F <sub>2</sub> → 5d 8p <sup>3</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>

Tableau IIIB (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20169,02	0,05	(2) TF, tf	(2)	*	46125,51 (a)
20171,02	0,10	(2) F, TL	(2)	*	46127,51 (b)
20181,45	0,07	(2) TF, f	(2)	*	46137,94 (a)
20187,20	x(C481)	(tf)			
20188,12	0,05	(2) F, tf	(2)	*	46144,61 (a)
20190,48	0,05	tf, tf			
20194,45	x(C481)	tf			
20199,83	0,28	(2) f, TTL(3,2Δσ)	(2)	*	46156,32 (b)
20207,44	0,05	m, f	(1)	7,426	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → 5d 6p <sup>3</sup> P <sub>2</sub>
20218,87	0,05	(2) TF, TTL(2,9Δσ)	(2)	*	46175,36 (a)
20231,81	0,05	(2) F, ttf	(2)	*	46188,30 (b)
20236,54	0,05	(2) as., TF, tf	(2)	*	46193,03 (a)
20237,40	x(C481)	f			
20242,78	0,05	(2) c., { TF } <sub>f</sub>	(2)	*	46199,27
20243,37	0,05	(2) c., { TF } <sub>f</sub>	(2)	*	46199,86 (a)
20246,71	x(C481)	ttf			

Tableau IIIB (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20250,01	0,05	f , f		
20251,10	0,05	f , tf	(2) *	46207,59 (b)
20261,49	0,05	tf , tf		
		{ inv.,		
		{ déf.,		
20266,80	0,17	f , L	(2) *	46223,29 (a)
20269,03	0,07	f , L	(2) *	46225,52 (b)
20276,07	0,05	m , ttf	(2) *	46232,56 (b)
20278,58	0,05	tf , TL	(2) *	46235,07 (b)
20281,36	0,05	f , tf	(1) 1,245	$6s\ 6p\ ^3P_2^o \rightarrow 5d\ 7s\ ^1D_2$
20288,13	0,10	tf	(1) *	$5d\ 6p\ ^3P_1^o \rightarrow 5d_{5/2}\ 8g\ J=10u2$
20301,18	0,05	as. , F , ttf	(2) *	46257,67 (a)
20311,56	0,05	TF , tf	(0) 1,562	$2p\ ^1P_1^o \rightarrow 4d\ ^1D_2$
20317,03	0,05	tf		
20322,97	0,06	f , TL	(2) *	46279,46 (b)
20326,31	0,05	f , L	(2) *	46282,80 (a)
20333,12	0,05	m , tf	(2) *	46289,61 (b)

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20335,81	0,05	as., m, tf	(2)	*	46292,30 (a)
20334,33	x(0481)	tf, L			
20340,54	0,05	m, tf	(2)	*	46297,03 (a)
20345,53	0,05	F, TL	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 13s J=3</u>
20350,17	x(0481)	tf, f			
20352,37	x(0481)	tf, ttf			
20360,3	x(0481)	tf			
20370,13	0,05	f, L	(2)	*	46326,62 (b)
20372,66	0,14	f, L	(1)		
20390,66	0,05	F, f	(1)		
			B1. {		
			(1)	0,592	6s 6p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> → 6s 8s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
			(2)	*	46347,15 (a)
20393,52	0,05	F, tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 9d J=2</u>
20396,15	0,05	m, tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 9g J=1ou2</u>
20409,78	0,09	f, TL	(2)	*	46366,27 (b)
20411,30	0,05	f, L	(2)	*	46367,79 (a)
20412,34	0,05	tf	(2)	*	46368,83 (b)



Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20415,28	0,05	F, ttf	(2)	*	46371,77 (b)
20419,54	0,05	f, tf	(2)	*	46376,03 (a)
20423,52	0,05	f, f	(2)	*	46380,01 (a)
20428,76	x(0481)	tf, f			
20436,84	0,10	tf, TL	(2)	*	46393,33 (b)
20443,60	0,05	f, L	(2)	*	46400,09 (b)
20448,76	0,13	f, f	(1)		
20452,8	0,1	tf			
20458,4	0,1	ttf			
20459,84	0,05	f, tf			
20464,33	0,05	as., TF, tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 12d J=3</u>
20468,97	0,05	as., f, f			
20469,68	0,05	tf			
20472,32	0,05	as., m, f	(2)	*	46428,81 (a)
20474,08	0,05	TF, tf	(2)	*	46430,57 (b)
20475,60	0,05	as., F, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 12d J=1ou2</u>

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20479,34	0,05	(2) F, tf	(2) *	46435,83 (b)
20481,75	0,05	(2) TF, <<f	(1) *	46438,24 (a)
20495,91	0,05	(1) m, L	(1) 5,937	$6s\ 6p\ ^1P_1^o \rightarrow 6p^2\ ^1D_2$
20497,73	0,05	f, f		
20501,75	0,05	(1) inv., TF, f	(1)	
20503,03	x(0481)	f		
20504,55	0,07	(2) f, tf	(2) *	46461,04 (b)
20507,19	0,05	(2) déf., TF, ttf	(2) *	46463,68 (a)
20511,39	0,05	(2) m, ttf	(2) *	46467,88 (b)
20514,88	0,05	(2) m, L	(2) *	46471,37 (b)
20515,92	x(0481)	f		
20519,66	0,13	(2) f	(2) *	46476,41 (b)
20521,28	0,05	f		
20522,67	0,05	(2) m, tf	(2) *	46479,16 (a)
20527,50	0,05	(2) TF, TTL	(2) *	46483,99 (a)
20536,37	0,05	(2) tf, tf	(2) *	46492,86 (a)

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20458,93	0,05	(2) f, f	(2) *	46495,42 (b)
20541,24	0,05	(2) m, tf	(2) *	46497,73 (b)
20543,17	0,05	(2) TF, tf	(2) *	46499,66 (a)
20546,03	0,05	(2) TF, f	(2) *	46502,52 (a)
20555,77	0,12	(2) f, L	(2) *	46512,26 (b)
20557,84	0,05	(2) f, f	(2) *	46514,33 (b)
20566,19	0,05	tf		
20570,7	0,8	(2) f, TL		
20571,61	0,05	(2) c., m, tf	(2) *	46528,10 (a)
20583,96	0,05	(2) f, TL	(2) *	46540,45 (b)
20586,49	0,07	(2) m, ttf	(2) *	46542,98 (b)
20587,82	0,05	(2) m, tf	(2) *	46544,31 (a)
20590,22	0,05	(2) m, tf	(2) *	46546,71 (a)
20592,10	0,05	tf, f		
20595,98	0,05	(2) tf, TL	(2) *	46552,47 (b)

Bl. }  
 (1) 9,122 6s 6p  $^3P_0^o \rightarrow 5d 7s \ ^3D_1$

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20603,65	0,05	tf, tf	(1)	3,502	$6s\ 6p\ ^1P_1^o \rightarrow 6s10s\ ^1S_0$
20607,47	0,05	f, L	(2)	*	46563,96 (a)
20612,86	0,05	f, f	(2)	*	46569,35 (a)
20617,30	0,05	as., F, TTL(2,5Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 14s J=3</u>
20622,63	0,05	f, f	(2)	*	46579,12 (a)
20624,54	0,05	f, tf			
20625,08	0,05	F, tf	(2)	*	46581,57 (b)
20625,91	0,06	f, ttf	(2)	*	46582,40 (a)
20629,53	0,16	f, TL	(2)	*	46586,02 (b)
20633,89	x(0481)	tf, TL			
20639,95	0,25	as., tf, TTL(2,7Δσ)			
20647,53	0,08	f, ttf	(2)	*	46604,02 (a)
20651,85	0,05	F, tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 10g J=2</u>
20653,96	0,05	m, tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 10g J=1ou2</u>
20656,02	0,05	tf, tf	(2)	*	46612,51 (a)
20657,68	0,05	m, tf	(2)	*	46614,17 (a)

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20660,86	0,05	f , tf	(2)	*	46617,35 (a)
20669,42	0,05	f , f			
20672,46	0,10	tf , TL			
20677,36	0,05	f , tf	(2)	*	46633,85 (a)
20685,49	0,05	f , tf	(2)	*	46641,98 (a)
20686,87	0,05	m , tf	(2)	*	46643,36 (a)
20688,54	x(0481)	tf			
20691,10	0,05	f , f	(1)		
20698,46	0,05	tf , tf			
20703,03	0,11	tf			
20704,33	0,05	TF , tf	(2)	*	$5d_{5/2} \quad 13d \quad J=3$
20708,11	0,05	TF , tf	(2)	*	46664,60 (a)
20709,18	x(0481)	f			
20711,97	0,05	TF , f	(2)	*	$5d_{5/2} \quad 13d \quad J=1ou2$
20719,53	0,05	m , tf	(2)	*	46676,02 (b)
20721,4	x(0481)	(f)			

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie	OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20722,48	0,13	{	F, TL	(2)	*	46678,97 (b)
20723,31	0,05		F, f			
20724,98	x(0481)		(tf)			
20726,82	0,05	(2)	TF, tf	(2)	*	46683,31 (b)
20730,51	0,08	(2)	f, tf	(2)	*	46687,00 (a)
20733,95	x(0481)		tf, tf			
20736,10	0,05	(2)	F, f	(2)	*	46692,59 (b)
20738,00	0,05	(2)	TF, ttf	(2)	*	46694,49 (a)
20741,81	0,05		m			
20742,70	0,05	(2)	m, l	(2)	*	46699,19 (b)
20744,34	0,05		f, f			
20747,70	0,23		tf	(1)		
20749,47	0,05	(2)	as., TF, TL	(2)	*	46705,96 (a)
20752,01	0,05		(m)			
20753,16	0,14	(2)	TF, tf	(2)	*	46709,65 (a)
20759,56	0,05	(2)	m, f	(2)	*	46716,05 (b)

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
20761,36	0,07	f , f	(2)	*	46717,85 (b)
20765,63	x(0481)	(f) , tf			
20767,48	0,05	F , tf	(2)	*	46723,97 (a)
20768,31	0,05	F , tf	(2)	*	46724,80 (a)
20774,48	x(0481)	(f) , tf			
20776,36	x(0481)	(f) , ttf			
20781,52	0,08	f , tf	(2)	*	46738,01 (b)
20782,29	0,05	m , tf	(2)	*	46738,78 (a)
20789,17	0,66	tf			
20794,16	0,05	m , tf	(2)	*	46750,65 (a)
20794,89	0,05	m , tf	(2)	*	46751,38 (a)
20796,83	0,09	F , L	(1)		
20801,37	x(0481)	(tf)			
20805,44	0,09	tf , L	(2)	*	46761,93
20806,16	x(0481)	(f)	(2)	*	46762,65 (a)
20817,58	0,05	as. , F , TL	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 15s J=3</u>

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{obs} (cm^{-1})$	$\delta(\sigma_{obs} - \sigma_r) (cm^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{calc} (cm^{-1})$	Classification
20819,53	x(0481)	f , tf	(2)	*	46777,85 (b)
20821,36	0,05 (2)	m , tf	(2)	*	46781,06 (a)
20824,57	0,05 (2)	f	(2)	*	46789,37 (a)
20832,88	0,05	as. , f , tf	(2)	*	46797,02 (a)
20840,53	0,05	m , f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 11g J=2</u>
20843,07	0,05 (2)	F , tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 11g J=1ou2</u>
20844,70	0,05 (2)	m , tf	(2)	*	46803,58 (a)
20847,09	0,05	tf	(2)	*	46809,78 (a)
20853,29	0,05	tf	(2)	*	
20871,26	0,05	f , L			
20871,9	x(0481) (1)	(f)			
20882,81	0,28 (2)	TF , L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 14d J=3</u>
20888,14	0,05 (2)	F , f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 14d J=1ou2</u>
20890,84	0,66	f , TTI(2,5Δσ)			
20901,71	0,80 (2)	m , TTI(10,6Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 14d J=3</u>
20918,13	0,05 (2)	as. , TF , TI	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 14d J=1ou2</u>



Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}}(\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}})(\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie	OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}}(\text{cm}^{-1})$	Classification
20926,71	0,05	f	f	(2)	*	46883,20
20964,41	0,15	f	f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 16s J=3</u>
20969,14	0,05	as.	F, L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 12g J=2</u>
20988,62	0,05	F	tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 12g J=1ou2</u>
20989,83	0,05	m	tf	(2)	*	(b)
20993,61	x(0481)	f	f	(2)	*	
21005,44	x(0481)	as.	(f), TL	(2)	*	
21019,68	0,05	TF	f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 15d J=3</u>
21023,52	0,05	f	f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 15d J=1ou2</u>
21034,87	1,32	as.	f, TTI(5,44 $\sigma$ )	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 15d J=3</u>
21046,83	0,06	F	L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 15d J=1ou2</u>
21054,56	x(0481)	tf	f			
21060,91	x(0481)	tf	tf			
21075,23	0,05	tf	TTI(2,54 $\sigma$ )			
21078,92	0,20	tf	f	(2)	*	
21086,63	0,06	m	L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 17s J=3</u>

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21095,47	0,05	(1) F, TL	(1)		
21097,88	x(C481)	f, tf	(1)	7,646	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → 6s 9d <sup>3</sup> D <sub>2</sub>
21099,62	0,05	(1) f	(1)		
21101,80	0,05	(2) f, tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 13g J=2</u>
21102,79	x(C481)	m, tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 13g J=1ou2</u>
21124,64	0,21	(2) tf, f	(2)	*	47081,13 (b)
21126,40	0,05	(2) TF, tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 16d J=3</u>
21127,64	0,05	(1) F, L	(1)		
21129,26	0,05	(2) m	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 16d J=1ou2</u>
21137,77	0,25	(2) f, TTL(3,7Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 16d J=3</u>
21145,99	0,17	(tf), tf			
21147,78	0,05	(2) F, L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 16d J=1ou2</u>
21149,23	0,08	f			
21151,67	0,05	(1) F, f	(1)	1,660	5d 6s <sup>1</sup> D <sub>2</sub> → 6s 7p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup>
21153,67	x(C460)	(f), L			
21159,44	x(C481)	tf	(1)	9,365	6s 6p <sup>3</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → 5d 7s <sup>1</sup> D <sub>2</sub>

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	Classification
21163,85	x(0460)	(f), TTL (9,5Δσ)			
21168,28	x(0460)	(ttf), tf			
21176,80	0,12	tf	(2)	*	47133,29 (b)
21178,62	0,05	(tf)	(2)	*	47135,11 (b)
21179,45	0,05	as., m, L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 18s J=3</u>
21181,57	0,06	(tf)			
21186,72	0,10	(ttf), ttf			
21191,71	0,05	m, tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 14g J=2</u>
21192,48	0,05	f, tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 14g J=1ou2</u>
21193,96	x(0460)	(tf)			
21195,71	x(0460)	(tf)			
21202,70	0,27	as., (f)			
21208,68	x(0481)	tf			
21210,23	0,05	F	(2)	*	47166,72 (b)
21211,32	0,05	TF, f	(1)		
			B1. { (2)		
			(0)	0,275	2p <sup>3</sup> P <sub>0</sub> → 4s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
			(0)	1,350	2p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> → 4s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
			B1. { (2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 17d J=3</u>

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21214,00	0,14	(2) ttf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 17d J=1ou2</u>
21217,81	0,09	(2) f	(2)	*	47174,30 (b)
21220,81	0,16	(2) m , TTL(4,3Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 17d J=3</u>
21226,86	x(C460)	(m) , TTL(4,3Δσ)			
21228,69	0,05	(2) F , L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 17d J=1ou2</u>
21229,48	x(C460)	(f)			
21231,60	x(C460)	(tf) , TL			
21235,11	x(C460)	(tf) , TL			
21241,66	0,05	tf			
21243,75	x(C460)	(f) , tf			
21249,50	0,05	(tf)			
21251,44	0,05	(2) tf , L	(2)	*	47207,93 (b)
21254,31	0,05	(2) m , f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 19s J=3</u>
21257,85	x(C460)	(f) , TTL(3,5Δσ)			
21264,14	0,05	(2) m } , f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 15g J=2</u>
21264,73	0,10	f }	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 15g J=1ou2</u>

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21268,84	0,09	(1) f, f	(1) 8,712	$6s\ 6p\ ^3P_1^o \rightarrow 6s\ 8s\ ^3S_1$
21273,6	x(C460)	(f)		
21274,68	0,05	(1) as., F, f	(1) 4,696	$6s\ 6p\ ^1P_1^o \rightarrow 6s\ 9d\ ^1D_2$
21276,18	x(C460)	(tf)		
21280,23	0,05	(2) TF, tf	(2) *	<u><math>5d_{5/2}\ 18d\ J=3</math></u>
21282,30	0,05	(2) m, tf	(2) *	<u><math>5d_{5/2}\ 18d\ J=10u2</math></u>
21284,58	x(C460)	(tf)		
21288,07	0,20	(2) m, TTI(4Δσ)	(2) *	<u><math>5d_{5/2}\ 18d\ J=3</math></u>
21294,35	0,05	(2) as., TF, L	(2) *	<u><math>5d_{5/2}\ 18d\ J=10u2</math></u>
21299,88	0,05	(1) f, tf	(1)	
21304,84	0,05	(2) f, f	(2) *	47261,33 (b)
21306,79	x(C460)	(tf)		
21308,62	0,05	(1) F, f	(1) 8,643	$6s\ 6p\ ^3P_2^o \rightarrow 6p^2\ ^3P_1$
21314,78	x(C460)	(tf)		
21315,33	0,05	(2) m, f	(2) *	<u><math>5d_{5/2}\ 20s\ J=3</math></u>
21319,60	x(C460)	(ttf)		

Tableau IIIB (suite)

$\sigma_{obs} (cm^{-1})$	$\delta(\sigma_{obs} - \sigma_r) (cm^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{calc} (cm^{-1})$	Classification
21321,81	x(C460)	(tf)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 16g J=1ou2</u>
21323,50	0,05	as., f, L	(2)	*	
21323,62	0,20	(f), tf	(2)	*	
21326,33	0,05	as., f, f	(2)	*	47282,82 (b)
21328,19	0,05	(tf), tf	(2)	*	
21336,75	0,05	TF, tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 19d J=3</u>
21338,40	0,05	as., f, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 19d J=1ou2</u>
21342,94	0,20	$\left\{ \begin{array}{l} \text{as.}, m \\ m \end{array} \right\} \text{TTL}(3,7\Delta\sigma)$	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 19d J=3</u>
21344,94	0,07		(2)	*	
21348,41	0,05	TF, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 19d J=1ou2</u>
21349,80	x(C460)	(ttf)	(2)	*	
21361,54	0,05	f, f	(2)	*	47318,03 (b)
21362,80	0,25	c., (f), tf	(2)	*	
21365,83	0,05	m, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 21s J=3</u>
21372,63	0,05	f, tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 17g J=1ou2</u>
21374,34	x(C460)	(ttf)	(2)	*	

Tableau IIIB (suite)

$\sigma_{obs} (cm^{-1})$	$\delta(\sigma_{obs} - \sigma_r) (cm^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{calc} (cm^{-1})$	Classification
21376,07	0,05	(2) f, f	(2)	*	47332,56 (b)
21383,70	0,05	(2) TF, tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 20d J=3</u>
21385,14	0,05	(2) f, L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 20d J=1ou2</u>
21388,31	0,30	(f)			
21389,09	0,05	(2) m, TTL(3Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 20d J=3</u>
21390,81	0,12	(1) TF, tf	(1)	0,688	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>3</sub> → 6s 7p <sup>3</sup> P <sub>2</sub>
21393,44	0,05	(2) F, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 20d J=1ou2</u>
21400,60	0,08	(2) as., f, tf	(2)	*	47357,09 (b)
21404,77	0,05	(1) f, tf	(1)	4,724	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → 5d 8s <sup>3</sup> D <sub>2</sub>
21408,08	0,05	(2) m, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 22s J=3</u>
21411,03	0,06	(2) ttf			
21414,25	0,07	(1) as., F	(1)		
21420,29	0,05	(2) f, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 18g J=1ou2</u>
21423,14	0,05	(2) F, tf	(2)	*	47376,78 (b)
21424,35	0,05	(2) f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 21d J=3</u>
			(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 21d J=1ou2</u>

Bl. { (1)  
(2)

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21428,47	0,12	(2) C. , m , TTL(3,1Δσ)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 21d J=3</u>
21431,36	0,05	(2) F , f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 21d J=1ou2</u>
21436,22	0,05	(2) (f) , f	(2)	*	47392,71 (b)
21439,65	0,57	(2) as. , TF , f	(2)	*	47396,14 (b)
21441,05	0,06	(1) m , TL	(1)		
21443,03	x(0460)	f			
21443,75	0,05	(2) as. , F , L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 23s J=3</u>
21448,52	0,05	(2) as. , f , L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 19g J=1ou2</u>
21449,52	x(0460)	tf			
21450,58	x(0460)	tff			
21454,98	0,05	(2) f , f	(2)	*	47411,47 (b)
21456,58	0,05	(2) TF , tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 22d J=3</u>
21457,58	0,05	(2) tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 22d J=1ou2</u>
21460,52	0,05	(2) F , TL	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 22d J=3</u>
21463,60	0,05	(2) as. , TF , tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 22d J=1ou2</u>
21465,15	0,15	(tff)			



Tableau IIIB (suite)

$\sigma_{\text{obs}} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	Classification
21469,55	0,05	(2) tf			
21473,85	0,09	(2) (f)			
21474,15	0,05	(2) m, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 24s J=3</u>
21475,17	x(C460)	tff			
21476,85	0,05	(2) tf, tf			
21478,35	0,05	(2) f, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 20g J=1ou2</u>
21481,87	x(C460)	tf			
21485,15	0,05	(2) as., F, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 23d J=3</u>
21485,85	0,23	(2) f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 23d J=1ou2</u>
21488,61	0,08	(2) F, TL	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 23d J=3</u>
21491,20	0,05	(2) as., TF, tf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 23d J=1ou2</u>
21493,11	0,06	(1) m			
21495,78	0,05	(1) (F), tf			
21500,31	0,05	(2) m, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 25s J=3</u>
21503,90	0,05	(2) f, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 21g J=1ou2</u>
21509,82	0,05	(2) as., F, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 24d J=3</u>

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21510,74	0,18	(f)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 24d J=1ou2</u>
21512,69	0,11	as., F, TL	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 24d J=3</u>
21515,05	0,05	as., F, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 24d J=1ou2</u>
21516,85	x(C460)	tff	(1)	*	5d 6p <sup>3</sup> P <sub>1</sub> <sup>o</sup> → <u>5d<sub>5/2</sub> 15g J=2</u>
21519,34	x(C460)	tff			
21522,95	0,05	as., m, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 26s J=3</u>
21526,11	0,05	tf, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 22g J=1ou2</u>
21531,28	0,05	as., F, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 25d J=3</u>
21532,13	0,26	(tff)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 25d J=1ou2</u>
21533,71	0,05	F, TL	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 25d J=3</u>
21535,84	0,05	as., F, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 25d J=1ou2</u>
21536,93	0,05	m	(1)		
21542,69	0,05	f, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 27s J=3</u>
21545,43	0,08	tf, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 23g J=1ou2</u>
21546,35	0,05	(F), tff	autre ordre		
21549,92	0,05	F, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 26d J=3</u>

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21550,52	0,05	(f)	(2)	$5d_{5/2}$ 26d J=1ou2
21552,08	0,05	F	(2)	$5d_{5/2}$ 26d J=3
21553,92	0,05	F, f	(2)	$5d_{5/2}$ 26d J=1ou2
21555,45	0,05	f		
21560,00	0,11	m, f	(2)	$5d_{5/2}$ 28s J=3
21563,39	0,05	F, L	(1)	
21566,38	0,11	as., F, L	(2)	$5d_{5/2}$ 24g J=1ou2
21566,64	x(0460)	(ttf)	(2)	$5d_{5/2}$ 27d J=3
21568,38	0,07	m, L	(2)	$5d_{5/2}$ 27d J=1ou2
21569,87	0,05	as., F, f	(2)	$5d_{5/2}$ 27d J=3
21575,26	0,05	f, f	(2)	$5d_{5/2}$ 29s J=3
21577,46	0,05	as., f, tf	(2)	$5d_{5/2}$ 25g J=1ou2
21580,89	0,05	as., F	(2)	$5d_{5/2}$ 28d J=3
21581,16	x(0460)	(ttf)	(2)	$5d_{5/2}$ 28d J=1ou2
21582,43	0,13	m	(2)	$5d_{5/2}$ 28d J=3

Bl. { (1)  
(2)

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{obs} (cm^{-1})$	$\delta(\sigma_{obs} - \sigma_r) (cm^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{calc} (cm^{-1})$	Classification
21583,97	0,05	(2) as., F, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 28d J=1ou2</u>
21588,80	0,08	(2) f, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 30s J=3</u>
21590,48	0,05	(2) ttf, L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 26g J=1ou2</u>
21593,78	0,06	(2) as., m	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 29d J=3</u>
21594,31	x(0460)	(ttf)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 29d J=1ou2</u>
21595,26	0,13	(2) m	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 29d J=3</u>
21596,54	0,05	(2) F, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 29d J=1ou2</u>
21597,60	x(0460)	(tf)			
21600,02	0,05	(1) as., F, f	(1)	599,995	5d 6s <sup>3</sup> D <sub>2</sub> → 6s 7p <sup>3</sup> P <sub>1</sub>
21600,73	x(0460)	(f)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 31s J=3</u>
21605,19	0,10	(2) m	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 30d J=3</u>
21606,60	0,11	(2) m	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 30d J=3</u>
21607,73	0,05	(2) F, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 30d J=1ou2</u>
21611,53	0,07	(1) as., f, f	{ (1) Bl. (2)	1,593	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> → 6s 11s <sup>1</sup> S <sub>0</sub>
21615,58	0,12	(2) as., m	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 32s J=3</u>
				*	<u>5d<sub>5/2</sub> 31d J=3</u>

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21616,72	0,05	m	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 31d J=3</u>
21617,77	0,09	F, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 31d J=1ou2</u>
21621,21	0,08	f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 33s J=3</u>
21621,88	0,05	f, TL			
21622,38	0,05	as., (f)			
21624,71	0,05	m	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 32d J=3</u>
21625,99	0,08	m	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 32d J=3</u>
21626,85	0,05	as., F	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 32d J=1ou2</u>
21629,83	0,07	f, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 34s J=3</u>
21633,30	0,05	m	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 33d J=3</u>
21634,05	0,18	m } TL	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 33d J=3</u>
21634,96	0,05	F	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 33d J=1ou2</u>
21637,70	0,10	ttf	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 35s J=3</u>
21639,32	0,05	(m)	(1)	9,310	6s 6p <sup>3</sup> P <sub>0</sub> → 6s 8s <sup>3</sup> S <sub>1</sub>
21640,79	0,13	f	Bl. (2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 34d J=3</u>
21641,63	0,09	m	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 34d J=3</u>

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21642,45	0,06	m	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 34d J=1ou2</u>
21644,86	0,05	tf, f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 36s J=3</u>
21647,79	0,17	m	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 35d J=3</u>
21648,32	0,05	m } TL	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 35d J=3</u>
21649,03	0,10	m }	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 35d J=1ou2</u>
21651,43	0,10	(tf)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 37s J=3</u>
21652,26	0,07	(f)	(2)		
21653,71	0,06	f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 36d J=3</u>
21654,18	0,05	f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 36d J=3</u>
21655,11	0,13	m } L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 36d J=1ou2</u>
21655,59	x(C460)	as., (m)			
21657,3	x(C460)	(f)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 38s J=3</u>
21659,74	0,10	f	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 37d J=3</u>
21660,25	0,10	f } L	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 37d J=3</u>
21660,88	0,05	f }	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 37d J=1ou2</u>
21662,67	0,10	(tf)	(2)	*	<u>5d<sub>5/2</sub> 39s J=3</u>

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21663,8	x(C460)	tf	(2)	<u>5d<sub>5/2</sub> 38d J=3</u>
21665,10	0,10	f } f } L	(2)	<u>5d<sub>5/2</sub> 38d J=1ou2</u>
21665,88	0,19	f } f } L	(2)	<u>5d<sub>5/2</sub> 40s J=3</u>
21667,63	0,10	(f)	(2)	
21668,0	x(C460)	ttf		
21669,73	x(C460)	{ tf } f } L	(2)	<u>5d<sub>5/2</sub> 39d J=3</u>
21670,41	0,05	{ tf } f } L	(2)	<u>5d<sub>5/2</sub> 39d J=1ou2</u>
21672,22	0,10	(tf)	(2)	<u>5d<sub>5/2</sub> 41s J=3</u>
21673,5	x(C460)	(ttf)	(2)	<u>5d<sub>5/2</sub> 40d J=3</u>
21674,77	0,07	f , f	(2)	<u>5d<sub>5/2</sub> 40d J=2</u>
21676,2	x(C460)	(ttf)	(2)	<u>5d<sub>5/2</sub> 42s J=3</u>
21678,2	x(C460)	(ttf)		
21678,70	0,05	tf	(2)	<u>5d<sub>5/2</sub> 41d</u>
21681,5	x(C460)	(tf)		
21682,13	0,05	ttf	(2)	<u>5d<sub>5/2</sub> 42d</u>
21685,78	0,05	(tf)	(2)	<u>5d<sub>5/2</sub> 43d</u>

Tableau IIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
21689,0	x(C460)	(tf)	(2)	*	$5d_{5/2} 44d$
21691,7	x(C460)	(tf)	(2)	*	$5d_{5/2} 45d$
21698,46	0,05	TF, $\ll$	(2)	*	$5d_{5/2} 48d$
21699,4	0,2	(ttf)	(2)	*	$5d_{5/2} 49d$
21702,2	x(C460)	(ttf)	(1)	9,506	$5d 6s {}^3D_1 \rightarrow 6s 7p {}^3P_0$
21709,53	0,05	C. , m , f	(1)	1,720	$5d 6s {}^3D_2 \rightarrow 6s 7p {}^3P_2$
21710,87	0,05		(1)		
21771,75	0,07	F , f	(1)	1,529	$5d 6s {}^3D_2 \rightarrow 6s 7p {}^3P_1$
21778,83	x(C460)	as. , (f)	(1)	9,644	$6s 6p {}^3P_2 \rightarrow 6s 7d {}^1D_2$
21781,58	0,10	TF, $\ll$ L	(1)	1,918	$6s 6p {}^1P_1 \rightarrow 6s 10d {}^3D_2$
21784,20	x(C460)	(tf)	(1)		
21829,71	0,14	F , f	(1)		
21857,32	x(C460)	(tf)	(1)		
21861,98	0,05	f , f	(1)		
21864,12	x(C460)	(f)	(1)		
21877,63	x(C460)	(tf)	(1)		



Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{obs} (cm^{-1})$	$\delta(\sigma_{obs} - \sigma_r)(cm^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{calc} (cm^{-1})$	Classification
21886,17	x(0460)	(f)		
21903,00	x(0460)	(tf)		
21908,54	x(0460)	(f)		
21910,59	0,05	m, L		
21926,31	x(0460)	(tf)		
21938,13	0,05	F, f	(1) 8,095	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow 6s10d \ ^1D_2$
21938,88	x(0460)	(f)		
21952,43	0,05	f, L		
		(1) { inv., as., }		
21953,26	x(0460)	(F)	(1) 3,254	5d 6s $^3D_1 \rightarrow 6s 7p \ ^3P_2^o$
22005,69	x(0460)	(m)		
22012,96	x(0460)	(f)		
22099,77	x(0460)	(f)		
22102,24	0,05	m, f	(1) 2,180	6s 6p $^3P_2^o \rightarrow 6p^2 \ ^3P_2$
22163,42	0,10	(f)	(1) 3,500	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow 5d 8s \ ^1D_2$
22177,65	0,10	(m)		

Tableau IIIb (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
22186,80	x(0460)	(f)	(1)	6,763	6s 6p $^3P_1^0 \rightarrow 6p^2 \ ^3P_1$
22194,2	x(0460)	(F)	(1)	4,529	6s 6p $^3P_2^0 \rightarrow 6s \ 7d \ ^3D_1$
22247,1	x(0460)	(TF)	(1)	7,428	6s 6p $^3P_2^0 \rightarrow 6s \ 7d \ ^3D_2$
22270,3	x(0460)	(TF)	(1)	0,515	6s 6p $^3P_2^0 \rightarrow 6s \ 7d \ ^3D_3$
22357,6	x(0460)	(TF)	(0)	7,64	2p $^3P_1^0 \rightarrow 4d \ ^3D$
22376,6	x(0460)	(m)			
22401,1	x(0460)	(TF)	(2)	*	48357,6
22423,3	x(0460)	(F)	(1)	3,335	6s 6p $^1P_1^0 \rightarrow 6s \ 11d \ ^1D_2$
22439,1	x(0460)	(TF)	(2)	*	48395,6
22494,3	x(0460)	(F)			
22515,3	x(0460)	(F)			
22516,6	x(0460)	(f)	(1)	*	48473,1



Tableau IV - Niveau intermédiaire 5d6p  $^3D_3^o$  ( $E_{II} = 24979,810 \text{ cm}^{-1}$ )

Tableau IV - Colorants utilisés pour la cavité laser n° 2 : R640, RB et R6G.

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
14891,48	x(R640)	tf	(1) 4,966	6s 5d $^3D_3$ → 5d 6p $^3D_2^o$
14925,18	0,05	m		
14934,96	0,05	F		
14952,43	x(R640)	tff		
14966,67	0,06	(1) inv. , f		
14970,04	0,05	(1) TF		
14976,519	réf.	(1) TF	(1) 6,519	6s 5d $^3D_2$ → 5d 6p $^3D_1^o$
15018,51	0,09	f	(2) 8,529	6s10d $^1D_2$
15029,39	x(R640)	tf		
15044,37	0,05	f		
15050,62	0,09	f		
15158,14	0,05	TF	(1) 8,053	6s 5d $^3D_1$ → 5d 6p $^3D_1^o$
15166,87	0,08	(2) TF	(2) *	5d 8s $^3D_3$

Tableau IV (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15191,72	0,06	as., f			
15201,50	0,05	f			
15225,63	x(R640)	f, L			
15238,56	x(R640)	f			
15243,90	0,20	F	(2)	3,934	<u>5d 8s <sup>1</sup>D<sub>2</sub></u>
15290,72	x(R640)	tff			
15302,63	0,14	tf			
15315,98	0,10	TTF	(1)	5,998	6s 5d <sup>3</sup> D <sub>2</sub> → 5d 6p <sup>3</sup> D <sub>2</sub> <sup>o</sup>
15319,36	x(R640)	tf			
15320,17	0,16	tf	(2)	*	6s 8g G
15365,32	x(R640)	tff			
15377,60	0,05	tf			
15383,06	0,27	TTF	(1)	3,286	6s 5d <sup>3</sup> D <sub>3</sub> → 5d 6p <sup>3</sup> D <sub>3</sub> <sup>o</sup>
15421,12	0,06	as., TF	(1)	0,999	6s 5d <sup>1</sup> D <sub>2</sub> → 5d 6p <sup>1</sup> F <sub>3</sub> <sup>o</sup>
15433,72	x(R640)	f	(2)	3,793	6s11d <sup>3</sup> D <sub>2</sub>
15443,60	0,05	TTF	(2)	*	6s11d <sup>3</sup> D <sub>2</sub>
15466,81	x(R640)	tf			

Tableau IV (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15493,66	0,05	tf	(1)	$6s 5d \ ^3D_1 \rightarrow 5d 6p \ ^3D_2^o$
15497,532	réf.	TTF		
15500,57	x(R640)	tff		
15502,51	0,09	as. , f		
15539,05	0,10	tf		
15613,78	0,10	F		
15684,12	0,13	f	(2)	$6s 9g \ ^3G_3$
15685,05	0,05	f		
15685,70	x(RB)	tf	(2)	$6s 9g \ G$
15690,93	x	tff		
15713,99	x	f	autre ordre ?	
15718,85	0,11	TTF , tf	(2)	$5d 7d \ ^3G_3$
15737,09	0,05	TF , tf		
15764,30	0,05	TTF , $\llcorner$	(1)	$6s 5d \ ^3D_2 \rightarrow 5d 6p \ ^3P_2^o$
15768,47	0,08	m , tf	(2)	$6s12d \ ^3D_{2,3}$
15796,08	0,06	f , f	(1)	$5d 6p \ ^3P_1^o \rightarrow 6s17d \ ^1D_2$

Tableau IV (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie	OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15811,19	0,10	m	f			
15823,17	0,05	m	tf			
15831,27	0,05	m	tf			
15834,52	0,05	tf	tf	(1)	5d 6p $^3P_2^o$	$\rightarrow$ 6s24d $^3D$
15836,08	0,05	tf	tf	(1)	5d 6p $^3P_2^o$	$\rightarrow$ 6s24d $^1D_2$
15841,86	0,07	tff	f			
15849,62	0,05	tf	f			
15855,03	0,05	TF	f	(1)	5d 6p $^3P_2^o$	$\rightarrow$ 6s25d $^3D$
15857,15	0,05	f	f	(1)	5d 6p $^3P_2^o$	$\rightarrow$ 6s25d $^1D_2$
15863,25	0,05	tf	f	(1)	5d 6p $^3P_1^o$	$\rightarrow$ 6s18d $^1D_2$
15866,31	0,05	TF	tf	(1)		
15867,48	0,13	tff				
15870,30	0,07	as.	f			
15872,00	0,19	tf				
15872,95	0,05	as.	f	(1)	5d 6p $^3P_2^o$	$\rightarrow$ 6s26d $^3D_2$
15874,58	0,05	tf				

Tableau IV (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15875,59	0,05	f	(1) 5,411	$5d\ 6p\ ^3P_2^o \rightarrow 6s26d\ ^1D_2$
15876,65	0,05	f, f		
15884,00	0,55	f		
15885,09	0,05	TFP, <<L	(1) 5,165	$5d\ 6p\ ^3P_2^o \rightarrow 5d\ 7d\ ^1D_2$
15887,57	0,11	TFP, <<F	(2) *	$5d\ 7d\ ^1F_3$
15888,66	0,05	TF, tf		
15890,22	x(RB)	f		
15891,73	0,05	f, f	(1) 1,770	$5d\ 6p\ ^3P_2^o \rightarrow 6s27d\ ^3D_2$
15894,99	x(RB)	F		
15895,560	réf.	(1) as., TF, tf	(1) 5,560	$5d\ 6p\ ^3P_2^o \rightarrow 6s27d\ ^1D_2$
15904,17	x(RB)	tff, L		
15906,20	0,05	tf, f	(1) 6,184	$5d\ 6p\ ^3P_2^o \rightarrow 6s28d\ ^3D_2$
15907,68	x(RB)	f		
15908,28	0,05	(1) as., F, f	(1) 8,194	$5d\ 6p\ ^3P_2^o \rightarrow 6s28d\ ^1D_2$
15913,94	0,05	f, tf		
15916,88	0,05	f, f		



Tableau IV (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{T}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15918,47	x(RB)	tff	(1)	
15920,54	0,05	m, tf	0,512	5d 6p $^3P_2^o \rightarrow 6s29d \ ^1D_2$
15924,98	x(RB)	f	(2)	
15925,91	0,05	TF, tf	*	<u>5d 7d <math>^3D_2</math></u>
15928,32	0,05	m, f	(1)	
15931,66	0,05	f, tf	1,613	5d 6p $^3P_2^o \rightarrow 6s30d \ ^1D_2$
15938,71	0,07	m, f	(1)	
15941,93	0,05	f, f	1,711	5d 6p $^3P_2^o \rightarrow 6s31d \ ^1D_2$
15945,58	0,05	TF, f	*	6s10g $^3G_4$
15946,99	0,05	f, f	(2)	6s10g G
15950,62	0,05	f, L	(2)	
15954,01	0,05	f, tf	*	
15959,70	0,05	f, L	(2)	
15961,93	0,07	m, f	*	
15965,89	0,16	f, L	(1)	
15968,97	0,11	TF, f	(1)	

Tableau IV (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
15970,82	x(RB)	tff		
15972,70	0,22	} c , TF , TL		
15974,39	0,07	TF , L		
15976,93	0,05	TF , f	(1)	
15978,56	0,05	} c , F } , F } L		
15979,33	0,05			
15981,50	x(RB)	tff		
15982,25	0,06	F , f		
15984,74	0,05	f		
15987,60	0,05	f , f		
15989,99	x(RB)	tf		
15992,62	0,05	f		
15994,54	0,06	TF , tf	(2)	* 5d 7d <sup>3</sup> G <sub>4</sub>
16007,01	x(RB)	f		
16007,63	0,08	} as. , m , f	(2)	6s13d <sup>3</sup> D <sub>2,3</sub>
16017,76	x(RB)	f		

Tableau IV (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16028,18	0,05	f , tf	(2)	7,902	$6s13d \ ^1D_2$
16037,76	0,10	F , L	(1)		
16038,87	0,15	tf			
16048,13	x(RB)	tf			
16075,27	x(RB)	tf			
16129,54	x(RB)	inv. , f , ttf			
16139,39	x(RB)	f	(2)	*	$6s11g \ G$
16140,16	0,09	as. , m , f	(2)	*	$6s11g \ ^3G_4$
16153,11	0,10	tf , tf			
16161,73	0,05	TF , TTL(4,7Δσ)	(1)	*	$5d \ 6p \ ^3P_2 \rightarrow 5d \ 7d \ ^3P_2$
16182,58	0,05	TF , tf	(2)	2,605	$6s14d \ ^1D_2$
16184,83	0,05	f , f	(2)		$6s14d \ ^3D_{2,3}$
16221,19	0,05	f , f			
16224,86	0,07	as. , F , tf	(2)	4,921	$5d \ 7d \ ^3F_2$
16226,67	0,05	m , f			
16229,21	0,05	m , f			

Tableau IV (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{T}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16233,34	x(RB)	tf			
16238,61	0,07	f , f			
16248,87	0,07	f , TL			
16279,84	x(RB)	tf , L			
16283,16	0,05	f , f			
16286,61	0,07	m , f	(2)	*	6s12g <sup>1,3</sup> G
16288,60	0,05	m , f			
16291,23	0,06	f , f			
16296,64	x(RB)	tf			
16310,65	x(RB)	tf	(1)	0,740	6s 6p <sup>1</sup> P <sub>1</sub> ° → 6s 8s <sup>1</sup> S <sub>0</sub>
16320,79	0,05	m	(2)	*	6s15d <sup>3</sup> D <sub>3</sub>
16335,76	0,05	m , f	(2)	5,737	6s15d <sup>1</sup> D <sub>2</sub>
16360,05	0,06	(1) as. , TF , <<L	(1)	9,971	6s 5d <sup>3</sup> D <sub>3</sub> → 5d 6p <sup>3</sup> P <sub>2</sub> °
16374,01	0,05	as. , m , f			
16389,56	0,09	tf , f			
16400,53	0,08	f , f	(2)	*	6s13g G

Tableau IV (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16413,70	0,30	TF, TTL(7Δσ)	(1)	*	5d 6p $^3P_1^o \rightarrow$ 5d 7d $^3P_2^o$
16426,21	0,05	as., TTF, f	(2)	*	6s13d $^3D_3$
16433,63	0,16	f, TL	(1)	3,627	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow$ 6p <sup>2</sup> $^3P_0$
16479,65	0,05	TTF, f	(2)	*	5d 7d $^3D_3$
16482,77	0,12	f, L			
16488,62	0,06	as., TTF, f	(1)	8,591	6s 5d $^3D_2 \rightarrow$ 5d 6p $^3P_1^o$
16491,13	0,07	TF, <<f	(2)	*	6s14e $^3G_3$
16496,67	0,08	f, L			
16515,73	0,09	TF, <<L	(2)	*	6s17d $^3D_3$
16563,93	0,05	tf, L	(2)		6s15e $1,^3G$
16573,51	0,13	tf, L			
16582,60	0,14	as., F, tf	(2)	*	6s18d $^3D_3$
16608,27	0,12	as., TF, <<L	(1)	8,145	6s 5d $^3D_1 \rightarrow$ 5d 6p $^3P_0^o$
16623,65	x(RB)	tf, L	(2)	*	6s16e $1,^3G$
16630,87	0,05	tf, L			
16633,02	x(RB)	tf, f			

Tableau IV (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{T}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16638,45	x(RB)	f, L	(2)	*	6s19d $^3D_3$
16670,23	0,10	(1) as., TF, <<L	(1)	0,125	6s 5d $^3D_1 \rightarrow$ 5d 6p $^3P_1^o$
16672,96	x(RB)	m	(2)	*	6s17g $1,3G$
16673,34	x(R6G)	(m), tf	(1)	3,241	5d 6p $^3D_2^o \rightarrow$ 5d 7d $^3F_2$
16684,71	0,09	f, f	(2)		6s20d $^3D_{2,3}$
16688,58	x(RB)	f, tf	(2)	8,718	6s20d $^1D_2$
16695,71	0,05	f, L			
16703,42	0,12	as., tf, L		*Camus	5d <sup>2</sup> $^3P_2 \rightarrow$ 6s 9f $^3F_3$
16714,09	0,05	f, L	(2)		6s18g $^3G_3$
16722,59	x(R6G)	(f), L	(1)	2,064	6s 6p $^3P_2^o \rightarrow$ 6s 6d $^1D_2$
16724,65	0,10	F, f	(2)		6s21d $^3D_{2,3}$
16727,18	x(RB)	f, L			
16737,13	0,05	f, L		*Camus	5d <sup>2</sup> $^3P_2 \rightarrow$ (J=2) <sup>o</sup>
16741,05	0,15	TF, f	(1)	1,003	6s 5d $^3D_2 \rightarrow$ 5d 6p $^3P_2^o$
16746,78	0,05	TF, tf	(2)	*	5d 7d $^3F_3$
16749,76	0,10	TF, f	(2)		6s19g $1,3G$

Tableau IV (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16757,90	x(R6G)	tf	(2)	7,876	$6s22d \ ^3D_2$
16759,22	0,05	TF } F } f	(2)	*	$6s22d \ ^3D_3$
16760,80	x(R6G)		(2)	0,372	$6s22d \ ^1D_2$
16767,40	0,05	as. , m , TL			
16779,25	0,12	m , L	(2)	*	$6s20g \ ^1,3G$
16787,30	0,07	F } m } TL	(2)	*	$6s23d \ ^3D_3$
16788,43	0,20	C ,	(2)	8,539	$6s23d \ ^1D_2$
16805,01	0,10	m , tf	(2)		$6s21g \ ^1,3G$
16810,93	0,09	m , f	(2)	1,027	$6s24d \ ^3D_2$
16811,71	0,12	C ,			
16812,70	0,19	m , f	(2)	2,813	$6s24d \ ^1D_2$
16816,81	x(R6G)	f			
16818,03	0,13	f , L	(1)	7,917	$5d^2 \ ^3P_2 \rightarrow 5d \ 4f \ (J=1)^{\circ}$
16827,34	0,07	F , f	(2)		$6s22g \ ^1,3G$
16828,60	0,08	f			
16832,11	0,05	TF , f	(2)		$6s25d \ ^3D_{2,3}$

Tableau IV (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16833,61	0,05	F, tf	(2) 3,761	6s25d $^1D_2$
16835,95	x(R6G)	(f)		
16836,42	x(R6G)	tf		
16846,45	0,12	as., TF, <<L	(2)	6s23g $^1,3G$
16849,59	0,05	TF, <<TL	(2)	6s26d $^3D_{2,3}$
16852,14	0,05	F, L	(2) 2,096	6s26d $^1D_2$
16862,47	0,10	TTF, <<L	(2) 1,850	<u>5d 7d</u> $^1D_2$
			BL. { (2) *	6s24g $^3G_4$
16865,79	0,10	TTF, <<L	(2) *	<u>5d 7d</u> $^3F_4$
16872,36	0,22	TTF, f	(2) 2,245	6s27d $^1D_2$
16879,08	0,05	TF, f	(2) *	6s25g $^3G_4$
16882,72	x(R6G)	f	(2)	6s28d $^3D$
16884,84	0,05	TF, tf	(2) 4,879	6s28d $^1D_2$
16892,21	0,05	m, f	(2)	6s26g $^1,3G$
16897,17	0,05	F, f	(2) 7,197	6s29d $^1D_2$
16904,04	0,09	f, TL	(2)	6s27g $^1,3G$



Tableau IV (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16908,34	0,05	F , tf	(2)	8,298	6s30d $^1D_2$
16914,61	0,07	ttf , L	(2)	*	6s28g $^1,3G$
16918,38	0,10	m , tf	(2)	8,396	6s31d $^1D_2$
16922,59	0,05	} , f TTF (tf)	(1)	2,537	6s 5d $^3D_1 \rightarrow$ 5d 6p $^3P_2$
16923,99	x(R6G)		(2)		6s29g $^1,3G$
16927,76	0,05	F , f	(2)	7,561	6s32d $^1D_2$
16932,54	0,10	ttf	(2)		6s30g $^1,3G$
16935,74	0,05	m , f	(2)	5,755	6s33d $^1D_2$
16943,23	0,06	tf , TL	(2)	3,292	6s34d $^1D_2$
16950,07	0,06	tf , f	(2)	0,018	6s35d $^1D_2$
16956,41	0,10	ttf	(2)	6,308	6s36d $^1D_2$
16961,69	0,10	ttf	(2)	1,490	6s37d $^1D_2$
16967,28	0,10	ttf	(2)	7,175	6s38d $^1D_2$
16970,61	0,06	tf , L	(1)	0,404	5d 6p $^3D_1^o \rightarrow$ 6s14d $^1D_2$
17002,79	0,10	tf , TL			
17015,07	0,05	TTF , L			

Tableau IV (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
17038,99	0,05	tf			
17062,04	0,05	as. , TTF , $\llcorner$ TL	(2)	*	<u>5d 7d <math>^1G_4</math></u>
17092,04	0,06	tf , L			
17125,28	0,05	f , L			
17138,61	0,20	TF , TTL(4,4 $\Delta\sigma$ )	(2)	*	<u>5d 7d <math>^3P_2</math></u>
17149,94	x(R6G)	tf			
17159,08	0,05	m , TL	(1)	8,853	6s 5d $^1D_2$ → 5d 6p $^1P_1^o$
17181,13	0,12	f , L	(1)	0,854	6s 6p $^3P_2^o$ → 6s 6d $^3D_1$
17183,19	0,10	f , L	(1)	2,905	5d $^2$ $^3P_1$ → 5d 4f (J=1) $^o$
17195,17	0,06	F , $\llcorner$ f			
17197,96	0,05	tf , f			
17199,43	0,05	tf , f	(1)	*	5d 6p $^3F_3^o$ → <u>5d 8s <math>^3D_3</math></u>
17207,70	0,06	tf			
17209,56	x(R6G)	ttf			
17219,91	0,05	TF , f	(1)	9,715	6s 5d $^3D_3$ → 5d 6p $^1F_3^o$
17236,14	0,10	as. , m , TL	(1)	5,907	6s 6p $^3P_2^o$ → 6s 6d $^3D_2$

Tableau IV (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
17249,29	x(R6G)	ttf, L	(1)	9,210	5d 6p $^3D_1^o \rightarrow 5d 7d \underline{^3P_0}$
17276,39	0,19	tf, TL	(1)	6,342	5d 6p $^3F_3^o \rightarrow 5d 8s \underline{^1D_2}$
17284,41	0,05	f, TL	(1)	4,132	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow 6s 7d \underline{^1D_2}$
17298,08	0,16	tf, TL	(1)	7,997	5d 6p $^3D_2^o \rightarrow 6s26d \underline{^3D_2}$
17303,57	0,10	as., F, <TL	(1)	3,351	6s 6p $^3P_2^o \rightarrow 6s 6d \underline{^3D_3}$
17310,26	0,09	f, L	(1)	0,170	5d 6p $^3D_2^o \rightarrow 5d 7d \underline{^1D_2}$
17320,54	0,05	tf, L	(1)	0,565	5d 6p $^3D_2^o \rightarrow 6s27d \underline{^1D_2}$
17326,82	0,05	m, TL	(1)		
17378,60	x(R6G)	tf, f			
17384,42	0,06	f, TTL(4,5 $\Delta\sigma$ )	(1)		
17399,45	0,05	f, f	(1)		
17401,95	0,10	f, f	(1)		
17404,99	0,05	f, L	(1)		
17498,03	0,10	f, L			
17500,58	0,10	f, L			
17509,87	0,05	tf, L			



Tableau V - Niveau intermédiaire 5d6p  $^3F_4^o$  ( $E_{II} = 23757,029 \text{ cm}^{-1}$ )

Tableau V - Colorants utilisés pour la cavité laser n° 2 : R6G, Fluorescéine.

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16359,96	0,05	(1) TF, f	(1) 9,971	6s 5d $^3D_3$ → 5d 6p $^3P_2^o$
16373,94	0,05	(1) F, f		
16389,53	0,12	(2) TTF, f	(2) *	<u>5d 8s <math>^3D_3</math></u>
16413,42	x(R6G)	tf		
16418,16	0,05	F, f		
16433,66	x(R6G)	f	(1) 3,632	6s 6p $^1P_1^o$ → 6p <sup>2</sup> $^3P_0$
16450,47	0,07	m, f	(1)	
16473,93	x(R6G)	ttf		
16479,35	0,05	F, f	(1) *	5d 6p $^3D_3^o$ → <u>5d 7d <math>^3D_3</math></u>
16488,56	0,05	TF, <<L	(1) 8,591	6s 5d $^3D_2$ → 5d 6p $^3P_1^o$
16492,30	0,05	F, L		
16515,80	0,05	f, L	(1) *	5d 6p $^3D_3^o$ → 6s17d $^3D_3$
16517,49	0,07	f, L		

Tableau V (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16543,01	0,05	TF, L	(2)	*	6s 8g G
16555,93	x(R6G)	f			
16559,05	x(R6G)	tf, TL			
16573,23	x(R6G)	tf			
16608,15	0,05	TF, L	(1)	8,145	6s 5d $^3D_1$ → 5d 6p $^3P_0^o$
16630,92	0,05	m, L			
16633,07	0,05	f, f			
16640,75	x(R6G)	f			
16643,00	0,05	f, L			
16666,35	0,05	TF, f	(2)	*	6s11d $^3D_3$
16670,10	0,05	TF, <TL	(1)	0,125	6s 5d $^3D_1$ → 5d 6p $^3P_1^o$
16673,16	0,06 (1)	m, f	(1)		5d 6p $^3D_3^o$ → 6s17g G
16684,24	0,05	f, L	(1)		5d 6p $^3D_3^o$ → 6s20d $^3D_2$
16695,27	0,05	TF, L			
16703,06	0,05	TF, L			
16707,08	0,05	f, L			

Tableau V (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{T}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16806,00	x(R6G)	tff	(1)	$5d\ 6p\ ^3D_3^o \rightarrow 6s24d\ ^1D_2$
16810,35	x(R6G)	tff	(1)	$5d^2\ ^3P_2 \rightarrow 5d\ 4f\ (J=1)$
16812,52	x(R6G)	tff	(1)	$5d\ 6p\ ^3D_3^o \rightarrow 6s22g\ G$
16816,33	0,05	f } F } TL	(1)	
16817,92	0,05		(1)	
16823,28	0,05	m , L	(1)	
16827,51	0,08	m , L	(1)	
16831,46	0,09	tf , TL	(1)	
16836,08	0,05	m	(1)	
16846,36	0,05	F , L	(1)	$5d\ 6p\ ^3D_3^o \rightarrow 6s23g\ G$
16849,38	0,07	f , L	(1)	
16854,13	0,14	tf , L	(1)	
16862,31	0,05	F , L	(1)	$5d\ 6p\ ^3D_3^o \rightarrow 6s24g\ ^3G_4$
16865,75	0,05	F , L	(1)	$5d\ 6p\ ^3D_3^o \rightarrow 5d\ 7d\ ^3F_4$
16868,32	0,05	f , L	(1)	
16872,06	0,05	f , L	(1)	

Tableau V (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{F}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
16878,14	0,16	as., ttf, TL			
16884,81	0,06	ttf, TL			
16890,16	x(R6G)	tf			
16908,54	0,10	TF, TL	(2)	*	6s 9g G
16922,45	0,05	TF, <<TL	(1)	2,537	6s 5d <sup>3</sup> D <sub>1</sub> → 5d 6p <sup>3</sup> P <sub>2</sub>
16927,72	0,05	m, L			
16941,48	x(R6G)	F	(2)	*	<u>5d 7d <sup>3</sup>G<sub>3</sub></u>
16952,64	x(R6G)	f			
16964,14	0,05	tf, tf			
16970,39	0,05	m, L			
16972,55	0,07	m, f			
16974,83	0,05	m, f			
16976,55	x(R6G)	f			
16977,16	x(R6G)	tf, L			
16991,15	0,05	TF, f	(2)	*	6s12d <sup>3</sup> D <sub>3</sub>
16996,51	x(R6G)	(f), L			



Tableau V (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
17002,52	x(R6G)	f			
17014,71	0,05	inv., TTF, TTL(3,6 $\Delta\sigma$ )	(0)	4,711	2p $^3P_1^o \rightarrow 3d \ ^3D$
17018,04	0,05	(m), L	Bl. { (0)	4,789	2p $^3P_2^o \rightarrow 3d \ ^3D$
17027,19	0,05	(tf), L			
17036,94	x(R6G)	m			
17038,86	0,05	f, L			
17050,97	0,07	f, L			
17057,23	x(R6G)	tff			
17061,87	0,05	m, TL	(1)	*	5d 6p $^3D_2^o \rightarrow 5d \ 7d \ ^1G_4$
17069,94	x(R6G)	tff			
17072,28	x(R6G)	f			
17076,21	0,09	tff			
17078,58	x(R6G)	(tf), TL			
17079,04	x(R6G)	f			
17091,82	0,06	m, TL			
17093,57	x(R6G)	tf			

Tableau V (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
17110,17	0,05	TF, L	(2)	$5d \ 7d \ ^1F_3$
17124,79	0,05	m, L		
17138,72	0,05	f, TTI(5,9 $\Delta\sigma$ )	(1)	$5d \ 6p \ ^3D_3^{\circ} \rightarrow 5d \ 7d \ ^3P_2$
17149,43	0,05	m, L	(1)	$5d \ 6p \ ^1D_2^{\circ} \rightarrow 5d \ 8s \ ^1D_2$
17157,61	0,05	m } F } , TL		
17158,79	0,05		(1)	$6s \ 5d \ ^1D_2 \rightarrow 5d \ 6p \ ^1P_1^{\circ}$
17169,67	0,06	TF, <<L	(2)	$6s10g \ G$
17173,15	x(R6G)	tf		
17178,24	x(R6G)	tf		
17180,90	0,06	F, L	(1)	$6s \ 6p \ ^3P_2^{\circ} \rightarrow 6s \ 6d \ ^3D_1$
17182,94	0,07	F, TL	(1)	$5d^2 \ ^3P_1 \rightarrow 5d \ 4f \ (J=1)^{\circ}$
17195,07	0,05	F, L		
17197,82	0,05	m, f	(1)	$5d \ 6p \ ^3F_3^{\circ} \rightarrow 5d \ 8s \ ^3D_3$
17199,39	0,05	m, L		
17207,69	0,07	f, f		
17209,80	0,08	m, L	(1)	

Tableau V (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{r}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
17217, 18	0,07	TF, <<L	(2)	*	<u>5d 7d</u> $^3G_4$
17219, 70	0,05	(1) TTF, <<TL	(1)	9,715	6s 5d $^3D_3 \rightarrow$ 5d 6p $^1F_3^o$
17230, 17	0,07	F, f	(2)	*	6s13d $^3D_3$
17235, 92	0,05	TTF, L	(1)	5,907	6s 6p $^3P_2^o \rightarrow$ 6s 6d $^3D_2$
17249, 16	0,05	f, f	(1)	9,210	5d 6p $^3D_1^o \rightarrow$ <u>5d 7d</u> $^3P_0$
17270, 43	0,07	f, f			
17276, 11	0,05	m, L	(1)	6,342	5d 6p $^3F_3^o \rightarrow$ <u>5d 8s</u> $^1D_2$
17284, 03	0,05	m, L	(1)	4,132	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow$ 6s 7d $^1D_2$
17297, 78	0,07	f, L			
17303, 39	0,08	TTF, L	(1)	3,351	6s 6p $^3P_2^o \rightarrow$ 6s 6d $^3D_3$
17309, 90	0,05	m, L	(1)	10,170	5d 6p $^3D_2^o \rightarrow$ <u>5d 7d</u> $^1D_2$
17318, 36	0,06	f, L			
17320, 35	0,05	f, L	(1)	0,565	5d 6p $^3D_2^o \rightarrow$ 6s27d $^1D_2$
17326, 50	0,13	m, TL	(1)		
17332, 95	x(R6G)	tff			
17339, 52	x(R6G)	tff			

Tableau V (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
17343,8	x(R6G)	tff		
17352,46	x(R6G)	tff		
17362,59	0,05	TF } , L	(2) *	6s11g G
17363,80	x(R6G)	tff		
17366,73	0,05	tff		
17378,33	0,05	m , L		
17383,97	0,07	m , TTI(5 $\Delta\sigma$ )	(1)	
17389,81	x(R6G)	tf		
17393,83	0,07	tf , TL		
17399,29	0,05	m , L	(1)	
17401,61	0,05	f , L	(1)	
17404,56	0,16	f , L	(1)	
17407,67	0,05	F	(2) *	6s14d $^3D_3$
17453,67	x(R6G)	tff		
17466,33	x(R6G)	tff		
17497,58	0,09	m		vue en émission

Tableau V (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_{\text{f}}) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification	vue en émission
17509,44	0,05 (1)	m	B { (2)	*	6s12g G
17543,77	0,12	(tf)	(2)	*	6s15d $^3D_3$
17593,89	0,05	(f)			
17600,84	0,06	(f)			
17649,12	0,18	tf	{ (1)	9,018	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow$ 6s 7d $^3D_1$
17702,28	0,05	TF	{ (2)	*	6s16d $^3D_3$
17713,54	0,08	f	(2)	*	<u>5d 7d <math>^3D_3</math></u>
17718,59	x(F1.)	ttf	(2)	*	6s14g $^3G_5$
17724,51	0,05 (1)	f			
17738,66	0,10	(m)	(2)	*	6s17d $^3D_3$
17751,16	0,05 (1)	(f)			
17782,64	0,05	TF	(2)	*	<u>5d15g <math>^3G_5</math></u>
17784,15	0,05	tf			
17789,00	x(F1.)	m			

Tableau V (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
17793,24	0,10	TF	(2)	*	<u>5d 7d <math>^3G_5</math></u>
17795,29	x(Fl.)	tf			
17798,28	0,05	tff			
17831,10	0,10	tff			
17836,77	x(Fl.)	(tf)			
17841,04	0,05	tf			
17846,84	0,05	TF	(2)	*	6s16g $^3G_5$
17848,16	0,05	f			
17873,43	0,08	tf	(1)	3,528	6s 6p $^1P_1^o \rightarrow$ 5d 6d $^3D_1$
17896,02	0,05	F	(2)	*	6s17g $^3G_5$
17908,50	0,12	tff	(2)	*	6s20d $^3D_3$
17919,64	0,10	(f)			
17927,21	0,05	(m)			
17937,28	0,05	F	(2)	*	6s18g G
17944,99	0,05	tf			
17947,43	0,05	m	(2)	*	6s21d $^3D_3$

Tableau V (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
17947,43	0,05	m	(2)	*	$6s21d \ ^3D_3$
17949,44	0,05	tf	(2)	*	$5d \ 7d \ ^3D_3$
17969,54	0,12	TF	(2)	*	$6s19g \ G$
17972,33	0,07	TF	(2)	*	$6s22d \ ^3D_3$
17977,71	x(Fl.)	(tf)	(2)	*	$6s20g \ G$
17981,99	0,07	f	(2)	*	$6s21g \ G$
18002,05	0,05	ttf	(2)	*	$6s22g \ G$
18026,90	0,10	f	(2)	*	$6s23g \ G$
18027,74	0,20	ttf	(2)	*	$6s24g \ ^3G_4$
18050,09	0,05	f	(2)	*	$6s24g \ G$
18060,26	0,10	as., inv., F	(1)	0,244	$6s^2 \ ^1S_0 \rightarrow 6d \ 6p \ ^1P_1^o$
18069,32	0,05	tf	(2)	*	$6s25g \ G$
18085,19	0,05	TF	(2)	*	$5d \ 7d \ ^3F_4$
18086,87	0,30	m	(2)	*	$6s24g \ G$
18088,59	0,05	TF	(2)	*	$5d \ 7d \ ^3F_4$
18101,67	0,06	f	(2)	*	$6s25g \ G$

Tableau V (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre	$\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
18110,65	0,25	tff	(2)		6s26g G
18114,76	0,05	tf			
18123,09	0,05	(f)			
18126,76	0,10	tff	(2)		6s27g G
18137,6	0,3	(f)	(2)		6s28g G
18146,89	x(Fl.)	(tf)	(2)		6s29g G
18155,69	x(Fl.)	(tf)	(2)		6s30g G
18162,64	x(Fl.)	(tff)			
18163,35	x(Fl.)	(tf)	(2)		6s31g G
18170,29	0,05	(tf)	(2)		6s32g G
18176,59	x(Fl.)	(tff)	(2)	*	6s33g G
18183,02	x(Fl.)	(tff)	(2)		6s34g G
18230,26	0,05	(tf)			
18257,33	0,19	tff	(1)	7,329	5d 6p $^3P_3^0 \rightarrow 5d 7d \ ^3F_2$
18264,25	0,10	f			
18284,56	0,23	(2) F, TL	(2)	*	<u>5d 7d <math>^1G_4</math></u>



Tableau V (suite)

$\sigma_{\text{obs}} (\text{cm}^{-1})$	$\delta(\sigma_{\text{obs}} - \sigma_r) (\text{cm}^{-1})$	Allure de la raie OG	Spectre $\sigma_{\text{calc}} (\text{cm}^{-1})$	Classification
18334,96	x(Fl.)	tff		
18340,31	x(Fl.)	tff		